



(51) МПК
C23C 14/48 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2008135601/02, 02.09.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.09.2008

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **02.09.2008**

(43) Дата публикации заявки: **10.03.2010** Бюл. № 7

(45) Опубликовано: **27.02.2011** Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2226227 C1, 27.03.2004. RU 2005134034 А, 10.05.2007. ЕА 2682 В1, 29.08.2002. US 20020001890 А1, 03.01.2002. EP 356557 В1, 21.12.1994.**

Адрес для переписки:

**450039, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.
 Сельская-Богородская, 2, а/я 66, ООО "НПП
 Уралавиаспецтехнология"**

(72) Автор(ы):

**Смыслова Марина Константиновна (RU),
 Дыбленко Михаил Юрьевич (RU),
 Мингажев Аскар Джамилевич (RU),
 Селиванов Константин Сергеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной
 ответственностью "Научно-
 производственное предприятие
 "Уралавиаспецтехнология" (RU),
 Научно-производственное некоммерческое
 партнерство "ТЕХНОПАРК
 АВИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ" (RU)**

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАНОСЛОЙНОГО ПОКРЫТИЯ НА ЛОПАТКАХ ТУРБОМАШИН ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к способам получения покрытий на лопатках турбомашин, и может быть использовано в авиационном двигателестроении и энергетическом турбостроении для защиты пера рабочих лопаток компрессора и турбины из легированных сталей от коррозионного и эрозионного разрушения. Способ включает ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки с последующим нанесением на нее чередующихся слоев толщиной от 10 нм до 30 нм металлов или соединений этих металлов с другими металлическими или неметаллическими

элементами. После нанесения каждого слоя производят его имплантационную обработку ионами других металлических или неметаллических элементов до получения сплошного внедренного в поверхность слоя толщиной от 1 нм до 9 нм. При этом в качестве металлов для нанесения слоя используют Ti, Zr, Hf, Cr, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, La, Eu, а в качестве имплантируемых ионов - ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их сочетание, при условии разнородности металлов, наносимых в качестве слоя, и металлов, имплантируемых в этот слой. Технический результат - повышение выносливости и циклической долговечности. 19 з.п. ф-лы, 3 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
C23C 14/48 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2008135601/02, 02.09.2008**

(24) Effective date for property rights:
02.09.2008

Priority:

(22) Date of filing: **02.09.2008**

(43) Application published: **10.03.2010** Bull. 7

(45) Date of publication: **27.02.2011** Bull. 6

Mail address:

**450039, Respublika Bashkortostan, g.Ufa, ul.
Sel'skaja-Bogorodskaja, 2, a/ja 66, OOO "NPP
Uralaviaspetstekhnologija"**

(72) Inventor(s):

**Smyslova Marina Konstantinovna (RU),
Dyblenko Mikhail Jur'evich (RU),
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU),
Selivanov Konstantin Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
"Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie
"Uralaviaspetstekhnologija" (RU),
Nauchno-proizvodstvennoe nekommercheskoe
partnerstvo "TEKhNOPARK AVIATsIONNYKh
TEKhNOLOGIJ" (RU)**

(54) PROCEDURE FOR ION-PLASMA NANO-LAYER COATING ON BLADES OF TURBO-MACHINES OUT OF ALLOYED STEEL

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: procedure consists in ion-plasma treatment of surface of blade with successive application of alternate layers on it with thickness from 10 nm to 30 nm; layers consist of metals or compounds of these metals with other metallic or non-metallic elements. Upon application of each layer there is performed implantation treatment with ions of other metallic or non-metallic elements till

there is produced a continuous imbedded into surface layer of thickness from 1 to 9 nm. Also, as metals for application of the layer there are used Ti, Zr, Hf, Cr, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, La, Eu, while as implanted ions there used ions of Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti or their combination under condition of heterogeneity of metals applied as layer and metals implanted into this layer.

EFFECT: raised resistance and cyclic service life.
20 cl, 3 tbl

Изобретение относится к машиностроению и может быть использовано в авиационном двигателестроении и энергетическом турбостроении для защиты пера рабочих лопаток компрессора и турбины от коррозионного и эрозионного разрушения при одновременном повышении выносливости и циклической долговечности.

