



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 197 722** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) МПК<sup>7</sup> **G 01 N 3/32, C 23 C 2/08**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

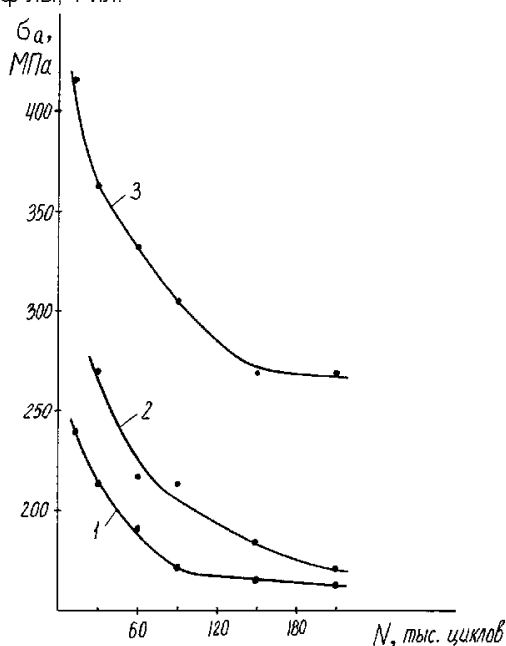
(21), (22) Заявка: 2000124502/28, 25.09.2000  
(24) Дата начала действия патента: 25.09.2000  
(43) Дата публикации заявки: 20.09.2002  
(46) Дата публикации: 27.01.2003  
(56) Ссылки: ОКУБО ХАДЗИМЭ. Определение напряжений гальваническим меднением. - М.: Машиностроение, 1969, с.16-41. SU 1326945 A1, 30.07.1987. SU 568866 A, 15.08.1977. DE 2749836 B2, 13.09.1979. SU 137003 A, 11.03.1961. SU 1227711 A1, 30.04.1986. DE 1573686 A, 26.11.1970. SU 1698691 A1, 15.12.1991. SU 140651 A, 07.09.1961. ИЛЬИН В.А. Цинкование, кадмирование, лужение и свинцевание, 4-е изд. - Л.: Машиностроение, 1977, с.54 - 56, 69 - 73. WO 97/17824 A1, 15.05.1997.  
(98) Адрес для переписки:  
640669, г.Курган, ул. Гоголя, 25, КГУ, НИО

(71) Заявитель:  
Курганский государственный университет  
(72) Изобретатель: Тютрин С.Г.,  
Тютрин П.С.  
(73) Патентообладатель:  
Курганский государственный университет

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛИ

(57) Изобретение относится к механическим испытаниям и может быть использовано для определения деформаций и напряжений на поверхности деталей машин, подвергающихся циклическому нагружению. Способ определения амплитуды циклической деформации детали заключается в приложении к эталонному образцу с нанесенным на него пластичным равномерным покрытием циклической деформации постоянной амплитуды и последующем определении амплитуды циклической деформации детали с помощью нанесенного на нее такого же покрытия, как и на эталонный образец по калибровочной зависимости, полученной при нагружении эталонного образца. В качестве материала покрытия используют припой, которым лудят исследуемую поверхность, при этом в качестве материала покрытия используют металл или сплав, температура плавления которого ниже температуры отпуска материала исследуемой детали, и покрытие после лужения полируют. Используемый припой может быть мягким, легкоплавким или особо легкоплавким. Данное изобретение

направлено на упрощение и снижение трудоемкости проводимых испытаний. 1 з.п. ф-лы, 1 ил.





(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 197 722** <sup>(13)</sup> **C2**  
(51) Int. Cl.<sup>7</sup> **G 01 N 3/32, C 23 C 2/08**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

