РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 377 550** (13) **C2**

(51) МПК
G01N 25/72 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2007145762/28, 10.12.2007**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.12.2007

(43) Дата публикации заявки: **20.06.2009**

(45) Опубликовано: **27.12.2009** Бюл. № **36**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2229117 C1, 20.05.2004. SU 1548732 A1, 07.03.1990. SU 1427270 A1, 30.09.1988. US 5430376 A, 04.07.1995. US 5544953A, 13.08.1996.**

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),
Смыслова Марина Константиновна (RU),
Годовский Дмитрий Александрович (RU),
Мингажев Аскар Джамилевич (RU),
Наумкин Евгений Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
ООО "НПП Уралавиаспецтехнология" (RU)

(54) ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДЕФЕКТОСКОПИИ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН ИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

(57) Реферат:

Использование: для термоэлектрической дефектоскопии лопаток турбомашин. Сущность: заключается в том, что осуществляют настройку прибора термоэлектрической дефектоскопии для определения параметров материала по эталонному бездефектному объекту контроля по своим размерам и материалу, соответствующему контролируемым лопаткам, без приложения к нему механической нагрузки, определяют в аналогичных условиях прибором термоэлектрической дефектоскопии параметры контролируемой лопатки и оценивают степень повреждения материала лопатки по разнице величин параметров, полученных с эталонной и контролируемой лопаток, при этом дополнительно производят снятие параметров материала лопатки при нагрузке, для чего нагружают эталонный объект контроля в области упругих напряжений, прилагая к нему нагрузку P_3, настраивают по нему прибор термоэлектрической дефектоскопии, затем аналогично нагружают контролируемую лопатку, прилагая к ней нагрузку P_3, и производят повторное ее сканирование измерительным устройством, а по изменению величин полученных параметров судят об изменении состояния материала контролируемой лопатки до и после ее нагружения. Технический результат: повышение информативности и достоверности оценки степени деградации материала лопатки из никелевых сплавов с учетом воздействия на лопатку механических нагрузок. 6 з.п. ф-лы, 3 табл.

RU 2377550 C2

RU 2377550 C2

RUSSIAN FEDERATION

(19) **RU** (11) **2 377 550** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
G01N 25/72 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007145762/28, 10.12.2007**

(24) Effective date for property rights:
10.12.2007

(43) Application published: **20.06.2009**

(45) Date of publication: **27.12.2009 Bull. 36**

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

(72) Inventor(s):
Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),
Godovskij Dmitrij Aleksandrovich (RU),
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU),
Naumkin Evgenij Anatol'evich (RU)

(73) Proprietor(s):
OOO "NPP Uralaviaspetstekhnologija" (RU)

(54) THERMO-ELECTRIC METHOD OF DEFECTOSCOPY OF TURBO MASHINE BLADES OUT OF NICKEL ALLOYS CONSIDERING MECHANICAL LOADS

(57) Abstract:

FIELD: measuring technology.

SUBSTANCE: disclosed method is used for thermoelectric defectoscopy of turbo machines blades. The essence of the invention is as follows: adjustment of an instrument of thermoelectric defectoscopy is performed for determination of parametres of material by a reference defect-free object of control, which corresponds to controlled blades by its size and material without application of mechanical load; under similar conditions parametres of controlled blade are specified with the instrument of thermoelectric defectoscopy; degree of damage of blade material is accessed by difference of values of parametres obtained from the reference and controlled blades; also additionally parametres of blade material under load are recorded; for this purpose the reference object of control is loaded in the range of elastic stresses, applying to it load P_3; the instrument of thermoelectric defectoscopy is adjusted by the reference object of control; further the controlled blade is similarly loaded with load P_3 and repeatedly scanned with the measuring device; difference of values of received parametres testifies to changed condition of material of the controlled blade before and after loading.

EFFECT: upgraded self-descriptiveness and accuracy of evaluation of degradation degree of blade material out of nickel alloys considering mechanical loads on blade.

7 cl, 3 tbl

RU 2377550 C2

RU 2377550 C2

Изобретение относится к области неразрушающего контроля, а точнее к способам термоэлектрической дефектоскопии металлических изделий, и может быть использовано при обследовании лопаток турбомашин из никелевых сплавов с учетом воздействия эксплуатационных нагрузок.

Направляющие и рабочие лопатки турбин ГТД и ГТУ, изготовленные из жаропрочных и жаростойких никелевых сплавов типа ЖС-6, ЖС-6У и др., в процессе эксплуатации подвергаются воздействиям значительных динамических и статических нагрузок, высоких температур, а также коррозионному и эрозионному разрушению.

