



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

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21), (22) Заявка: **2007107237/02**, **26.02.2007**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**26.02.2007**(43) Дата публикации заявки: **10.09.2008**(45) Опубликовано: **10.05.2009** Бюл. № 13

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **ХРОМЧЕНКО Ф.А., ЛАППА В.А. и др. Технология ремонта рабочих лопаток паровых турбин. - Тяжелое машиностроение, 1999, №8, с.17. RU 2235147 С1, 27.08.2004. RU 2207238 С1, 27.06.2003. RU 2121419 С1, 10.11.1998. SU 1655749 А1, 15.06.1991. DE 4225443 А1, 03.02.1994.**

Адрес для переписки:  
**450000, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ, каф. ТМ, Смыслову А.М.**

(72) Автор(ы):

**Смыслов Анатолий Михайлович (RU),  
Смылова Марина Константиновна (RU),  
Мингажев Аскар Джамилевич (RU),  
Рева Александр Владимирович (RU),  
Глазунов Сергей Владимирович (RU),  
Павлинич Сергей Петрович (RU),  
Селиванов Константин Сергеевич (RU),  
Новиков Антон Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**ООО "НПП Уралавиаспецтехнология" (RU)**

**(54) СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛОПАТОК ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения и может быть использовано в турбомашиностроении при восстановлении рабочих и направляющих лопаток паровых турбин, газоперекачивающих установок и компрессоров газотурбинных двигателей, изготовленных из легированных сталей. Способ включает снятие лопаток с ротора, термическую обработку путем нагрева лопатки до температуры 200°С...680°С, термическую выдержку в вакууме при этой температуре в течение не менее 0,5 ч с обеспечением процесса дегазации металла лопатки и восстановления его дислокационной структуры и последующего охлаждения лопатки со скоростью 10...50°С/мин. Перед термической выдержкой производят удаление дефектного слоя материала лопатки, а после нее

производят электролитно-плазменное полирование. После термической выдержки материала лопатки производят либо упрочняющую обработку, либо ионную имплантацию и постимплантационный отпуск, либо после упрочняющей обработки производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск. В качестве ионов для имплантации используют ионы Ст, У, Уб, С, В, Zr или их комбинации, а ионная имплантация проводится при энергии ионов 300-1000 эВ и дозе имплантации ионов  $10^{10}$ - $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>. В результате достигается снижение трудоемкости процесса и повышение эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей за счет восстановления свойств материала детали еще до начала возникновения процессов интенсивного разрушения детали. 29 з.п. ф-лы, 7 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2007107237/02, 26.02.2007**(24) Effective date for property rights:  
**26.02.2007**(43) Application published: **10.09.2008**(45) Date of publication: **10.05.2009 Bull. 13**

Mail address:

**450000, Respublika Bashkortostan, g.Ufa, ul. K.  
Marksa, 12, UGATU, kaf. TM, Smyslovu A.M.**

(72) Inventor(s):

**Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),  
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),  
Mingazhev Askar Dzhamilovich (RU),  
Reva Aleksandr Vladimirovich (RU),  
Glatsunov Sergej Vladimirovich (RU),  
Pavlinich Sergej Petrovich (RU),  
Selivanov Konstantin Sergeevich (RU),  
Novikov Anton Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**OOO "NPP Uralviaspetstekhnologija" (RU)****(54) METHOD OF RECONDITIONING ALLOYED STEEL BLADES**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: invention relates to machine building and can be used in turbine production for reconditioning the alloyed steel working and guide blades of steam turbines, gas-processing plants, gas turbine compressors. The proposed method comprises detaching the blades from rotor, thermal processing at 200°C to 680°C, thermal holding in vacuum at the above temperature for at least 0.5 h for vacuum degassing of the blade metal and recovery of its dislocation structure, and subsequent cooling the blade down at the rate of 10 to 50°C/min. Prior to thermal holding, the blade material defective layer is removed and, thereafter, an electrolytic-plasma finishing is carried out. After thermal holding of

the blade material, either hardening or ionic implantation and post-implantation tempering is performed, or after hardening, aforesaid ionic implantation and post-implantation tempering are carried out. Ions of Cr, Y, Yb, C, B, Zr or the combinations thereof are used for implantation purposes, while ionic implantation is effected with ion energy making 300 to 1000 eV and ion implantation dosage varying from  $10^{10}$  to  $5 \cdot 10^{20}$  ion/cm<sup>2</sup>.