Известен способ вакуумного ионно-плазменного нанесения покрытий на подложку в среде инертного газа, включающий создание разности электрических потенциалов между подложкой и катодом и очистку поверхности подложки потоком ионов, снижение разности потенциалов и нанесение покрытия, проведение отжига покрытия путем повышения разности потенциалов, причем ионный поток и поток испаряющегося материала, идущий от катода к подложке, экранируют, очистку проводят ионами инертного газа, после очистки экраны отводят и наносят покрытие с последующим отжигом неоднократно до требуемой толщины (патент РФ №2192501, С23С 14/34, 10.11.2002).

Также известен способ получения ионно-плазменного покрытия последовательным осаждением в вакууме на поверхность пера первого слоя конденсированного покрытия толщиной от 6 до 25 мкм и второго слоя покрытия 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).

Процесс осаждения подобных толстых (до 37 мкм) 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. Кроме того, недостатком этого способа является также необходимость дополнительной операции отжига.

Известен способ нанесения ионно-плазменных покрытий (преимущественно на лопатки 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, МПК С23С 14/16, 30/00, С22С 19/05, 21/04, 20.04.2001).

Основным недостатком этого способа является обеспечение недостаточно высокой стойкости наносимого покрытия к солевой коррозии. Кроме того, при увеличении толщины покрытия (или каждого из слоев покрытия) происходит снижение усталостной и адгезионной прочности деталей с покрытиями, что ухудшает их эксплуатационные свойства.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является способ получения ионно-плазменного покрытия на лопатках, 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 и нитридов титана, причем постимплантационный отпуск и нанесение многослойного покрытия проводят в одном вакуумном объеме за один технологический цикл (патент РФ №2226227, МПК С23С 14/48, 27.03.2004).

Основным недостатком аналога является недостаточная надежность защиты от коррозионного и эрозионного разрушения при одновременном повышении выносливости, циклической прочности, что особенно важно при эксплуатации

компрессорных лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) и лопаток паровых турбин, а также недостаточно широкий диапазон свойств защитных покрытий, снижающих возможность оптимизации покрытий по условиям эксплуатации защищаемых деталей.

Техническим результатом заявляемого способа является повышение стойкости покрытия к коррозионному и эрозионному разрушению при одновременном повышении выносливости и циклической долговечности защищаемых деталей.

Технический результат достигается тем, что в способе получения ионно-плазменного нанослойного покрытия на лопатках турбомашин из легированных сталей, включающем ионно-имплантационную обработку поверхности основного материала лопатки с последующим чередующимся нанесением на нее слоев металлов и соединений этих металлов с другими металлическими и неметаллическими материалами, в отличие от прототипа после ионно-имплантационной обработки поверхности основного материала лопатки вначале на ее поверхность наносят слой металла толщиной от 10 нм до 30 нм, затем производят имплантационную обработку этого слоя ионами других металлических и неметаллических материалов до получения сплошного внедренного в поверхность слоя толщиной от 1 нм до 9 нм, а затем повторяют чередующееся нанесение слоев металла толщиной от 10 до 30 нм с последующей имплантацией ионов на глубину от 1 нм до 9 нм после каждого нанесения металлического слоя, причем в качестве металлов используют Ti, Zr, Hf, Cr, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, La, Eu или их соединения, а в качестве имплантируемых ионов других металлических и неметаллических материалов - Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их сочетание, при условии разнородности металлов, наносимых в качестве слоя, и металлов, имплантируемых в этот слой.

Технический результат достигается также тем, что после имплантации ионов проводят постимплантационный отпуск, причем постимплантационный отпуск и нанесение нанослойного покрытия проводят в одном вакуумном объеме за один технологический цикл.

Технический результат достигается также тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов 0,2-50 кэВ и дозе имплантации ионов 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см², но не превышающей начало распыления материала слоя, причем ионную имплантацию могут производить в импульсном и/или непрерывном режиме.

Технический результат достигается также тем, что наносят слои из металлов суммарной толщиной от 10-90% от общей толщины покрытия, а общая толщина покрытия составляет от 1,2 до 30 мкм.

Технический результат достигается также тем, что покрытие наносят только на перо и/или хвостовик лопатки.

Для оценки стойкости лопаток паровых и газовых турбин на эрозионную и коррозионную стойкость были проведены следующие испытания. На образцы из стали 20Х13 были нанесены покрытия по способу-прототипу и предлагаемому способу (таблица 1).

