



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК
C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01)
F01D 5/28 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008101578/02, 15.01.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.01.2008

(43) Дата публикации заявки: 20.07.2009

(45) Опубликовано: 20.11.2009 Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2005134034 А, 10.05.2007. RU 226227
С1, 27.03.2004. RU 2161661 С1, 10.01.2001. JP
07-259770 А, 09.10.1995. JP 08-296064 А,
12.11.1996.

Адрес для переписки:

123182, Москва, пл.Академика Курчатова, 1,
ФГУ РНЦ "Курчатовский институт",
зам.директора-руководителю
исполнительной дирекции В.Ю.Иньковой

(72) Автор(ы):

Смыслов Анатолий Михайлович (RU),
Смыслова Марина Константиновна (RU),
Дыбленко Юрий Михайлович (RU),
Мингажев Аскар Джамилевич (RU),
Селиванов Константин Сергеевич (RU),
Гордеев Вячеслав Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное учреждение
Российский научный центр "Курчатовский
институт" (RU)

(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению и может быть использовано в авиационном двигателестроении и энергетическом турбостроении. Проводят имплантацию ионов одного из следующих химических элементов Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N или их комбинации с последующим нанесением в вакууме многослойного покрытия с чередующимися слоями (Ti-TiN-Ti-TiAlN) или (Zr-ZrN-Ti-TiAlN), или (Cr-CrN-Ti-TiAlN), или (Zr-ZrN-TiAlN), или (Zr-TiAlN-Ti-ZrN), при этом количество слоев составляет 12-1560. В частных случаях осуществления изобретения толщина слоя покрытия составляет от 10 нм

до 2 мкм при общей толщине покрытия от 5 мкм до 30 мкм. После нанесения каждого слоя металла или покрытия проводят ионную имплантацию. Нанесение каждого слоя покрытия проводят одновременно с ионной имплантацией легирующими ионами N, Cr, Y, Yb, C, B, Zr. Ионную имплантацию проводят при энергии ионов 300-1000 эВ и дозе имплантации ионов 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см². Повышается стойкость покрытия к солевой коррозии, пылевой и капельно-ударной эрозии при одновременном повышении выносливости, циклической прочности и снижении трудоемкости при реализации. 7 з.п. ф-лы, 4 табл.

RU 2 373 302 C2

RU 2 373 302 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01)
F01D 5/28 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2008101578/02, 15.01.2008**

(24) Effective date for property rights:
15.01.2008

(43) Application published: **20.07.2009**

(45) Date of publication: **20.11.2009 Bull. 32**

Mail address:

**123182, Moskva, pl.Akademika Kurchatova, 1,
FGU RNTs "Kurchatovskij institut", zam.direktora-
rukovoditelju ispolnitel'noj direktcii V.Ju.In'kovoj**

(72) Inventor(s):

**Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),
Dyblenko Jurij Mikhajlovich (RU),
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU),
Selivanov Konstantin Sergeevich (RU),
Gordeev Vjacheslav Jur'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe uchrezhdenie
Rossijskij nauchnyj tsentr "Kurchatovskij
institut" (RU)**

(54) METHOD OF TREATMENT OF TURBOMACHINES BLADES

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy industry.

SUBSTANCE: invention refers to mechanical engineering and may be used in aircraft engine manufacturing and energy turbine manufacturing. Implantation of ions of one of the following chemical elements Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N or their combination is performed with further application of multilayer coating with alternate layers (Ti-TiN-Ti-TiAlN) or (Zr-ZrN-Ti-TiAlN) or (Cr-CrN-Ti-TiAlN) or (Zr-ZrN-TiAlN) or (Zr-TiAlN-Ti-ZrN) in vacuum, at that number of layers is 12-1560. In particular cases of invention performance thickness of coating layer is from 10 nm to 2 mcm at general thickness of coating

from 5 mcm to 30 mcm. After application of each layer of metal or coating, ion implantation is performed. Application of each layer of coating is performed simultaneously with ion implantation by alloying ions N, Cr, Y, Yb, C, B, Zr. Ion implantation is performed at ions energy 300-1000 eV and ions implantation dose 10^{10} to $5 \cdot 10^{20}$ ion/cm².

