



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012147388/28, 07.11.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
07.11.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.11.2012

(45) Опубликовано: 10.03.2014 Бюл. № 7

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1062578 A1, 23.12.1983. SU 1035488 A1,  
15.08.1983. SU 1753380 A1, 07.08.1992. SU  
1288563 A1, 07.02.1987. WO 2009043095 A1,  
09.04.2009. EP 772032 A2, 07.05.1997.

Адрес для переписки:

634050, г.Томск, пр. Ленина, 30, ГОУ ВПО  
"Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет", отдел  
правовой охраны результатов  
интеллектуальной деятельности

(72) Автор(ы):

**Заворин Александр Сергеевич (RU),  
Любимова Людмила Леонидовна (RU),  
Ташлыкков Александр Анатольевич (RU),  
Фисенко Роман Николаевич (RU),  
Табакаев Роман Борисович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет" (RU)**

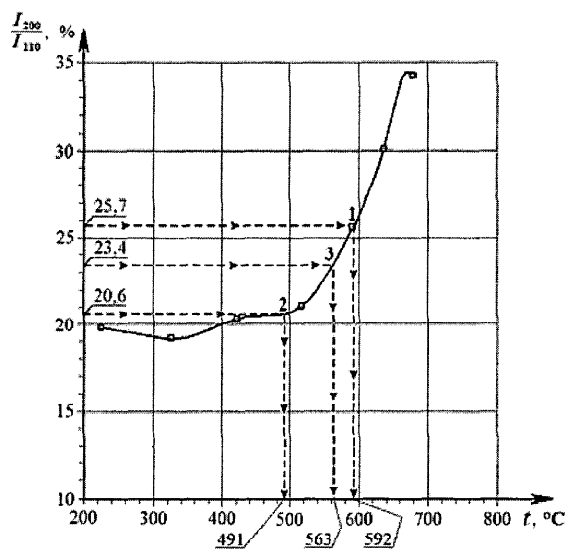
**(54) СПОСОБ РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛОВ**

(57) Реферат:

Использование: для неразрушающего исследуемую поверхность контроля температурных условий эксплуатации и разрушения трубных элементов паровых и водогрейных котлов. Сущность заключается в том, что подготавливают образец трубного элемента и эталон из не работавшего в котле участка трубы, имеющей аналогичный состав и способ изготовления, осуществляют рентгено съемку эталона в режиме термоциклирования в цикле «нагрев - охлаждение до комнатной температуры», строят на ее основе зависимость отношений интегральных интенсивностей, полученных при комнатной температуре для двух наиболее сильных дифракционных линий, не имеющих наложений с дифракционными линиями других фаз, от температуры термоцикла, производят

рентгено съемку образца трубного элемента при комнатной температуре, для которого определяют отношение интегральных интенсивностей тех же двух дифракционных линий, сравнивают отношения интегральных интенсивностей дифракционных линий образца и эталона и определяют температуру эксплуатации участка трубного элемента, принимая ее равной температуре эталона при данной величине отношения интегральных интенсивностей. Технический результат: обеспечение возможности реализации способа определения температурных условий эксплуатации трубных элементов котлов, распространяющегося на все виды стали, независимо от водного режима работы котла, без разрушения поверхности образца. 1 ил., 4 табл.

RU 2509298 C1



Фиг. 1

RU 2509298 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012147388/28, 07.11.2012

(24) Effective date for property rights:  
07.11.2012

Priority:

(22) Date of filing: 07.11.2012

(45) Date of publication: 10.03.2014 Bull. 7

Mail address:

634050, g.Tomsk, pr. Lenina, 30, GOU VPO  
"Natsional'nyj issledovatel'skij Tomskij  
politekhneskij universitet", otdel pravovoj  
okhrany rezul'tatov intellektual'noj dejatel'nosti

(72) Inventor(s):

Zavorin Aleksandr Sergeevich (RU),  
Ljubimova Ljudmila Leonidovna (RU),  
Tashlykov Aleksandr Anatol'evich (RU),  
Fisenko Roman Nikolaevich (RU),  
Tabakaev Roman Borisovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovaniya "Natsional'nyj  
issledovatel'skij Tomskij politekhneskij  
universitet" (RU)

