



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 26 558 T2** 2006.06.08

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 939 197 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 26 558.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 301 443.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **26.02.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.09.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.08.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F01D 5/30** (2006.01)

F01D 5/28 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

31498 26.02.1998 US

(73) Patentinhaber:

United Technologies Corp., Hartford, Conn., US

(74) Vertreter:

Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Hollis, Terry L., Lantana, Florida 33462-2562, US;

Dorrance, John G., Jupiter, Florida 33458, US;

Rising, Thomas J., Plam City, Florida 34990, US;

Beeman, Bruce I., Jr., West Plam Beach, Florida

33412, US

(54) Bezeichnung: **Schutzschicht und Verfahren zur Verhinderung von Reibungverschleiss bei Teilen in einer Gasturbine aus Titanlegierungen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf Gasturbinenmaschinen-Rotoranordnungen im Allgemeinen und auf Vorrichtungen zum Verhindern von Reibungsabnutzung zwischen gepaarten Titanlegierungs substraten, z.B. Rotorlaufschaufelwurzel und Rotorscheibenschlitz im Besonderen.

[0002] Eine konventionelle Rotorstufe einer Gasturbinenmaschine umfasst eine Scheibe und eine Mehrzahl von Rotorlaufschaufeln. Die Scheibe umfasst eine innere Nabe, eine äußere Nabe und ein Netz, welches sich zwischen den Naben erstreckt. Die äußere Nabe umfasst eine Mehrzahl von Laufschaufel-Befestigungsschlitzen, welche gleichmäßig um den Umfang der äußeren Nabe verteilt sind. Jede Rotorlaufschaufel umfasst ein Strömungsprofil und eine Laufschaufelwurzel. Die Laufschaufelwurzel jeder Laufschaufel wird aufgenommen von einem der Laufschaufel-Befestigungsschlitzen, welche in der Scheibe angeordnet sind. Eine Mehrzahl von Geometrien für das zusammenpassende Paar aus Schlitz/Laufschaufelwurzel (z.B. Schwalbenschwanz, Tannenbaum) können verwendet werden. Gasturbinenrotorstufen rotieren bei hohen Geschwindigkeiten durch Hochtemperatur-Gas, welches axial durch die Maschine strömt. Die Hochtemperatur- und Hochgeschwindigkeitsumgebung übt eine starke Belastung auf jedes Paar von Laufschaufelwurzel-Befestigungsschlitzen aus. Beispielsweise bewirkt die Zentrifugalkraft, die auf jede Laufschaufel wirkt, dass sich die Laufschaufelwurzel radial in dem Befestigungsschlitz bewegt, wenn Last aufgebracht und weggenommen wird. In ähnlicher Weise können Vibrationsbelastungen relative Bewegung zwischen Laufschaufelwurzel und Befestigungsschlitz verursachen. In beiden Fällen steht der relativen Bewegung zwischen Laufschaufelwurzel und Befestigungsschlitz die gepaarte Geometrie und Reibung entgegen. Die Reibung wiederum verursacht unerwünschte Reibungsabnutzung, wenn nicht geeignete Maßnahmen ergriffen werden.