В этой связи, для своевременного ремонта турбомашин и предотвращения аварийных ситуаций необходимы неразрушающие экспресс-методы контроля и диагностики состояния лопаток.

Термоэлектрический способ контроля поверхностной неоднородности электропроводящих материалов, заключающийся в определении термоэлектрической чувствительности исследуемой поверхности по отношению к термоЭДС, генерируемой термопарой горячий электрод - контролируемая поверхность, к термоЭДС, генерируемой стандартной термопарой [патент РФ №2229703, МПК G01N 25/32. Термоэлектрический способ контроля неоднородности металлов и сплавов, 2004].

Известен способ контроля металлических материалов, включающий приведение в контакт электродов с материалом изделия, измерение термоЭДС и оценку по полученным значениям термоЭДС свойств исследуемого материала [патент РФ №2229117, МПК G01N 25/32. Термоэлектрический способ контроля металлических материалов, 2004].

Недостатком известного способа является его низкая информативность.

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ контроля металлических материалов, включающий приведение в контакт электродов с материалом изделия, измерение термоЭДС и оценку по полученным значениям термоЭДС свойств исследуемого материала [патент РФ №2229117, МПК G01N 25/32. Термоэлектрический способ контроля металлических материалов, 2004].

Недостатком известного способа является низкая информативность и достоверность оценки степени деградации материала лопатки в процессе эксплуатации.

Необходимо отметить, что известные неразрушающие методы оценки деградации металлических материалов, основанные на термоэлектрических и других эффектах, не позволяют оценить изменение состояния материала лопатки при изменении напряженного состояния лопатки в результате воздействия механических нагрузок, что значительно снижает достоверность оценки характера деградации материалов.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является повышение информативности и достоверности оценки степени деградации материала лопатки из никелевых сплавов с учетом воздействия на лопатку механических нагрузок.

Технический результат достигается тем, что в термоэлектрическом способе дефектоскопии лопаток турбомашин из никелевых сплавов, включающий настройку прибора термоэлектрической дефектоскопии для определения параметров материала по эталонному бездефектному объекту контроля, по своим размерам и материалу, соответствующему контролируемым лопаткам, без приложения к нему механической нагрузки (P_0=0), определение в аналогичных условиях прибором термоэлектрической дефектоскопии параметров контролируемой лопатки и оценку степени повреждения материала лопатки по разнице величин параметров, полученных с эталонной и контролируемых лопаток, отличающийся тем, что дополнительно производят снятие

параметров материала лопатки при нагрузке, для чего нагружают эталонный объект контроля в области упругих напряжений, прилагая к нему нагрузку $P_з$, настраивают по нему прибор термоэлектрической дефектоскопии, затем аналогично нагружают контролируемую лопатку, прилагая к ней нагрузку $P_з$, и производят повторное ее сканирование измерительным устройством, а по изменению величин полученных параметров, судят об изменении состояния материала контролируемой лопатки до и после ее нагружения.

Технический результат достигается также тем, что в термоэлектрическом способе дефектоскопии лопаток величина нагрузки, прилагаемой к эталонному объекту контроля и к лопатке, соответствует эксплуатационной нагрузке ($P_З=P_{ЭК}$); как вариант - к эталонному объекту контроля и к лопатке прилагают знакопеременную нагрузку, соответствующую эксплуатационной нагрузке ($P_З=P_{ЭК/З.П.}$).

Технический результат достигается также тем, что в термоэлектрическом способе дефектоскопии лопаток в качестве параметров, по величине которых судят об изменении состояния материала контролируемой лопатки, выбирают разность значений параметров, снятых с контролируемой лопатки без приложения ($P_0=0$) и с приложением ($P_З=P_{ЭК}$ и/или $P_З=P_{ЭК/З.П.}$) механической нагрузки.

Технический результат достигается также тем, что в термоэлектрическом способе дефектоскопии лопаток в качестве параметров, по величине которых судят об изменении состояния материала контролируемой лопатки, выбирают разность значений параметров, снятых при нагрузке $P_З$, с эталонной и контролируемой лопаток.

Технический результат достигается также тем, что в термоэлектрическом способе дефектоскопии лопаток берут дополнительный эталонный объект контроля, по своим размерам и материалу соответствующий контролируемым лопаткам и имеющий дефекты, соответствующие предельным состояниям эксплуатации лопаток, по нему производят дополнительную настройку прибора термоэлектрической дефектоскопии в ненагруженном ($P_0=0$) и нагруженном ($P_З=P_{ЭК}$ и/или $P_З=P_{ЭК/З.П.}$) состояниях, а о степени повреждения материала лопатки судят по степени приближения сигнала к сигналу эталонного объекта контроля, имеющего указанные дефекты.