(54) **METHOD FOR X-RAY ASSESSMENT OF TEMPERATURE CONDITIONS OF OPERATION OF TUBULAR ELEMENTS OF BOILERS**

(57) Abstract:

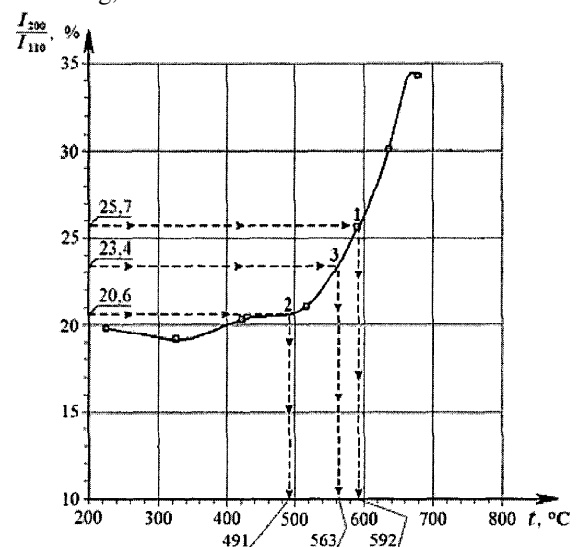
FIELD: testing equipment.

SUBSTANCE: tube element sample is prepared, as well as a standard from a piece of a pipe that has not been operated in the boiler, having similar composition and method of manufacturing, X-ray study of the standard is carried out in the thermocycling mode in the cycle "heating - cooling down to room temperature", it is used to build dependence of ratios of integral intensities produced under room temperature for two strongest diffraction lines that are not superimposed with diffraction lines of other phases from thermocycle temperature, X-ray study of the tube element sample is carried out under room temperature, for which they determine the ratio of integral intensities of the same two diffraction lines, ratios of integral intensities of diffraction lines in the sample and the standard are compared, and the temperature of operation of the tube element section is defined, accepting it as equal to the standard temperature at this value of the ratio of integral intensities.

EFFECT: provision of the possibility to realise

method of determination of temperature conditions of operation of tube elements of boilers, which covers all types of steel, regardless of water regime of boiler operation, without damage of sample surface.

1 dwg, 4 tbl



Фиг. 1

Изобретение относится к способу неразрушающего исследуемую поверхность контроля температурных условий эксплуатации и разрушения трубных элементов паровых и водогрейных котлов и может найти применение на предприятиях энергетической отрасли для диагностирования причин аварий, в проектных и научно-исследовательских организациях, разрабатывающих и использующих оборудование для предприятий энергетических и химических отраслей, при исследованиях новых марок сталей на жаростойкость и жаропрочность.

Известен способ определения эквивалентной температуры эксплуатации пароперегревателя по зависимости между толщиной оксидной пленки и временем эксплуатации (РД 34.17.452-98, п.5.6), в котором от обоих концов каждого патрубка холодным способом отрезают по одному шлифу высотой 20-25 мм, на внутренней поверхности шлифы изнутри заливают сплавом Вуда и затем на токарном станке снимают с одной стороны рабочей поверхности слой толщиной 1-2 мм, при этом избегая разогрева шлифа. После шлифовки и полировки шлифы травят в 3-4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты, на оптическом микроскопе измеряют толщину окарины на внутренней поверхности трубы с учетом толщины подокисного слоя в зоне, где она максимальна. Делают 8-10 замеров и вычисляют среднее значение толщины оксидной пленки ( $h_{ок}$ , мм).

Глубину коррозии ( $\Delta S$ , мм) на внутренней поверхности трубы подсчитывают по формуле  $\Delta S = 0,48 \cdot h_{ок}$  (РТМ 108.030.116-78). По найденному значению  $\Delta S$  и фактической наработке трубы ( $\tau_э$ , ч) с помощью графиков, приведенных в РД 34.17.452-98, определяют эквивалентную температуру внутренней поверхности трубы.

Недостатком способа является то, что он применяется только для труб из перлитных сталей и справедлив только для пароперегревателей котлов, работающих в гидразинно-аммиачном водном режиме.

