



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2003128016/02, 17.09.2003**

(24) Дата начала действия патента: **17.09.2003**

(45) Опубликовано: **10.05.2005 Бюл. № 13**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **ГОНСЕРОВСКИЙ Ф.Г. Упрочнение и ремонт стальных паротурбинных лопаток после эрозионного износа// Электрические станции. 1988, №8, с.38. RU 2167036 С1, 20.05.2001. SU 1734977 А1, 23.05.1992. RU 2066702 С1, 20.09.1996. EP 0558053 А1, 01.09.1993.**

Адрес для переписки:

**450000, г.Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ, кафедра 201, (Технология машиностроения), А.М. Смыслову**

(72) Автор(ы):

**Смыслов А.М. (RU),  
 Смыслова М.К. (RU),  
 Годовская Г.В. (RU),  
 Исанбердин А.Н. (RU),  
 Людвиницкий С.В. (RU),  
 Хафизов Р.Х. (RU)**

(73) Патентообладатель(ли):

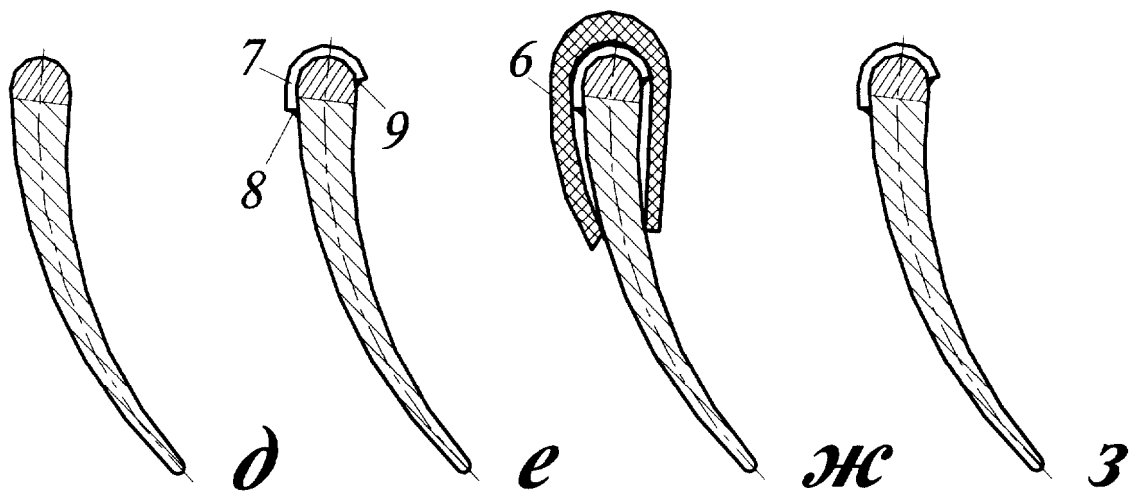
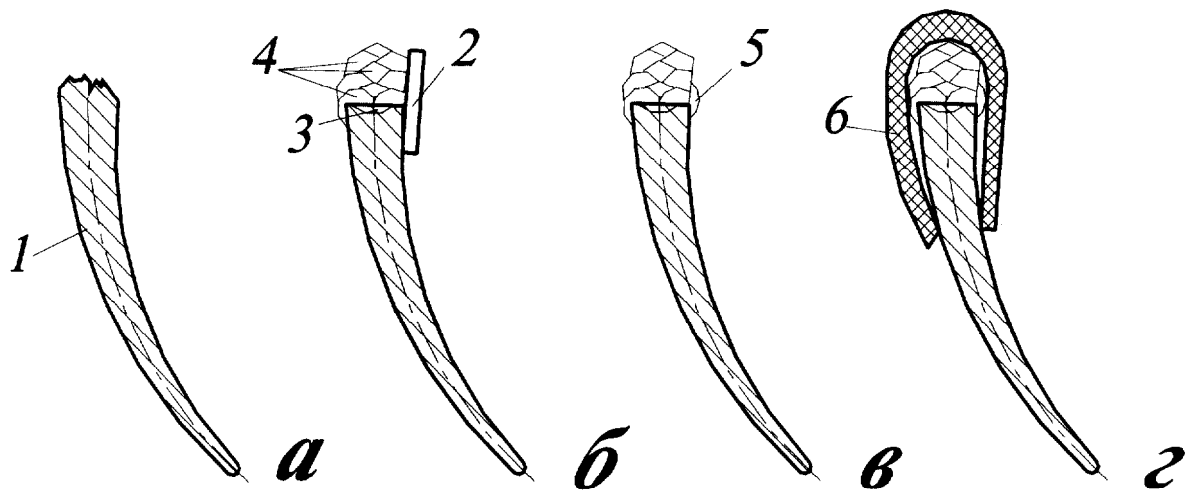
**Общество с ограниченной ответственностью  
 "Научно-производственное предприятие  
 "Уралавиаस्पектехнология" (RU)**

