



(51) МПК
C23C 30/00 (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009116343/02, 28.04.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 28.04.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.04.2009

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2010 Бюл. № 31

(45) Опубликовано: 27.01.2012 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: RU 2264480 C2, 20.11.2005. RU 2078148
 C1, 27.04.1997. RU 2165478 C2, 20.04.2001. JP
 11-172463 A, 29.06.1999. JP 10-219476 A,
 18.08.1998.

Адрес для переписки:

450081, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.
 Шота Руставели, 49, ООО "ПП
 "Турбинаспецсервис"

(72) Автор(ы):

Смыслов Анатолий Михайлович (RU),
 Смыслова Марина Константиновна (RU),
 Мингажев Аскар Джамилевич (RU),
 Дыбленко Юрий Михайлович (RU),
 Быбин Андрей Александрович (RU),
 Новиков Антон Владимирович (RU),
 Бекличеев Павел Васильевич (RU),
 Петухов Игорь Геннадиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной
 ответственностью "Производственное
 предприятие "Турбинаспецсервис" (RU)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЖАРОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к методам нанесения защитных покрытий на лопатки энергетических и транспортных турбин, в частности газовых турбин авиадвигателей. Технический результат - повышение жаростойкости покрытия при одновременном повышении его выносливости и циклической прочности деталей с покрытием. Способ включает ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки, формирование внутреннего жаростойкого слоя и нанесение внешнего жаростойкого слоя с его ионной имплантацией. Ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки производят

ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si. При этом в качестве материала для формирования внутреннего жаростойкого слоя используют сплав состава: Cr - 18% до 30%, Al - 5% до 13%, Y - от 0,2% до 0,65%, Ni - остальное. В качестве материала для формирования внешнего жаростойкого слоя используют сплав состава: Si - от 4,0% до 12,0%; Y - от 1,0 до 2,0%; Al - остальное. Причем нанесение внешнего жаростойкого слоя чередуют с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, с формированием внешнего жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями. 24 з.п. ф-лы, 3 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C23C 30/00 (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2009116343/02, 28.04.2009**

(24) Effective date for property rights:
28.04.2009

Priority:

(22) Date of filing: **28.04.2009**

(43) Application published: **10.11.2010 Bull. 31**

(45) Date of publication: **27.01.2012 Bull. 3**

Mail address:

450081, Respublika Bashkortostan, g.Ufa, ul. Shota Rustaveli, 49, OOO "PP "Turbinaspets servis"

(72) Inventor(s):

**Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU),
Dyblenko Jurij Mikhajlovich (RU),
Bybin Andrej Aleksandrovich (RU),
Novikov Anton Vladimirovich (RU),
Beklicheev Pavel Vasil'evich (RU),
Petukhov Igor' Gennadievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
"Proizvodstvennoe predpriyatie
"Turbinaspets servis" (RU)**

(54) **METHOD OF PRODUCING REFRACTORY COAT**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: proposed method comprises ion-plasma preparation and ion-implanting vane surface treatment, and vacuum-plasma application of heat-resisting layer. Ion-implanting treatment of vane surface is performed by ions of one or several elements selected from Nb, Pt, YB, Y, La, Hf, Cr, Si. Note here that following material for producing inner heat-resisting layer is used with composition that follows in wt %: Cr - 18-30, Al - 5-13, Y - 0.2-0.65, Ni making the rest. Note here that following material

for producing outer heat-resisting layer is used with composition that follows in wt %: Si - 4.0-12.0, Y - 1.0-2.0, Al making the rest. Note here that application of outer heat-resisting layer is alternated with periodic implantation by ions of one or several elements Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si to make said outer heat-resisting layer made up of micro layers separated be implanted micro- or nano-layers.

EFFECT: higher heat resistance, longer life and higher cyclic strength.

25 cl, 3 tbl

RU 2 4 4 1 1 0 4 C 2

RU 2 4 4 1 1 0 4 C 2

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к методам нанесения жаростойких покрытий на лопатки энергетических и транспортных турбин, в особенности газовых турбин авиадвигателей.

