



(51) МПК
C23C 14/02 (2006.01)
C23C 14/16 (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015107180/02, 02.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 02.03.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.03.2015

(45) Опубликовано: 27.05.2016 Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2165475 C2, 20.04.2001. RU 2373302 C2, 20.11.2009. RU 2413035 C2, 27.02.2011. EP 264654 A1, 27.04.1988. US 4904542 A1, 27.02.1990.

Адрес для переписки:

450000, Респ. Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ, ОИС, Ефремовой В.П.

(72) Автор(ы):

Смыслов Анатолий Михайлович (RU),
 Дыбленко Юрий Михайлович (RU),
 Мингажев Аскар Джамилевич (RU),
 Таминдаров Дамир Рамильевич (RU),
 Бекличеев Павел Васильевич (RU),
 Смыслова Марина Константиновна (RU),
 Гордеев Вячеслав Юрьевич (RU),
 Григорьев Алексей Владимирович (RU),
 Юрченко Дмитрий Николаевич (RU),
 Скворцов Евгений Витальевич (RU),
 Живушкин Алексей Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный авиационный технический университет" (RU)

(54) СПОСОБ ЗАЩИТЫ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ОТ ЭРОЗИИ И СОЛЕВОЙ КОРРОЗИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения и металлургии и может использоваться в авиационном и энергетическом турбостроении для защиты пера лопаток компрессора от эрозии и солевой коррозии при температурах эксплуатации до 800°C. Подготавливают поверхности пера лопатки под нанесение покрытия. Наносят первый слой покрытия из сплава на основе Ni, содержащего Co, Cr, Al, Y, наносят на первый слой второй слой из сплава на основе Al, содержащего Y, и термообработывают лопатки с покрытием. При этом подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия осуществляют электролитно-плазменным полированием, затем осуществляют

ионно-имплантационную обработку лопаток, а далее производят нанесение упомянутых слоев покрытия, причем ионно-имплантационную обработку лопаток проводят при энергии от 20 до 30 кэВ, дозой от $1,6 \cdot 10^{17}$ см⁻² до $2 \cdot 10^{17}$ см⁻², со скоростью набора дозы от $0,7 \cdot 10^{15}$ с⁻¹ до $1 \cdot 10^{15}$ с⁻¹, используя в качестве имплантируемых ионов следующие ионы: N, Cr, Ni, Co, Y, Yb, La или их комбинацию, а электролитно-плазменное полирование проводят при напряжении 260-320 В в электролите: 4-8% водный раствор сульфата аммония, при температуре 60-80°C. 2 з.п. ф-лы, 1 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C23C 14/02 (2006.01)*C23C 14/16* (2006.01)*C23C 14/48* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2015107180/02, 02.03.2015**(24) Effective date for property rights:
02.03.2015

Priority:

(22) Date of filing: **02.03.2015**(45) Date of publication: **27.05.2016** Bull. № 15

Mail address:

**450000, Resp. Bashkortostan, g. Ufa, ul. K. Marksa,
12, UGATU, OIS, Efremovoj V.P.**

(72) Inventor(s):

**Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),
Dyblenko YUrij Mikhajlovich (RU),
Mingazhev Askar Dzhamilovich (RU),
Tamindarov Damir Ramilevich (RU),
Beklicheev Pavel Vasilevich (RU),
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),
Gordeev Vyacheslav YUrevich (RU),
Grigorev Aleksej Vladimirovich (RU),
YUrchenko Dmitrij Nikolaevich (RU),
Skvortsov Evgenij Vitalevich (RU),
ZHivushkin Aleksej Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
professionalnogo obrazovaniya "Ufimskij
gosudarstvennyj aviatsionnyj tekhnicheskij
universitet" (RU)**(54) **METHOD FOR PROTECTION OF TURBOMACHINE BLADE MADE FROM ALLOYED STEEL AGAINST EROSION AND SALT CORROSION**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: invention relates to machine building and metallurgy and can be used in aircraft and power turbine engineering for compressor blade body protection against erosion and salt corrosion at operating temperatures of up to 800 °C. Prepared surface of blade airfoil for coating application. First coating layer is applied from Ni-based alloy containing Co, Cr, Al, Y, second layer from Al-based alloy containing Y is applied on first layer, and thermal treatment of blade with coating is performed. At that, blade airfoil surface preparation for coating application is performed by electrolyte-plasma polishing and ion-implanted processing of blades, and then, said application of

coating layers, wherein ion-implanted processing of blades is performed at energy from 20 to 30 keV in dose of $1.6 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ - $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$, at set dose rate from $0.7 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ up to $1 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$, using following ions as implanted ions: N, Cr, Ni, Co, Y, Yb, La or their combination, and electrolyte-plasma polishing is performed at voltage of 260-320 V in electrolyte: 4-8 % aqueous solution of ammonium sulphate at temperature of 60-80 °C.