## (54) СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

(57) Реферат:

Способ может быть использован при ремонте лопаток паровых турбин с поврежденными кромками. После удаления изношенного участка производят наплавку в импульсном режиме металлом, более пластичным, чем материал лопатки. Затем осуществляют приварку защитных накладок двумя швами, один из которых накладывают на основной материал лопатки, а другой - на наплавленный металл. Наплавляемый металл имеет высокую трещиностойкость и температуру плавления меньше температуры

плавления основного материала лопатки. После наплавки и после приварки защитных накладок проводят термическую обработку с помощью теплоизолирующего кожуха. На восстановленную лопатку наносят плазменное покрытие оксикарида кремния. Способ обеспечивает снижение неоднородности структурно-фазового состава материала восстановленной лопатки, уменьшение растягивающих остаточных напряжений, что приводит к повышению трещиностойкости, коррозионной и эрозионной стойкости лопатки. 3 з.п. ф-лы, 1 ил, 1 табл.





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2003128016/02, 17.09.2003

(24) Effective date for property rights: 17.09.2003

(45) Date of publication: 10.05.2005 Bull. 13

Mail address:

450000, g.Ufa-tsentr, ul. K. Marksa, 12, UGATU,  
kafedra 201, (Tekhnologija mashinostroenija), A.M.  
Smyslovu

(72) Inventor(s):

**Smyslov A.M. (RU),  
Smyslova M.K. (RU),  
Godovskaja G.V. (RU),  
Isanberdin A.N. (RU),  
Ljudvinskij S.V. (RU),  
Khafizov R.Kh. (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvenost'ju  
"Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie  
"Uralaviaspetstekhnologija" (RU)**

(54) **METHOD FOR RESTORING STEAM TURBINE BLADES**

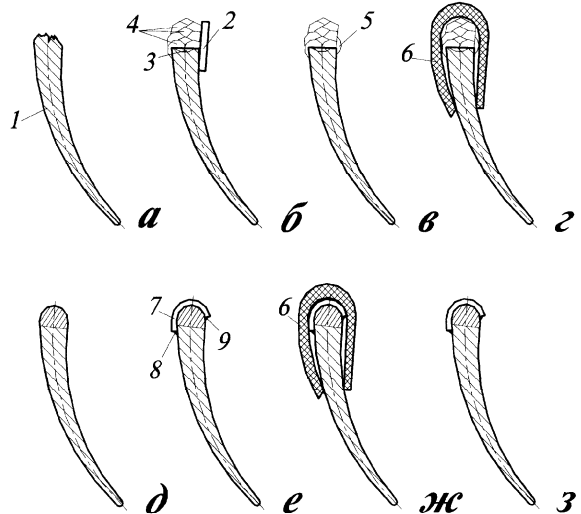
(57) Abstract:

FIELD: processes for restoring steam turbine blades with damaged edges.

SUBSTANCE: method comprises steps of removing worn portion and then surfacing in impulse mode metal whose ductility exceeds that of blade material; welding on protection cover strip by two seams while forming one seam on base material of blade and forming other seam on surfaced metal. Surfaced metal has high cracking resistance; its melting temperature is less than that of base material of blade. Heat treatment with use of heat insulation jacket is performed after surfacing and welding on of protection cover strips.

