



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 697 32 404 T3 2008.06.19

(12) Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift

(97) EP 0 844 368 B2

(21) Deutsches Aktenzeichen: 697 32 404.4

(96) Europäisches Aktenzeichen: 97 309 501.1

(96) Europäischer Anmeldetag: 25.11.1997

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 27.05.1998

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 02.02.2005

(97) Veröffentlichungstag
des geänderten Patents beim EPA: 20.02.2008

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 19.06.2008

(51) Int Cl.⁸: F01D 5/28 (2006.01)

C23C 30/00 (2006.01)

C23C 28/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
755842 26.11.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
United Technologies Corp. (n.d.Ges.d. Staates
Delaware), Hartford, Conn., US

(72) Erfinder:
Houston, David Paul, Glastonbury, Connecticut
06033, US

(74) Vertreter:
Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

(54) Bezeichnung: Teilbeschichtung von Gasturbinenschaufeln zur Erhöhung der Dauerfestigkeit

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] Die Erfindung bezieht sich allgemein auf Gasturbinenmaschinen-Strömungsprofile und insbesondere auf Gasturbinenmaschinen-Strömungsprofile mit erhöhter Ermüdungsfestigkeit.

[0002] Moderne Gasturbinenmaschinen, insbesondere die in Luftfahrzeugen verwendeten, werden bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten und hohen Temperaturen für erhöhte Leistung und Effizienz betrieben. Es gibt ein starkes Bedürfnis nach verbesserter Leistung und Effizienz, weil man die Reichweite eines Luftfahrzeugs erhöhen will, die es fliegen kann, ohne zum Auftanken anzuhalten.

[0003] Die heutigen modernen Gasturbinenmaschinen nutzen primär Nickel-basierte und Cobalt-basierte Superlegierungen als Material der Maschinenbauteile bei kritischen Anwendungsbereichen, z.B. Turbinenleitschaufel- und -laufschaufelbereiche. Wenn die Betriebstemperaturen jedoch erhöht werden, nähert man sich den Grenzwerteigenschaften der Basilegierungsmaterialien.

[0004] Dementsprechend wurden Versuche unternommen, Beschichtungen zu verwenden, um bestimmte Komponenten in der Maschine vor der extremen Betriebsumgebung zu schützen. Insbesondere werden Wärmebarriere-Beschichtungssysteme verstärkt verwendet, um Turbinenlaufschaufeln zu schützen, wodurch sich die Lebensdauer der Laufschaufeln erhöht und verbesserter Brennstoffverbrauch ermöglicht wird.

[0005] Ein typisches Wärme-Barrierefbeschichtungssystem umfasst eine Kombination aus zwei unterschiedlichen Beschichtungen, eines ist ein metallisches Material (Bindungsschicht) auf dem Superlegierungssubstrat, und das andere ist ein keramisches Material (Oberbeschichtung) auf dem metallischen Material. Beispielhafte keramische Materialien sind beschrieben in US-Patenten Re. 33 876 und 4 321 311.

[0006] Das metallische Material ist auf der gesamten äußeren Fläche des Strömungsprofilbereichs vorhanden und verleiht dem Substrat Widerstandsfähigkeit gegenüber Oxidationszerfall. Das metallische Material ist häufig ein Aluminid oder ein MCrAlY-Material, wobei M Nickel, Cobalt, Eisen oder Mischungen daraus ist. Beispielhafte MCrAlY-Materialien, welche in der Gasturbinenindustrie bekannt sind, sind die im US-Patent 3 928 026 von Hecht et al. beschriebenen NiCoCrAlY-Beschichtungen und die im US-Patent 4 585 481 von Gupta et al. beschriebenen NiCoCrAlY + Hf-Si-Beschichtungen.

[0007] Außer dem Substrat Widerstandsfähigkeit gegenüber Oxidationszerfall und Korrosion zu verlei-

hen, dient das metallische Material dazu, das Keramikmaterial an das Substrat zu binden. Das metallische Material verleiht der Maschine jedoch zusätzliches Gewicht, was die Effizienz der Maschine beeinträchtigen kann.

[0008] Auch sind die meisten konventionellen metallischen Bindungsschichtmaterialien generell weniger duktil als das Basislegierungsmaterial bei normalen Maschinenbetriebstemperaturen, und eine Verschlechterung der Ermüdungsfestigkeit kann daraus auch resultieren.