5 Газотурбинные установки и двигатели находят все более широкое применение в современной технике: двигатели самолетов и вертолетов, судовые газотурбинные двигатели, энергетические ГТУ и газоперекачивающие агрегаты. К основным деталям, определяющим надежность, экономичность и ресурс их работы, относятся рабочие лопатки турбины. Длительная эксплуатация лопаточного аппарата турбины
10 возможна лишь при условии изготовления рабочих лопаток из жаропрочных сплавов на никелевой или кобальтовой основе. В процессе эксплуатации лопатки подвергаются воздействию повышенных механических нагрузок, высоких температур и агрессивных сред. Результатом такого комплексного воздействия на деталь является ее быстрый выход из строя, что не обеспечивает требуемого ресурса изделия в целом.
15 Для решения проблемы повышения работоспособности лопаток турбины используются различные эффективные защитные покрытия [1. Химико-термическая обработка жаропрочных сталей и сплавов / Н.В.Абраимов, Ю.С.Елисеев. - М.: Интермет Инжиниринг, 2001. - 622 с.]. Применяемые для защиты лопаток жаростойкие покрытия, при их достаточной стабильности в условиях эксплуатации, могут ощутимо снизить процессы разрушения основного материала детали и обеспечить ее работоспособность в условиях высоких температур.

Наиболее перспективными материалами, используемыми для формирования жаростойких покрытий, являются сплавы систем: Me-Cr-Al-Y, где Me - Ni, Co или их сочетание, а также сплавы, сочетающие Ni, Cr, Al, Si, Y, В. [2. Мубаяджан С.А.]. Применяются как однослойные [3. Патент США №4475503], так и двухслойные покрытия, например, с внешним слоем на основе алюминидов никеля [4. Патент США №4080486].

30 Известен способ подготовки поверхности детали под нанесение многослойного покрытия на металлические изделия методом катодного распыления, включающий ионную очистку и/или модификацию поверхности изделия [5. Патент РФ №2228387. МПК С23С 14/06. Способ нанесения многослойного покрытия на металлические изделия. Опубл. 2004 г.]. Однако функциональным назначением ионно-
35 имплантационной обработки поверхности в известном случае не является повышение жаростойкости покрытия.

Известен способ нанесения покрытия, при котором в вакууме наносят покрытие состава NiCrAlY, после чего проводят алитирование нанесенного покрытия [6. П.Т.Коломыцев. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. - М.: Машиностроение, 1991, с.146; Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. - М.: Металлургия, 1985, с 253-254].

Известен способ нанесения покрытия в вакууме, при котором в качестве материала покрытия используют состав NiCrAlY [7. Мубаяджан С.А., Каблов Е.Н., Будиновский С.А. Вакуумно-плазменная технология получения защитных покрытий из сложнoleгированных сплавов, МиТОМ. 1995, №2, с.15-18].

Известен также способ получения жаростойкого покрытия, преимущественно для рабочих лопаток турбин газотурбинных двигателей и энергетических установок, включающий подготовку поверхности лопатки, формирование внутреннего жаростойкого слоя и нанесение на него внешнего жаростойкого слоя [8. Патент РФ №1658652, МПК С23С 14/00. Способ получения комбинированного жаростойкого покрытия. Опубл. 2000 г.]. Известный способ получения комбинированного

жаростойкого покрытия предусматривает осаждение в вакууме внутреннего слоя покрытия из сплава на основе никеля, содержащего кобальт, хром, алюминий и редкоземельный элемент, последующее осаждение внешнего слоя покрытия из сплава на основе алюминия, содержащего в качестве легирующей добавки никель, при
5
содержании в каждом из слоев алюминия в количестве 20-80 г/м² и толщине внутреннего слоя покрытия 30-100 мкм и последующий вакуумный отжиг.

Недостатком известных способов нанесения жаростойких покрытий является интенсивный диффузионный обмен между слоем MeCrAlY и основным материалом детали, приводящий к снижению эксплуатационных свойств лопаток турбин ГТД и ГТУ.
10

Наиболее близким по технической сущности является способ получения жаростойкого покрытия на рабочих лопатках турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок, включающий ионно-имплантационную обработку
15
поверхности лопатки, формирование внутреннего жаростойкого слоя и нанесение внешнего жаростойкого слоя из сплава Al-Si-Y с его ионной имплантацией (патент РФ №2264480, МПК C23C 14/06, C23C 14/34, C23C 14/48, C23C 14/58. Способ нанесения защитных покрытий на детали из жаропрочных сплавов. Опубл. 20.11 2005, Бюл. №32). Известный способ включает также следующие операции: очистка поверхности детали; модификация поверхности детали; нанесение конденсационного покрытия многокомпонентного сплава; образование переходных микрослоев путем ионной имплантации; нанесение интерметаллидных микрослоев путем диффузионной
20
металлизации или ионно-плазменного напыления и отжига; образование переходных слоев путем ионного перемешивания; нанесение оксидных слоев путем контролируемого отжига, шликерным методом или электронно-лучевым напылением; модификация наружной поверхности покрытия имплантацией; дополнительная обработка покрытия.
25

Основным недостатком прототипа является низкая жаростойкость и недостаточная выносливость и циклическая прочность, т.е. параметры, которые необходимо обеспечивать при эксплуатации лопаток газотурбинных двигателей и установок.
30

Техническим результатом заявляемого способа является повышение жаростойкости покрытия при одновременном повышении выносливости и циклической прочности
35
деталей с защитными покрытиями.

