



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 380 696** (13) **C2**

(51) МПК
G01N 27/83 (2006.01)
G01N 25/72 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007141872/28, 12.11.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.11.2007

(43) Дата публикации заявки: 20.05.2009

(45) Опубликовано: 27.01.2010 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 5430376 A, 04.07.1995. RU 2229117 C1, 20.05.2004. RU 2151390 C1, 20.06.2000. US 2006/001420 A1, 05.01.2006. JP 2001-1141700 A, 25.05.2001.

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),
Селиванов Константин Сергеевич (RU),
Гордеев Вячеслав Юрьевич (RU),
Новиков Антон Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ООО "НПП Уралавиаспецтехнология" (RU)

(54) СПОСОБ КОМПЛЕКСНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН ИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области дефектоскопии. Сущность: для оценки степени деградации лопаток турбомашин из никелевых сплавов используют метод измерения термоЭДС и магнитный метод. По значению термоЭДС определяют степень деградации материала лопаток, вызванную диффузионно-химическими факторами. По магнитным параметрам определяют

деградацию, вызванную физико-механическими факторами. При этом настройку измерительных приборов производят по эталонным объектам контроля, в качестве которых используются эталонные лопатки с известным характером и степенью деградации. Технический результат: повышение информативности и достоверности оценки характера и степени деградации материала лопаток. 3 з.п. ф-лы, 5 табл.

RU 2 380 696 C2

RU 2 380 696 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
G01N 27/83 (2006.01)
G01N 25/72 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007141872/28, 12.11.2007**

(24) Effective date for property rights:
12.11.2007

(43) Application published: **20.05.2009**

(45) Date of publication: **27.01.2010 Bull. 3**

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),
Selivanov Konstantin Sergeevich (RU),
Gordeev Vjacheslav Jur'evich (RU),
Novikov Anton Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

OOO "NPP Uralaviaspetstekhnologija" (RU)

(54) METHOD FOR COMPLEX DETECTION OF FLAWS IN TURBO-MACHINES MADE FROM NICKEL ALLOYS

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: thermal emf measurement method and a magnetic method are used to assess degree of deterioration of blades of turbo-machines made from nickel alloys. The thermal emf value is used to determine degree of deterioration of the material of the blades caused by diffusion-chemical factors. Magnetic parametres are used to determine

deterioration caused by physical and mechanical factors. Measurement devices are adjusted using standard control objects in form of standard blades with known nature and degree of deterioration.

EFFECT: increased information content and reliability of assessing nature and degree of deterioration of material of blades.

4 cl, 5 tbl, 1 ex

Изобретение относится к способам комплексной дефектоскопии металлических изделий и может быть использовано при обследовании лопаток турбомашин из никелевых жаропрочных сплавов.

Направляющие и рабочие лопатки турбин ГТД и ГТУ в процессе эксплуатации подвергаются воздействиям значительных динамических и статических нагрузок, высоких температур, а также коррозионному и эрозионному разрушению. Для изготовления лопаток газовых турбин применяются жаропрочные и жаростойкие никелевые сплавы типа ЖС-6, ЖС-6У и др.

Структура таких сплавов состоит из матрицы и относительно равномерно распределенной в ней упрочняющей карбидной, мелкодисперсной γ' -фазы. При длительной эксплуатации в условиях высоких температурах на поверхности лопаток образуются различного рода дефекты, а в сплаве - коагуляция и изменение морфологии упрочняющей γ' -фазы и карбидов в теле и по границам зерен, а также насыщение газом. В этой связи, дальнейшая эксплуатация таких лопаток становится невозможна. В то же время, восстановив физико-химическое состояние сплава и устранив повреждения поверхности лопаток, эксплуатацию лопаток можно продолжить. Поэтому своевременная и достоверная диагностика состояния материалов лопаток является достаточно важной ресурсосберегающей задачей.