[0003] Die oben erwähnte unerwünschte Reibungsabnutzung besteht hauptsächlich aus einem "Scheuerprozess" (galling) und/oder einem "Abnutzungsprozess" (fretting). Bei der Herstellung von Gasturbinenrotoren-Anordnungen verwendete Metalle, z.B. Titan, Nickel und andere, bilden eine Oberflächenoxidschicht, fast direkt nachdem sie Luft ausgesetzt werden. Die Oxidschicht inhibiert die Bindung zwischen gleichen oder ähnlichen Metallen, welche ansonsten zur Bindung neigen, wenn sie miteinander in Kontakt gebracht werden. Scheuern findet statt, wenn zwei Metallstücke, z.B. eine Titanlegierung-Laufschaufelwurzel und ein Titanlegierung-Laufschaufelbefestigungsschlitz, reibend miteinander in Kontakt sind und lokal die Oberflächenoxidschicht zerstören. In der kurzen Bewegung zwischen der Zerstörung der Oberflächenoxidschicht und der Erzeugung einer neuen Oberflächenoxidschicht auf dem exponierten Substrat kann Metal von einem Substrat zu dem anderen übertragen werden und daran verschweißt werden. Die Oberflächentopografie ändert sich daher, was die unerwünschte Reibungsabnutzung weiter verschlimmert. Abnutzen findet statt, wenn der Reibungskontakt zwischen den beiden Substraten die Oberflächenoxidschicht zerstört und das Metall beginnt, zu korrodieren, anstatt Metall auszutauschen wie beim Prozess des Scheuerns. In manchen Anwendungen kann Scheuern im Wesentlichen vermieden werden durch Positionieren eines unähnlichen, weicheren Metalls zwischen den beiden Abnutzungsflächen. Das weichere Metall und darauf gebildete Oxide stellt ein Gleitelement zwischen den beiden Abnutzungsflächen dar. Einfaches Einbringen eines weicheren Metalls zwischen den Abnutzungsflächen bietet jedoch nicht eine Lösung für jede Anwendung. Im Gegenteil, das Gleitelement muss gegenüber der Anwendungsumgebung tolerant sein. Die Hochtemperatur-Hochbelastungsumgebung eines Gasturbinenmaschinenrotors ist die Wahl des Gleitelements von herausragender Wichtigkeit. Das Gleitelement muss: 1) Scheuern und Abnutzen zwischen Titan und Titanlegierungs substraten minimieren; 2) hohe Temperaturen aushalten; und 3) hohe Lasten aufnehmen.

[0004] US-Patent Nr. 4 196 237 an Patel et al. (im Folgenden als Patel bezeichnet) berichtet, dass ein Nachteil einer Aluminiumbronze (Al-Bronze)-Beschichtung als Antischeuermittel darin liegt, dass eine solche Beschichtung eine relativ geringe Härte hat. Patel berichtet ferner, dass eine Sprühpulverlegierung, welche kleine Anteile an Ni, Fe, Al und einen Hauptanteil an Cu enthält, die bemängelten Härteprobleme vermeidet. In der Tat berichtet Patel Testergebnisse, welche

[0005] eine Evaluierung einer 88% Cu – 10% Al – 2% Fe-Legierung umfassen, die auf ein 1020 Stahlsubstrat gesprüht wurde (ein Metall, das nicht sehr gut für Gasturbinenrotoranwendungen geeignet ist), wie auch für ähnliche Legierungen, welche bis zu 10% Ni enthalten, die auf das gleiche Stahlsubstrat gesprüht wurden. Patel wies darauf hin, dass die gesprühten Ni enthaltenden Legierungen eine "deutliche Verbesserung" bezüglich Härte und Reibungsrestistenz relativ zur Legierung ohne Ni aufwiesen, wenn sie auf ein 1020 Stahlsubstrat aufgebracht wurden.

[0006] US-Patente Nr. 4 215 181 an Betts (im Folgenden als Betts bezeichnet), beschreibt ein Verfahren zum Inhibieren der Effekte von Abnutzungsermüdung in einem Paar entgegengesetzter gepaarter Titanlegierungs-

flächen. Betts weist darauf hin, dass Kupferunterlagen einen vorteilhaften Schutz vor Abnutzung bieten, wenn sie zwischen die beiden entgegengesetzten gepaarten Titanlegierungsflächen platziert werden. Betts weist ferner darauf hin, dass eine Unterlage, welche eine Al-Si-Bronzelegierung aufweist, Abnutzungsermüdung der Substrate nicht verhindert. Tatsächlich berichtet Betts, dass die Ermüdungslebensdauer der Probe im Wesentlichen die gleiche war wie die Abnutzungsermüdung bei nacktem Titan. Ein Nachteil der Verwendung einer Unterlage ist, dass die Unterlage oder ein Teil davon sich entfernen kann, was bewirkt, dass die dann ungeschützten Abnutzungsflächen einander kontaktieren. In einer Gasturbinenmaschinenanwendung kann eine entfernte Unterlage (oder ein Teil davon) unerwünschte Fremdoobjektschäden stromabwärts verursachen. US 5 240 375, gegenüber welchem Ansprüche 1 und 8 charakterisiert sind, und US 5 160 243 offenbaren auch eine Unterlage, welche zwischen einem Laufschaufelschwalbenschwanz (einer Laufschaufelzinke) und einem Rotorscheiben-Schwalbenwanzschlitz angeordnet ist.