EFFECT: reduced labor input and improved operating properties of alloyed steel blades thanks to reconditioning effected prior to origination of drastic part failure processes.

30 cl, 7 tbl, 1 ex

Изобретение относится к области машиностроения и может быть использовано в турбомашиностроении при восстановлении рабочих и направляющих лопаток паровых турбин, газоперекачивающих установок и компрессоров газотурбинных двигателей, изготовленных из легированных сталей.

5 Рабочие лопатки компрессора газотурбинного двигателя (ГТД) и газотурбинной установки (ГТУ), а также паровых турбин в процессе эксплуатации подвергаются воздействию значительных динамических и статических нагрузок, а также коррозионному и эрозионному разрушению. Исходя из предъявляемых к  
10 эксплуатационным свойствам требований, для изготовления лопаток компрессора газовых турбин применяются высоколегированные хромистые, хромомолибденовые (CrMo), хромомолибденованадиевые (CrMoV) и др. средне- и высоколегированные стали (например, для лопаток паровых турбин - стали марок 20X13 и 15X11МФ, газовых турбин - стали 20X13, ЭИ 961).

15 Указанные стали относятся к числу нержавеющей сталей с содержанием Cr 11-14%, различающихся между собой содержанием легирующих элементов: С, Мо, V. Данные стали широко применяются, например, для изготовления лопаток паровых турбин, работающих в условиях влажно-паровой среды, при температурах до 500-600°C.

20 Возникающий в процессе эксплуатации износ лопаток требует проведения либо их преждевременной замены, либо их восстановительного ремонта.

При длительной эксплуатации в поверхностном слое материала лопаток образуются различного рода дефекты и, кроме структурных изменений, - происходит ухудшение физико-механических свойств поверхности и основы материала из-за  
25 насыщения газами (кислородом, азотом, углеродом, водородом и др.). Поэтому при дальнейшей эксплуатации таких лопаток начинается ускоренный процесс разрушения (возникновение трещин, дефектов основы и др.), который при дальнейшей эксплуатации приводит к сильному повреждению или разрушению лопатки.

30 В некоторых случаях лопатки, имеющие сильные повреждения, восстанавливают сварочными методами с последующей механообработкой. Однако, учитывая сложность процесса ремонта деталей наплавкой (например, наплавкой материала сварочными методом с последующей механообработкой (а.с. СССР N 1680459, В23К 9/04, 1989; N 1776511, В23К 9/04, 1990), требующим индивидуального подхода к  
35 каждой лопатке, более целесообразным является использование методов восстановления материалов лопаток, осуществляемых еще до начала процессов интенсивного разрушения детали.

Известен способ восстановления пера лопаток методом холодного вальцевания, по  
40 которому лопатка восстанавливается путем удлинения пера при вальцевании за счет использования допуска по толщине лопатки (Новые технологические процессы и надежность ГТД. Бюллетень, М.: ЦИАМ, 1981, N 1 (25), с.15-16). Метод холодного вальцевания имеет ограничения по максимальному плюсовому допуску по толщине, а вальцевание с минусовым допуском по толщине лопатки исключено.

45 Известен способ восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированной стали [Гонсеровский Ф.Г. Упрочнение и ремонт стальных паротурбинных лопаток после эрозионного износа // Электрические станции. - 1988. - №8. - С.38], включающий механическое удаление изношенной кромки, наплавку  
50 восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки.

Наиболее близким к предлагаемому является способ восстановления эксплуатационных свойств рабочих лопаток [Технология ремонта рабочих лопаток паровых турбин. / Хромченко Ф.А., Лаппа В.А., Федина И.В. и др. // Тяжелое

машиностроение. - 1999. - №8. - С.17. Попов В.А. Восстановление оборудования ТЭС наплавкой и напылением. - Тверь: Центр подготовки персонала ООО Тверьэнерго, 2000. С.241-243], включающий снятие лопаток с ротора, удаление защитных накладок, механическое удаление поврежденного участка кромки, многослойную наплавку восстанавливаемого участка кромки, печную термическую обработку, механическую обработку лопатки и приварку стеллитовых защитных пластин.

Основным недостатком аналогов и прототипа является высокая трудоемкость и низкое качество восстановления эксплуатационных свойств лопаток. При этом термообработка на воздухе не позволяет повысить весь комплекс физико-механических и технологических свойств (а в некоторых случаях приводит к охрупчиванию материала поверхностного слоя).

