(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. August 2011 (18.08.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/098079 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 3/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2011/000154

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Februar 2011 (10.02.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 008 397.6
12. Februar 2010 (12.02.2010) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **ZASIMCHUCK, Elena** [UA/UA]; Vernadsky Blvd. 36, 03680 Kiev (UA). **GORDIENKO, Yuri** [UA/UA]; Vernadsky Blvd. 36, 03680 Kiev (UA). **SCHREIBER, Jürgen** [DE/DE]; Dorfhainer Strasse 36, 01189 Dresden (DE).

(74) Anwalt: **PFENNING, MEINIG & PARTNER**; An der Frauenkirche 20, 01067 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

(54) Title: SENSING SYSTEM FOR DETERMINING THE FATIGUE ON METAL COMPONENTS

(54) Bezeichnung : SENSORSYSTEM ZUR BESTIMMUNG DER ERMÜDUNG AN METALLISCHEN BAUTEILEN

(57) Abstract: The invention relates to a sensing system for determining the fatigue on metal components. The aim of the invention is to provide a sensing system for non-destructively determining the fatigue on metal components, said system being usable in a flexible manner. The sensing system according to the invention is fixed to a component by means of a multilayer structure. A first layer formed from monocrystalline metal is directly bonded over the entire area of a surface of the component. A second electrically insulating polymer layer and a third layer which is sensitive or which contains sensing elements are applied on said first layer.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Sensorsystem zur Bestimmung der Ermüdung an metallischen Bauteilen. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Sensorsystem zur zerstörungsfreien Bestimmung der Ermüdung an metallischen Bauteilen zur Verfügung zu stellen, das flexibel einsetzbar ist. Das erfindungsgemäße Sensorsystem ist mit einem mehrschichtigen Aufbau an einem Bauteil befestigt. Dabei ist eine erste aus einkristallinem Metall gebildete Schicht unmittelbar Stoffschlüssig auf einer Oberfläche des Bauteils vollflächig befestigt. Auf dieser ersten Schicht sind eine zweite elektrisch isolierende Polymerschicht und eine dritte sensitive oder Sensorelemente enthaltende Schicht aufgebracht.

WO 2011/098079 A2

Sensorsystem zur Bestimmung der Ermüdung an metallischen Bauteilen

Die Erfindung betrifft ein Sensorsystem zur Bestimmung der Ermüdung an metallischen Bauteilen. Dabei kann eine solche Bestimmung und Überwachung während des Betriebes solcher Bauteile aber auch bei bzw. nach der Herstellung, ohne eine Zerstörung und in eingebautem Zustand durchgeführt werden. Außerdem kann eine Bewertung des momentanen Zustandes auch nach einer erheblichen Anzahl von Lastwechseln durchgeführt werden.

Für eine zerstörungsfreie Bestimmung sind bisher die verschiedensten Messverfahren eingesetzt worden. Viele davon können aber nur mit sehr großem Aufwand, nur bei Einhaltung bestimmter Umgebungsbedingungen (Vakuum), nicht über längere Zeiträume oder auch nicht oder nur schwer elektronisch erfass- und auswertbar durchgeführt werden. Häufig ist dies auch lokal be-

grenzt möglich und ein mobiler Einsatz, beispielsweise an Fahrzeugen nicht möglich.

So ist es von E. E. Zasimchuk u.a. aus „Equidimensional Fractal Maps for Indirect Estimation of Deformation Damage in Nonuniform Aircraft Alloys"; Journal of Materials Engeneering and Performance; Vol. 12(I) Februar 2003; S. 68 bis 76 bekannt, Sensorelemente aus einkristallinem Aluminium auf eine Oberfläche von Bauteilen aufzukleben und die Veränderung der Oberflächentopografie auszuwerten. Dies kann optisch oder auch durch Röntgenanalyse erfolgen.