[0007] Antischeuer-Beschichtungen aus Al-Bronzelegierung wurden angewendet bei Nickellegierungs-Statorleitschaufelschienen und -füßen, um Scheuern zwischen den Statorleitschaufeln und äußeren Eisenlegierungsgehäusen zu verhindern. Die Belastungen in Statorleitschaufelanwendungen unterscheiden sich von denen zwischen einer Rotorlaufschaufelwurzel und einem Rotorscheibenschlitz. Insbesondere verursacht die Zentrifugalbelastung an der Rotorlaufschaufel eine viel höhere Belastung und eine viel stärker lokalisierte Belastung als jene zwischen der Statorlaufschaufel und dem äußeren Gehäuse. Die Rotorlaufschaufel ist auch einer Hochzyklusbewegung und daher Hochzyklusreibung ausgesetzt.

[0008] Daher wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verhindern der Effekte von Reibungsabnutzung in einem Paar von Rotorlaufschaufelwurzel/Befestigungsschlitz gebraucht, welches geeignet ist, in einer Gasturbinenmaschinenumgebung verwendet zu werden, welches mit Titanlegierungssubstraten verwendet werden kann, welches die Wahrscheinlichkeit für Fremdoobjektschäden in einer Gasturbinenmaschine minimiert und welches kosteneffektiv ist.

[0009] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Paar von miteinander gepaarten Titanlegierungssubstraten zur Verwendung in einer Gasturbinenmaschine vorgesehen, von welchem eines eine abnutzungsstarke Beschichtung aus Aluminiumbronze hat. Die Beschichtung besteht im Wesentlichen aus 9 bis 11% Aluminium (Al), bis zu 1,5% Eisen (Fe) und Rest Kupfer. Die abnutzungsstarke Beschichtung ist zwischen den gepaarten Substraten angeordnet und verhindert Reibungsabnutzung zwischen den gepaarten Substraten.

[0010] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren vorgesehen zur Minimierung der Reibungsabnutzung zwischen dem Paar von miteinander gepaarten Titanlegierungssubstraten, welches die folgenden Schritte aufweist: 1) Bereitstellen eines Aluminiumbronze-Legierungspulvers, bestehend im Wesentlichen aus 9 bis 11% Al, bis zu 1,5% Fe und Rest Cu; und 2) Aufbringen der Aluminiumbronzelegierung auf eines der Titanlegierungssubstrate, um eine Beschichtung auf dem Substrat zu bilden. Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verhindern der Effekte von Reibungsabnutzung zwischen einem Paar von miteinander gepaarten Titanlegierungssubstraten vorgesehen ist. Titanlegierungssubstrate gehören zur kleinen Anzahl der Legierungen, welche einer Gasturbinenmaschinenumgebung standhalten. Eine Beschichtung, wie sie in der vorliegenden Erfindung offenbart ist, bietet großen Nutzen durch Erhöhen der Haltbarkeit von Titanlegierungen in einer Gasturbinenumgebung.

[0011] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass die Effekte der Reibungsabnutzung zwischen einem Paar von miteinander gepaarten Titanlegierungssubstraten inhibiert werden mit minimaler Möglichkeit einer Fremdoobjektbeschädigung. Die vorliegende Erfindung bietet Mittel zum Verhindern der Abnutzung zwischen miteinander gepaarten Titanlegierungssubstraten ohne die Verwendung von Unterlagen, welche sich entfernen können und potenziell Fremdoobjektschäden stromabwärts in einer Gasturbinenmaschine verursachen können.