Техническим результатом заявляемого способа является снижение трудоемкости процесса и повышение эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей за счет восстановления свойств материала детали еще до начала возникновения процессов интенсивного разрушения детали.

Технический результат достигается тем, что в способе восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей, включающем снятие лопаток с ротора и термическую обработку, в отличие от прототипа термическую обработку осуществляют путем нагрева лопатки до температуры 200...680°C, термической выдержки в вакууме при этой температуре в течение не менее 0,5 ч с обеспечением процесса дегазации металла лопатки и восстановления его дислокационной структуры и последующего охлаждения лопатки.

Технический результат достигается также тем, что в способе восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей перед термовакуумной дегазацией материала лопатки производят удаление дефектного слоя материала лопатки, а после термовакуумной дегазации материала лопатки производят ее электролитно-плазменное полирование, причем скорость охлаждения после термовакуумной дегазации может составлять 10...50°C/мин.

Технический результат достигается также тем, что в способе восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей перед термической выдержкой в вакууме лопатки производят удаление поверхностного дефектного слоя металла лопатки, а после термической выдержки в вакууме лопатки производят ее электролитно-плазменное полирование.

Технический результат достигается также тем, что в способе восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей охлаждение лопатки осуществляют со скоростью 10...50°C/мин, а после термической выдержки в вакууме лопатки производят ее упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием (ППД), причем упрочняющую обработку ППД могут производить микрошариками.

Технический результат достигается также тем, что в способе восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей либо непосредственно после термической выдержки в вакууме лопатки, либо после электролитно-плазменного полирования, либо после упрочняющей обработки ППД, в том числе после упрочняющей обработки микрошариками, производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

При этом в качестве ионов для имплантации могут использоваться ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их комбинации, а ионная имплантация проводится при энергии

ионов 0,2-30 кэВ и дозе имплантации ионов  $10^{10}$  до  $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

Технический результат достигается также тем, что в способе восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей после имплантации производят нанесение на лопатку защитного покрытия, в том числе и многослойного, причем при нанесении защитного покрытия может производиться дополнительная ионная имплантация, а в качестве материала защитного покрытия могут использоваться нитриды металлов Me-N, карбиды металлов Me-C и карбонитриды металлов Me-NC, где Me - Ti, Zr, TiZr, N - азот, C - углерод, а толщины слоев многослойного защитного покрытия из чередующихся слоев металлов Me и нитридов металлов Me-N, карбидов металлов Me-C или карбонитридов металлов выбираются из диапазонов:  $\delta_{Me} = 0,20 \dots 10$  мкм,  $\delta_{Me-N} = 0,10 \dots 6$  мкм, где  $\delta_{Me}$  - толщина слоя металла,  $\delta_{Me-N}$  - толщина слоя нитрида металла. При этом нанесение покрытия могут осуществлять ионно-плазменными методами и/или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме. А также газотермическими методами (плазменным, детанационным, газопламенным напылением и др.).

Таким образом, осуществление нагрева лопатки до температуры 200°C...680°C, с осуществлением термической выдержки в вакууме при этой температуре в течение не менее 0,5 ч, позволяет произвести дегазацию материала лопатки, а также и восстановить его физико-химические и структурные свойства. Кроме того, применение дополнительных методов упрочняющей обработки, модифицирования поверхностного слоя материала лопатки и нанесения защитных покрытий, в сочетании с улучшенными свойствами материала лопатки, а также устранение необходимости наплавки и размерной механообработки позволяют достичь эффекта предлагаемого технического решения - снижения трудоемкости процесса и повышения надежности при восстановлении эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей. Причем применение этих методов упрочнения, модифицирования и нанесения покрытий для способа-прототипа в результате возникновения неоднородностей материала детали, связанных с необходимостью наплавки (нанесения) чужеродного материала и проведением размерной механообработки, не позволяют достичь такого же высокого технического результата по надежности, как в заявляемом техническом решении.

Для оценки стойкости лопаток, восстановленных по прототипу и предлагаемому способу, были проведены следующие исследования.

Режимы и условия восстановления лопаток из легированных сталей 20X13, 15X11 МФ и ЭИ961, охватывающих предлагаемый диапазон режимов термической выдержки в вакууме лопаток, приведены в таблицах 1-7. По способу-прототипу использовались две группы образцов. Первая группа образцов - группа «а» - включала образцы с восстановленным наплавкой материалом с последующей механической обработкой, вторая группа образцов прототипа - группа «в» - включала образцы, исходное состояние которых было идентично образцам, подготовленным для обработки по предлагаемому способу. Наличие двух подгрупп образцов-прототипов позволило отдельно оценить влияние процесса дегазации в вакууме на свойства восстановленных деталей.