Технический результат достигается также тем, что в термоэлектрическом способе дефектоскопии лопаток берут, по крайней мере, еще один дополнительный эталонный объект контроля, по своим размерам и материалу, соответствующий контролируемым лопаткам и имеющий дефекты, соответствующие промежуточным состояниям эксплуатации лопаток, по нему производят дополнительную настройку прибора термоэлектрической дефектоскопии в ненагруженном ($P_0=0$) и нагруженном ($P_З=P_{ЭК}$ и/или $P_З=P_{ЭК/ З.П.}$) состояниях, а о степени повреждения материала лопатки судят путем сравнения сигналов от контролируемой лопатки эталонных объектов контроля.

При исследовании степени деградации материала лопаток из никелевых сплавов, авторами экспериментально установлено, что термоэлектрические методы дефектоскопии позволяют оценить изменение состояния материала лопатки при различных нагруженных состояниях. Полученные результаты позволили разработать метод оценки степени деградации материала лопатки, позволяющий определить влияние механических, в том числе и знакопеременных нагрузок на состояние материала детали.

Предлагаемый способ реализуется следующим образом. Одним из известных методов производят замер термоэлектрических параметров материала лопатки. Для

этого вначале производят настройку прибора, осуществляя замеры значений термоэлектрических параметров материала на ряде эталонных лопаток, имеющих различную (заданную) степень деградации материала. При этом используются эталоны, выполненные из одного и того же исходного материала, что и контролируемые лопатки, а также имеющие одинаковые размерные и геометрические параметры. Для оценки характера зависимости значений термоэлектрических параметров материала от степени его деградации во всем исследуемом диапазоне, берут начальный эталонный образец, соответствующий нулевой степени деградации, а конечный эталонный образец - максимально возможной (предельной) степени деградации материала. Для повышения достоверности результатов оценки используют дополнительные промежуточные эталонные образцы с фиксированным значением деградации материала. Затем используя шкалу от нуля до ста процентов деградации материала производят настройку прибора для измерения значений термоэлектрических параметров по указанным эталонам в фиксированных зонах лопатки. Аналогично производят настройку второго прибора по эталонным образцам, находящимся под воздействием заданной механической нагрузки.

Производят замер значений термоэлектрических параметров у контролируемой лопатки и по полученной зависимости «величина термоэлектрических параметров - степень деградации материала» определяют величину деградации материала контролируемой лопатки при заданных значениях механической нагрузки.

После проведения оценки степени деградации материала контролируемой лопатки при различных механических нагрузках, оценивают влияние последних на состояние материала контролируемой лопатки. Имея информацию об изменении состояния деградированного материала лопатки, можно судить о доминирующем механизме разрушения лопаток и принимать соответствующие технологические или эксплуатационные меры для продления или увеличения срока службы деталей турбомашин. Для повышения степени достоверности можно производить, дополнительно, разделения выявленных дефектных зон материала лопатки по их размерам и расположению.

Пример реализации способа

Для оценки степени и характера деградации материала лопаток турбин были изготовлены эталонные образцы лопаток из никелевого сплава ЖС-6У, с различной степенью деградации материала. Снятие термоэлектрических параметров осуществлялось прибором ТЭП 10-К. После получения данных с эталонных образцов производился замер термоэлектрических параметров характеристик с лопаток, деградация материала которых была осуществлена в процессе эксплуатации. Для контрольной оценки степени и вида деградации материала эталонных и контролируемых лопаток были использованы разрушающие методы контроля с приготовлением шлифов и проведением металлографических исследований. Результаты измерений и оценки степени деградации материала лопаток турбин приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Эталонные лопатки

№	Степень деградации материала, %	Среднее значение термоЭДС, Тэдс$_{ср}$, мА	Примечание
1	2	3	4
1	0	13	Отсутствие дефектов
2	36	86	-
3	64	119	-
4	92	126	Предельное состояние

Таблица 2. Эталонные лопатки

№	Степень деградации материала, %	Величина нагрузки при изгибе, Р, (Н)	Среднее значение термоэлект рических параметров, $Тэдс_{ср}$, мА	Величина изменения значений термоэлект рических параметров, $Тэдс_{ср}$, мА	Величина фона от приложен ной нагрузки, $\Delta Тэдс_f$, мА,	Величина изменения значений термоэлектрических параметров, характеризующих состояние материала от нагрузки, $Тэдс_{ср}$, мА	Эквивалентная степень деградации материала при $Р_{э.изм}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	13	8	8	0,0	0
2	0	50	21				2
3	92	0	126	13		5	92
4	92	50	139				96