[0012] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist, dass eine Beschichtung vorgesehen ist, welche ein Paar von Titanrotorblattwurzel/Befestigungsschlitz vor Scheuern schützen kann. Auf die Rotorlaufschaufeln wirkende Zentrifugalkräfte belasten die Rotorscheibe erheblich, und die Rotorlaufschaufelwurzel ist relativ zur Rotorscheibe einer Hochzyklusbewegung ausgesetzt. Reibungsenergie, welche durch die Hochlast-Hochzyklusbewegung verteilt wird, verursacht einen unakzeptablen Verfall der meisten Antischeuer-Beschichtungen. Die vorliegende Erfindung bietet ein effektives Antischeuermittel für Rotorlaufschaufelwurzel/Befestigungsschlitz-Anwendungen in einer Gasturbinenmaschine, welche Hochlast-Hochzyklusbewegungsanwendungen widersteht.

[0013] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird nun lediglich beispielhaft und mit Bezug auf die

begleitenden Zeichnungen beschrieben.

[0014] **Fig. 1** ist eine diagrammartige Teilansicht einer Gasturbinenrotorstufe, welche eine Scheibe aufweist und eine Mehrzahl von konventionell mit der Scheibe befestigten Rotorlaufschauflern.

[0015] **Fig. 2** ist ein Diagramm, welches die Oberflächentopografiedaten zeigt, welche in einer Versuchsanordnung generiert wurden, die eine Rotorlaufschauflerwurzel mit einer Cu-Ni-Antischeuer-Beschichtung simuliert, die mit einer Titan-Versuchsanordnungsfläche interagiert, welche einen Rotorlaufschaufler-Befestigungsschlitz simuliert, der in einer Rotorscheibe angeordnet ist.

[0016] **Fig. 3** ist ein Diagramm, welches Oberflächentopografiedaten zeigt, die in einer Versuchsanordnung generiert wurden, welche eine Rotorlaufschauflerwurzel mit einer Al-Bronze-Antischeuer-Beschichtung simuliert, die mit einer Titanoberflächen-Testanordnung interagiert, welche einen Rotorlaufschaufler-Befestigungsschlitz simuliert, der in einer Rotorscheibe angeordnet ist.

[0017] In einer Gasturbinenmaschine umfasst jede Rotorstufe **10** eine Mehrzahl von Rotorlaufschauflern **12** und eine Rotorscheibe **14**. Die Rotorscheibe **14** umfasst eine äußere Nabe **16** und eine innere Nabe (nicht gezeigt) und eine Matrix **18**, welche sich zwischen den beiden Naben erstreckt. Eine Mehrzahl von Rotorlaufschaufler-Befestigungsschlitz **20** sind in der äußeren Nabe **16** um den Umfang der Scheibe **14** herum verteilt angeordnet. Jede Rotorlaufschaufler **12** umfasst ein Strömungsprofil **22** und eine Laufschauflerwurzel **24**. Die Laufschauflerwurzel **24** von jeder Laufschaufler **12** wird in einer der Laufschaufler-Befestigungsschlitz **20** aufgenommen, welche in der Scheibe **14** angeordnet sind.

[0018] Um Reibungsabnutzung zu minimieren, einschließlich Scheuern und Abnutzung, wird eine schmierende abnutzungsresistente Beschichtung **26** auf eines von Laufschauflerwurzel **24** oder Laufschauflerbefestigungsschlitz **20** in einer Position aufgebracht, so dass die Beschichtung **26** zwischen der Laufschauflerwurzel **24** und dem Befestigungsschlitz angeordnet ist, wenn die Laufschauflerwurzel **24** im Befestigungsschlitz **20** aufgenommen wird. Für ein einfacheres Aufbringen wird die abnutzungsresistente Beschichtung **26** vorzugsweise auf die Laufschauflerwurzel **24** aufgebracht. Die Beschichtung wird aus einem Al-Bronzelegierungspulver gebildet, welches 9,0 bis 11,0% Al, 0,0 bis 1,50% Fe, Rest Cu aufweist. Das Pulver kann jedoch bis zu 5% restliche Materialien aufweisen; d.h. Materialien, welche materiell die Reibungseigenschaften der Beschichtung nicht verändern. In der am meisten bevorzugten Form besteht das Pulver im Wesentlichen aus 10% Al und 90% Cu.

