



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

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006137914/02, 26.10.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.10.2006

(43) Дата публикации заявки: 10.05.2008

(45) Опубликовано: 27.04.2009 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: ГОНСЕРОВСКИЙ Ф.Г. Упрочнение и ремонт стальных паротурбинных рабочих лопаток после износа. - Электрические станции. Энергоатомиздат, 1988, №8, с.38-39. RU 2235147 C1, 27.08.2004. RU 2207238 C1, 27.06.2003. RU 2121419 C1, 10.11.1998. SU 1655749 A1, 15.06.1991. DE 4225443 A1, 03.02.1994.

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

(72) Автор(ы):

Смыслов Анатолий Михайлович (RU),
Лисянский Александр Степанович (RU),
Седов Виктор Викторович (RU),
Павлинич Сергей Петрович (RU),
Рева Александр Владимирович (RU),
Глазунов Сергей Владимирович (RU),
Дыбленко Юрий Михайлович (RU),
Смыслова Марина Константиновна (RU),
Селиванов Константин Сергеевич (RU),
Мингажев Аскар Джамилевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ООО "НПП Уралавиаспецтехнология" (RU)

(54) СПОСОБ РЕМОНТА ЛОПАТОК ИЗ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения и может использоваться в турбомашиностроении при восстановлении рабочих и направляющих лопаток паровых турбин, газоперекачивающих установок и компрессоров газотурбинных двигателей, изготовленных из легированной стали. Способ включает удаление дефектного слоя материала лопатки, дегазацию металла лопатки в вакууме при температуре 200...680°C в течение не менее 0,5 ч до восстановления его дислокационной структуры. Затем лопатку охлаждают со скоростью 10...50°C/мин, восстанавливают ее геометрию лопатки наплавкой металла или сваркой с последующей механической обработкой. После механической обработки производят либо

упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием, либо ионную имплантацию и постимплантационный отпуск, либо после упрочняющей обработки производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск. При этом в качестве ионов для имплантации используют ионы Sr, Y, Yb, C, B, Zr или их комбинации, а ионную имплантацию проводят при энергии ионов 300-1000 эВ и дозе имплантации ионов 10^{-5} - 10^{20} ион/см². В результате достигается получение при ремонте лопаток из легированных сталей бездефектных границ зон наплавки и наплавленного материала за счет улучшения свариваемости материала детали, а также повышение эксплуатационных свойств лопатки после восстановления. 28 з.п. ф-лы, 5 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21), (22) Application: **2006137914/02, 26.10.2006**(24) Effective date for property rights:
26.10.2006(43) Application published: **10.05.2008**(45) Date of publication: **27.04.2009 Bull. 12**

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),
Lisjanskij Aleksandr Stepanovich (RU),
Sedov Viktor Viktorovich (RU),
Pavlinich Sergej Petrovich (RU),
Reva Aleksandr Vladimirovich (RU),
Glatunov Sergej Vladimirovich (RU),
Dyblenko Jurij Mikhajlovich (RU),
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),
Selivanov Konstantin Sergeevich (RU),
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

OOO "NPP Uralviaspetstekhnologija" (RU)**(54) REPAIR METHOD OF BLADES MADE FROM STEEL ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: engineering industry.

SUBSTANCE: invention refers to engineering industry, and can be used in turbine engineering when reconstructing operating and stationary blades of steam turbines, gas compressor plants and gas turbine engine compressors, which are made from steel alloy. Method involves removal of defective blade material coat, blade metal vacuum degassing at temperature of 200...680°C during at least 0.5 h until its dislocation structure is restored. Then, blade is cooled at a speed of 10...50°C/min; geometry thereof is restored by metal surfacing or welding with the subsequent machining. After machining is carried out, either strengthening treatment by means of surface plastic deformation, or ion implantation and

postimplantation drawing is performed, or after strengthening treatment is carried out, there performed is ion implantation and postimplantation drawing. At that, Cr, Y, Yb, C, B, Zr ions or combinations thereof are used as implantation ions, and ion implantation is performed at ion energy of 300-1000 eV and ion implantation dose of $10^{10} - 5 \cdot 10^{20}$ ion/cm².

EFFECT: when repairing blades made from steel alloys there obtained are flawless edges of zones of surfacing and welded material owing to improved detail material weldability, as well as improving operating properties of the blade after it has been restored.