Таблица 1				
№ Группы образцов	Имплантируемые ионы (в основу)	Имплантируемые ионы (в покрытие)	Толщина слоев: металлического/неметаллического или имплантированного	Материал слоев и схема их чередования
1 (Прототип)	N	-	1 мкм / 2 мкм	4(-Ti-TiN-TiN ₂ -)
2	N	N	20 нм / 8 нм	-Ti-TiN-Ti-TiN ₂ -
3	Y	N	10 нм / 8 нм	-Ti-TiN-Ti-TiN ₂ -
4	Yb	N	30 нм / 6 нм	-Zr-ZrN-Zr-ZrN ₂ -

5	Cr	B	30 нм / 8 нм	-Zr-ZrB-Zr-
6	B	C	26 нм / 6 нм	-Ti-TiC-Ti-
7	Yb	C	26 нм / 6 нм	-Zr-ZrC-Zr-
8	Y+N	C и N	22 нм / 8 нм	-Cr-CrN-Cr-CrC-
9	Y+Zr	B и N	16 нм / 8 нм	-Zr-ZrB-Zr-ZrN-Zr-ZrN-
10	Y+Zr+N	C и M	10 нм / 6 нм	-W-WN-W-WC-

Режимы обработки образцов и нанесения покрытия: ионная имплантация (ионами Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti) с энергией E=0,2-50 КэВ и дозой облучения D= 2·10¹⁸ ион/см² как без отжига, так и 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 таблице 1). Общая толщина покрытия составляла величину от 1, 2 до 30 мкм.

Стойкость к солевой коррозии исследовалась по ускоренной методике. 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. Оценка коррозии производилась по потере массы образца. Образцы, обработанные по предлагаемому способу, характеризуется наименьшей потерей массы и минимальной площадью поверхности, пораженной коррозией (таблица 2).

Таблица 2

Коррозионная стойкость			
№ п/п	Результаты внешнего осмотра		Потеря массы, г
	До удаления продуктов коррозии	После удаления продуктов коррозии	
1	Продукты коррозии по всему периметру образца	Точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,2210
2	Продукты коррозии по всему периметру образца	Точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0355
3	Продукты коррозии по периметру образца	Отдельные точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0469
4	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Отдельные точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0462
5	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0393
6	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Отдельные точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0405
7	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0308
8	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0298
9	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0327
10	Продукты коррозии по отдельным участкам образца	Редко расположенные мелкие точечные повреждения по всей поверх. образца (при 4-крат. увеличении)	0,0281

Эрозионная стойкость образцов исследовалась по методике ЦИАМ (Технический отчет ЦИАМ "Экспериментальное исследование износостойкости вакуумных ионно-плазменных покрытий в запыленном потоке воздуха" №10790, 1987. - 37 с.) на пескоструйной установке 12Г-53 струйно-эжекторного типа. Для обдува

использовался молотый кварцевый песок с плотностью $\rho=2650 \text{ кг/м}^3$, твердость $HV=12000 \text{ МПа}$. 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 $2-3 \text{ г/м}^3$, что несколько выше, чем концентрация пылевых частиц на входе в авиационный двигатель в реальных условиях. Результаты испытания приведены в таблице 3. Из таблицы видно, что стойкость к эрозии у образца, обработанного по предлагаемой методике, увеличилась приблизительно в 8...12 раз, а по сравнению с прототипом в 2...3 раза.

Таблица 3					
Эрозионная стойкость					
№ п/п	Потеря массы, г	Увеличение стойкости, раз	№ п/п	Потеря массы, г	Увеличение стойкости, раз
0	8,02	-	6	0,99	8,10
1 (Прототип)	2,07	3,87	7	0,81	9,90
2	0,93	8,62	8	0,95	8,44
3	0,85	9,43	9	0,78	10,28
4	0,94	8,53	10	0,64	12,53
5	0,72	11,13			

Результаты сравнительных испытаний на коррозионную и эрозионную стойкость образцов с покрытиями показали, что предлагаемый способ нанесения нанослойного покрытия по сравнению с прототипом позволяет получать покрытия с более высокой эрозионной и коррозионной стойкостью.

Кроме того, были проведены испытания на выносливость и циклическую прочность образцов из стали 20Х13 на воздухе и коррозионной среде в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88. В результате эксперимента установлено следующее: при испытаниях на воздухе условный предел выносливости (σ_{-1}) образцов в исходном состоянии (без покрытия) составляет 320 МПа, у образцов, упрочненных по способу-прототипу, - до 380 МПа, а по предлагаемому способу - 400 МПа; при испытаниях в коррозионной среде условный предел выносливости образцов в исходном состоянии (без покрытия) составляет 180 МПа, у образцов, упрочненных по способу-прототипу, - 320 МПа, по предлагаемому способу - до 360 МПа.