[0019] Das Verfahren des Aufbringens der Beschichtung beginnt mit dem Vorbereiten der Substratoberfläche (z.B. die Laufschauflerwurzeloberfläche), die beschichtet werden soll. Der erste Schritt besteht im Entfernen von Ablagerungen und Oxiden von dem Substrat. Bekannte Säuberungstechniken, z.B. Entfetten, Strahlputzen, chemisches Säubern und/oder elektrochemisches Polieren, können verwendet werden. Beispielsweise ist eine Entfettungslösung, gefolgt von einem Strahlputzvorgang unter Verwendung von Nr. 60 (200 µm) Aluminiumoxidkörnern, aufgebracht mit 35 bis 45 psi (240 bis 310 kPa) Druck, geeignet. Verwendung der beschriebenen Strahlputztechnik schafft auch eine erwünschte Oberflächeneigenschaft.

[0020] Die Beschichtung kann durch eine Mehrzahl von Verfahren aufgebracht werden, einschließlich, aber nicht begrenzt auf, Plasmasprühen, physikalisches Aufdampfen, HVOF-Verfahren und D-Gun-Verfahren. Von den getesteten Verfahren schien das Plasmasprühen die besten Resultate zu bewirken. Die Pulverpartikelgröße, welche während des Testens aufgetragen wurde, war im Bereich von 270 bis 325 µm. Die bevorzugte Partikelgröße variiert jedoch abhängig von der jeweiligen Anwendung (insbesondere von der Oberflächenbeschaffenheit des gepaarten Substrats) und der jeweils gewünschten Beschichtungsrauigkeit und mikroskopischen Eigenschaften. Das Pulver wurde aufgetragen unter Verwendung einer Plasmadyne™-Sprühpistole unter Verwendung von Argon als Primärgas und Helium als Sekundärgas. Betriebsparameter, z.B. Primär- und Sekundärgasströmungsraten, Pulverzuführrate, variieren abhängig von der jeweiligen Beschichtungszusammensetzung, der Substratzusammensetzung, Betriebsausrüstung und der Betriebsumgebung. Während des Testens wurden die folgenden Betriebsparameter verwendet:

Primärgas-Volumenströmungsrate:	100–125 scfh (0,075–0,094 m ³ /s)
Sekundärgas-Volumenströmungsrate:	25–40 scfh (0,018–0,030 m ³ /s)
Plasmapistolenspannung:	35–50 V Gleichstrom
Plasmapistolensstromstärke:	690–710 A
Pulverzuführrate:	25–35 g/min

[0021] Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn die Beschichtung auf eine Dicke zwischen 0,0010 bis

0,004 Inch (25 bis 100 µm) aufgebracht wurde. Eine Beschichtungsdicke außerhalb des genannten Bereichs kann jedoch für manche Anwendungen vorteilhaft sein.

[0022] Der in [Fig. 2](#) gezeigte Graph zeigt die topografischen Daten der Oberfläche (Substratoberflächenflachheit gegen Substrataxiallänge), welche in einer Versuchsanordnung erzeugt wurden, welche eine Rotorlaufschaukelwurzel mit einer Cu-Ni-Antischeuer-Beschichtung simuliert, die mit einer Titanversuchsanordnungsoberfläche interagiert, welche einen Befestigungsschlitz simuliert, der in einer Rotorscheibe angeordnet ist. Der in [Fig. 3](#) gezeigte Graph zeigt Oberflächentopografiedaten (Substratoberflächenflachheit gegen Substrataxiallänge), welche in einer Versuchsanordnung erzeugt wurden, die eine Rotorlaufschaukelwurzel mit einer Al-Bronze-Antischeuer-Beschichtung erzeugt wurden, die mit einer Titanversuchsanordnungsoberfläche interagiert, welche einen Befestigungsschlitz simuliert, der in einer Rotorscheibe angeordnet ist. Die beiden Tests wurden unter im Wesentlichen gleichen Versuchsbedingungen durchgeführt. Der Oberflächengraph, welcher die Al-Bronze-Versuchsdaten darstellt ([Fig. 3](#)) zeigt wesentlich weniger Oberflächenflachheit-Abweichungen, die auftraten, wenn die Al-Bronze-Beschichtung anstatt der Cu-Ni-Beschichtung (dargestellt in [Fig. 2](#)) verwendet wurde, was auf eine viel geringere Menge an unerwünschter Reibungsabnutzung hinweist.