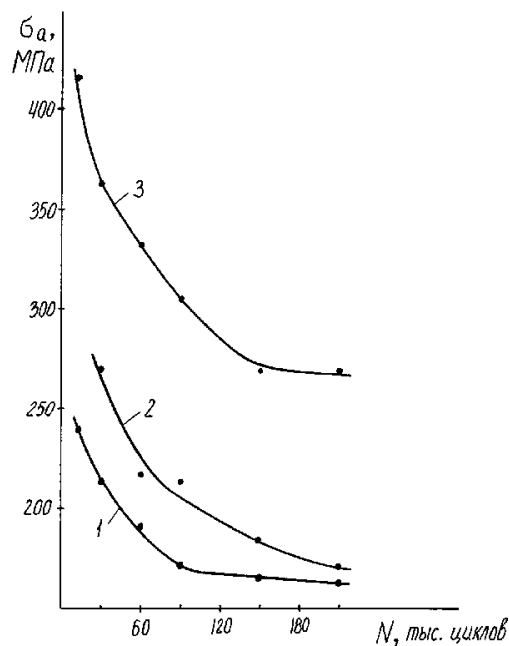
(21), (22) Application: 2000124502/28, 25.09.2000  
(24) Effective date for property rights: 25.09.2000  
(43) Application published: 20.09.2002  
(46) Date of publication: 27.01.2003  
(98) Mail address:  
640669, g.Kurgan, ul. Gogolja, 25, KGU, NIO

(71) Applicant:  
Kurganskij gosudarstvennyj universitet  
(72) Inventor: Tjutrin S.G.,  
Tjutrin P.S.  
(73) Proprietor:  
Kurganskij gosudarstvennyj universitet

(54) PROCEDURE DETERMINING AMPLITUDE OF CYCLIC DEFORMATION OF PART

(57) Abstract:

FIELD: mechanical testing, determination of deformations and stresses on surfaces of parts of machines subjected to cyclic loading. SUBSTANCE: procedure determining amplitude of cyclic deformation of part consists in application of cyclic deformation of constant amplitude to reference sample with uniform plastic coat deposited on it and subsequent determination of amplitude of cyclic deformation of part with the aid of same coat as coat deposited on reference sample by means of calibration dependence obtained with loading of reference sample. In the capacity of material of coat there is used solder deposited on examined surface. Metal or alloy which melting temperature is below temperature of tempering of material of part is utilized as material of coat. Coat is polished after application of tin. Used solder can be soft, easily fusible or especially easily fusible. EFFECT: simplified procedure and reduced labor input to undergoing testing. 1 cl, 1 dwg



RU 2 197 722 C 2

RU 2 197 722 C 2

Изобретение относится к области механических испытаний и может быть использовано для определения деформаций и напряжений на поверхности деталей машин, подвергающихся циклическому нагружению.

Известен метод определения напряжений при помощи хрупких тензочувствительных покрытий, согласно которому на поверхности детали и калибровочного образца наносят слой, например, лакового покрытия, которое после сушки становится хрупким и под действием деформаций, возникающих при приложении внешних сил, растрескивается. Величину деформации, при которой в покрытии образуется трещина, устанавливают по результатам нагружения калибровочного образца. Направление трещин перпендикулярно главным деформациям. Зная это, определяют величины и направления деформаций и напряжений в исследуемой детали. Толщина покрытия составляет порядка 0,1 мм. Калибровочный образец (балку) изготавливают из того же материала, что и исследуемая деталь (Пригоровский Н. И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. Справочник. - М.: Машиностроение, 1983, с. 37-38).

Отличительными признаками аналога являются применение чувствительных к деформациям покрытий, нанесение их тонким равномерным слоем на поверхность исследуемой детали.

Недостатками данного способа являются значительные погрешности его при определении сжимающих напряжений и, как следствие, непригодность его для определения переменных деформаций и напряжений. Это связано с тем, что прочность хрупкого материала при сжатии много выше, чем при растяжении.

В качестве прототипа выбран способ определения амплитуды циклической деформации детали методом гальванического меднения (Окубо Хадзимэ. Определение напряжений гальваническим меднением. - М.: Машиностроение, 1969, с. 16-41).

Способ заключается в том, что исследуемую деталь и калибровочные образцы, изготовленные из материала детали, шлифуют наждачной бумагой 600, подвергают гальваническому меднению в течение 20 минут в щелочной ванне с содержанием 23 г  $\text{CuCN}$ , 30 г  $\text{NaCN}$  и 10 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  на литр воды при температуре электролита  $+30^\circ\text{C}$ , напряжении на ванне 0,35 В и плотности тока 6  $\text{A}/\text{m}^2$ . Затем в течение 15 минут проводят гальваническое меднение в кислой ванне с содержанием 250 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 80 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на литр воды при напряжении на ванне 0,5 В и плотности тока 300  $\text{A}/\text{m}^2$ . Толщина покрытия равна приблизительно 0,01 мм, а небольшие колебания толщины покрытия почти не влияют на результаты экспериментальных исследований (там же, с.16-17).