Das muss aber unter Laborbedingungen erfolgen und ein mobiler Einsatz für eine on-line Bestimmung ist nicht möglich. Außerdem kann keine kontinuierliche Bestimmung über längere Zeiträume oder auch in Echtzeit durchgeführt werden. Die Auswertung der optisch erfassten Veränderungen der Oberflächentopografie ist aufwendig. Die normalen Umgebungsbedingungen des Bauteils liegen bei extra Untersuchungen unter Laborbedingungen nicht vor.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Sensorsystem zur zerstörungsfreien Bestimmung der Ermüdung an metallischen Bauteilen zur Verfügung zu stellen, das flexibel einsetzbar ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Sensorsystem, das die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen erreicht werden.

Am erfindungsgemäßen Sensorsystem ist ein mehrschich-

tiger Aufbau vorhanden. Unmittelbar auf einer Oberfläche eines metallischen Bauteils ist eine erste Schicht, die aus einem einkristallinen Metall gebildet ist, auf der Oberfläche vollflächig befestigt. Auf der ersten Schicht ist eine aus einem elektrisch isolierenden Polymer gebildete zweite Schicht ausgebildet. Auf der zweiten Schicht befindet sich dann eine dritte Schicht. In der dritten Schicht sind sensitive oder Sensorelemente enthalten.

Oberhalb der dritten Schicht können Kontakte zu in dieser Schicht eingebetteten Sensorelementen sowie Anschlusskontakte für eine externe Messsignalerfassung und -auswertung ausgebildet sein. Dabei können Messsignale oder auch Steuersignale für in der dritten Schicht enthaltene sensitive oder Sensorelemente an bzw. von einer elektronische(n) Auswerte- und Steuereinheit übertragen werden. Dies kann im mobilen Einsatz beispielsweise ein Bordcomputer sein.

Die erste Schicht sollte aus einkristallinem Metall gebildet sein. Dies kann Aluminium oder das jeweilige Metall, aus dem das Bauteil hergestellt worden ist, sein. Sie kann beispielsweise auf die Oberfläche des Bauteils aufgeklebt, in Dünnschichttechnik (z.B. Sputtern) oder anderweitig stoffschlüssig mit der Oberfläche verbunden sein. Dabei sollte ein vollflächiger Verbund eingehalten sein.

Die zweite Schicht hat neben ihrer Funktion als elektrischer Isolator auch die Aufgabe einen bestimmten vorgegeben Abstand zwischen erster und dritter Schicht einzuhalten.

Die in der dritten Schicht enthaltenen sensitiven oder Sensorelemente sollten extern ansteuerbar sein,

wofür die bereits erwähnten Kontakte genutzt werden können. Dadurch kann beispielsweise eine differenzierte Aktivierung oder auch ein gezieltes Auslesen von Messsignalen einzelner solcher Elemente erreicht werden. Mehrere solcher Elemente können dabei lokal differenziert und in definierter Form in der dritten Schicht angeordnet und über die Fläche verteilt sein.

Die dritte Schicht kann mit einer aus unterschiedlichen elektrisch leitenden oder halbleitenden Polymeren gebildeten Matrix gebildet sein. Geeignete auch dotierte Polymere sind, beispielsweise Polypyrrol, Polyanilin (PANI), Polythiophen oder Poly(para-phenylen-vinylen) (PPP).

Bei der Erfindung einsetzbare sensitive Elemente oder Sensorelemente sind z.B. Wirbelstromsensoren, kapazitive Sensoren, induktive Sensoren, Wandler, detektierende Sensoren für Ultraschalloberflächenwellen, optische Sensoren oder piezoelektrische Sensoren. Dabei kann lediglich ein Sensortyp in einer dritten Schicht enthalten sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit unterschiedliche Sensoren in einem Sensorsystem einzusetzen.

Wirbelstromsensoren können vorteilhaft Wirbelstromfoliensensoren sein. Kapazitive Sensoren sollten in Form eines über Kontakte ansteuerbaren aus Leiterbahnen gebildeten Gitters ausgebildet sein. Dadurch können mehrere Achsen berücksichtigt werden, in denen Kräfte oder Momente auf Sensorsystem und Bauteil wirken. Ein oder mehrere kapazitive Sensoren sollten möglichst in einem elastisch verformbaren Polymer eingebettet sein.

Mit piezosensitiven Elementen oder Piezofasern, die

einen Sensor bilden, kann eine Signalmodulation durchgeführt werden.