EFFECT: lowered non-uniformity of structure-phase composition of material of restored blade, reduced tension residual stresses, enhanced resistance of blade against cracking, corrosion and erosion.

4 cl, 1 dwg, 1 tbl



RU 2 2 5 1 4 7 6 C 1

RU 2 2 5 1 4 7 6 C 1

Изобретение относится к области теплоэнергетики и может быть применено для восстановления лопаток паровых турбин с поврежденными кромками.

В процессе эксплуатации лопатки паровых турбин испытывают воздействие различных разрушающих факторов, в частности соударения с каплями воды, влияние коррозионной среды, знакопеременные циклические нагрузки. В результате лопатки паровых турбин подвергаются различным повреждениям, в частности эрозии, коррозии, усталостному разрушению. [Рыженков В.А. Состояние проблемы и пути повышения износостойкости энергетического оборудования ТЭС // Теплоэнергетика. - 2000. - №6. - С.20-21. Пряхин. В.В., Поваров О.А., Рыженков В.А. Проблемы эрозии турбинных рабочих лопаток // Теплоэнергетика. - 1984. - №10. - С.25.

Замена поврежденных лопаток паровых турбин является трудоемким и дорогостоящим мероприятием, так как требует снятия их с ротора, приобретения новых лопаток, установки их на ротор и проч. [Гонсеровский Ф.Г. Семнадцатилетний опыт эксплуатации лопаток паровых турбин после ремонта с применением сварки // Теплоэнергетика. - 2000. - №4. - С.39. Гонсеровский Ф.Г., Силевич В.М. Техничко-экономическое обоснование способа ремонта эрозионно-изношенных паротурбинных лопаток в условиях электростанций // Тяжелое машиностроение. - 2001. - №9. - С.21-22]. В связи с этим разработка новых способов, сокращающих трудоемкость и стоимость восстановления поврежденных лопаток паровых турбин, является актуальной задачей.

Основными требованиями, предъявляемыми к лопаткам паровых турбин после восстановления, является соответствие их геометрических и размерных параметров требованиям чертежей, высокий уровень механических и эксплуатационных свойств (прочности, твердости, сопротивления усталости, фреттинг-стойкости, эрозионной, коррозионной и трещиностойкости).

Известен способ ремонта рабочей лопатки паровой турбины [а.с. СССР №1278469 F 01 D 25/28. Оpubл. 23.12.1986]. При ремонте лопатки по этому способу на место изношенного участка кромки приваривается пластина.

Недостатком этого способа ремонта является сложность изготовления и приварки пластины, а также высокий уровень растягивающих остаточных напряжений, возникающих после приварки пластины и приварки защитных накладок.

Известен способ восстановления турбинных лопаток [EP 0558053 F 01 D 5/00. Оpubл. 01.09.1993], включающий удаление поврежденного материала, наплавку восстанавливаемого участка, термическую обработку для снятия остаточных напряжений, механическую обработку лопатки.

Недостатком этого способа является применение разнородных материалов для наплавки, что с одной стороны обеспечивает сочетание пластичности наплавленного материала и высокой твердости его поверхности, но в то же время приводит к формированию гетерофазной слоистой структуры, что снижает коррозионную стойкость [Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов. - М.: Металлургия, 1968. - С.197-201].

Известен способ восстановления рабочих лопаток паровых турбин [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.

Недостатками этого способа являются необходимость снятия лопаток с ротора, необходимость проведения печной термической обработки после наплавки, что усложняет и удорожает работу. Также недостатком этого способа является отсутствие термической обработки после приварки защитных накладок, в результате чего в материале лопатки сохраняется высокая неоднородность структурно-фазового состава и высокий уровень растягивающих остаточных напряжений.

Наиболее близким к предлагаемому является способ ремонта лопаток паровых турбин [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, приварку защитных накладок.