29 cl, 5 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 легированной стали.

5 Рабочие лопатки компрессора газотурбинного двигателя (ГТД) и газотурбинной установки (ГТУ), а также паровых турбин в процессе эксплуатации, подвергаются воздействиям значительных динамических и статических нагрузок, а также коррозионному и эрозионному разрушению.

10 Исходя из предъявляемых к 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 Хром, в этих сталях, является основным легирующим элементом, благоприятно влияющим на коррозионную стойкость (электрохимический потенциал, при наличии хрома, становится положительный, происходит образование на поверхности металла плотной и достаточно прочной окисной пленки, которая защищает от химической и электрохимической коррозии). Хром является ферритообразующим элементом, стабилизирует α -феррит, уменьшает область γ -аустенита. Предельное содержание Cr, при котором еще существуют γ -аустенит 13%. Введение Мо, Si - еще больше сужает γ -область, в то же время аустенитостабилизирующие элементы С, Mn, Ni ее расширяют. Кроме того, С образует карбиды Cr, обедняя твердый раствор. Наличие углерода при высоком содержании позволяет получать сочетание коррозионной стойкости и различной степени упрочнения при мартенситном превращении.

25 Например, стали 20X13 и 15X11МФ в равновесном состоянии доэвтектоидные. После высокотемпературного нагрева и охлаждения на воздухе (в масле) имеют структуру мартенсита, т.е. относятся к мартенситному классу.

30 Возникающий в процессе эксплуатации износ лопаток требует проведения либо их преждевременной замены, либо их восстановительного ремонта. (Как правило, ремонт лопаток является более целесообразным решением). Наиболее распространенным и практически обоснованным методом восстановительного ремонта является ремонт с использованием сварочных процессов.

35 При разработке технологии ремонта с использованием сварочных процессов важным фактором является правильный выбор сварочных материалов с учетом их адаптации к основному материалу лопатки.

40 Известно [Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. / под ред. академика Патона Б.Е. - М.: Машиностроение, 1974. - 768 с.], что рассмотренные выше хромистые стали свариваются по двум технологическим вариантам:

45 - с применением сварочных материалов такого же или сходного с основным металлом химического состава;

50 - с использованием присадочных материалов аустенитного или аустенитно-ферритного класса (сталей и сплавов). В первом случае формируется сварное соединение с высокой структурной однородностью и высокой хрупкостью

(при отсутствии термической обработки) и высокой прочностью (при проведении термической обработки); во втором случае формируется соединение с различными структурными составляющими, которые не рекомендуется эксплуатировать при температурах выше 500°С.

5 При сварке плавлением околошовная зона нагревается до температур, близких к температуре плавления. В этих условиях избежать химической неоднородности не удастся, и зачастую наблюдается подплавление границ зерен с образованием в
10 отдельных случаях дефектов - надрывов. Такие дефекты в дальнейшем могут стать очагами разрушения. Очевидно, в этом случае целесообразно применять сварочные материалы температура плавления которых ниже температуры плавления основного металла. В этих случаях создаются условия для заполнения и ликвидации надрывов
15 жидким металлом, и снижается опасность образования каких-либо трещин. Кроме того, в процессе эксплуатации лопаток, в результате воздействия среды, температуры, знакопеременных нагрузок, разности давлений на спинке и корыте лопатки и др. факторов, возникают процессы проникновения газов и других загрязнений в
20 поверхностный слой материала лопатки. Наличие такого рода загрязнений способствует ухудшению качества наплавленного слоя материала. При этом, особенно при длительной эксплуатации, газовые (кислород, азот, углерод, водород и др.) загрязнения могут охватывать значительный объем основного металла лопатки.

В основном все хромистые стали желательно сваривать с одогревом, однако в отдельных случаях можно отказаться от подогрева, если толщина свариваемых
25 изделий не превышает 8...10 мм, а также при использовании аустенитных и аустенитно-ферритной сварочной проволоки (сталей и сплавов). При использовании аустенитных электродов отпуск с целью повышения пластичности сварного соединения можно производить не сразу после сварки, но и отказаться от него, особенно в монтажных условиях.