Известен способ определения эквивалентной температуры эксплуатации пароперегревателя по зависимости степени структурных превращений от времени эксплуатации для труб пароперегревателей из стали 12Х1МФ (РД 34.17.452-98, п.5.7), в котором от обоих концов каждого патрубка холодным способом отрезают по одному шлифу высотой 20-25 мм, шлифуют, после чего травят в 3-4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты, балл микроструктуры протравленного шлифа оценивают по шестибальной шкале, приведенной в приложении Б документа РД 34.17.452-98. Затем по графикам, приведенным в РД 34.17.452-98, по баллу микроструктуры и фактической наработке определяют эквивалентную температуру эксплуатации в центральной зоне стенки трубы.

Недостатки способа - он применяется только для стали 12Х1МФ и субъективная оценка балла микроструктуры вносит значительную дополнительную погрешность в результат определения температуры.

Известен способ определения эквивалентной температуры эксплуатации пароперегревателя по зависимости содержания молибдена в карбидном осадке от времени эксплуатации (РД 34.17.452-98, п.5.7), включающий подготовку патрубков длиной 40 мм, на торце которых ставится керн в месте, где толщина стенки минимальна. Затем на токарном станке с наружной и внутренней сторон патрубков обтачивают до полного снятия продуктов коррозии. В месте, отмеченном керном, вырезают два продольных образца в виде полос шириной 10 мм на всю длину патрубка. На вырезанных образцах закругляют все углы. С одного конца на расстоянии не более 5 мм от торцевой стороны сверлят отверстие диаметром 3 мм. Из

оставшейся части патрубка набирают стружку для химического анализа (не менее 2 г).

Химический и фазовый анализы стали с определением содержания молибдена в карбидном осадке проводятся в соответствии с приложением В документа РД 34.17.452-98, после чего по доле молибдена, перешедшего в карбиды, и фактической наработке трубы по графикам, приведенным в РД 34.17.452-98, определяется эквивалентная температура эксплуатации.

Недостатком способа является то, что он применяется только для труб из перлитных сталей (содержащих молибден). В способе не учтено влияние характеристик нагрузки (уровня внешних и внутренних деформаций, знакопеременности приложенных нагрузок и т.п.) на перераспределение легирующих элементов и на результат определения температуры эксплуатации пароперегревателя, что существенно снижает точность ее определения.

Задача заявляемого изобретения - разработка универсального способа неразрушающего определения температуры условий эксплуатации трубных элементов котлов, распространяющегося на все виды стали, независимо от водного режима работы котла.

Поставленная задача достигается тем, что в заявляемом способе рентгенометрической оценки температурных условий эксплуатации котлов подготавливают образец трубного элемента и эталон из не работавшего в котле участка трубы, имеющей аналогичный состав и способ изготовления. Осуществляют рентгено съемку эталона в режиме термоциклирования в цикле «нагрев - охлаждение до комнатной температуры» (нагрев до определенной температуры - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до комнатной температуры - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме - нагрев до более высокой температуры - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до комнатной температуры - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме и т.д.), строят на ее основе зависимость отношений интегральных интенсивностей, полученных при комнатной температуре для двух наиболее сильных дифракционных линий, не имеющих наложений с дифракционными линиями других фаз, от температуры термоцикла. Производят рентгено съемку образца трубного элемента при комнатной температуре, для которого определяют отношение интегральных интенсивностей тех же двух дифракционных линий. Сравнивают отношения интегральных интенсивностей дифракционных линий образца и эталона и определяют температуру эксплуатации участка трубного элемента, принимая ее равной температуре эталона при данной величине отношения интегральных интенсивностей.

Заявляемое изобретение поясняется примерами.

Подготавливают эталон размером 12×20 мм из не работавшего в котле прямого участка трубы, изготовленной из стали 12Х1МФ. Осуществляют рентгено съемку эталона в режиме термоциклирования (нагрев до 225°С - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до 12°С - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме - нагрев до 323°С - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до 12°С - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме - нагрев до 420°С - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до 12°С - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме - нагрев до 517°С - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до 12°С - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме - нагрев до 590°С - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до 12°С - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме - нагрев до 635°С - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до 12°С - рентгено съемка в

стационарном тепловом режиме - нагрев до 679°C - выдержка в стационарном тепловом режиме - охлаждение до 12°C - рентгено съемка в стационарном тепловом режиме (таблица 1)).

