



(51) МПК  
*C23C 14/06* (2006.01)  
*C23C 14/48* (2006.01)  
*B82Y 30/00* (2011.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*C23C 14/06 (2019.02); C23C 14/48 (2019.02); B82Y 30/00 (2019.02)*

(21)(22) Заявка: 2018145607, 21.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 21.12.2018

Дата регистрации:  
 03.06.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2018

(45) Опубликовано: 03.06.2019 Бюл. № 16

Адрес для переписки:  
 119334, Москва, ул. Косыгина, 5, кв. 35,  
 Щедрина М.Б.

(72) Автор(ы):

Качалин Геннадий Викторович (RU),  
 Медников Алексей Феликсович (RU),  
 Медведев Константин Сергеевич (RU),  
 Сидоров Сергей Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Дальневосточная  
 генерирующая компания" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2554828 C2, 27.06.2015. RU  
 2515714 C1, 20.05.2014. RU 2559612 C1,  
 10.08.2015. RU 2479669 C2, 20.04.2013. RU  
 2106429 C1, 10.03.1998. RU 2010115737 A,  
 27.10.2011. EA 2682 B1, 29.08.2002. UA 98226  
 C2, 25.04.2012. WO 2006073435 A2, 13.07.2006.  
 JP 2163366 A, 22.06.1990.

(54) Способ нанесения коррозионностойкого покрытия на поверхность стальной лопатки паровой турбины

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу нанесения защитных покрытий на стальные лопатки влажнопаровых ступеней турбин. Способ включает электролитно-плазменную полировку лопатки, ее размещение в вакуумной камере, нагрев вакуумной камеры, откачку из нее воздуха, очистку и травление поверхности лопатки ионами инертного газа. Затем на поверхности лопатки попарно формируют нанокompозитные микрослои из титана с алюминием и из нитрида

титана с нитридом алюминия. Микрослои из нитрида титана с нитридом алюминия формируют толщиной  $1,35 \pm 0,15$  мкм, суммарная толщина каждой формируемой пары микрослоев составляет  $1,75 \pm 0,25$  мкм, а общее число пар микрослоев в покрытии составляет шесть или семь. Технический результат изобретения заключается в увеличении ресурса покрытия за счет повышения его коррозионной и усталостной стойкости. 1 з.п. ф-лы, 1 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C23C 14/06* (2006.01)  
*C23C 14/48* (2006.01)  
*B82Y 30/00* (2011.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*C23C 14/06 (2019.02); C23C 14/48 (2019.02); B82Y 30/00 (2019.02)*(21)(22) Application: **2018145607, 21.12.2018**(24) Effective date for property rights:  
**21.12.2018**Registration date:  
**03.06.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **21.12.2018**(45) Date of publication: **03.06.2019** Bull. № 16

Mail address:

**119334, Moskva, ul. Kosygina, 5, kv. 35, Shchedrinu  
M.B.**

(72) Inventor(s):

**Kachalin Gennadij Viktorovich (RU),  
Mednikov Aleksej Feliksovich (RU),  
Medvedev Konstantin Sergeevich (RU),  
Sidorov Sergej Vasilevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aktsionernoe obshchestvo "Dalnevostochnaya  
generiruyushchaya kompaniya" (RU)**(54) **METHOD OF APPLYING A CORROSION-RESISTANT COATING ON THE SURFACE OF A STEEL  
BLADE OF A STEAM TURBINE**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to application of protective coatings on steel blades of humid steam turbine stages. Method includes electrolytic-plasma polishing of blade, its placement in vacuum chamber, heating of vacuum chamber, pumping of air from it, cleaning and etching of blade surface with ions of inert gas. Then nanocomposite microlayers of titanium with aluminum and titanium nitride with aluminum nitride

are pairwise formed on the blade surface. Microlayers of titanium nitride with aluminum nitride are formed with thickness of  $1.35 \pm 0.15$  mcm, total thickness of each formed pair of microlayers is  $1.75 \pm 0.25$  mcm, and the total number of pairs of microlayers in the coating is six or seven.