30 При длительной эксплуатации (более 10 тыс. часов) на поверхности лопаток образуются различного рода дефекты, а в сталях, кроме структурных изменений, происходит ухудшение физико-механических свойств поверхности и основы материала из-за насыщения газами (кислородом, азотом, углеродом, водородом и др.). Поэтому
35 дальнейшая эксплуатация таких лопаток становится невозможной. Однако восстановив физико-химическое состояние стали и устранив повреждения поверхности лопаток сварочными методами и размерной обработкой, эксплуатацию лопаток можно продолжить.

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 Известны способы наплавки с использованием упоров-кристаллизаторов [а.с. СССР N 1680459, В23К 9/04, 1989; N 1776511, В23К 9/04, 1990; патент РФ N 2078655, В23К 9/04, 1994]. В известных способах наплавки осуществляется принудительное формирование наплавленного металла путем осаждения в охлаждаемом
50 кристаллизаторе [а.с. СССР N 1680459, В23К 9/04, 1989; N 1776511, В23К 9/04, 1990], либо ударной нагрузкой на сварочную ванночку [патент РФ N 2078655, В23К 9/04, 1994].

Недостатком известных способов является невозможность качественной наплавки

присадочного материала на перо лопатки. Известен способ восстановления лопаток наплавкой. На изношенный участок аргонодуговой сваркой наплавляют слой требуемой высоты сплавом, близким по свойствам к материалу лопаток. Перед наплавкой торцы зачищают, затем производят наплавку на постоянном токе в медных приспособлениях [Новые технологические процессы и надежность ГТД. Бюллетень. М. ЦИАМ, 1976, N 2 (6), с.71-73].

Недостатком этого способа является образование дефектов в виде несплавлений и подрезов при наплавке первого слоя.

Известен способ восстановления 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.

Наиболее близким к предлагаемому является способ ремонта 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 восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки.

Основным недостатком аналогов и прототипа является снижение механических свойств, околошовной зоны (границы зоны наплавки) и, следовательно, лопатки в целом. 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 получение при ремонте лопаток из легированных сталей бездефектных границ зон наплавки и наплавленного материала за счет улучшения свариваемости материала детали, а также повышение эксплуатационных свойств лопатки после восстановления.

Технический результат достигается тем, что в способе ремонта лопаток из легированной стали, включающем удаление дефектных участков лопатки, восстановление геометрии лопатки наплавкой металла или сваркой и последующую механическую обработку лопатки, в отличие от прототипа, после удаления дефектных участков производят дегазацию металла лопатки в вакууме в течение не менее 0,5 ч до восстановления его дислокационной структуры последующим охлаждением со скоростью 10...50°С/мин, причем температуру дегазации выбирают из диапазона 200°С...680°С.

Технический результат достигается также тем, что в способе ремонта лопаток из легированной стали удаление дефектных участков лопатки осуществляют путем удаления ее поверхностного дефектного слоя, а также производят механическую выборку и разделку лопатки под сварку или наплавку металла, а после сварки производят размерную механическую обработку лопатки.

Технический результат достигается также тем, что в способе ремонта лопаток из легированной стали после размерной механической обработки лопатки производят электролитно-плазменное полирование или упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием (ППД), причем обработку ППД могут производить

микрошариками.

Технический результат достигается также тем, что в способе ремонта лопаток из легированной стали, после механической обработки или электролитно-плазменного полирования или упрочняющей обработки ППД, в частности ППД 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 комбинация, а ионная имплантация проводится при энергии ионов 0,2-30 кэВ и дозе имплантации ионов 10^{10} до $5 \cdot 10^{20}$ ион/см².

Технический результат достигается также тем, что в способе ремонта лопаток из легированной стали после размерной механической обработки или после имплантации на лопатку наносят защитное покрытие, а при нанесении защитного покрытия производят дополнительную ионную имплантацию, причем 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, причем может использоваться 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, а N-азот, C-углерод, а толщины слоев многослойного покрытия выбираются из диапазонов: $\delta_{Me} = 0,20 \dots 10$ мкм, $\delta_{Me-N} = 0,10 \dots 6$ мкм, где δ_{Me} - толщина слоя металла, δ_{Me-N} - толщина слоя нитрида металла. При этом нанесение покрытия могут осуществлять ионно-плазменными методами и/или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