[0009] Dementsprechend arbeiten Wissenschaftler und Ingenieure unter Anleitung des Anmelders weiter an dem Erfordernis für Gasturbinenmaschinen-Strömungsprofile, welche der extremen Betriebsumgebung standhalten. Es besteht ein besonderes Bedürfnis nach Strömungsprofilen mit verbesserter Ermüdungsfestigkeit. Die Erfindung resultiert aus diesen Anstrengungen.

[0010] Diese Erfindung basiert teilweise auf der Entdeckung, dass durch Eliminieren des metallischen Bindungsschichtmaterials von bestimmten Bereichen eines Strömungsprofils die Ermüdungsfestigkeit beträchtlich verbessert wird.

[0011] EP-A-532150 beschreibt ein Strömungsprofil, wobei nur dessen Spitzenbereich eine metallische Beschichtung hat.

[0012] Erfindungsgemäß wird ein Strömungsprofil wie in Anspruch 1 beansprucht geschaffen.

[0013] Die Anmelderin hat entdeckt, dass das Strömungsprofil in der Nähe der Plattform eine bezüglich der Hochzyklusermüdung und thermischen mechanischen Ermüdung limitierende Stelle ist, und somit wird die Beschichtung in diesem Bereich nicht aufgebracht. Tests haben bestätigt, dass Eliminieren der metallischen Beschichtung von der Vorderkante und der Hinterkante in der Nähe der Plattform sowohl die Hochzyklus-Ermüdungsfestigkeit und thermische mechanische Ermüdungsfestigkeit des Strömungsprofils erhöht, was zu einer länger haltbaren Konstruktion führt.

[0014] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird nun lediglich beispielhaft mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben:

[0015] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der Erfindung.

[0016] [Fig. 2](#) ist eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

[0017] Die Erfindung wird in Bezug auf eine Gasturbinenmaschinen-Laufschaufel beschrieben, welche

als beispielhaftes Substrat und nicht beschränkend angesehen wird. [Fig. 1](#) zeigt eine hohle Turbinenlaufschaufel **2**. Die Laufschaufel **2** hat eine Spitze **4**, einen Wurzelbereich **6** und einen Strömungsprofilbereich **8**, welcher zwischen der Spitze **4** und dem Wurzelbereich **6** angeordnet ist. Der Strömungsbereich **8** hat eine Überdruckfläche **10** und eine Unterdruckfläche **12** wie auch eine Vorderkante **16** und eine Hinterkante **14**.

[0018] Konventionelle Herstellungstechniken werden verwendet, um die Schaufel **2** herzustellen. Die Erfindung ist anwendbar auf beispielsweise gegossene Superlegierung-Strömungsprofile einschließlich polykristalliner säulenartiger Körner und Einkristall-Strömungsprofilen.

[0019] Das Material der Laufschaufel **2** kann jegliches geeignetes Material sein, z.B. eine Nickel-basierte oder Cobalt-basierte Superlegierung. Im Allgemeinen werden Gasturbinemaschinen-Strömungsprofile aus Nickel- oder Cobalt-basierten Superlegierungen hergestellt, entweder in gegossener oder geschmiedeter Form. Mittel-basierte Superlegierungen sind Legierungen basierend auf Nickel, welche durch die Gamma-Primärphase (Ni_3Al , Ti) verstärkt werden. Solche Superlegierungen können Chrom in Mengen von ca. 8 bis ca. 20% und auch von ca. 10 bis 20% Cobalt enthalten. Wärmebeständige Metallzusätze, z.B. Mo, W, Ta und Cb können auch vorhanden sein. Die Cobalt-basierten Superlegierungen enthalten nicht eine einzelne prädominante verstärkende Phase, sondern beziehen ihre Festigkeit stattdessen von dem Vorhandensein von Elementen, welche feste Lösungen verfestigen, z.B. Mo, W, Ta, Cb und Carbide, welche durch die Gegenwart von Elementen wie Cr, Ti und refraktären Metallen entstehen. Kohlenstoff ist in Legierungen vorhanden, welche durch Carbide verfestigt sind. Chrom kann in Mengen von ca. 20% in Cobalt-Superlegierungen vorhanden sein.