Градуировочные образцы, например с конической рабочей частью, испытывают под действием циклически изменяющихся во времени и известных по амплитуде деформациям. По результатам этих испытаний устанавливается калибровочная зависимость между числом циклов

нагружения до появления реакции гальванопокрытия и амплитудой действующей деформации. Реакцию медного гальванического покрытия контролируют наружным осмотром по моменту появления на нем первых темных пятен или по моменту начала роста зерен в нем.

Исследуемую деталь с нанесенным покрытием подвергают воздействию эксплуатационной нагрузки и также определяют число циклов до появления реакции в исследуемых точках. В результате, используя калибровочную зависимость, определяют амплитуды и характер распределения циклических деформаций и напряжений на поверхности детали.

Отличительным признаком прототипа является то, что покрытие является пластичным, наносится путем гальванического меднения равномерным слоем.

Недостатками способа, выбранного в качестве прототипа, являются высокая сложность и трудоемкость технологии получения покрытия. Кроме того, чувствительность покрытия к деформациям невысока, что требует проведения длительных испытаний.

Для упрощения способа и снижения длительности испытаний на исследуемую поверхность детали равномерным слоем наплавляют припой.

На чертеже приведены калибровочные кривые покрытий, изготовленных предлагаемым способом.

Способ осуществляется следующим образом. Известными способами поверхности исследуемой детали и калибровочных образцов очищаются от окалины, окисной пленки, жиров, масел, пыли, грязи, краски и т.п. Затем эти поверхности нагревают до температуры плавления припоя и производят напайку этого припоя с использованием соответствующего флюса так, чтобы получаемое покрытие имело примерно постоянную толщину в пределах исследуемой поверхности. Калибровочные образцы подвергают циклическому нагружению при известных и постоянных амплитудах деформаций (напряжений) и устанавливают число циклов нагружений до появления в покрытии контролируемых изменений. По этим данным строят калибровочную зависимость (в координатах деформация - число циклов). Затем производят испытание исследуемой детали до появления в ее покрытии таких же изменений, фиксируют число циклов нагружения. Используя калибровочную зависимость, по известному числу циклов нагружения определяют величину амплитуды деформации детали.

Измерения основаны на том, что исследуемая поверхность детали и нанесенное на нее тонкое покрытие испытывают равные деформации при одинаковой температуре, но повреждаемость покрытия больше, поскольку оно менее прочное и долговечное. Как известно, прочность металла определяется главным образом его температурой плавления: чем ниже температура плавления, тем ниже прочность (Гуляев А. П. Металловедение. Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1986, с. 39). А температура плавления припоя обязательно ниже температуры плавления

основного металла (по определению процесса пайки). Таким образом, признаки повреждаемости в покрытии из припоя проявляются раньше, чем в материале детали, что дает возможность контролировать деформации детали при малых числах циклов нагружения.

Использование припоя в качестве тензочувствительного покрытия удобно тем, что технология процесса пайки в настоящее время хорошо проработана, широко распространена и легко доступна. Для разных материалов разработаны десятки и даже сотни составов припоев и флюсов с известными характеристиками, в том числе - пластичности припоя (Попилов Л.Я. Советы заводскому технологу. Справочное пособие. - Л.: Лениздат, 1975, с. 107-125).

Как наиболее доступное отметим нанесение покрытия путем лужения оловянно-свинцовыми припоями марок ПОС 61, ПОС 40 с температурой плавления соответственно 182-185 и 183-235°C.

Вполне возможно, несмотря на их более высокую стоимость, применение в качестве материала покрытия припоев из чистого металла (не сплава), например, олова, цинка, кадмия, индия, серебра, золота, меди, температура плавления которых соответственно равна 232, 419, 321, 157, 960, 1063, 10830°C.

Однако при напайке материал исследуемой детали нагревается и, если деталь термически упрочняется, может произойти снижение ее прочности и твердости вследствие отпуска. Во избежание этого следует выбирать припой так, чтобы его температура плавления была ниже температуры отпуска исследуемой детали.