Табл. 1									
№	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А1 - «а» и «в»)				Предлагаемый способ (Вариант В1)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}$ , ч	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}$ , ч	$V_{\text{охл}}$ , °С/мин

1	20X13	680	воздух	3	30	680	Вакуум	3	30
2	15X11МФ	680		3	30	680		3	30
3	ЭИ961	680		3	30	680		3	30

Табл.2

5

№	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А2 - «а» и «в»)				Предлагаемый способ (Вариант В2)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}, \text{°С/мин}$
1	20X13	680	воздух	0,5	20	680	Вакуум	0,5	20
2	15X11МФ	680		0,5	20	680		0,5	20
3	ЭИ961	680		0,5	20	680		0,5	20

10

№	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А3 - «а» и «в»)				Предлагаемый способ (Вариант В3)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}, \text{°С/мин}$
1	20X13	200	воздух	7	10	200	Вакуум	7	10
2	15X11МФ	200		7	10	200		7	10
3	ЭИ961	200		7	10	200		7	10

Табл.3

15

№	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А4 - «а» и «в»)				Предлагаемый способ (Вариант В4)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}, \text{°С/мин}$
1	20X13	500	воздух	1,5	20	500	Вакуум	1,5	20
2	15X11МФ	500		1,5	20	500		1,5	20
3	ЭИ961	500		1,5	20	500		1,5	20

Табл.4

20

25

№	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А5 - «а» и «в»)				Предлагаемый способ (Вариант В5)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}, \text{°С/мин}$
1	20X13	300	воздух	5	15	300	Вакуум	5	15
2	15X11МФ	300		5	15	300		5	15
3	ЭИ961	300		5	15	300		5	15

Табл.5

30

35

№	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А6 - «а» и «в»)				Предлагаемый способ (Вариант В6)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}, \text{°С/мин}$
1	20X13	680	воздух	1,5	20	680	Вакуум	1,5	20
2	15X11МФ	680		1,5	20	680		1,5	20
3	ЭИ961	680		1,5	20	680		1,5	20

Табл.6

40

45

№	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А7 - «а» и «в»)				Предлагаемый способ (Вариант В7)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}, \text{ч}$	$V_{\text{охл}}, \text{°С/мин}$
1	20X13	680	воздух	5	25	680	Вакуум	5	25
2	15X11МФ	680		5	25	680		5	25
3	ЭИ961	680		5	25	680		5	25

Табл.7

50

Анализ результатов сравнительных испытаний показал, что наилучшие свойства восстановленных лопаток обеспечивает предлагаемый способ восстановления деталей. Образцы, обработанные по предлагаемому способу, характеризуются

лучшими эксплуатационными свойствами и наименьшим количеством дефектов материала детали.

Были также проведены испытания на выносливость и циклическую прочность лопаток в условиях эксплуатационных температур (при 300-450°C) на воздухе. В результате эксперимента было установлено следующее: условный предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) лопаток (после ремонта) составляет:

А. После восстановления и механообработки лопаток:

1) по способу-прототипу:

- группа «а» - 220-230 МПа;

- группа «в» - 180-195 МПа;

2) по предлагаемому способу - в среднем 300-310 МПа.

Б. После обработки микрошариками:

1) по способу-прототипу:

- группа «а» - 215-240 МПа;

- группа «в» - 200-220 МПа;

2) по предлагаемому способу - в среднем 310-330 МПа.

В. После имплантации ионов Cr, Y, Yb, C, B, Zr:

1) по способу-прототипу:

- группа «а» - 230-250 МПа;

- группа «в» - 185-190 МПа;

2) по предлагаемому способу - в среднем 340-360 МПа.

Г. После обработки микрошариками и имплантации ионов Cr, Y, Yb, C, B, Zr:

1) по способу-прототипу:

- группа «а» - 240-260 МПа;

- группа «в» - 190-215 МПа;

2) по предлагаемому способу - в среднем 370-380 МПа.

Д. После обработки микрошариками и имплантации ионов Cr, Y, Yb, C, B, Zr и нанесения защитного покрытия:

1) - группа «а» - 230-242 МПа;

- группа «в» - 185-100 МПа;

2) по предлагаемому способу - в среднем 350-370 МПа.