[0020] Insbesondere können geeignete Nickel-basierte Einkristall-Superlegierungszusammensetzungen die in US-Patent 4 719 080 an Duhl et al. beschriebenen umfassen, dessen Inhalt hiermit durch Bezugnahme inkorporiert wird. Dieses Patent beschreibt einen breiten Zusammensetzungsbereich in Gewichtsprozent von 3–12 Cr, 0–3 Mo, 3–10 W, 0–5 Re, 6–12 Ta, 4–7 Al, 0–15 Co, 0–0,045 C, 0–0,02 B, 0–0,1 Zr, 0–0,8 Hf, 0–2 Nb, 0–1 V, 0–0,7 Ti, 0–10 (Ru + Rh + Pd + Os + Ir + Pt), 0–0,1 Y, La, Sc, Ce, Lantaniden oder Actiniden, Rest Nickel.

[0021] Falls anschließend ein Keramikmaterial auf die Schaufel **2** für verbesserten thermischen Barriereschutz bei erhöhten Betriebstemperaturen aufgebracht werden soll, ist eine bevorzugte Eigenschaft des Superlegierungsmaterials, welches für die Schaufel **2** oder andere Substrate geeignet ist, dass es kein metallisches Bindungsschichtmaterial erfor-

dert, um das keramische Material an das Substrat bei erhöhten Betriebstemperaturen, z.B. 2100°F (1149°C) zu binden. Die meisten konventionellen Superlegierungsmaterialien benötigen eine solche metallische Bindungsschicht. Die Anmelderin hat gefunden, dass die Zusammensetzung in Gewichtsprozent von 5 Cr, 10 Co, 1,9 Mo, 5,9 W, 3,0 Re, 8,4 Ta, 5,65 Al, 0,25 Hf, 0,013 Y, Rest im Wesentlichen Nickel, besonders gut geeignet als Substratmaterial für die Erfindung in einem solchen Fall ist.

[0022] Nach Herstellung wird die Schaufel vorzugsweise durch konventionelle Techniken gesäubert, z.B. Strahlputzen. Eine Beschichtung **18** wird dann auf die Schaufel **2** aufgebracht. Geeignete Beschichtungen umfassen jene, welche Widerstandsfähigkeit gegenüber Oxidation und Korrosion verleihen. Vorzugsweise ist die Beschichtung eine Aluminid-Beschichtung oder eine MCrAlY-Schicht, wobei M Nickel, Cobalt, Eisen oder Mischungen davon ist. Geeignete MCrAlY-Beschichtungen umfassen die NiCo-CrAlY-Beschichtungen, welche von Hecht et al. im US-Patent 3 928 026 beschrieben wurden, und NiCo-CrAlY + Hf + Si-Beschichtungen, welche von Gupta et al. in den US-Patenten 4 585 481 und Re. 32 121 beschrieben wurden. Der Inhalt der US-Patente 3 928 026, 4 585 481 und Re. 32 121 werden hiermit durch Bezugnahme inkorporiert.

[0023] Die Anmelderin hat gefunden, dass die von Gupta et al. in den obigen Patenten beschriebene MCrAlY-Beschichtung besonders geeignet ist. Beispielsweise beschreiben Gupta et al. einen breiten Zusammensetzungsbereich in Gewichtsprozent von 5–40 Cr, 8–35 Al, 0–2 Y, 0,1–7 Si, 0,1–2 Hf, Rest gewählt aus der Gruppe, die aus Ni, Co und Mischungen daraus besteht. In Tabelle 1 beschreiben Gupta et al. auch bevorzugte Zusammensetzungen innerhalb des breiten Bereichs, abhängig von dem verwendeten Substrattyp, wie auch eine bezüglich der Duktilität optimierte Zusammensetzung.

[0024] Jegliche in der Technik bekannte, geeignete Verfahren können zum Aufbringen der MCrAlY-Beschichtung auf die Schaufel **2** verwendet werden. Gupta et al. beschreiben beispielsweise Aufbringungsverfahren wie Niederdruck-Plasma-Sprayabscheidung und physikalische Elektronenstrahl-Dampfabscheidung. Die MCrAlY-Beschichtung kann bis zu jeder geeigneten Dicke aufgebracht werden; eine typische Dicke ist zwischen ca. 0,003 Inch (0,008 cm) und ca. 0,007 Inch (0,018 cm).