EFFECT: compressor blade body protection against erosion and salt corrosion at operating temperatures of up to 800 °C.

3 cl, 1 ex

Изобретение относится к области машиностроения и металлургии и может использоваться в авиационном и энергетическом турбостроении для защиты пера лопаток компрессора от эрозии и солевой коррозии при температурах эксплуатации до 800°C.

5 Известен гальванический способ нанесения никель-кадмиевого (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 эрозионная стойкость покрытия, экологический вред гальванического производства, а также вероятность
10 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
15 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°C), которая
20 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 эрозии и солевой коррозии
25 (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 "Способ защиты стальных деталей машин от солевой коррозии", МПК7 C23C 14/16, 30/00, C22C 19/05, 21/04,
30 20.04.2001).

Основным недостатком этого способа является обеспечение недостаточно высокой эрозионной стойкости наносимого покрытия из-за малой толщины и твердости. При увеличении толщины покрытия происходит снижение ее усталостной и адгезионной прочности, что ухудшает эксплуатационные свойства деталей.

35 Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является способ защиты лопаток турбомашин из легированных сталей от эрозии и солевой коррозии, включающий подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия, нанесение первого слоя покрытия из сплава на основе никеля, содержащего хром, кобальт, алюминий, иттрий, нанесение на первый слой второго
40 слоя из сплава на основе алюминия, содержащего иттрий, и термообработку детали с покрытием (Патент РФ №2165475, МПК C23C 14/16, 20.04.2001).

Основным недостатком аналога является низкая коррозионная и эрозионная стойкость, а также низкая циклическая прочность компрессорных лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) и лопаток паровых турбин.

45 Техническим результатом заявляемого способа является повышение стойкости покрытия к эрозии и солевой коррозии при одновременном повышении выносливости, циклической прочности.

Это достигается тем, что в способе защиты лопаток турбомашин из легированных

сталей от эрозии и солевой коррозии, включающем подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия, нанесение первого слоя покрытия из сплава на основе Ni, содержащего Co, Cr, Al, Y, нанесение на первый слой второго слоя из сплава на основе Al, содержащего Y, и термообработку детали с покрытием, в отличие от прототипа подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия осуществляют электролитно-плазменным полированием, затем осуществляют ионно-имплантационную обработку лопаток, а далее производят нанесение упомянутых слоев покрытия, причем ионно-имплантационную обработку лопаток проводят при энергии от 20 до 30 кэВ, дозой от $1,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ до $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, со скоростью набора дозы от $0,7 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ до $1 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$, используя в качестве имплантируемых ионов, следующие ионы: N, Cr, Ni, Co, Y, Yb, La или их комбинацию, а электролитно-плазменное полирование проводят при напряжении 260-320 В в электролите: 4-8% водный раствор сульфата аммония, при температуре 60-80°C, кроме того, покрытие может быть нанесено следующим образом: первый слой покрытия наносится из сплава на основе Ni, содержащего компоненты в следующем соотношении, мас. %: Cr - 16-26%, Co - 16-26%, Al - 9-15%, Y - 0,2-0,7%, Ni - остальное, а нанесение второго слоя покрытия производят из сплава на основе Al, дополнительно содержащего Si и Co, при следующем соотношении компонентов, мас. %: Si - 7-11%, Co - 7-14%, Y - 0,2-0,7%, Al - остальное; согласно изобретению толщина первого слоя составляет 5-7 мкм, а толщина второго слоя составляет 5-7 мкм, термообработку лопатки с покрытием проводят при температуре 580-620°C в течение 3-6 ч.

Использование высокоэнергетических методов ионно-имплантационной обработки и нанесения ионно-плазменных покрытий позволяет применять для подготовки поверхности под нанесение покрытия электролитно-плазменное полирование. При этом покрытие, сформированное на полированной поверхности, имеет высокую адгезию и незначительную шероховатость ($Ra=0,08 \dots 0,04 \text{ мкм}$), что приводит к повышению циклической прочности деталей. При этом нанесение в качестве первого слоя покрытия сплава на основе никеля, дополнительно содержащего кобальт, а в качестве второго слоя нанесение покрытия алюминиевого сплава, содержащего кремний, иттрий и кобальт, при приведенном выше соотношении компонентов и последующая термообработка покрытия, проводимая в твердой фазе без оплавления сплава на основе алюминия, приводит к образованию во внешнем слое покрытия фаз на основе Ni-Al, Co-Al, Cr-Si и выделению избытка хрома в виде фазы -Cr при оптимальном их соотношении, а также закрытию незначительной пористости первого слоя покрытия за счет диффузионных процессов между слоями композиции при ее термообработке, позволяет почти на порядок повысить стойкость к солевой коррозии стальных лопаток компрессора газотурбинного двигателя или лопаток паровых турбин.