Аналогичные результаты также были получены для образцов из материала ЭИ961 и 15Х11МФ.

Таким образом, проведенные сравнительные испытания показали, что применение предлагаемого способа получения ионно-плазменного нанослойного покрытия на лопатках турбомашин при использовании различных комбинаций материалов наносимых слоев и слоев, полученных путем имплантации ионов, на различных этапах формирования нанослойного покрытия позволяет увеличить по сравнению с прототипом коррозионную и эрозионную стойкость, что подтверждает заявленный технический результат предлагаемого изобретения - повышение стойкости покрытия к коррозионному и эрозионному разрушению при одновременном повышении выносливости и циклической долговечности защищаемых деталей.

Формула изобретения

1. Способ получения ионно-плазменного нанослойного покрытия на лопатке турбомашин из легированной стали, включающий ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки с последующим нанесением на нее чередующихся слоев металлов или соединений этих металлов с другими металлическими или

неметаллическими элементами, отличающийся тем, что наносят чередующиеся слои толщиной от 10 нм до 30 нм, причем после нанесения каждого слоя производят его имплантационную обработку ионами других металлических или неметаллических элементов до получения сплошного внедренного в поверхность слоя толщиной от 1 до 9 нм, при этом в качестве металлов для нанесения слоя используют Ti, Zr, Hf, Cr, V, Nb, Ta, Mo, W, Al, La, Eu, а в качестве имплантируемых ионов - ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их сочетание, при условии разнородности металлов, наносимых в качестве слоя, и металлов, имплантируемых в этот слой.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что после имплантации ионов проводят постимплантационный отпуск, причем постимплантационный отпуск и нанесение нанослойного покрытия проводят в одном вакуумном объеме за один технологический цикл.

3. Способ по любому из пп.1, 2, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов 0,2-50 кэВ и дозе имплантации ионов 10^{10} - $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

4. Способ по любому из пп.1, 2, отличающийся тем, что ионную имплантацию производят в импульсном режиме.

5. Способ по любому из пп.1, 2, отличающийся тем, что ионную имплантацию производят в непрерывном режиме.

6. Способ по п.3, отличающийся тем, что ионную имплантацию производят в импульсном режиме.

7. Способ по п.3, отличающийся тем, что ионную имплантацию производят в непрерывном режиме.

8. Способ по любому из пп.1, 2, 6, 7, отличающийся тем, что наносят слои из металлов суммарной толщиной 10-90% от общей толщины покрытия, а общая толщина покрытия составляет 1,2 - 30 мкм.

9. Способ по п.3, отличающийся тем, что наносят слои из металлов суммарной толщиной 10-90% от общей толщины покрытия, а общая толщина покрытия составляет 1,2 - 30 мкм.

10. Способ по п.4, отличающийся тем, что наносят слои из металлов суммарной толщиной 10-90% от общей толщины покрытия, а общая толщина покрытия составляет 1,2 - 30 мкм.

11. Способ по п.5, отличающийся тем, что наносят слои из металлов суммарной толщиной 10-90% от общей толщины покрытия, а общая толщина покрытия составляет 1,2 - 30 мкм.

12. Способ по любому из пп.1, 2, 6, 7, 9-11, отличающийся тем, что покрытие наносят на перо лопатки.

13. Способ по любому из пп.1, 2, 6, 7, 9-11, отличающийся тем, что покрытие наносят на хвостовик и перо лопатки.

14. Способ по п.3, отличающийся тем, что покрытие наносят на перо лопатки.

15. Способ по п.4, отличающийся тем, что покрытие наносят на перо лопатки.

16. Способ по п.5, отличающийся тем, что покрытие наносят на перо лопатки.

17. Способ по п.8, отличающийся тем, что покрытие наносят на перо лопатки.

18. Способ по п.3, отличающийся тем, что покрытие наносят на хвостовик и перо лопатки.

19. Способ по п.4, отличающийся тем, что покрытие наносят на хвостовик и перо лопатки.

20. Способ по п.5, отличающийся тем, что покрытие наносят на хвостовик и перо лопатки.