Основными недостатками этого способа являются возникновение при наплавке и сварке в зоне термического влияния высоких растягивающих - остаточных напряжений и высокая неоднородность структурно-фазового состава материала восстановленной лопатки. Растягивающие остаточные напряжения снижают сопротивление усталости материала, а структурно-фазовая неоднородность материала снижает его коррозионную стойкость, так как сочетание участков с различным электродным потенциалом образует множество микрогальванопар.

Техническим результатом предлагаемого способа является снижение неоднородности структурно-фазового состава материала восстановленной лопатки, уменьшение растягивающих остаточных напряжений, повышение трещиностойкости, предела выносливости, коррозионной и эрозионной стойкости восстановленной лопатки, повышение технологичности и снижение стоимости процесса восстановления лопатки

Технический результат в предлагаемом способе достигается тем, что в способе восстановления лопаток паровых турбин, включающем удаление защитных накладок и изношенного участка лопатки, многослойную наплавку восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки, приварку защитных накладок, в отличие от прототипа, наплавку производят в импульсном режиме.

Технический результат достигается также тем, что в способе восстановления лопаток паровых турбин, включающем удаление защитных накладок и изношенного участка лопатки, многослойную наплавку восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки, приварку защитных накладок, в отличие от прототипа, в качестве наплавляемого материала используют пластичный металл с высокой трещиностойкостью и температурой плавления, меньшей температуры плавления основного материала лопатки.

Технический результат достигается также тем, что в способе восстановления лопаток паровых турбин, включающем удаление защитных накладок и изношенного участка лопатки, многослойную наплавку восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки, приварку защитных накладок, в отличие от прототипа, при приварке защитных накладок один из швов накладывают на основной материал лопатки, а другой - на наплавленный материал.

Кроме того, технический результат достигается тем, что в способе восстановления лопаток паровых турбин, включающем удаление защитных накладок и изношенного участка лопатки, многослойную наплавку восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки, приварку защитных накладок, в отличие от прототипа, после наплавки и после приварки защитных пластин проводят термическую обработку путем наложения на нагретую при наплавке или приварке лопатку теплоизолирующего кожуха и выдерживания лопатки в нем до полного ее остывания.

Далее, технический результат достигается тем, что в способе восстановления лопаток паровых турбин, включающем удаление защитных накладок и изношенного участка лопатки, многослойную наплавку восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки, приварку защитных накладок, в отличие от прототипа, на лопатку наносят плазменное покрытие оксикарида кремния ( $Si_xC_yO_z$ ) [Соснин Н.А., Тополянский П.А., Вичик Б.Л. Плазменные покрытия (технология и оборудование). - СПб.: О-во "Знание" России, СПбО, ДНТП, 1992. - С.16-20] по режиму: ток дуги  $I_{\text{дуги}}=100-120$  А, рабочее напряжение  $U_{\text{раб}}=30-50$  В, расход кремнесодержащей жидкости  $Q=2$  мл/мин, плазмообразующий газ - аргон.

Достижение технического результата объясняется следующим.

Наплавку в предлагаемом способе производят в импульсном режиме, что уменьшает количество теплоты, вводимой в лопатку, и сокращает время пребывания лопатки при

повышенной температуре. Применение импульсного режима позволяет получить мелкозернистую структуру наплавленного металла за счет улучшения условий его кристаллизации [Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н., Ленивкин В.А. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - С.8] и, как следствие, более высокую его прочность, твердость и эрозионную стойкость.

Восстановленные лопатки в процессе эксплуатации подвергаются знакопеременным деформациям, в результате чего в наплавленном материале возникают различные структурные дефекты, микротрещины, приводящие к усталостному разрушению лопатки. С целью повышения стойкости восстановленных лопаток к образованию трещин в предлагаемом способе в качестве наплавленного материала используют пластичный металл с высокой трещиностойкостью и температурой плавления, меньшей температуры плавления основного материала лопатки. Такие свойства наплавленного материала создают условия для заполнения (т.н. "залечивания") возникающих микродефектов, а также предотвращают возникновение холодных трещин [Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. С.543-544].