Пример конкретной реализации способа.

Для оценки стойкости лопаток паровых турбин и лопаток компрессора газотурбинных двигателей к их сопротивлению эрозионному износу и солевой коррозии были проведены следующие испытания. На образцы из высоколегированных сталей и сплавов на никелевой основе 20X13, 15X11МФ, ЭИ961, ЭП866ш (15X16K5H2МВФАБш), ЭП718 (ХН45МВТЮБРш), ЭП708 были нанесены покрытия как по способу-прототипу (Патент РФ №2165475, МПК С23С 14/16, 20.04.2001), согласно приведенных в способе-прототипе условий и режимов нанесения, так и покрытия по предлагаемому способу.

Коррозионная стойкость деталей с покрытиями исследовалась на плоских образцах $20 \times 40 \times 1,5 \text{ мм}$ по методике ускоренных циклических испытаний по режиму: нагрев до температуры 600°C и выдержка 1 час, охлаждение на воздухе 2 минуты, охлаждение в

3% растворе NaCl, выдержка в течение 22-24 часов во влажной камере. Также на лопатках определялся предел выносливости, причем за 100% был принят предел выносливости лопаток без покрытия.

Удовлетворительным результатом (У.Р.) считалось покрытие, повышающее не менее чем в 2,5-3 раза сопротивление материала основы к коррозионному растрескиванию под напряжением при $K=(0,3-0,8)$ от 0,2 при испытаниях в камере солевого тумана и камере тропического климата после предварительного длительного нагрева (500 часов) при $t=450^{\circ}\text{C}$.

У.Р. считалось покрытие, обеспечивающее снижение предела выносливости на лопатках не более чем на 10% от значения предела выносливости лопаток без покрытия.

У.Р. считалось покрытие, обеспечивающее повышение эрозионной стойкости лопаток не менее чем в 1,5 раз по сравнению с прототипом (Патент РФ №2165475).

Режимы обработки образцов и нанесения покрытия по предлагаемому способу.

Электролитно-плазменное полирование проводили, погружая детали в водный раствор электролита и прикладывая к ним положительное по отношению к электролиту электрическое напряжение. Полирование осуществляли до обеспечения шероховатости не ниже $R_a=0,04\dots 0,08$ мкм. Режимы полирования: напряжение 260-320 В (250 В - Неудовлетворительный результат (Н.Р.); 250 В - (У.Р.); 290 В - (У.Р.); 320 В - (У.Р.); 330 В - (Н.Р.)), электролит: 4-8% сульфат аммония (3% - (Н.Р.), 4% - (У.Р.), 8% - (У.Р.), 9% - (Н.Р.)), температура 60-80°C (50°C - (Н.Р.), 60°C - (У.Р.), 80°C - (У.Р.), 90°C - (Н.Р.)).

Ионная имплантация ионами N, Cr, Ni, Co, Y, Yb, La или их комбинацией: энергия - 17 кэВ (Н.Р.); 20 кэВ (У.Р.); 25 кэВ (У.Р.); 30 кэВ (У.Р.); 40 кэВ (Н.Р.); доза - $1,2\cdot 10^{17}$ см⁻² (Н.Р.); $1,6\cdot 10^{17}$ см⁻² (У.Р.); $2\cdot 10^{17}$ см⁻² (У.Р.); $3\cdot 10^{17}$ см⁻² (Н.Р.); скорость набора дозы - $0,4\cdot 10^{15}$ с⁻¹ (Н.Р.); $0,7\cdot 10^{15}$ с⁻¹ (У.Р.); $1\cdot 10^{15}$ с⁻¹ (У.Р.); $3\cdot 10^{15}$ с⁻¹ (Н.Р.).

Первый слой покрытия наносился из сплава на основе никеля, содержащего компоненты в следующем соотношении, мас. %: (Cr - 14% (Н.Р.); Cr - 16% (У.Р.); Cr - 20% (У.Р.); Cr - 26% (У.Р.); Cr - 28% (Н.Р.). Co - 14% (Н.Р.); Co - 16% (У.Р.); Co - 20% (У.Р.); Co - 26% (У.Р.); Co - 28% (Н.Р.). Al - 7% (Н.Р.), Al - 9% (У.Р.), Al - 12% (У.Р.), Al - 15% (У.Р.), Al - 17% (Н.Р.). Y - 0,1% (Н.Р.), Y - 0,2% (У.Р.), Y - 0,5% (У.Р.), Y - 0,7% (У.Р.), Y - 0,9% (Н.Р.), Ni, во всех случаях - остальное).