Технический результат достигается тем, что в способе получения жаростойкого покрытия на рабочих лопатках турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок, включающем ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки, формирование внутреннего жаростойкого слоя и нанесение внешнего жаростойкого
40
слоя из сплава Al-Si-Y с его ионной имплантацией, в отличие от прототипа ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки производят ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, в качестве материала для формирования внутреннего жаростойкого слоя используют сплав состава: Cr - 18% до 30%, Al - 5% до 13%, Y - от 0,2% до 0,65%, Ni - остальное, а в качестве материала для формирования внешнего жаростойкого слоя используют сплав состава: Si - от 4,0% до 12, 0%; Y - от 1,0 до 2,0%; Al - остальное, причем нанесение внешнего жаростойкого слоя чередуют с периодической имплантацией ионами одного или
45
нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, с формированием внешнего жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями.
50

Технический результат достигается также тем, что в способе получения

жаростойкого покрытия нанесение внутреннего жаростойкого слоя чередуют с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием внутреннего жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями, причем внутренний жаростойкий слой формируют толщиной от 2 мкм до 10 мкм и с количеством микро- или нанослоев, составляющем от 3 до 200.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения жаростойкого покрытия перед нанесением внутреннего жаростойкого слоя на поверхность лопатки дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения жаростойкого покрытия внешний жаростойкий слой формируют толщиной от 10 мкм до 60 мкм и с количеством микро- или нанослоев, составляющем от 3 до 1000.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения жаростойкого покрытия перед нанесением внешнего жаростойкого слоя на поверхность внутреннего жаростойкого слоя наносят переходный слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения жаростойкого покрытия нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения жаростойкого покрытия ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см², а после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

Для оценки стойкости лопаток газовых турбин с жаростойкими покрытиями, полученными по известному и предлагаемому способам, были проведены следующие испытания. Режимы и условия нанесения покрытий на образцы из кобальтовых и никелевых сплавов (ЦНК-7, ЦНК-21, FSX-414, ЖС-6, ЖС-6У, ЭИ-893, U-5000) приведены в таблице 1.

Табл.1						
№ группы образцов	Ионы, имплантируемые в основу	Ионы, имплантируемые в покрытие	Внутренний слой	Внешний слой	Дополнительный слой на поверхности лопатки	Дополнительный слой на внутреннем слое
1	2	3	4	5	6	7
(Прот)	-	-	Co - 20% Cr - 30% Al - 13% Y - 0,6% Ni - ост.	Si - 12% Ni - 10% В - 1,6% Al - ост.	-	-
1	Nb	Y+Pt	Cr - 18% Al - 5%	Si - 4,0% Y - 1,0%	Nb, толщ. 0,1 мкм	Nb, толщ. 0,1 мкм
2	Yb	Y+Cr	Y - 0,2%	Al - ост.		Pt, толщ. 0,1 мкм
3	Yb+Nb	Y+Cr	Ni - ост.			
4	Pt	Nb				
5	Y	Nb	Cr - 30%, Al - 13%, Y - 0,65%, Ni - ост.	Si-12,0% Y - 2,0% Al - ост.	Nb+Pt, толщ. 0,5 мкм	Nb, толщ. 2,0 мкм
6	Y+Pt	Yb			Nb, толщ. 2,0 мкм	Cr, толщ. 0,1 мкм
7	Y+Cr	Yb				
8	Y+Cr	Pt				