Таким образом, осуществление температурной выдержки в вакууме позволяет произвести дегазацию дефектной зоны, подвергаемой наплавке, что приводит не только к улучшению свариваемости материала лопатки, но и к восстановлению физико-химических и структурных свойств материала поверхностного слоя лопатки. Кроме того, применение дополнительных методов упрочняющей обработки, модифицирования поверхностного слоя материала лопатки и нанесения защитных покрытий, в сочетании с улучшенной, за счет более качественной наплавки материала на изношенные участки лопатки, зоной, позволяют достичь эффекта повышения эксплуатационных свойств лопатки после восстановления. Причем, применение этих методов упрочнения, модифицирования и нанесения покрытий для способа-прототипа, из-за менее качественной наплавки (без дегазации зон наплавки), не позволяют достичь такого же высокого технического результата, 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 и 15X11МФ приведены в таблице 1.

Таблица 1									
№ варианта	Марка стали	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А)				Предлагаемый способ (Вариант В)			
		T, °C	Среда	$\tau_{\text{выд}}$, ч	$V_{\text{охл}}$	T, °C	Среда	$\tau_{\text{выд}}$, ч	$V_{\text{охл}}$, °C/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

В таблицах 2-4 приведены дополнительные режимы восстановления лопаток по предлагаемому способу, охватывающие предлагаемый диапазон режимов обработки термовакuumной дегазации.

5

Таблица 2									
№ варианта	Сплав	Режимы восстановления лопаток							
		Предлагаемый способ (Вариант С)				Предлагаемый способ (Вариант D)			
		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	Вакуум	0,5	20	200	Вакуум	7	10
2	15X11МФ	680		0,5	20	200		7	10
3	ЭИ961	680		0,5	20	200		7	10

15

Таблица 3									
№ варианта	Сплав	Режимы восстановления лопаток							
		Предлагаемый способ (Вариант E)				Предлагаемый способ (Вариант F)			
		Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}$, ч	$V_{\text{охл}}$	Т, °С	Среда	$\tau_{\text{выд}}$, ч	$V_{\text{охл}}$, °С/мин
1	20X13	500	Вакуум	1,5	20	300	Вакуум	5	15
2	15X11МФ	500		1,5	20	300		5	15
3	ЭИ961	500		1,5	20	300		5	15

25

Таблица 4									
№ варианта	Сплав	Режимы восстановления лопаток							
		Предлагаемый способ (Вариант G)				Предлагаемый способ (Вариант H)			
		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	Вакуум	1,5	20	680	Вакуум	5	25
2	15X11МФ	680		1,5	20	680		5	25
3	ЭИ961	680		1,5	20	680		5	25

35

Во всех случаях восстановления лопаток производилось удаление дефектного слоя металла механической обработкой.

Для оценки результатов сравнительных испытаний проводился визуальный осмотр, а также приготавливались микрошлифы различных зон (участков) наплавки лопаток на предмет обнаружения трещин, пор и других дефектов. (Результаты приведены в табл.5).

40

Таблица 5									
№ варианта	Сплав	Режимы восстановления лопаток							
		Способ-прототип (Вариант А)		Предлагаемый способ (Вариант В)		Предлагаемый способ (Вариант С)		Предлагаемый способ (Вариант D)	
		Кол-во трещин на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм	Кол-во трещин на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм	Кол-во трещ. на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм	Кол-во трещин на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм
1	20X13	11	5,2	-	-	-	-	-	-
2	15X11МФ	13	7,7	1	0,2	2	0,3	2	1,1
3	ЭИ961	9	7,2	-	-	-	-	-	-

50

Продолжение табл.5

№ варианта	Сплав	Режимы восстановления лопаток							
		Предлагаемый способ (Вариант Е)		Предлагаемый способ (Вариант F)		Предлагаемый способ (Вариант G)		Предлагаемый способ (Вариант H)	
		Кол-во трещин на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм	Кол-во трещин на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм	Кол-во трещ. на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм	Кол-во трещин на мм ²	Мак-сим. длина трещ., мкм
1	20X13	1	0,2	1	0,2	1	0,1	-	-
2	15X11 МФ	1	0,4	2	0,2	1	0,2		
3	ЭИ961	1	0,2	-	-	1	0,2	-	-

Таким образом, 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 в наплавленной и приграничной с ней зонах (табл.5).