Optisch kann eine Detektion mit einem Bündel optischer Fasern, als Sensorelement, durchgeführt werden. Dabei können Stirnflächen der optischen Fasern auf die Oberfläche der ersten Schicht, zur Erfassung der jeweiligen lokalen Lichtstreuung gerichtet sein. Diese kann sich bei Kraft- oder Momenteinwirkung auf das Bauteil verändern. Durch die Veränderung der Oberflächentopografie verändert sich auch die Lichtstreuung an der Oberfläche.

Mit dem erfindungsgemäßen Sensorsystem kann auch in Echtzeit die Werkstoffschädigung oder die Ermüdung orts- und zeitaufgelöst bestimmt werden. Die Restlebensdauer kann zumindest abgeschätzt werden.

Es können Schädigungen am Bauteil lokalisiert und auch deren Entwicklung detektiert werden. Außerdem kann eine vergleichende Ermüdungsanalyse durchgeführt werden.

Obwohl ein Mehrschichtaufbau vorgesehen ist, kann ein Sensorsystem sehr dünn ausgebildet sein und eine Gesamtdicke von maximal 0,5 mm aufweisen. Die Eigenmasse ist auch sehr klein, so dass eine massebedingt auftretende Beeinflussung vernachlässigt werden kann.

Das einkristalline Metall, mit dem die erste Schicht gebildet ist, kann auch an in komplexer Form geometrisch konturierte Oberflächen angepasst werden und ist hoch sensitiv, da sie permanent dem Einfluss von ggf. auftretenden Deformationen des darunter angeordneten Bereichs der Bauteiloberfläche ausgesetzt ist.

Wie bereits angesprochen können in Echtzeit unter normalen Einsatzbedingungen Langzeituntersuchungen bzgl. der Ermüdung an metallischen Bauteilen durchgeführt und dabei Defekte und deren Entstehung sowie deren Verhalten erkannt werden. Dabei kann die räumliche Verteilung und die Richtung von Defekten erkannt werden. Dies kann gestützt auf eine mehrskalige Analyse des geschädigten Werkstoffs mit einem Sensorsystem erreicht werden.

Mit den ermittelten Messergebnissen können statistische Auswertungen und auch eine Optimierung bei der Entwicklung und Konstruktion von Bauteilen oder sogar Aggregaten in denen die Bauteile montiert sein können vorgenommen werden. Dabei können gezielt besonders geeignete Werkstoffe geprüft und ausgewählt werden. Die Zeit und Kosten für die Entwicklung können reduziert werden.

Mit dem Einsatz erfindungemäßer Sensorsysteme kann die Zeit zwischen Inspektionen vergrößert und der Ausfall von Betriebszeit verkürzt werden.

Bei Einsatz an kritischen Bauteilen oder an kritischen Bereichen von Bauteilen kann die Sicherheit erhöht werden.

Nachfolgend soll die Erfindung beispielhaft näher erläutert werden.

Dabei zeigen:

Figur 1 in einer Schnitt- und einer perspektivischen Darstellung ein Beispiel eines erfindungsgemäßen Sensorsystems vor dem Beginn von Ermüdungsunter-

suchungen und

Figur 2 das in Figur 1 gezeigte Beispiel in einer Schnittdarstellung nach Durchführung von Ermüdungsuntersuchungen.

Bei dem hier gezeigten Beispiel ist auf einer Oberfläche eines Bauteils 4 aus Aluminium eine erste Schicht 1 vollflächig aufgebracht, die aus einkristallinem Aluminium gebildet ist.

Auf der ersten Schicht 1 ist eine zweite elektrisch isolierende Schicht 2 aus einem elektrisch nicht leitenden Polymer ausgebildet. Auf dieser ist als dritte Schicht 3 eine Polymerschicht aus elektrisch leitendem und dotiertem Polyanilin ausgebildet und zweidimensional mit einem Laser-Photonen-Prozess strukturiert worden, dabei erfolgte eine kontrollierte Polymerisation und es wurde ein vielfach verzweigter elektrischer Stromkreis mit der dritten Schicht gebildet, der einen sehr kleinen elektrischen Widerstand aufweist.