Известен способ электромагнитной дефектоскопии, основанный на сканировании изделия электромагнитным преобразователем, подсчете общего числа импульсов от краев и дефектов изделия и выделении информации о его дефектности путем определения превышения общего числа импульсов над числом импульсом от краев [А.С. СССР №333460, МПК G01N 27/86, 1970].

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 известных способов является их низкая информативность.

Наиболее близким к предлагаемому способу является комбинированный способ дефектоскопии лопаток турбомашин, включающий совместное использование метода термоЭДС и метода индукционной дефектоскопии [Патент США №5430376, МПК G01B 7/02. Combined thermoelectric and eddy-current method and apparatus for nondestructive testing of metallic of semiconductor coated objects. 1995]. Недостатком известного способа является низкая информативность и достоверность оценки характера деградации материала лопатки в процессе эксплуатации.

Необходимо отметить, что известные неразрушающие методы оценки степени деградации металлических материалов, основанные на магнитных, термоэлектрических и других эффектах, не позволяют оценить соотношение долей химической и механической составляющих, что значительно снижает достоверность оценки характера деградации материалов. Кроме того, магнитные методы преимущественно используются для оценки состояния изделий, выполненных из ферромагнитных материалов.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является повышение информативности и достоверности оценки характера и степени деградации материала лопатки из никелевых сплавов после эксплуатации в условиях высоких температур.

Технический результат достигается тем, что в способе комплексной дефектоскопии лопаток турбомашин из никелевых сплавов, включающем замер значений термоЭДС

материала лопатки и оценку состояния материала лопатки по полученному сигналу, в отличие от прототипа предварительно настраивают прибор оценки термоЭДС на ряде эталонных образцов-лопаток с различной степенью деградации материала, вызванной диффузионно-химическими факторами, по своим размерам и материалу
 5 соответствующим контролируемой лопатке, при этом начальный образец соответствует нулевой степени деградации материала, а конечный образец - максимально возможной степени деградации, вызванной диффузионно-химическими факторами, и после замера значений термоЭДС контролируемой лопатки определяют
 10 степень деградации ее материала, вызванной диффузионно-химическими факторами, дополнительно настраивают магнитно-измерительное устройство на ряде эталонных образцов-лопаток с различной степенью деградации материала, вызванной физико-механическими факторами, по своим размерам и материалу соответствующим
 15 контролируемой лопатке, при этом начальный образец соответствует нулевой степени деградации материала, а конечный образец - максимально возможной степени деградации, вызванной физико-механическими факторами, производят замеры магнитно-измерительным устройством контролируемой лопатки, по замерам определяют степень деградации ее материала, вызванной физико-механическими
 20 факторами, и оценивают долю каждого вида деградации.

Технический результат достигается также тем, что в способе комплексной дефектоскопии берут, по крайней мере, одну эталонную лопатку с промежуточным состоянием деградации материала.

Технический результат достигается также тем, что в способе комплексной
 25 дефектоскопии в качестве диффузионно-химических факторов принимают процессы деградации материала лопатки, вызванные образованием окислов.

Технический результат достигается также тем, что в способе комплексной дефектоскопии замер значений термоЭДС производят при помощи зонда-электрода,
 30 выполненного из никелевого сплава, соответствующего по химическому составу и структуре исходному состоянию сплава контролируемой лопатки.