5	9	Hf+Nb	Y	Cr - 22% Al - 11%, Y - 0,5%, Ni - ост.	Si - 6,0% Y - 1,5% Al - ост.	Pt, толщ. 0,1 мкм	Pt+Cr, толщ. 2,0 мкм		
	10	La+Nb+Y	Cr+Si						
	11	Yb+Nb	Yb+Nb						
	12	Si+Cr	Hf+Nb			Cr, толщ. 0,1 мкм	Nb+Cr, толщ. 2,0 мкм		
	13	Y	Y						
10	14	Pt	Nb	Cr - 24% Al - 8%, Y - 0,4% Ni - ост.	Si - 8,0% Y - 1,0% Al - ост.	Pt+Cr, толщ. 2,0 мкм	Pt, толщ. 2,0 мкм		
	15	Cr+Si	Pt						
	16	Nb	Cr+Si			Pt, толщ. 2,0 мкм	Nb+Pt, толщ. 0,5 мкм		
	17	La	Hf			Cr - 26% Al - 10%, Y - 0,3%, Ni - ост.	Si - 10% Y - 2,0% Al - ост.	Cr, толщ. 2,0 мкм	Pt, толщ. 0,1 мкм
	18	La	La						
19	Yb+Nb	Yb							
20	Yb	Yb	Nb+Cr, толщ. 2,0 мкм	Cr, толщ. 2,0 мкм					

Режимы обработки образцов и нанесения покрытия: ионная имплантация (Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si или их сочетанием) при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см² (диффузионный отжиг в вакууме при температуре 400°C в течение 1 ч). Материал слоев и схема их чередования - согласно таблицы 1. Толщины слоев составляли: по известному способу внутренний слой - толщиной 40 мкм и 80 мкм, внешний слой - 80 мкм и 40 мкм. При формировании по предлагаемому способу толщина внутреннего жаростойкого слоя составляла от 2 мкм до 10 мкм, а количество микро- или нанослоев в жаростойком слое составляло от 3 до 200; толщина внешнего жаростойкого слоя составляла от 10 мкм до 60 мкм, а количество микро- или нанослоев - от 3 до 1000.

Были также проведены испытания на выносливость и циклическую прочность образцов из никелевых и кобальтовых сплавов ЦНК-7, ЦНК-21, FSX-414, ЖС-6, ЖС-6У, ЭИ-893, U-5000 в условиях высоких температур (при 870-950°C) на воздухе. В результате проведенных испытаний было установлено следующее: условный предел выносливости (σ_{-1}) лопаток составляет:

- 1) по известному способу - никелевые сплавы в среднем 230-250 МПа, кобальтовые- 220-235 МПа;
- 2) по предлагаемому способу - никелевые сплавы в среднем 260-290 МПа, кобальтовые - 250-275 МПа (таблица 2).

Табл.2		
№ группы образцов	Никелевые сплавы, МПа	Кобальтовые сплавы, МПа
1	2	3
1	260-285	240-255
2	265-290	250-265
3	265-290	250-270
4	270-300	240-265
5	280-295	250-275
6	275-290	245-270
7	260-290	250-275
8	270-300	250-265
9	280-295	240-250
10	275-290	250-280
11	275-290	245-275
12	280-300	245-270
13	270-295	250-275

14	275-290	250-265
15	265-290	250-270
16	280-300	240-275
17	280-295	250-275
18	270-280	245-270
19	265-280	250-275
20	280-300	240-255

Изотермическая жаростойкость покрытий оценивалась на образцах диаметром $d=10$ мм и длиной $l=30$ мм. Образцы покрытиями помещались в тигли и выдерживались на воздухе при температуре $T=1200^{\circ}\text{C}$. Жаростойкость покрытий оценивалась по характерному времени (τ) до появления первых очагов газовой коррозии или других дефектов, которые определялись путем визуального осмотра через каждые 50 часов испытаний при температуре 1200°C . Взвешивание образцов вместе с окалиной производилось через 500 и 1000 ч испытаний, при этом определялась величина удельного прироста массы образца на единицу его поверхности по сравнению с исходным весом ΔP , г/м^2 . Полученные результаты представлены в таблице 3.

№ группы образцов	Циклическая жаростойкость, цикл.	τ , ч	Изотермическая жаростойкость	
			ΔP , г/м^2	
			500 ч	1000 ч
1	2	3	4	5
0	550	350	7,4	13,1
1	750	650	6,1	10,4
2	700	600	5,8	9,8
3	800	700	6,3	10,1
4	900	750	4,4	8,8
5	850	700	5,9	9,1
6	900	850	3,6	7,9
7	950	850	3,4	7,8
8	700	600	6,2	9,9
9	900	850	4,1	8,7
10	800	700	5,7	10,2
11	900	800	4,5	8,8
12	750	650	5,6	9,7
13	750	600	5,8	10,1
14	900	800	4,3	9,9
15	850	750	4,9	9,4
16	900	850	4,4	8,8
17	800	700	5,1	8,9
18	800	650	5,4	8,7
19	850	700	5,3	9,3
20	800	700	5,7	9,9