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

А. После восстановления и механообработки лопаток:

- 1) по способу-прототипу - в среднем 90-105 МПа;
- 2) по предлагаемому способу - в среднем 220-240 МПа;

Б. После обработки микрошариками:

- 1) лопаткам, восстановленным по способу-прототипу - в среднем 100-110 МПа;
- 2) по предлагаемому способу - в среднем 230-250 МПа;

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

- 1) лопаткам, восстановленным по способу-прототипу, - в среднем 130-140 МПа;
- 2) по предлагаемому способу - в среднем 260-280 МПа;

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

- 1) лопаткам, восстановленным по способу-прототипу, - в среднем 92-104 МПа;
- 2) по предлагаемому способу - в среднем 270-290 МПа;

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

- 1) лопаткам, восстановленным по способу-прототипу, - в среднем 84-92 МПа;
- 2) по предлагаемому способу - в среднем 250-270 МПа;

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

- 1) лопаткам, восстановленным по способу-прототипу, - в среднем 86-104 МПа.
- 2) по предлагаемому способу - в среднем 260-280 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, N, La, Ti или их комбинации; постимплантационный отпуск; нанесение защитного покрытия (при использовании в качестве материала защитного покрытия нитридов металлов Me-N, карбиды металлов Me-C и карбонитридов металлов Me-NC, где металлы Me - Ti, Zr, TiZr, N-азот, C-углерод.), полученного, либо ионно-плазменным методом, либо

электроннолучевым испарением в вакууме, позволяют достичь технического результата заявляемого способа - получения при ремонте деталей наплавленного материала и границы зоны наплавки с минимальными дефектами за счет улучшения свариваемости материала детали, а также повышения эксплуатационных свойств лопатки после восстановления.

Таким образом, проведенные исследования показали, что применение предлагаемого способа восстановления лопаток из легированных сталей позволяет увеличить по сравнению с прототипом условный предел выносливости (σ_{-1}) с 90-105 МПа до 220-240 МПа, а при применении дополнительных вариантов упрочняющей обработки и нанесения покрытий до 250-270 МПа, что подтверждает заявленный технический результат (получение при ремонте деталей наплавленного материала и границы зоны наплавки с минимальными дефектами за счет улучшения свариваемости материала детали, а также повышение эксплуатационных свойств лопатки после восстановления.). При этом простое использование упрочняющих видов обработки без соответствующего качества наплавки не позволяет достичь поставленного технического результата, а в ряде случаев дает обратный (негативный) эффект (например, снижение предела выносливости (σ_{-1}) до 85-100 МПа.

Пример конкретной реализации способа.

После дефектации ремонтной лопатки, изготовленной из хромистой стали 20X13, производилось фрезерование дефектных мест на пере лопатки (удаление дефектного материала и разделка кромок под сварку). Затем осуществлялся 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 вакууме произошла дегазация дефектных участков металла лопатки и восстановление дислокационной структуры металла, что сказалось на повышении качества наплавки на этих участках. (Удаление эродированного слоя со стороны корыта производилось борфрезой с помощью прямой шлифмашинки, со стороны спинки - с помощью угловой шлифмашинки, после чего обработанные кромки и поверхности лопаток подвергались полировке лепестковым кругом из водостойкой шкурки, затем контролю цветной дефектоскопией. При механической обработке особое внимание уделялось разогреву обрабатываемой зоны и недопустимости образования цветов побежалости. Затем производился контроль методом цветной дефектоскопии.)

Далее осуществлялась наплавка подготовленных дефектных участков аргонодуговой сваркой. Наплавка лопаток проводилась в нижнем положении на постоянном токе прямой полярности с минимальным тепловложением с применением сварочной проволоки ЭП-367 (Св-06X15Н60М15) диаметром 1,6 мм. Для исключения перегрева лопатки и улучшения газовой защиты сварочной ванны при наплавке (в качестве подкладки) была использована медная пластина размером 350x50x4 мм, имеющая профиль пера лопатки со стороны входной кромки. Наплавку выполняли в направлении от оси ротора в 2-6 слоев (в зависимости от вида лопатки: ГТД 2-4 слоя; паровой турбины 2-6 слоев), причем первый слой («оплавляющий») - без использования присадочной проволоки; последним накладывался «подварочный» валик со стороны корыта. Одновременно наплавлялись две лопатки (через одну) поочередно. Подачу аргона производили за 3-4 с до возбуждения дуги и прекращали через 6-8 с после ее обрыва с задержкой горелки над зоной сварки. Для сохранения тепловложений от сварки и уменьшения остаточных напряжений использовали нагретые керамические накладки.