5

Таблица 1							
Значения отношений интегральных интенсивностей двух наиболее сильных дифракционных линий эталона при термоциклировании							
Температура термоцикла, °C	225	323	420	517	590	635	679
$I_{200}/I_{100}$ - отношение интегральных интенсивностей дифракционных линий (200) и (110) эталона при 12°C после нагрева до соответствующих температур, %	19,8	19,2	20,4	21,1	25,6	30,1	34,2

10

Строят на ее основе зависимость отношений интегральных интенсивностей, полученных при 12°C для двух наиболее сильных дифракционных линий, не имеющих наложений с дифракционными линиями других фаз, от температуры термоцикла (фиг.1).

15

В качестве образцов трубного элемента использованы участки труб пароперегревателя, описанные в таблице 2.

20

Таблица 2			
Исследуемые образцы трубного элемента			
№ образца	Время эксплуатации, тыс.ч	Температура эксплуатации (из журнала учета параметров), °C	Описание
1	~150	530-560	Конвективный пароперегреватель энергетического котла (Ø32 мм), изготовленный из стали 12Х1МФ. Вид повреждения - трещина в сварном шве. Образец - участок, расположенный рядом со сварным швом.

25

30

Продолжение таблицы 2 - Исследуемые образцы трубного элемента			
№ образца	Время эксплуатации, тыс.ч	Температура эксплуатации (из журнала учета параметров), °C	Описание
2	~150	470-500	Ширмовый пароперегреватель из стали 12Х1МФ энергетического котла (Ø32 мм). Вид повреждения - отдулина, имеющая в вершине трещину. Наблюдается ярко выраженное отслоение металла на внутренней поверхности трубы. Образец - участок, расположенный рядом с отдулиной.
3	~16,5	576-582	Конвективный пароперегреватель технологического котла (Ø38 мм, сталь 12Х1МФ). Вид повреждения - отдулина, имеющая в вершине трещину. Образец - участок, расположенный рядом с отдулиной.

35

Производят рентгено съемку образца трубного элемента при температуре 12, для которого определяют отношение интегральных интенсивностей тех же двух дифракционных линий (таблица 3).

40

45

Таблица 3			
Значения отношений интегральных интенсивностей образцов трубного элемента			
Рентгенометрическая характеристика	Номер образца		
	1	2	3
$I_{200}/I_{110}$ - отношение интегральных интенсивностей дифракционных линий (200) и (110) при 12°C, %	25,7	20,6	23,4

Сравнивают отношения интегральных интенсивностей дифракционных линий образца и эталона и определяют температуру эксплуатации участка трубного элемента, принимая ее равной температуре эталона при данной величине отношения интегральных интенсивностей (фиг.1). Результаты определения температуры и подсчитанная погрешность представлены в таблице 4.

50

Таблица 4			

Результаты определения температуры участков пароперегревателей			
Номер образца	Фактическая температура эксплуатации, °С		Погрешность, %
	По описанию образцов	Данные рентгенометрии (фиг.1)	
1	530-560	592	5,7-11,7
2	470-500	491	1,8-4,5
3	576-582	563	2,3-3,3

### Формула изобретения

Способ рентгенометрической оценки температурных условий эксплуатации трубных элементов котлов, в котором подготавливают образец трубного элемента и эталон из не работавшего в котле участка трубы, имеющей аналогичный состав и способ изготовления, осуществляют рентгеносъемку эталона в режиме термоциклирования в цикле «нагрев - охлаждение до комнатной температуры», строят на ее основе зависимость отношений интегральных интенсивностей, полученных при комнатной температуре для двух наиболее сильных дифракционных линий, не имеющих наложений с дифракционными линиями других фаз, от температуры термоцикла, производят рентгеносъемку образца трубного элемента при комнатной температуре, для которого определяют отношение интегральных интенсивностей тех же двух дифракционных линий, сравнивают отношения интегральных интенсивностей дифракционных линий образца и эталона и определяют температуру эксплуатации участка трубного элемента, принимая ее равной температуре эталона при данной величине отношения интегральных интенсивностей.