Второй слой покрытия наносился из сплава на основе алюминия, дополнительно содержащего Si и Co, при следующем соотношении компонентов, мас. %: Si - 7-11%, Co - 7-14%, Y - 0,2-0,7%, Al - остальное.

Толщина первого слоя бралась: 4 мкм (Н.Р.), 5 мкм (У.Р.), 7 мкм (У.Р.), 9 мкм (Н.Р.). Толщина второго слоя бралась: 4 мкм (Н.Р.), 5 мкм (У.Р.), 7 мкм (У.Р.), 9 мкм (Н.Р.).

Термообработку лопатки с покрытием проводили при температуре: 570°C (Н.Р.), 580°C (У.Р.), 620°C (У.Р.), 630°C (Н.Р.), в течение: 2 ч. (Н.Р.), 3 ч. (У.Р.), 6 ч. (У.Р.), 7 ч. (Н.Р.). Оптимальный режим термообработки: 580-620°C в течение 4-6 часов на воздухе.

Таким образом, использование в предлагаемом способе защиты лопаток турбомашин из легированных сталей от эрозии и солевой коррозии следующих признаков: подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия; нанесение первого слоя покрытия из сплава на основе Ni, содержащего Co, Cr, Al, Y; нанесение на первый слой второго слоя из сплава на основе Al, содержащего Y; термообработку детали с покрытием; подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия электролитно-плазменным полированием; осуществление ионно-имплантационной обработки лопаток; нанесение упомянутых слоев покрытия; ионно-имплантационную обработку лопаток проводят при энергии от 20 до 30 кэВ, дозой от $1,6\cdot 10^{17}$ см⁻² до $2\cdot 10^{17}$ см⁻², со скоростью

набора дозы от $0,7 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ до $1 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$; использование в качестве имплантируемых ионов ионов: N, Cr, Ni, Co, Y, Yb, La, или их комбинации; электролитно-плазменное полирование при напряжении 260-320 В, в электролите: 4-8% водного раствора сульфата аммония при температуре 60-80°C; нанесение первого слоя покрытия из сплава на основе Ni, содержащего компоненты в следующем соотношении, мас. %: Cr - 16-26%, Co - 16-26%, Al - 9-15%, Y - 0,2-0,7%, Ni - остальное; нанесение второго слоя покрытия производят из сплава на основе Al, дополнительно содержащего Si и Co, при следующем соотношении компонентов, мас. %: Si - 7-11%, Co - 7-14%, Y - 0,2-0,7%, Al - остальное; толщина первого слоя составляет 5-7 мкм; толщина второго слоя составляет 5-7 мкм; термообработку лопатки с покрытием проводят при температуре 580-620°C в течение 3-6 ч, позволяет достичь технического результата заявляемого способа, которым является повышение стойкости покрытия к эрозии и солевой коррозии при одновременном повышении выносливости, циклической прочности.

Формула изобретения

1. Способ защиты лопаток турбомашин из легированных сталей от эрозии и солевой коррозии, включающий подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия, нанесение первого слоя покрытия из сплава на основе Ni, содержащего Co, Cr, Al, Y, нанесение на первый слой второго слоя из сплава на основе Al, содержащего Y, и термообработку лопатки с покрытием, отличающийся тем, что подготовку поверхности пера лопатки под нанесение покрытия осуществляют электролитно-плазменным полированием, затем осуществляют ионно-имплантационную обработку лопаток с последующим нанесением упомянутых слоев покрытия, причем ионно-имплантационную обработку лопаток проводят при энергии от 20 до 30 кэВ, дозой от $1,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ до $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, со скоростью набора дозы от $0,7 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ до $1 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ и использованием в качестве имплантируемых ионов N, Cr, Ni, Co, Y, Yb, La или их комбинации, а электролитно-плазменное полирование проводят при напряжении 260-320 В в 4-8% водном растворе сульфата аммония при температуре 60-80°C.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что первый слой покрытия наносят из сплава на основе Ni, содержащего компоненты в следующем соотношении, мас. %: Cr - 16-26%, Co - 16-26%, Al - 9-15%, Y - 0,2-0,7%, Ni - остальное, а нанесение второго слоя покрытия производят из сплава на основе Al, дополнительно содержащего Si и Co, при следующем соотношении компонентов, мас. %: Si - 7-11%, Co - 7-14%, Y - 0,2-0,7%, Al - остальное.

3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что толщина первого слоя составляет 5-7 мкм, толщина второго слоя составляет 5-7 мкм, а термообработку лопатки с покрытием проводят при температуре 580-620°C в течение 3-6 ч.