EFFECT: increasing service life of coating due to increase of its corrosion and fatigue resistance.

1 cl, 1 tbl

Область техники

Изобретение относится к области энергетического машиностроения, в частности, к способам нанесения защитных покрытий на стальные лопатки влажнопаровых ступеней турбин.

5 Уровень техники

Известен способ защиты лопаток турбин (патент RU №2585580, опубл. 27.05.2016, МПК C23C 14/48), включающий подготовку поверхности под нанесение покрытия с использованием электролитно-плазменной полировки, нанесение первого слоя покрытия из сплава на основе никеля, нанесение на первый слой второго слоя из сплава на основе алюминия и термообработку лопатки с покрытием [RU 2585580, опубл. 27.05.2016].

Недостатком данного технического решения является узкая область применения, обусловленная низкой эффективностью применения данного способа для защиты лопаток больших турбин.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является способ нанесения покрытия на лопатку турбины, включающий электролитно-плазменную полировку лопатки, ее размещение в вакуумной камере, нагрев вакуумной камеры и откачку из нее воздуха, очистку и травление поверхности лопатки ионами инертного газа с последующим попарным формированием на указанной поверхности нанокompозитных микрослоев из титана с алюминием и из нитрида титана с нитридом алюминия [RU №2515714, опубл. 20.05.2014].

Согласно прототипу перед формированием покрытия защищаемую поверхность азотируют для повышения ее твердости, после нанесения каждого из микрослоев проводят ионную очистку поверхности аргоном, толщина микрослоя из нанокompозита металлов титана и алюминия составляет  $0,5\pm 0,1$  мкм, толщина микрослоя из нанокompозита нитридов титана и алюминия составляет  $2,75\pm 0,25$  мкм, а общая толщина покрытия  $6,5\pm 0,7$  мкм.

Твердая азотированная поверхность демпфирует напряжения, возникающие в микрослоях покрытия от удара капель. Увеличенное время противостояния каплеударному воздействию определяет высокую эрозионную стойкость покрытия, нанесенного по способу-прототипу. Недостаток прототипа состоит в том, что после каплеударного и усталостного разрушения микрослоев покрытия, нанесенных на азотированную поверхность, она быстро повреждается при работе в коррозионно-активной среде. Это приводит к низким показателям покрытия, получаемого способом-прототипом, по коррозионной стойкости и усталостным характеристикам.

35 Раскрытие сущности изобретения

Технической задачей предлагаемого изобретения является повышение коррозионных свойств и усталостных характеристик покрытия с сохранением его высокой эрозионной стойкости.

Технический результат изобретения заключается в увеличении ресурса покрытия за счет повышения его коррозионной и усталостной стойкости.

Предметом изобретения является способ нанесения коррозионностойкого покрытия на лопатку турбины, включающий электролитно-плазменную полировку лопатки, ее размещение в вакуумной камере, нагрев вакуумной камеры и откачку из нее воздуха, очистку и травление поверхности лопатки ионами инертного газа с последующим попарным формированием на указанной поверхности нанокompозитных микрослоев из титана с алюминием и из нитрида титана с нитридом алюминия, отличающийся тем, что микрослои из нитрида титана с нитридом алюминия формируют толщиной  $1,35\pm 0,15$  мкм, суммарная толщина каждой формируемой пары микрослоев составляет  $1,75\pm 0,25$

мкм, а общее число пар микрослоев в покрытии составляет шесть или семь.

Изобретение имеет развитие, которое состоит в том, что электролитно-плазменную полировку лопатки проводят в  $9,5 \pm 2,5\%$  водном растворе сульфата аммония с поддержанием его слабощелочной реакции и температуры  $80 \pm 10^\circ\text{C}$  при напряжении на лопатке  $315 \pm 15$  В.

Осуществление изобретения с учетом его развития

Покрытие на лопатке формируют в вакуумной камере с помощью магнетронов.