Außerdem ist in der perspektivischen Darstellung die Struktur der dritten Schicht 3 an der Oberfläche erkennbar.

Durch die Wechselbeanspruchung bei Ermüdungsuntersuchungen bilden sich in der aus dem einkristallinen Aluminium gebildeten ersten Schicht 1 komplexe Mikro-Mesostrukturen aus, die partiell zur Zerstörung der elektrisch leitenden Verbindungen in der strukturierten dritten Schicht 3 führen. Dies ist nach erfolgter Ermüdungsschädigung in Figur 2 dargestellt.

Infolgedessen erhöht sich der integrale elektrische

Widerstand der dritten Schicht 3, was als Maß für den Ermüdungszustand dient. Eine vergleichbare Quantifizierung kann durch eine Kalibrierung ermittelter elektrischer Widerstandswerte mit ermittelter Ermüdung, die in der ersten schicht 1 aufgetreten ist, erreicht werden.

Patentansprüche

1. Sensorsystem zur Bestimmung der Ermüdung an metallischen Bauteilen, das mit einem mehrschichtigen Aufbau an einem Bauteil (4) befestigt ist; dabei eine erste aus einkristallinem Metall gebildete Schicht (1) unmittelbar stoffschlüssig auf einer Oberfläche des Bauteils (4) vollflächig befestigt ist,
auf der ersten Schicht (1) eine zweite elektrisch isolierende Polymerschicht (3) und eine dritte sensitive oder Sensorelemente enthaltende Schicht (3) aufgebracht ist.

2. Sensorsystem nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass oberhalb der dritten Schicht (3) eine Kontakte zur dritten Schicht (3) oder darin eingebetteten Sensorelementen sowie Anschlusskontakte für eine externe Messsignalerfassung und -auswertung aufweisende Schicht ausgebildet ist.

3. Sensorsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Schicht (1) aus einkristallinem Aluminium oder dem Metall, aus dem das Bauteil (4) gebildet ist, gebildet ist.

4. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Schicht (2) einen vorgebbaren Abstand zur dritten Schicht (3) ausbildet.

5. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die in der

dritten Schicht (3) enthaltenen sensitiven Elemente extern ansteuerbar sind.

6. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Schicht (3) mit einer aus unterschiedlichen elektrisch leitenden oder halbleitenden Polymeren gebildeten Matrix gebildet ist.

7. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der dritten Schicht (3) mehrere Sensorelemente lokal definiert angeordnet und an Kontakte der dritten Schicht (3) angeschlossen sind.

8. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der dritten Schicht (3) vorhandene Sensorelemente ausgewählt sind aus Wirbelstromsensoren, kapazitiven Sensoren, induktiven Sensoren, Wandlern und detektierende Sensoren für Ultraschalloberflächenwellen, optischen Sensoren und piezoelektrischen Sensoren.

9. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der dritten Schicht (3) Wirbelstromfoliensensoren vorhanden sind.

10. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein kapazitiver Sensor in Form eines über Kontakte ansteuerbaren aus Leiterbahnen gebildeten Gitters ausgebildet ist.

11. Sensorsystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein kapazitiver Sensor

in einem elastisch verformbaren Polymer eingebettet ist.

12. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit piezosensitiven Sensoren oder mit Piezofasern gebildeten Sensoren eine Signalmodulation durchführbar ist.

13. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Sensorelemente einzeln und selektiv ansteuerbar und/oder deren Messsignale auslesbar sind.

14. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bündel optischer Fasern, als Sensorelemente, mit ihren Stirnflächen auf die Oberfläche der ersten schicht (1), zur Erfassung der jeweiligen lokalen Lichtstreuung, gerichtet sind.

15. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Schicht (3) eine strukturierte Polymerschicht ist.

16. Sensorsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die die dritte Schicht (3) aus oder mit dotiertem Polypyrrol, Polyanilin, Polythiophen oder Poly(para-phenylen-vinylen) gebildet ist.