Е. После обработки микрошариками и имплантации ионов Cr, Y, Yb, C, B, Zr и нанесения защитного многослойного покрытия:

1) - группа «а» - 235-246 МПа;

- группа «в» - 198-107 МПа;

2) по предлагаемому способу - в среднем 360-380 МПа.

Повышение предела выносливости у восстановленных и обработанных лопаток во всех видах проведенных испытаний указывает на то, что при применении одного из следующих вариантов проведения дополнительной упрочняющей обработки восстановленной лопатки и нанесения покрытия: упрочняющая обработка микрошариками; ионная имплантация ионами одного из следующей группы химических элементов: Cr, Y, Yb, C, B, Zr или их комбинации; постимплантационного отпуска; нанесение покрытия (нитридные покрытия Me-N, где Me - Ti, Zr, TiZr, а N - азот; многослойное покрытие из чередующихся слоев Me и соединений металлов с азотом - Me-N, где Me - Ti, Zr, TiZr, а N - азот), полученного либо ионно-плазменным методом, либо электронно-лучевым испарением в вакууме; позволяют достичь технического результата заявляемого способа - снижения трудоемкости процесса и повышения эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей за счет

восстановления свойств материала детали еще до начала возникновения процессов интенсивного разрушения детали. При этом снижение трудоемкости восстановления лопаток связано с удалением из технологии ремонта лопаток таких наиболее трудоемких и дорогих процессов, как процессов наплавки, размерной  
5 механообработки и связанных с ними операций контроля.

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение предлагаемого способа восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей позволяет увеличить по сравнению с прототипом условный  
10 предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) в среднем с 220-230 МПа до 320-340 МПа, а при применении дополнительных вариантов упрочняющей обработки и нанесения покрытий - до 350-370 МПа, что подтверждает заявленный технический результат (повышение эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей). При этом простое использование упрочняющих видов обработки для способа-прототипа не  
15 позволяет достичь поставленного технического результата, а в ряде случаев дает обратный (негативный) эффект (например, снижение предела выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) до 120-140 МПа).

Пример реализации способа.

20 После дефектации ремонтной лопатки, изготовленной из хромистой стали 20X13, осуществлялся ее нагрев до температуры термической выдержки в вакууме (500°C, время выдержки 1 час, вакуум  $6 \cdot 10^{-2}$  Па) и охлаждение в вакууме в камере до температуры окружающей среды (28°C). В результате термической выдержки в  
25 вакууме произошла дегазация дефектных участков металла лопатки и восстановление дислокационной структуры металла, что сказалось на повышении эксплуатационных свойств детали.

Ионная имплантация. Обработку поверхности лопаток по предлагаемому способу проводят в следующей последовательности. После механической обработки и  
30 электролитно-плазменного полирования 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°C. После сушки лопатку устнавливают в вакуумную камеру,  
35 где создают вакуум не ниже  $2 \cdot 10^4$  Па, и проводят очистку ионами аргона в течение 12 мин с последующей ионной имплантацией хрома по режиму: имплантируемый ион Cr; энергия ионов 300-1000 эВ; плотность ионного тока 5-10 мА/см<sup>2</sup>; доза имплантации ионов  $3 \cdot 10^{19}$  ион/см<sup>2</sup>.

40 После этого в том же рабочем пространстве проводят вакуумный постимплантационный отпуск при температуре 400°C в течение 1 ч. Постимплантационный отпуск можно совмещать с нанесением ионно-плазменных покрытий. (Режимы при нанесении покрытия: ток  $I=140$  А, напряжение  $U=140$  В.)

#### 45 Формула изобретения

1. Способ восстановления эксплуатационных свойств лопаток из легированных сталей, включающий снятие лопаток с ротора и термическую обработку, отличающийся тем, что термическую обработку осуществляют путем нагрева лопатки  
50 до температуры 200...680°C, термической выдержки в вакууме при этой температуре в течение не менее 0,5 ч с обеспечением процесса дегазации металла лопатки и восстановления его дислокационной структуры и последующего охлаждения лопатки.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед термической выдержкой в вакууме



лопатки производят удаление поверхностного дефектного слоя металла лопатки.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что после термической выдержки в вакууме лопатки производят ее электролитно-плазменное полирование.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что охлаждение лопатки осуществляют со скоростью 10...50°С/мин.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что после термической выдержки в вакууме лопатки производят ее упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием (ППД).