Перед размещением в вакуумной камере проводят электролитно-плазменную полировку лопатки, уменьшающую шероховатость ее поверхности и, тем самым, улучшающую адгезию к покрытию. Для этого лопатку погружают в электролит - раствор сульфата аммония, который подогревают для формирования парогазовой оболочки вокруг лопатки, и прикладывают к лопатке положительное постоянное напряжение.

После проведения полировки лопатку размещают на карусели в вакуумной камере с двумя магнетронами, в одном из которых установлена мишень из титана, а в другом - из алюминия. Затем вакуумную камеру нагревают, откачивают из нее воздух, производят очистку и травление поверхности лопатки ионами инертного газа, завершая подготовку к нанесению покрытия. Вышеуказанные подготовительные операции могут быть проведены в режимах прототипа (см. описание к патенту RU 2515714).

Азотирование поверхности, выполняемое, согласно прототипу, перед нанесением покрытия, не производится.

При формировании покрытия лопатка, вращаясь на карусели, циклически проходит перед обоими магнетронами. В камеру периодически подают реакционный газ - азот. При этом на поверхности лопатки синтезируется нанокompозит из двух материалов:

из титана с алюминием (при отсутствии в камере азота) или из нитрида титана с нитридом алюминия (при наличии в камере азота). В процессе многократного прохождения лопатки перед магнетронами на ее поверхности образуется: в первом случае - нанокompозитный микрослой из металлов (титана с алюминием), а во втором случае - из нитридов этих металлов.

Покрытие формируется из нескольких пар микрослоев, каждую из которых образуют микрослой из металлов и нанесенный поверх него микрослой из нитридов. Микрослой из металлов способствует повышению коррозионной стойкости и пластичности покрытия, а микрослой из нитридов - повышению твердости и износостойкости. Первым на поверхность лопатки наносят микрослой из нанокompозита металлов, который имеет высокую адгезию и беспористость, что необходимо для прочности всего покрытия в целом и его коррозионной стойкости.

Толщины микрослоев покрытия задают длительностью работы магнетронов в соответствующих режимах (или числом циклов вращения карусели).

В отличие от прототипа нанесение указанных видов нанокompозитных микрослоев чередуют непрерывно, без проведения ионной очистки каждого микрослоя аргоном.

Нанесение нанокompозитного микрослоя из нитридов металлов (при подаче в камеру азота) выполняют в течение времени, необходимого для получения микрослоя толщиной  $1,35 \pm 0,15$  мкм, а время для нанесения пары соседних микрослоев устанавливают с возможностью получения их суммарной толщины  $1,75 \pm 0,25$  мкм. (Значения толщин приводятся с допусками, учитывающими технологическую погрешность и инерционность описанного процесса нанесения многослойного покрытия).

Согласно заявляемому способу на поверхность лопатки наносят шесть или семь таких пар. Такое количество более тонких, чем у прототипа, пар микрослоев

повышает демпфирующую способность покрытия и, тем самым, увеличивает его стойкость к каплеударному воздействию. Это способствует лучшей устойчивости к коррозии (поскольку покрытие, не разрушенное ударами капель, препятствует контакту коррозионно-активной среды с поверхностью стальной лопатки) и, в результате, приводит к повышению усталостной прочности и срока службы лопатки.

Основные параметры режима электролитно-плазменной полировки (напряжение, температура и кислотный показатель pH раствора) влияют на шероховатость защищаемой поверхности. Согласно развитию заявляемого способа электролитно-плазменную полировку проводят, поддерживая следующий режим: температура  $80 \pm 10^\circ\text{C}$ , напряжение  $315 \pm 15\text{ В}$ , концентрация раствора в  $9,5 \pm 2,5\%$ . При этом в процессе полировки контролируют и поддерживают слабощелочную реакцию ( $\text{pH} > 7$ ) электролита (например, добавляя в него гидроксид натрия NaOH).

Такой режим электролитно-плазменной полировки (его параметры приведены с учетом технологических допусков), повышает адгезию лопаточных сталей к наносимому покрытию, и как следствие, дополнительно улучшает его усталостные характеристики.