Таблица 3. Контролируемые лопатки

№ лопатки	№ замера	Величина нагрузки при изгибе, Р (Н)	Среднее значение термоэлектрических параметров, $Тэдс_{ср}$, мА	Степень деградации материала при $Р_З$, %	Эквивалентная степень деградации материала при $Р_{э.изм}$, %
1	2	3	4	5	6
1	1	0	71	22	22
	2	50	77	22	27
2	3	0	94	38	38
	4	50	100	38	47
3	5	0	116	61	61
	6	50	123	61	72

Приведенные данные по оценке величин деградации материала с использованием предлагаемого способа термоэлектрической дефектоскопии лопаток турбомашин из никелевых сплавов показали, что предлагаемый способ неразрушающего контроля позволяет повысить информативность и достоверность результатов оценки характера деградации материала лопатки в процессе эксплуатации, что подтверждает заявленный технический результат.

Формула изобретения

1. Термоэлектрический способ дефектоскопии лопаток турбомашин из никелевых сплавов, включающий настройку прибора термоэлектрической дефектоскопии для определения параметров материала по эталонному бездефектному объекту контроля, по своим размерам и материалу соответствующему контролируемым лопаткам, без приложения к нему механической нагрузки (P_0=0), определение в аналогичных условиях прибором термоэлектрической дефектоскопии параметров контролируемой лопатки и оценку степени повреждения материала лопатки по разнице величин параметров, полученных с эталонной и контролируемых лопаток, отличающийся тем, что дополнительно производят снятие параметров материала лопатки при нагрузке, для чего нагружают эталонный объект контроля в области упругих напряжений, прилагая к нему нагрузку $P_З$, настраивают по нему прибор термоэлектрической дефектоскопии, затем аналогично нагружают контролируемую лопатку, прилагая к ней нагрузку $P_З$, и производят повторное ее сканирование измерительным устройством, а по изменению величин полученных параметров судят об изменении состояния материала контролируемой лопатки до и после ее нагружения.

2. Термоэлектрический способ дефектоскопии лопаток по п.1, отличающийся тем, что величина нагрузки, прилагаемой к эталонному объекту контроля и к лопатке соответствует эксплуатационной нагрузке ($P_З$-$P_{эк}$).

3. Термоэлектрический способ дефектоскопии лопаток по п.2, отличающийся тем, что к эталонному объекту контроля и к лопатке прилагают знакопеременную нагрузку, соответствующую эксплуатационной нагрузке ($P_З$=$P_{эк/з.п.}$).

4. Термоэлектрический способ дефектоскопии лопаток по п.1, отличающийся тем, что в качестве параметров, по величине которых судят об изменении состояния материала контролируемой лопатки, выбирают разность значений параметров,

снятых с контролируемой лопатки без приложения (P_0=0) и с приложением ($P_З$=$P_{эк}$ и/или $P_З$=$_{эк/з.п.}$) нагрузки.

5. Термоэлектрический способ дефектоскопии лопаток по п.1, отличающийся тем, что в качестве параметров, по величине которых судят об изменении состояния материала контролируемой лопатки, выбирают разность значений параметров, снятых при нагрузке $P_З$, с эталонной и контролируемой лопаток.

6. Термоэлектрический способ дефектоскопии лопаток по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что берут дополнительный эталонный объект контроля, по своим размерам и материалу соответствующий контролируемым лопаткам и имеющий дефекты, соответствующие предельным состояниям эксплуатации лопаток, по нему производят дополнительную настройку прибора термоэлектрической дефектоскопии в ненагруженном (P_0=0) и нагруженном ($P_З$=$P_{эк}$ и/или $P_З$=$P_{эк/з.п.}$) состояниях, а о степени повреждения материала лопатки судят по степени приближения сигнала к сигналу эталонного объекта контроля, имеющего указанные дефекты.

7. Термоэлектрический способ дефектоскопии лопаток по п.6, отличающийся тем, что берут, по крайней мере, еще один дополнительный эталонный объект контроля, по своим размерам и материалу соответствующий контролируемым лопаткам и имеющий дефекты, соответствующие промежуточным состояниям эксплуатации лопаток, по нему производят дополнительную настройку прибора термоЭДС дефектоскопии в ненагруженном (P_0=0) и нагруженном ($P_З$=$P_{эк}$ и/или $P_З$=$P_{эк/з.п.}$) состояниях, а о степени повреждения материала лопатки судят путем сравнения сигналов от контролируемой лопатки эталонных объектов контроля.