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что упрочняющую обработку ППД производят микрошариками.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что после термической выдержки в вакууме лопатки производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

8. Способ по п.2, отличающийся тем, что после термической выдержки в вакууме лопатки производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

9. Способ по п.3, отличающийся тем, что после электролитно-плазменного полирования производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

10. Способ по п.5, отличающийся тем, что после упрочняющей обработки ППД производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

11. Способ по п.6, отличающийся тем, что после упрочняющей обработки микрошариками производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

12. Способ по п.7, отличающийся тем, что в качестве ионов для имплантации используют ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их комбинацию.

13. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве ионов для имплантации используют ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их комбинацию.

14. Способ по п.9, отличающийся тем, что в качестве ионов для имплантации используют ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их комбинацию.

15. Способ по п.10, отличающийся тем, что в качестве ионов для имплантации используют ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их комбинацию.

16. Способ по п.11, отличающийся тем, что в качестве ионов для имплантации используют ионы Cr, Y, Yb, C, B, Zr, N, La, Ti или их комбинацию.

17. Способ по п.12, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов 0,2-30 кэВ и дозе имплантации ионов  $10^{10}$ - $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

18. Способ по п.13, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов 0,2-30 кэВ и дозе имплантации ионов  $10^{10}$ - $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

19. Способ по п.14, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов 0,2-30 кэВ и дозе имплантации ионов  $10^{10}$ - $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

20. Способ по п.15, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов 0,2-30 кэВ и дозе имплантации ионов  $10^{10}$ - $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

21. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что на лопатку наносят защитное покрытие.

22. Способ по любому из пп.7-20, отличающийся тем, что после постимплантационного отпуска производят нанесение на лопатку защитного покрытия.

23. Способ по п.22, отличающийся тем, что при нанесении защитного покрытия производят дополнительную ионную имплантацию.

24. Способ по п.22, отличающийся тем, что в качестве материала защитного покрытия используют нитриды металлов Me-N, карбиды металлов Me-C и карбонитриды металлов Me-NC, где металлы Me-Ti, Zr, TiZr, N - азот, C - углерод.

25. Способ по п.23, отличающийся тем, что в качестве материала защитного покрытия используют нитриды металлов Me-N, карбиды металлов Me-C и карбо-нитриды металлов Me NC, где металлы Me-Ti, Zr, TiZr, N - азот, C - углерод.

26. Способ по п.22, отличающийся тем, что наносят многослойное защитное покрытие из чередующихся слоев металлов Me и нитридов металлов Me-N, карбидов металлов Me-C и карбонитридов металлов - Me-NC, где металлы Me-Ti, Zr, TiZr, a N - азот, C - углерод.

27. Способ по п.23, отличающийся тем, что наносят многослойное защитное покрытие из чередующихся слоев металлов Me и нитридов металлов Me-N, карбидов металлов Me-C или карбонитридов металлов Me-NC, где металлы Me-Ti, Zr, TiZr, a N - азот, C - углерод.

28. Способ по п.26, отличающийся тем, что толщину слоев многослойного защитного покрытия выбирают из диапазонов:  $\delta_{Me} = 0,20 \dots 10$  мкм,  $\delta_{Me-N} = \delta_{Me-C} = \delta_{Me-NC} = 0,10 \dots 6$  мкм, где  $\delta_{Me}$  - толщина слоя металла,  $\delta_{Me-N}$ ,  $\delta_{Me-C}$ ,  $\delta_{Me-NC}$  - толщина слоя, соответственно, нитрида, карбида, карбо-нитрида металла.

29. Способ по п.27, отличающийся тем, что толщину слоев многослойного защитного покрытия выбирают из диапазонов:  $\delta_{Me} = 0,20 \dots 10$  мкм,  $\delta_{Me-N} = \delta_{Me-C} = \delta_{Me-NC} = 0,10 \dots 6$  мкм, где  $\delta_{Me}$  - толщина слоя металла,  $\delta_{Me-N} = \delta_{Me-C} = \delta_{Me-NC}$  - соответственно, нитрида, карбида, карбонитрида металла.

30. Способ по любому из пп.23-29, отличающийся тем, что нанесение защитного покрытия осуществляют вакуумным ионно-плазменным методом и/или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме, и/или газотермическим методом путем плазменного, детонационного или газопламенного напыления.