[0023] Aus dem oben Gesagten ergibt sich, dass die Erfindung zumindest in ihrer bevorzugten Form ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Inhibieren der Effekte der Reibungsabnutzung zwischen gepaarten Titanlegierungssubstraten zur Verfügung stellt, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Inhibieren der Effekte der Reibungsabnutzung zwischen gepaarten Titanlegierungssubstraten, welche für eine Gasturbinenmaschinenumgebung geeignet sind, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Inhibieren der Effekte der Reibungsabnutzung zwischen gepaarten Legierungssubstraten, welche die Möglichkeit der Fremdoberflächenbeschädigung in einer Gasturbinenmaschine minimieren, und ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Inhibieren der Effekte der Reibungsabnutzung zwischen gepaarten Titanlegierungssubstraten, welches) kosteneffektiv ist.

[0024] Während in der beschriebenen Ausführungsform eine Beschichtung auf nur eines der Substrate aufgebracht wurde, ist es beispielsweise möglich, innerhalb des Umfangs der Erfindung die Oberflächen beider Substrate zu beschichten.

Patentansprüche

1. Ein Paar zueinander passender Titanlegierungssubstrate (**20, 24**), zur Verwendung in einer Gasturbinenmaschine, **dadurch gekennzeichnet**, dass eines der zueinander passenden Titanlegierungssubstrate (**20, 24**) eine abnutzungsfeste Aluminium-Bronze-Legierungsbeschichtung hat, wobei die Beschichtung im Wesentlichen aus 9,0 bis 11,0% Al, 0,0 bis 1,5% Fe und Rest Cu besteht; bei welchem die abnutzungsfeste Beschichtung zwischen den zueinander passenden Substraten (**20; 24**) angeordnet ist und die Reibungsabnutzung zwischen den zueinander passenden Substraten (**20, 24**) verhindert.
2. Ein Paar zueinander passender Titanlegierungssubstrate (**20, 24**) nach Anspruch 1, bei welchem die Aluminium-Bronze-Legierungsbeschichtung etwa 10% Al und Rest Cu aufweist.
3. Ein Paar zueinander passender Titanlegierungssubstrate (**20, 24**) nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem die Aluminium-Bronze-Legierungsbeschichtung bis zu 5% restlicher Materialien aufweist.
4. Ein Paar zueinander passender Titanlegierungssubstrate (**20, 24**) nach Anspruch 1, 2 oder 3, bei welchem die Aluminium-Bronze-Legierungsbeschichtung durch ein Plasmasprühverfahren aufgebracht wird.
5. Ein Paar zueinander passender Titanlegierungssubstrate (**20, 24**) nach einem Ansprüche 1 bis 4, bei welchem die Aluminium-Legierungsbeschichtung eine Dicke von zwischen 0,0010 und 0,0040 Inch (25 und 100 µm) hat.
6. Ein Paar zueinander passender Titanlegierungssubstrate (**20, 24**) nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die zueinander passenden Substrate eine Rotorlaufschaukelwurzel und ein Laufschaukel-Befestigungsschlitz, der in einer Scheibe vorgesehen ist, sind.
7. Verfahren zum Minimieren von Reibungsabnutzung zwischen einem Paar zueinander passender Titanlegierungssubstrate (**20, 24**), aufweisend: Bereitstellen eines Aluminium-Bronze-Legierungspulvers, bestehend aus im Wesentlichen 9,0 bis 11,0% Al, 0,0 bis 1,50% Fe und Rest Cu; und gekennzeichnet durch

Aufbringen des Aluminium-Bronze-Legierungspulvers auf eines der Titanlegierungssubstrate, wobei dadurch eine Beschichtung auf dem einen Substrat gebildet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei welchem das Aluminium-Bronze-Legierungspulver etwa 10,0% Al und Rest Cu aufweist.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, bei welchem das Aluminium-Bronze-Legierungspulver durch ein Plasmasprühverfahren aufgebracht wird.