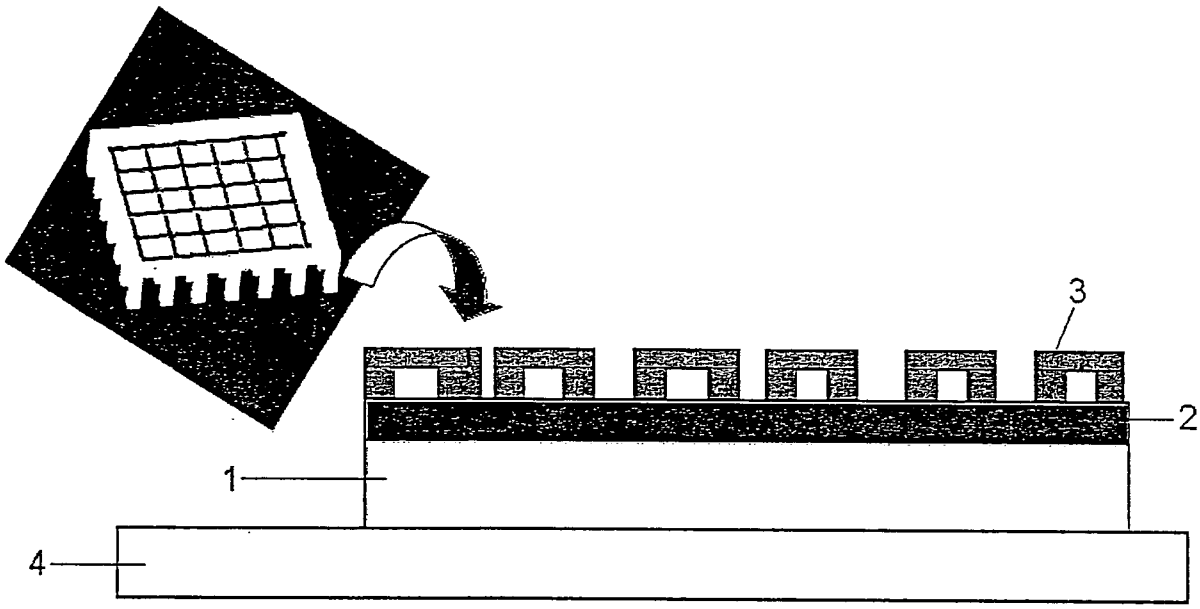


Fig. 1

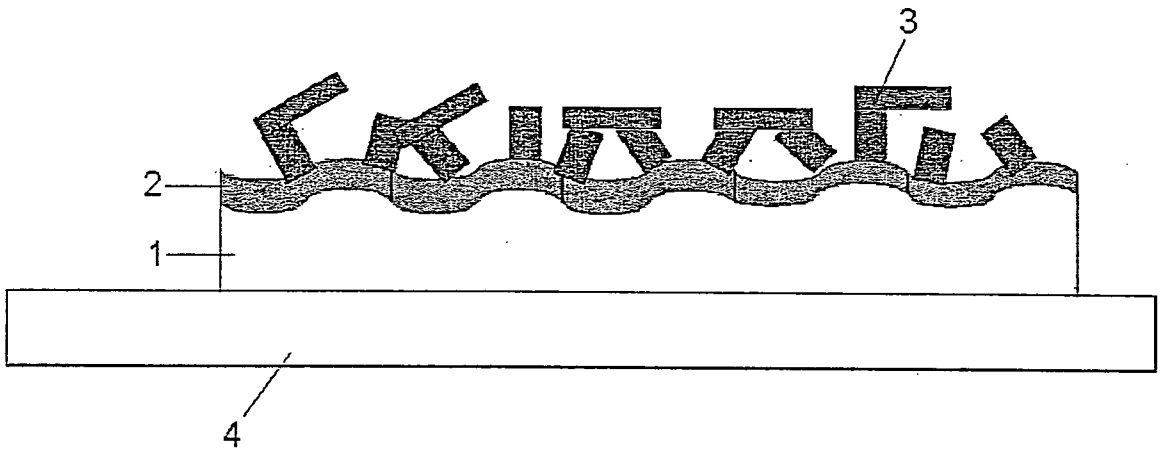


Fig. 2