В предлагаемом способе при приварке защитных накладок один из швов накладывают на основной материал лопатки, а другой - на наплавленный материал. Это позволяет снизить остаточные напряжения в сварном соединении за счет их релаксации в более пластичном наплавленном материале.

При восстановлении лопаток паровых турбин наплавкой необходимо проводить послесварочную термическую обработку для снижения структурно-фазовой неоднородности материала восстановленной лопатки, уменьшения растягивающих остаточных напряжений, и предотвращения коробления. Печная термическая обработка усложняет и удорожает процесс восстановления лопатки. В предлагаемом способе термическая обработка проводится за счет тепла, накопленного материалом лопатки в ходе выполнения наплавки и приварки защитных пластин. Для этого сразу после выполнения наплавки, а также сразу после приварки защитных пластин на лопатку накладывают теплоизолирующий кожух, например асбестовый или керамический, и выдерживают лопатку в нем до полного ее остывания. При этом за счет снижения скорости охлаждения лопатки происходит релаксация остаточных напряжений. Такой способ термической обработки позволяет проводить термическую обработку лопаток паровых турбин без их снятия с ротора. Это значительно повышает технологичность и снижает стоимость процесса восстановления.

Последующее нанесение плазменного покрытия оксикарида кремния увеличивает эрозионную стойкость материала лопатки за счет увеличения твердости ее поверхности и предел выносливости восстановленной лопатки за счет создания в ее поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений [Соснин Н.А., Тополянский П.А., Вичик Б.Л. Плазменные покрытия (технология и оборудование). - СПб.: О-во "Знание" России, СПбО, ДНТП, 1992. - С.18-19].

Существо изобретения поясняется чертежом. На фиг.1а показана изношенная лопатка 1 паровой турбины (поперечное сечение); на фиг.1б показана та же лопатка после удаления изношенной кромки, прикрепления медной пластины 2, наплавки оплавляющего валика 3 и валиков 4; на фиг.1в показана та же лопатка после наплавки подварочного валика 5; на фиг.1г показана та же лопатка с наложенным на нее теплоизолирующим кожухом 6; на фиг.1д показана та же лопатка после механической обработки пера; на фиг.1е показана та же лопатка после приварки защитной накладки 7 швами 8 и 9; на фиг.1ж показана та же лопатка с приваренной защитной накладкой и наложенным на нее теплоизолирующим кожухом; на фиг.1з показана та же лопатка после восстановления по предлагаемому способу.

Восстановление лопатки паровой турбины по описываемому способу осуществляют следующим образом. Подлежащую восстановлению лопатку 1 подвергают входному контролю для выявления дефектов, затем удаляют с нее защитные накладки и весь

поврежденный материал кромки. После этого выполняют подготовку восстанавливаемых участков лопатки путем механической обработки для последующей наплавки, после чего проводят контроль на отсутствие дефектов.

Далее к лопатке 1 прикрепляют медную пластину 2 для формирования профиля пера лопатки. Затем производят наплавку восстанавливаемых участков лопатки в импульсном режиме. Наплавку осуществляют наложением валиков, при этом первый валик 3 наплавляют без использования присадочной проволоки, оплавляя основной материал лопатки, последующие валики 4 наплавляют с присадочной проволокой.

Наплавку валиков ведут до достижения восстанавливаемыми участками размеров, достаточных для формирования профиля пера лопатки с припуском 1-2 мм для последующей механической обработки. После этого снимают медную пластину и наплавляют подварочный валик 5.

Сразу после наплавки на лопатку 1 накладывают теплоизолирующий кожух 6 и выдерживают ее в нем до полного остывания.

Затем производят механическую обработку восстановленных участков лопатки, доводя ее профиль до требуемых размеров.

Далее приваривают защитные накладки 7. Каждая защитная накладка приваривается двумя швами 8 и 9, причем шов 8 проходит по основному материалу лопатки, а шов 9 - по наплавленному материалу. Сразу после сварки на лопатку накладывают теплоизолирующий кожух 6 и выдерживают ее в нем до полного ее остывания.