Наплавку производят с помощью источника постоянного тока ДС200. Процесс наплавки можно производить как в стационарном, так и в импульсном режиме: сварочный ток 40...120 А; время импульса 0,2...0,3 с; время паузы 0,1 с; диаметр электрода 2...3 мм; расход аргона на горелку 5...8 л/мин;

5 Доведение профиля пера лопатки до чертежных размеров осуществляли механической обработкой (фрезерованием, шлифованием, полированием). Затем выполняли обезжиривание и контроль цветной дефектоскопией.

Ионная имплантация. Обработку поверхности лопаток по предлагаемому способу
10 проводят в следующей последовательности. После всех формообразующих механических обработок, включая электролитно-плазменное полирование, лопатку тщательно обезжиривают в ультразвуковой ванне и протирают бензино-ацетоновой смесью. Для удаления остатков влаги лопатку подвергают термообработке в
15 сушильном шкафу при температуре от 60 до 65С. После сушки лопатку

устанавливают в вакуумную камеру, 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
20 тока 5-10 мА/см²; доза имплантации ионов $3 \cdot 10^{19}$ ион/см².

После этого в том же рабочем пространстве проводят вакуумный постимплантационный отпуск при температуре 400°С 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).

25 Далее проводят контроль и упаковку готового изделия.

Формула изобретения

1. Способ ремонта лопаток из легированной стали, включающий удаление
30 дефектных участков лопатки, восстановление геометрии лопатки наплавкой металла или сваркой и последующую механическую обработку лопатки, отличающийся тем, что после удаления дефектных участков производят дегазацию металла лопатки в вакууме в течение не менее 0,5 ч до восстановления его дислокационной структуры с последующим охлаждением со скоростью 10-50°С/мин, причем температуру дегазации
35 выбирают из диапазона 200-680°С.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что удаление дефектных участков лопатки осуществляют путем удаления ее поверхностного дефектного слоя.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что производят механическую выборку и разделку лопатки под сварку или наплавку металла.

40 4. Способ по п.1, отличающийся тем, что после сварки производят размерную механическую обработку лопатки.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что после размерной механической обработки лопатки производят электролитно-плазменное полирование.

45 6. Способ по п.4, отличающийся тем, что после механической обработки лопатки производят упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием (ППД).

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

50 8. Способ по п.4, отличающийся тем, что после механической обработки лопатки производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

9. Способ по п.5, отличающийся тем, что после электролитно-плазменного полирования производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

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

11. Способ по п.7, отличающийся тем, что после упрочняющей обработки микрошариками производят ионную имплантацию и постимплантационный отпуск.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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/см².

17. 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/см².

18. 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/см².

19. 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/см².

20. Способ по любому из пп.4-7, отличающийся тем, что после размерной механической обработки лопатки на нее наносят защитное покрытие.

21. Способ по любому из пп.8-15, отличающийся тем, что после имплантации на лопатку наносят защитное покрытие.

22. Способ по п.21, отличающийся тем, что при нанесении защитного покрытия производят дополнительную ионную имплантацию.

23. Способ по п.21, 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.

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.21, отличающийся тем, что используют 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, а N-азот, C-углерод.

26. Способ по п.22, отличающийся тем, что используют 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, а N-азот, C-углерод.

27. Способ по п.25, отличающийся тем, что толщину слоев многослойного покрытия выбирают из диапазонов: $\delta_{Me}=0,20$ -10 мкм, $\delta_{Me-N}=\delta_{Me-C}=\delta_{Me-NC}=0,10$ -6 мкм, где δ_{Me} - толщина слоя металла, δ_{Me-N} , δ_{Me-C} , δ_{Me-NC} - толщина слоя, соответственно, нитрида, карбида, карбонитрида металла.

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

соответственно, нитрида, карбида, карбонитрида металла.

29. Способ по любому из пп.22-28, отличающийся тем, что нанесение защитного покрытия осуществляют вакуумными ионно-плазменными методами и/или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50