EFFECT: improvement of coating resistance to salt corrosion, dust and drop-impact corrosion with simultaneous improvement of endurance, cyclical strength and decrease of labor intensity during implementation.

8 cl, 4 tbl, 1 ex

Изобретение относится к машиностроению и может быть использовано в авиационном двигателестроении и энергетическом турбостроении для защиты пера рабочих лопаток компрессора и турбины от солевой и газовой коррозии, газообразивной и капельно-ударной эрозии при одновременном повышении выносливости и циклической долговечности.

В промышленности известен гальванический способ нанесения никель-кадмиего (NiCd) покрытия на лопатки компрессора ГТД (Петухов А.Н. Усталость замковых соединений лопаток компрессоров // Труды ЦИАМ №1213, 1987. - 36 с.).

Недостатками этого способа являются невысокая устойчивость к солевой коррозии, экологический вред гальванического производства, а также вероятность наводороживания поверхности, обуславливающего снижение выносливости и циклической долговечности.

Также известен способ защиты стальных деталей машин от солевой коррозии последовательным осаждением в вакууме на поверхность пера первого слоя конденсированного покрытия сплава на основе никеля толщиной от 6 до 25 мкм и второго слоя покрытия на основе алюминия толщиной от 4 до 12 мкм (Полищук И.Е. Структура и свойства газотермических покрытий на основе интерметаллидов системы никель-алюминий // Электронная микроскопия и прочность материалов: Сб. науч.тр. НАН Украины, Науч. Совет НАНУ по пробл. "Физика твердого тела". - Киев, 1998).

Недостатками этого способа являются высокая температура отжига ($=610^{\circ}\text{C}$), которая приводит к изменениям в структуре материала (например таких сталей, как 20X13, ЭИ961, 15X11МФ). Кроме того, процесс осаждения таких покрытий характеризуется высокой трудоемкостью (не менее 4 ч на садку) и материалоемкостью, при этом увеличение толщины покрытия приводит к существенному снижению ее усталостной и адгезионной прочности.

Известен способ защиты стальных изделий от солевой коррозии (преимущественно лопаток паровых турбин), включающий последовательное осаждение в вакууме первого слоя из титана толщиной от 0,5 до 5,0 мкм, затем нанесение второго слоя нитрида титана толщиной 6 мкм (Патент РФ №2165475, МПК7 C23C 14/16, 30/00, C22C 19/05, 21/04, 20.04.2001).

Известен также способ защиты стальных деталей машин от солевой коррозии, пылевой и капельно-ударной эрозии, заключающийся в том, что перед нанесением многослойного покрытия проводят ионную имплантацию ионами азота и постимплантационный отпуск, который совмещают с нанесением многослойного покрытия, а многослойное покрытие наносят многократным чередованием слоев титана, ϵ -нитрида титана и α -нитрида титана, причем постимплантационный отпуск и нанесение многослойного покрытия проводят в одном вакуумном объеме за один технологический цикл. (Патент РФ №2226227, кл. C23C 14/48, 27.03. 2004).

Основным недостатком известных способов является недостаточно высокая стойкость покрытия к солевой коррозии (в связи с его пористостью) и недостаточной стойкости к капельно-ударной эрозии из-за малой толщины и твердости. При увеличении толщины покрытия происходит снижение ее адгезии и усталостной прочности, что ухудшает эксплуатационные свойства лопаток.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является способ защиты лопаток паровых и газовых турбин от солевой и газовой коррозии, газообразивной и капельно-ударной эрозии, включающий имплантацию ионов одного из следующих химических элементов Cr, Y, Yb, C, B, Zr

или их комбинации, а также их комбинации с ионами N и нанесение в вакууме многослойного покрытия чередованием слоев металлов Ti, Zr, Cr и их нитридов (Заявка РФ №2005134034, кл. C23C 14/48, от 03.11.2005).