10. Verfahren nach Anspruch 7, 8 oder 9, bei welchem das Aluminium-Bronze-Legierungspulver aufgebracht wird, bis die Beschichtung eine Dicke von zwischen 0,0010 und 0,0040 inch (25 und 100 μm) hat.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

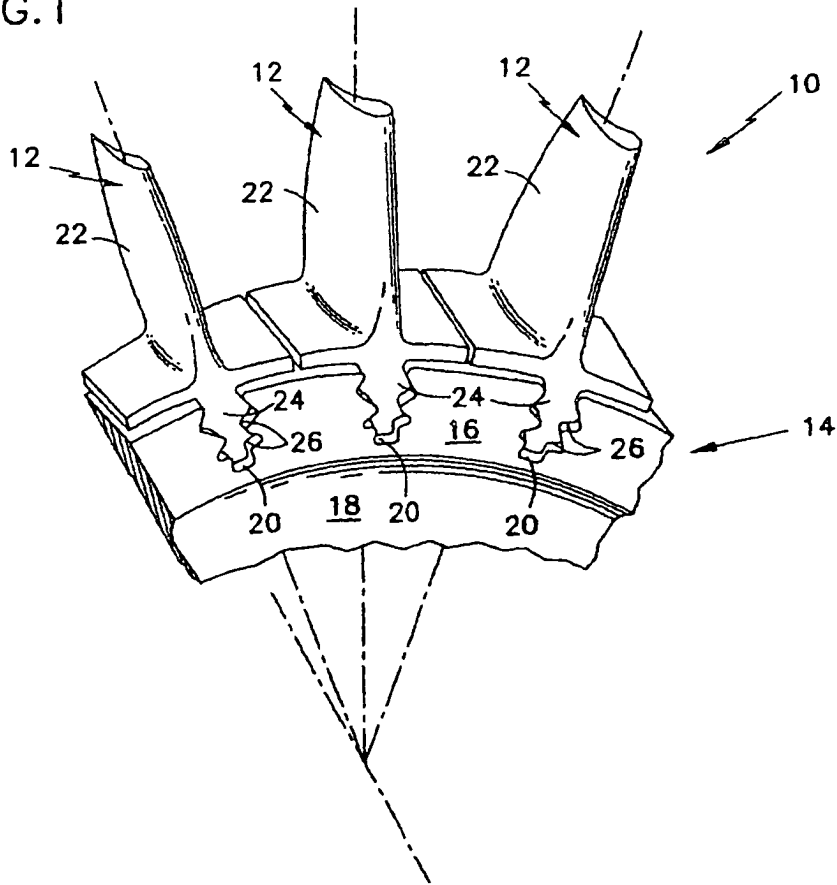


FIG.2

SUBSTRAT-
OBERFLÄCHEN-
FLACHHEIT-
ABWEICHUNGEN

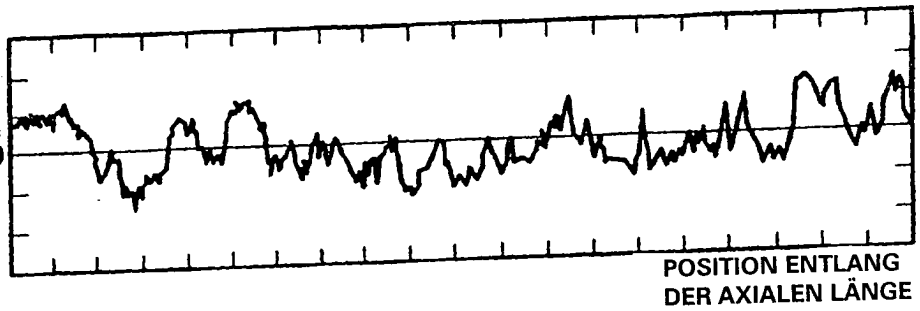


FIG.3

SUBSTRAT-
OBERFLÄCHEN-
FLACHHEIT-
ABWEICHUNGEN