Например, для стали температура низкого отпуска составляет примерно 200 °С, среднего - примерно 400°C. В таком случае необходимо использовать мягкие, легкоплавкие и особо легкоплавкие припои (с температурой плавления менее 400-450 °С). Их дополнительное преимущество заключается в том, что их прочность и долговечность еще более низки. В качестве дополнения к уже перечисленным здесь отметим сплав Розе и сплав Ньютона с температурой плавления соответственно 94 и 96°C. Эти сплавы могут оказаться весьма эффективными при испытаниях при пониженных температурах.

Напайка должна быть осуществлена равномерным слоем, поскольку от толщины покрытия зависит скорость происходящих в нем структурных изменений: в очень тонком покрытии эти изменения сдерживаются поверхностными слоями, а в толстом покрытии они могут сглаживаться и затухать. Толщина покрытия может достигать 0,05-0,3 мм. Напайка может быть осуществлена любым известным способом, например, при помощи бытового электропаяльника или путем погружения в расплавленный припой. Для более надежного обеспечения равномерности толщины напайки может быть применен процесс химического или электрохимического осаждения припоя на исследуемую поверхность (там же, с.204-251) с последующим нагревом детали до оправления осажденного покрытия.

Контроль поврежденности покрытия может

быть проведен любым известным способом: по изменению микротвердости, по изменению микроструктуры, в том числе - по размеру зерна, по появлению дислокаций кристаллической решетки и др. Наиболее просто отслеживается изменение состояния поверхности покрытия: если покрытие до нагружения тщательно отполировать, то в процессе циклического деформирования на нем появляются различного рода дефекты, видимые при небольшом увеличении и даже невооруженным глазом.

Пример использования предлагаемого способа представлен на чертеже в виде графиков зависимости между амплитудой напряжения и числом циклов нагружения до появления дефектов на предварительно полированной поверхности покрытия. Кривые получены экспериментально на образце из стали 40ХН с исходной твердостью поверхности 45 HRC с конической шлифованной рабочей частью. Испытания проводились на машине МУИ-6000, обеспечивающей чистый изгиб с вращением при частоте 100 с<sup>-1</sup>, напайка осуществлялась при помощи бытового электропаяльника с использованием в качестве флюса ортофосфорной кислоты. Толщина покрытия составляла примерно 0,15-0,25 мм. После напайки остатки флюса удалялись с помощью ваты и ацетона, а покрытие полировалось алмазной пастой. Качество полировки контролировалось при помощи микроскопа МБС-9 с 98-кратным увеличением.

Кривая 1 построена по результатам испытания напайки из олова и соответствует моменту образования на поверхности покрытия скоплений дефектов, видимых невооруженным глазом. Кривая 2 получена при напайке на образец припоя ПОС 61 и соответствует моменту появления на поверхности дефектов, видимых при помощи указанного микроскопа. Кривая 3 получена при напайке на образец сплава Розе и соответствует моменту образования на поверхности покрытия отдельных микротрещин, видимых при помощи указанного микроскопа. Из чертежа видно, что число циклов нагружения до появления реакции на поверхности покрытия на порядок меньше, чем по способу-прототипу.

Таким образом, применение предлагаемого способа существенно упрощает технологию, снижает трудоемкость нанесения покрытия, а следовательно, и всего способа определения амплитуды циклической деформации детали, сокращает продолжительность испытаний. Простота и технологичность способа создают благоприятные условия для его широкого применения в исследовательской практике.

#### Формула изобретения:

1. Способ определения амплитуды циклической деформации детали, заключающийся в приложении к эталонному образцу с нанесенным на него пластичным равномерным покрытием циклической деформации постоянной амплитуды, а амплитуду циклической деформации детали определяют с помощью нанесенного на нее такого же покрытия по калибровочной зависимости, полученной при нагружении эталонного образца, отличающийся тем, что в качестве материала покрытия используют припой, которым лудят исследуемую

поверхность, при этом в качестве материала покрытия используют металл или сплав, температура плавления которого ниже температуры отпуска материала исследуемой

детали, а покрытие после лужения полируют.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что используют мягкий, легкоплавкий или особо легкоплавкий припой.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

-5-

RU 2 1 9 7 7 2 2 C 2

RU ? 1 9 7 7 2 2 C 2