При исследовании степени и характера деградации материала лопаток из никелевых сплавов в процессе эксплуатации авторами экспериментально установлено, что деградация материала, вызванная физико-механическими факторами, в значительной
 35 степени выявляется магнитными методами дефектоскопии, а деградация материала, вызванная диффузионно-химическими факторами (например, окисление), выявляется при дефектоскопии по значениям термоЭДС. Полученные результаты позволили разработать комплексный метод оценки степени и характера деградации материала
 40 лопатки, позволяющий определить вклад каждого из рассматриваемых факторов на деградацию материала лопатки. Так, например, крайними случаями подобной деградации материала являются лопатки, изменение свойств которых произошло либо в результате воздействия только механических факторов (оценивается изменением магнитных параметров материала от величины M_0 до величины M_1 , где M_0 -
 45 магнитные характеристики исходного материала лопатки, M_1 - магнитные характеристики текущего состояния материала лопатки, $M_0 - M_1 \neq 0$; в то время как изменение параметров термоЭДС равны нулю, т.е. химико-диффузионные причины деградации материала исключаются), либо - в результате воздействия только
 50 химических процессов (т.е. когда изменение магнитных параметров равно нулю, в то время как наблюдается изменение значений термоЭДС от некоторого значения T_0 до T_1 , где T_0 - характеристики термоЭДС исходного материала лопатки. T_1 -

характеристики термоЭДС текущего состояния материала лопатки, т.е. физико-механические факторы деградации материала исключаются). Однако в процессе эксплуатации лопаток турбомашин из никелевых сплавов, как правило, деградация материала происходит в результате совместного воздействия механических и химико-диффузионных факторов. В этом случае вклад каждого из этих факторов в картину общей деградации материала определяется исходя из доли каждого из них, рассчитанной по шкале от минимального значения степени деградации того или иного вида до его максимально возможного значения.

Предлагаемый способ реализуется следующим образом.

Одним из известных методов производят замер значений термоЭДС материала лопатки. Для этого вначале производят настройку прибора, осуществляя замеры значений термоЭДС материала на ряде эталонных лопаток, имеющих, различную (заданную) степень химической деградации материала. При этом используются эталоны, выполненные из одного и того же исходного материала, имеющие одинаковые размерные и геометрические параметры. Для оценки зависимости значений термоЭДС 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 термоЭДС по указанным эталонам в фиксированных зонах лопатки.

Производят замер значений термоЭДС у контролируемой лопатки и по полученной зависимости «величина термоЭДС - степень деградации» определяют величину химической деградации материала контролируемой лопатки.

Далее, дополнительно настраивают магнитно-измерительное устройство на ряде эталонных образцов-лопаток с различной степенью деградации материала, вызванной физико-механическими факторами, по своим размерам и материалу соответствующим контролируемой лопатке, при этом начальный образец соответствует нулевой степени деградации материала, а конечный образец - максимально возможной степени деградации, вызванной физико-механическими факторами, производят замеры магнитно-измерительным устройством контролируемой лопатки, по замерам определяют степень деградации ее материала, вызванной физико-механическими факторами. Также используют дополнительные промежуточные эталонные образцы с фиксированными значениями степени деградации материала. Затем, используя шкалу от нуля до ста процентов, соответствующую нулевой и максимальной степени механической деградации материала, производят настройку прибора для измерения значений магнитных параметров материала по указанным эталонам в фиксированных зонах лопатки. Производят замеры магнитно-измерительным устройством контролируемой лопатки и по полученной зависимости «значения показаний магнитно-измерительного устройства - степень деградации» определяют степень деградации материала контролируемой лопатки, вызванную механическими факторами.

После проведения оценки механической и химической деградации материала контролируемой лопатки оценивают долю каждого вида деградации материала.

Зная вклад каждой из составляющих 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 механической и химической (окисление) деградации. Снятие магнитных характеристик производилось с помощью феррозонда, а параметров термоЭДС - прибором ТЭП 10-К. После получения данных с эталонных образцов производился замер магнитных и термоЭДС 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, включая оценку структурно-фазового и химического составов материалов.

Сравнительные результаты исследований приведены в таблицах 1-4. В таблице 5 приведены данные по соотношению долей механической и химической деградации материала лопаток.