Основным недостатком аналога является обеспечение недостаточно надежной защиты изделия от пылевой и капельно-ударной эрозии при одновременном повышении выносливости, циклической прочности, что особенно важно при эксплуатации компрессорных лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) и лопаток паровых турбин, а также недостаточно широкого диапазона свойств защитных покрытий, снижающих возможность оптимизации покрытий по условиям эксплуатации защищаемых деталей.

Техническим результатом заявляемого способа является повышение стойкости покрытия к солевой коррозии, пылевой и капельно-ударной эрозии при одновременном повышении выносливости, циклической прочности, снижении трудоемкости практической реализации и расширения диапазона свойств защитных покрытий.

Технический результат достигается тем, что в способе обработки лопаток турбомашин, включающем имплантацию ионов одного из следующих химических элементов Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N или их комбинации с последующим нанесением в вакууме многослойного покрытия, содержащих металлы и их нитриды, в отличие от прототипа, наносят многослойное покрытие с чередующимися слоями (Ti-TiN-Ti-TiAlN) или (Zr-ZrN-Ti-TiAlN), или (Cr-CrN-Ti-TiAlN), или (Zr-ZrN-TiAlN), или (Zr-TiAlN-Ti-ZrN), при этом количество слоев составляет 12-1560, а толщина слоя покрытия может составлять от 10 нм до 2 мкм при общей толщине покрытия от 5 мкм до 30 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе обработки лопаток турбомашин ионную имплантацию проводят по следующим вариантам: после нанесения каждого слоя металла; проводят после нанесения каждого слоя покрытия, после нанесения каждого слоя металла проводят ионами азота, при нанесении каждого слоя покрытия проводят одновременно с ионной имплантацией легирующими ионами, при этом в качестве легирующих ионов используют N, Cr, Y, Yb, C, B, Zr; а ионную имплантацию проводят при энергии ионов 300-1000 эВ и дозе имплантации ионов 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

Для исследования стойкости лопаток турбомашин на солевую и газовую коррозии, газообразивную и капельно-ударную эрозию были изготовлены образцы из стали 20X13, которые были подвергнуты (указанным в таблице 1) вариантам обработки, с целью получения защитных покрытий. Количество образцов группы бралось равным трем.

Табл.1			
№ Группы образцов	Импантируемые ионы (в основу)	Импантируемые ионы (в покрытие)	Материал слоев и схема их чередования
1 (Прототип)	N+Cr	N	n ₁ (Ti-TiN-TiN)
2	N+Cr	N	n ₂ (Ti-TiN-Ti-TiAlN)
3	Yb	Y	n ₂ (Zr-ZrN-Ti-TiAlN)
4	Y+N	Cr	n ₂ (Cr-CrN-Ti-TiAlN)
5	Y	N	n ₂ (Ti-TiAlN-Ti-TiN)
6	Yb	Y	n ₂ (Zr-ZrN-TiAlN)
7	C	N	n ₂ (Zr-TiAlN-Ti-ZrN)

Режимы обработки образцов и нанесения покрытия: ионная имплантация

(ионами N, Cr, Y, Yb, C, B, Zr) с энергией $E=300\text{эВ}$ -30 КэВ и дозой облучения $D=3\cdot 10^{19}$ ион/см² с последующим постимплантационным отпуском в вакууме при температуре 400°С в течение 1 ч с одновременным нанесением ионно-плазменного многослойного покрытия (материал слоев и схема их чередования согласно таблицы 1).

Толщины слоев составляли: прототип - первый слой - Me толщиной около 1 мкм, второй слой - нитрид Me толщиной около 2 мкм, количество слоев n_1 бралось равным 12 при общей толщине покрытия от 19 до 21 мкм; предлагаемое техническое решение - первый слой - Me толщиной 0,3 мкм, последующие слои - толщиной от 10 нм до 2 мкм, количество слоев n_2 бралось от 12 до 1560 при общей при общей толщине покрытия от 19 до 21 мкм.

Стойкость к солевой коррозии исследовалась по ускоренной методике Всероссийского института авиационных материалов (ВИАМ). Сущность методики испытания заключается в ускорении коррозионного процесса под влиянием ионов хлора при высоких и быстроменяющихся температурах и относительной влажности воздуха, приближенных к условиям эксплуатации лопаток.