Затем на лопатку наносят плазменное покрытие оксикарида кремния ( $Si_xC_yO_z$ ) по режиму: ток дуги  $I_{дуги}=100-120$  А, рабочее напряжение  $U_{раб}=30-50$  В, расход кремнесодержащей жидкости  $Q=2$  мл/мин, плазмообразующий газ - аргон.

Восстановление лопатки паровой турбины по предлагаемому способу позволяет снизить неоднородность структурно-фазового состава материала восстановленной лопатки, уменьшить растягивающие остаточные напряжения, повысить трещиностойкость, предел выносливости, коррозионную и эрозионную стойкость восстановленной лопатки, повысить технологичность и снизить стоимость процесса восстановления лопатки.

Были проведены экспериментальные исследования на образцах из стали 20X13, моделирующих лопатки, восстановленные различными способами. Результаты усталостных и эрозионных испытаний образцов, обработанных по различным вариантам технологии восстановления, приведены в таблице.

Результаты испытаний показывают, что термическая обработка по предлагаемому способу оказывает такое же влияние на сопротивление усталости, что и печная термообработка, повышая предел выносливости образцов на 17%. Нанесение плазменного покрытия оксикарида кремния приводит к повышению предела выносливости на 17-33% и эрозионной стойкости на 8-20%.

Таблица		
Технология восстановления	Предел выносливости на базе $10^7$ циклов $\sigma_{-1}$ , МПа	Величина инкубационного периода эрозионного износа относительно стали 20X13 в исходном состоянии
Наплавка	120	-
Наплавка + ТО-1*	140	0,85-0,9
Наплавка + ТО-2*	140	-
Наплавка + приварка защитных накладок (ЗН)	85	2,5-3
Наплавка + приварка ЗН + ТО-1	100	2,5-3
Наплавка + ТО-2 + приварка ЗН + ТО-2	100	-
Наплавка+ПП**	160	1,1
Наплавка + ТО-2 + ПП	180	-
Наплавка + приварка ЗН + ПП	100	-
Наплавка + ТО-2 + приварка ЗН + ТО-2 + ПП	120	2,7-3,3

\*ТО-1 - отпуск в печи; ТО-2 - отпуск путем наложения теплоизолирующего кожуха  
 \*\*ПП - нанесение плазменного покрытия оксикарида кремния

По сочетанию характеристик эрозионной стойкости и сопротивления усталости оптимальным является вариант восстановления лопатки, включающий последовательно наплавку, термическую обработку, приварку защитных накладок, термическую обработку, нанесение плазменного покрытия оксикарбида кремния. При этом с технической и экономической точек зрения целесообразно проводить термическую обработку предлагаемым способом (путем наложения на лопатку теплоизолирующего кожуха и выдерживания ее в нем до полного остывания).

Результаты проведенных исследований подтверждают обеспечение заявленного технического результата предлагаемым способом и его преимущества по сравнению с аналогами.

#### Формула изобретения

1. Способ восстановления лопаток паровых турбин, включающий удаление защитных накладок и изношенного участка лопатки, многослойную наплавку восстанавливаемого участка, механическую обработку лопатки, приварку защитных накладок и термическую обработку, отличающийся тем, что наплавку производят в импульсном режиме металлом более пластичным, чем материал лопатки, а приварку защитных накладок производят двумя швами, один из которых накладывают на основной материал лопатки, а другой - на наплавленный металл.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве наплавляемого материала используют металл с высокой трещиностойкостью и температурой плавления, меньшей температуры плавления основного материала лопатки.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что термическую обработку после наплавки и после приварки защитных накладок проводят путем наложения на нагретую при наплавке или приварке лопатку теплоизолирующего кожуха и выдерживания лопатки в нем до полного ее остывания.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что на восстановленную лопатку наносят плазменное покрытие оксикарбида кремния по режиму ток дуги  $I_{\text{дуги}}=100-120$  А, рабочее напряжение  $U_{\text{раб}}=30-50$  В, расход кремнесодержащей жидкости  $Q=2$  мл/мин, плазмообразующий газ - аргон.