Повышение жаростойкости покрытий и предела выносливости лопаток из никелевых и кобальтовых сплавов с покрытиями (таблицы 2 и 3) указывает на то, что при применении следующих вариантов нанесения жаростойкого покрытия на лопатки турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок: ионно-плазменная подготовка поверхности лопатки под нанесение покрытия; ионно-имплантационная обработка поверхности лопатки ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si; формирование внутреннего жаростойкого слоя состава: Cr - 18% до 30%, Al - 5% до 13%, Y - от 0,2% до 0,65%, Ni - остальное; нанесение на него внешнего жаростойкого слоя сплав состава: Si - от 4,0% до 12, 0%; Y - от 1,0 до 2,0%;

Al - остальное, при чередовании нанесения указанного сплава с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, с формированием внешнего жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями; чередование нанесения внутреннего жаростойкого слоя с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, с формированием внутреннего жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями; дополнительно нанесение слоя одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм перед нанесением внутреннего жаростойкого слоя на поверхность лопатки; формирование внутреннего жаростойкого слоя толщиной от 2 мкм до 10 мкм и с количеством микро- или нанослоев, составляющем от 3 до 200; формирование внешнего жаростойкого слоя толщиной от 10 мкм до 60 мкм и с количеством микро- или нанослоев, составляющем от 3 до 1000; нанесение переходного слоя одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr или их сочетания толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм, перед нанесением внешнего жаростойкого слоя на поверхность внутреннего жаростойкого слоя; осуществление нанесения слоев покрытия шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме; проведение ионной имплантации при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см² как при обработке поверхности основного материала детали, так и при формировании внешнего жаростойкого и внутреннего жаростойкого слоев покрытия; проведение диффузионного отжига после нанесения покрытия - позволяют достичь технического результата заявляемого изобретения - является повышение жаростойкости покрытия при одновременном повышении выносливости и циклической прочности деталей с защитными покрытиями.

30

Формула изобретения

1. Способ получения жаростойкого покрытия на рабочих лопатках турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок, включающий ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки, формирование внутреннего жаростойкого слоя и нанесение внешнего жаростойкого слоя из сплава Al-Si-Y с его ионной имплантацией, отличающийся тем, что ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки производят ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, в качестве материала для формирования внутреннего жаростойкого слоя используют сплав состава: Cr - от 18% до 30%, Al - от 5% до 13%, Y - от 0,2% до 0,65%, Ni - остальное, а в качестве материала для формирования внешнего жаростойкого слоя используют сплав состава: Si - от 4,0% до 12,0%; Y - от 1,0% до 2,0%; Al - остальное, причем нанесение внешнего жаростойкого слоя чередуют с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием внешнего жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что нанесение внутреннего жаростойкого слоя чередуют с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием внутреннего жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед нанесением внутреннего жаростойкого слоя на поверхность лопатки дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

4. Способ по п.2, отличающийся тем, что перед нанесением внутреннего жаростойкого слоя на поверхность лопатки дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

5. Способ по любому из пп.2 и 4, отличающийся тем, что внутренний жаростойкий слой формируют толщиной от 2 мкм до 10 мкм и с количеством микро- или нанослоев, составляющим от 3 до 200.

6. Способ по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что внешний жаростойкий слой формируют с толщиной от 10 мкм до 60 мкм и с количеством микро- или нанослоев, составляющим от 3 до 1000.

7. Способ по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что перед нанесением внешнего жаростойкого слоя на поверхность внутреннего жаростойкого слоя наносят переходный слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

8. Способ по п.5, отличающийся тем, что перед нанесением внешнего жаростойкого слоя на поверхность внутреннего жаростойкого слоя наносят переходный слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

9. Способ по п.6, отличающийся тем, что перед нанесением внешнего жаростойкого слоя на поверхность внутреннего жаростойкого слоя наносят переходный слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

10. Способ по любому из пп.1-4, 8, 9, отличающийся тем, что нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

11. Способ по п.5, отличающийся тем, что нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

12. Способ по п.6, отличающийся тем, что нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

13. Способ по п.7, отличающийся тем, что нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

14. Способ по п.10, отличающийся тем, что нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

15. Способ по любому из пп.1-4, 8, 9, 11-14, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

16. Способ по п.5, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

17. Способ по п.6, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

18. Способ по п.7, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

19. Способ по п.10, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

20. Способ по любому из пп.1-4, 8, 9, 11-14, 16-19, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

21. Способ по п.5, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят

его диффузионный отжиг.

22. Способ по п.6, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

5 23. Способ по п.7, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

24. Способ по п.10, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

10 25. Способ по п.15, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

15

20

25

30

35

40

45

50