Табл.1.
Эталонные лопатки

№	Степень механической деградации материала, %	Среднее значение показаний магнитно-измерительного устройства, H_{cp} , (ед. шкалы прибора)	Примечание
1	2	3	4
1	0	5,6	Отсутствие дефектов
2	11	7,8	-
3	19	12,1	-
4	32	13,1	-
5	42	14,6	-
6	53	15,8	-
7	58	16,4	-
8	77	17,2	-
9	98	18,7	Предельное состояние

Табл.2.
Контролируемые лопатки

№	Среднее значение показаний магнитно-измерительного устройства, (ед. шкалы прибора)	Степень механической деградации материала, определенная по предлагаемому способу, %	Степень механической деградации материала, определенная металлографическим методом, %
1	2	3	4
1	11,4	19	15
2	14,2	38	45
3	18,3	82	75
4	15,9	51	60
5	13,7	36	45
6	10,9	16	15

Табл.3.
Эталонные лопатки

№	Степень химической деградации материала, %	Среднее значение термоЭДС, $T_{эдс\ cp}$, мА	Примечание
---	--	---	------------

1	2	3	4
1	0	13	Отсутствие дефектов
2	11	51	-
3	36	86	-
4	47	103	-
5	58	114	-
6	64	119	-
7	76	124	-
8	88	132	-
9	96	138	Предельное состояние

Табл.4. Контролируемые лопатки			
№	Среднее значение термоЭДС, Тэдс _{ср} , мА	Степень химической деградации материала, %, определенная по предлагаемому способу, %	Степень химической деградации материала, определенная по известному способу, %
1	2	3	4
1	102	42	45
2	108	51	60
3	80	28	35
4	59	17	25
5	104	48	50
6	67	19	20

Табл.5. Общий характер деградации материала			
№	Степень механической деградации(МД) материала, %	Степень химической деградации(ХД) материала, %	Заключение о характере деградации материала, МД/ХД
1	2	3	4
1	19	42	31%/69%
2	38	51	42,7%/57,3%
3	82	28	74,5%/25,5%
4	51	17	75%/25%
5	36	48	42,9%/57,1%
6	16	19	42,7%/54,3%

Приведенные данные по оценке величины механической и химической деградации материала с использованием предлагаемого способа комплексной 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. Способ комплексной дефектоскопии лопаток турбомашин из никелевых сплавов, включающий замер значений термоЭДС материала лопатки и оценку состояния материала лопатки по полученному сигналу, отличающийся тем, что предварительно настраивают прибор оценки термоЭДС на ряде эталонных образцов-лопаток с различной степенью деградации материала, вызванной диффузионно-химическими факторами, по своим размерам и материалу соответствующим контролируемой лопатке, при этом начальный образец соответствует нулевой степени деградации материала, а конечный образец - максимально возможной степени деградации, вызванной диффузионно-химическими факторами, и после замера значений термоЭДС

контролируемой лопатки определяют степень деградации ее материала, вызванной диффузионно-химическими факторами, дополнительно настраивают магнитно-измерительное устройство на ряде эталонных образцов-лопаток с различной степенью деградации материала, вызванной физико-механическими факторами, по своим размерам и материалу соответствующим контролируемой лопатке, при этом начальный образец соответствует нулевой степени деградации материала, а конечный образец - максимально возможной степени деградации, вызванной физико-механическими факторами, производят замеры магнитно-измерительным устройством контролируемой лопатки, по замерам определяют степень деградации ее материала, вызванной физико-механическими факторами, и оценивают долю каждого вида деградации.

2. Способ комплексной дефектоскопии по п.1, отличающийся тем, что берут, по крайней мере, одну эталонную лопатку с промежуточным состоянием деградации материала.

3. Способ комплексной дефектоскопии по п.1, отличающийся тем, что в качестве диффузионно-химических факторов принимают процессы деградации материала лопатки, вызванные образованием окислов.

4. Способ комплексной дефектоскопии по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что замер значений термоЭДС производят при помощи зонда-электрода, выполненного из никелевого сплава, соответствующего по химическому составу и структуре исходному состоянию сплава контролируемой лопатки.