В процессе испытаний производилось взвешивание образцов на аналитических весах модели ВЛР-200: в исходном состоянии; после испытаний - с продуктами коррозии на поверхности образцов; после удаления коррозионного налета - химическим способом.

Кроме этого проводилась оценка глубины коррозионных повреждений общепринятым металлографическим методом на наклонных шлифах с углом наклона=3. Результаты коррозионных испытаний приведены в табл.2.

Коррозионная стойкость.					
№	Результаты внешнего осмотра		Результаты взвешивания, г.		Потеря
п/п	До удаления продуктов коррозии	После удаления продуктов коррозии	В исход. сост.	После испытаний (с удаленными продуктами коррозии)	массы, г
1.	Продукты коррозии по всему периметру образца	Точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	32,8242	32,7522	0,0720
2.	Продукты коррозии по периметру образца	Отдельные точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	33,1260	33,0933	0,0327
3	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	32,0968	32,0637	0,0331
4	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	32,9807	32,9515	0,0292
5	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	32,7542	32,7319	0,0223

6	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	33,0917	33,0446	0,0471
7	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	32,1274	32,1037	0,0237

Таблица 3.

Стойкость к пылевой эрозии.

№ п/п	Потеря массы, мкм	Увеличение стойкости, раз
0	4,56	-
1	0,61	7,47
2	0,34	13,41
3	0,33	13,81
4	0,29	15,72
5	0,34	13,41
6	0,31	14,71
7	0,38	12,00

Таблица 4.

Стойкость к капельно-ударной эрозии.

№ п/п	Увеличение стойкости, раз	№ п/п	Увеличение стойкости, раз
0	-	4	12,7
1	6,5	5	9,6
2	8,9	6	8,7
3	10,1	7	11,3

Анализ результатов сравнительных коррозионных испытаний показал, что наилучшие защитные свойства обеспечивает предлагаемый способ нанесения многослойного покрытия. Образец, обработанный по предлагаемому способу, характеризуется наименьшей потерей массы и минимальной площадью поверхности, пораженной коррозией, что свидетельствует о высокой надежности наносимого многослойного покрытия.

Стойкость к пылевой эрозии исследовалась по методике ЦИАМ (Технический отчет ЦИАМ "Экспериментальное исследование износостойкости вакуумных ионоплазменных покрытий в запыленном потоке воздуха" №10790, 1987. - 37 с.) в пескоструйной установке 12Г-53 струйно-эжекторного типа. Для обдува использовался молотый кварцевый песок с плотностью=2650 кг/м³, твердостью HV=12000 МПа. Обдув производился при скорости воздушно-абразивного потока 195-210 м/с, температура потока 265-311 К, давление в приемной камере 0,115-0,122 МПа, время воздействия - 120 с, концентрация абразива в потоке до 2-3 г/м³, что несколько выше, чем концентрация пылевых частиц на входе в авиационный двигатель в реальных условиях. Результаты испытания приведены в табл.3. Из таблицы видно, что стойкость к пылевой эрозии у образца, обработанного по предлагаемой методике, увеличилась приблизительно в 1,6...3,4 раза.

Стойкость к капельно-ударной эрозии исследовалась по методике МЭИ (Московского энергетического института) на стенде "Эрозия" при соударении жидких частиц размером 800 мкм и скоростью $C_{уд} = 300$ м/с.

Результаты исследования приведены в табл.4. Установлено, что стойкость к капельно-ударной эрозии у образцов, обработанных по предлагаемому способу, увеличилась, приблизительно от 1,3 до 1,9 раз по сравнению с прототипом.

5 Дополнительно были проведены испытания на выносливость и циклическую прочность образцов из стали 20X13 на воздухе и коррозионной среде в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88. В результате эксперимента установлено следующее: при
10 испытаниях на воздухе условный предел выносливости (σ_{-1}) образцов в исходном состоянии (без покрытия) составляет 320 МПа, у образцов, упрочненных по предлагаемому способу, до 380 МПа; при испытаниях в коррозионной среде условный предел выносливости образцов в исходном состоянии (без покрытия) составляет 180 МПа, у образцов, упрочненных по предлагаемому способу, до 340 МПа.