Для сопоставления эрозионной и коррозионной стойкости, а также усталостной прочности покрытия, нанесенного предлагаемым способом, с соответствующими характеристиками покрытия, нанесенного способом-прототипом, были проведены сравнительные испытания образцов из лопаточной стали.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Группа образцов	Число пар нанокompозитных микрослоев покрытия	Относительная эрозионная стойкость	Относительная коррозионная стойкость	Относительная усталостная прочность
I	2 или 6	1,0	1,0	1,0
II	6	1,0	3,0	1,1
III	7	1,0	3,2	1,1
IV	6	1,1	3,8	1,2
V	7	1,1	4,0	1,2

Образцы группы (I) имели покрытия, нанесенные способом-прототипом, включая электролитно-плазменную полировку в известном режиме (параметры известного режима полировки приведены, например, в описании к патенту RU 2585580) и азотирование поверхности.

Образцы групп (II-III) - это образцы с покрытиями, нанесенными согласно заявленному способу без учета его развития, т.е. образцы с покрытиями на поверхности, подготовленной с проведением электролитно-плазменной полировки по прототипу, но без азотирования, нанесенные с соответствующими значениями толщин и количества пар микрослоев без ионной очистки каждого нанесенного микрослоя аргоном. Образцы групп (IV-V) имели покрытия, нанесенные по заявляемому способу с учетом его развития, т.е. нанесенные аналогично, но на поверхности, подготовленные с проведением электролитно-плазменной полировки в режиме, соответствующем развитию заявляемого способа.

Группа (I) являлась контрольной. Стойкость образцов других групп определялась по отношению к усталостной прочности, эрозионной и коррозионной стойкости

образцов группы (I).

Эрозионные испытания проводились на гидроударном стенде «Эрозия-М».

Испытания на стойкость к питтинговой коррозии проводились с использованием электронного потенциостата IPC-Pro MF и открытой трехэлектродной

5 термостатированной ячейки методом анодной поляризации с определением потенциалов и базисов питтингостойкости в водной среде, типа загрязненной хлоридами оборотной воды. Исследования на усталость при чистом изгибе с вращением на базе  $10^7$  циклов проводились на установке КУ-1.

10 Из табл. 1 следует, что образцы с покрытием, нанесенным предлагаемым способом, обладают повышенной в  $3,0\div 4,0$  раза стойкостью к питтинговой коррозии и повышенной на  $10\div 20\%$  усталостной прочностью. При этом они не уступают образцам контрольной группы (I) с покрытием, нанесенным способом-прототипом, по эрозионной стойкости.

15 Как видно из вышеизложенного, способ, характеризующийся заявляемой совокупностью признаков, обеспечивает нанесение эрозионностойкого покрытия, обладающего повышенной коррозионной стойкостью и лучшими усталостными характеристиками, что позволяет увеличить ресурс лопаток турбин, работающих в коррозионно-активной среде.

#### (57) Формула изобретения

20 1. Способ нанесения покрытия на лопатку турбины, включающий электролитно-плазменную полировку лопатки, размещение лопатки в вакуумной камере, нагрев вакуумной камеры и откачку из нее воздуха, очистку и травление поверхности лопатки ионами инертного газа с последующим попарным формированием на поверхности лопатки нанокompозитных микрослоев из титана с алюминием и из нитрида титана с

25 нитридом алюминия, отличающийся тем, что микрослои из нитрида титана с нитридом алюминия формируют толщиной  $1,35\pm 0,15$  мкм, при этом суммарная толщина каждой формируемой пары микрослоев составляет  $1,75\pm 0,25$  мкм, причем покрытие формируют с общим числом пар микрослоев, равным шести или семи.

30 2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что электролитно-плазменную полировку лопатки проводят в  $9,5\pm 2,5\%$  водном растворе сульфата аммония с поддержанием его слабощелочной реакции и температуры  $80\pm 10^\circ\text{C}$  при напряжении на лопатке  $315\pm 15$  В.

35

40

45