15 Подобные результаты были получены также для образцов из материалов ЭИ961 и 15X11МФ.

Проведенные испытания покрытий показали, что приведенная в формуле изобретения совокупность существенных признаков позволяет достичь технического результата предлагаемого изобретения - повысить стойкость покрытия к солевой коррозии, пылевой и капельно-ударной эрозии при одновременном повышении
20 выносливости, циклической прочности, снижении трудоемкости практической реализации и расширения диапазона свойств защитных покрытий.

Пример конкретной реализации способа.

Обработку поверхности лопаток турбомашин по описываемому способу проводят после всех формообразующих механических обработок, включая полирование.
25 Лопатку тщательно обезжиривают в ультразвуковой ванне и протирают бензино-ацетоновой смесью. Для удаления остатков влаги лопатку подвергают термообработке в сушильном шкафу при температуре от 60° до 65°С. После сушки лопатку устанавливают в вакуумную камеру, где создают вакуум не ниже 2-104 Па и
30 проводят очистку ионами аргона в течение 12 мин с последующей ионной имплантацией азота и хрома по режиму

N+Cr	N	(Ti- -TiN-TiAlN)
------	---	------------------

35 Имплантируемый ион Азот

Энергия ионов 300-1000 эВ

Плотность ионного тока 5-10 мА/см²

Доза имплантации ионов 310¹⁹ ион/см²

40 Имплантируемый ион Хром

Энергия ионов 300-1000 эВ

Плотность ионного тока 5-10 мА/см²

Доза имплантации ионов 3·10¹⁹ ион/см²

После этого в том же рабочем пространстве проводят вакуумный
45 постимплантационный отпуск при температуре 400°С в течение 1 ч, совмещенный с нанесением ионно-плазменного многослойного покрытия на основе титана и нитрида титана с последовательным чередованием слоев: первый слой - титан толщиной 0,3 мкм, второй слой - нитрид титана толщиной 0,3 мкм, третий слой алумонитрид титана
50 толщиной 0,6 мкм, причем, после нанесения каждого слоя титана производят имплантацию ионов азота по режиму: энергия ионов 300-1000 эВ, доза имплантации ионов 5·10¹⁸ ион/см². Нанесение указанных слоев повторяют до получения заданной толщины (20 мкм) многослойного покрытия. Режимы при нанесении покрытия: ток 1=

140 А, напряжение $U=140$ В.

Формула изобретения

5 1. Способ обработки лопаток турбомашин, включающий имплантацию ионов одного из следующих химических элементов Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N или их комбинации с последующим нанесением в вакууме многослойного покрытия, содержащего металлы и их нитриды, отличающийся тем, что наносят многослойное покрытие с чередующимися слоями (Ti-TiN-Ti-TiAlN) или (Zr-ZrN-Ti-TiAlN), или (Cr-CrN-Ti-TiAlN),
10 или (Zr-ZrN-TiAlN), или (Zr-TiAlN-Ti-ZrN), при этом количество слоев составляет 12-1560.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что толщина слоя покрытия составляет от 10 нм до 2 мкм при общей толщине покрытия от 5 мкм до 30 мкм.

15 3. Способ по п.1, отличающийся тем, что после нанесения каждого слоя металла проводят ионную имплантацию.

4. Способ по п.2, отличающийся тем, что после нанесения каждого слоя покрытия проводят ионную имплантацию.

20 5. Способ по п.3, отличающийся тем, что ионную имплантацию после нанесения каждого слоя металла проводят ионами азота.

6. Способ по п.2, отличающийся тем, что нанесение каждого слоя покрытия проводят одновременно с ионной имплантацией легирующими ионами.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что в качестве легирующих ионов используют N, Cr, Y, Yb, C, B, Zr.

25 8. Способ по любому из пп.3, 4, 6, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов 300-1000 эВ и дозе имплантации ионов 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

30

35

40

45

50