[0025] Es ist auch bekannt, dass Aluminid-Beschichtungen Oxidations- und Korrosionsfestigkeit für Superlegierungssubstrate, z.B. Gasturbinen-Strömungprofile, verleihen und somit auch geeignete Materialien für die Beschichtung **18** sind. Die Aluminid-Beschichtung kann auch bis zu jeder gewünschten Dicke aufgebracht werden; eine typische Dicke

der Aluminium-reichen Oberflächenschicht einer Aluminid-Beschichtung ist ca. 0,001 Inch (0,003 cm).

[0026] Aluminid-Beschichtungen können durch einen Pack-Prozess gebildet werden, wobei eine Pulvermischung, einschließlich eines Inert-Materials, einer Aluminiumquelle und einem Halid-Aktivator verwendet wird. Die zur Beschichtung zu verwendende Superlegierung wird in eine Beschichtungsbox eingebracht und mit der Pulvermischung bzw. -packung bedeckt. Die Beschichtungsbox wird dann in einer Retorte angeordnet. Ein reduzierendes Gas oder ein Inertgas wird dann durch die Packung geleitet. Während des Schichtungsprozesses reagiert der Halogenid-Aktivator mit der Aluminiumquelle und erzeugt einen Aluminium-Halogenid-Dampf, welcher über die Oberfläche des Superlegierungsgegenstands zirkuliert. Bei Kontakt mit der Oberfläche des Superlegierungsgegenstands zersetzt sich der Dampf und scheidet Aluminium auf der Superlegierungsoberfläche ab, wodurch das Halogenid freigesetzt wird und mit der Aluminiumquelle in Kontakt kommt, um die chemische Reaktion fortzusetzen. Das abgelagerte Aluminium verbindet sich dann mit Nickel von der Superlegierungsoberfläche, wodurch eine Aluminium-reiche Oberflächenschicht bzw. Beschichtung auf dem Superlegierungsgegenstand gebildet wird.

[0027] Eine weitere bekannte Technik zum Bilden einer Aluminium-reichen Oberflächenschicht auf einem Superlegierungsgegenstand ist ein Dampfphasen-Aluminidverfahren. Allgemein wird bei diesem Verfahren der Superlegierungsgegenstand in einer kontaktfreien Anordnung zu den oben erwähnten Pulvermischung suspendiert, anstatt in der Pulvermischung eingebettet zu werden.

[0028] Aluminid-Beschichtungen sind auch beschrieben in US-Patenten 4 148 275; 4 005 989; 4 132 816; und 5 366 765, welche hiermit auch durch Referenz inkorporiert werden.

[0029] Wenngleich die Anmelderin nicht beansprucht, einzigartiges Material für die Beschichtung **18** gefunden zu haben, ist die Lokalisierung der Beschichtung **18** auf dem Strömungsprofil ziemlich einzigartig und vorteilhaft. Insbesondere hat die Anmelderin gefunden, dass durch Aufbringen der Beschichtung **18** auf ausgewählte Bereiche der Schaufel **2** und nicht auf die gesamte äußere Strömungsprofiloberfläche, die Ermüdungsfestigkeit der Schaufel **2** signifikant verbessert werden kann.

[0030] Metallische Beschichtungen neigen dazu, spröder als die Basislegierung der Schaufel bei typischen Betriebstemperaturen der Maschine zu sein. Daher kann eine Schaufel mit einer darauf befindlichen metallischen Beschichtung eine höhere Neigung zur Rissinitialisierung an bestimmten Stellen auf der Schaufel haben als eine Schaufel ohne so

eine metallische Beschichtung. Testergebnisse haben gezeigt, dass eine Eliminierung der metallischen Beschichtung von der Vorderkante und Hinterkante in der Nähe der Plattform zu einer Erhöhung der Hochzyklus-Ermüdungsfestigkeit um ca. 40% führt. Tests haben auch eine Steigerung der thermischen mechanischen Ermüdungsfestigkeit gezeigt, wenn die metallische Beschichtung an dieser Stelle nicht aufgetragen wurde.

[0031] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, ist die Beschichtung **18** auf Bereichen der Vorderkante **16** und Hinterkante **14** der Schaufel **2** angeordnet, anstatt konventionell auf der gesamten äußeren Fläche des Strömungsprofilbereichs **8** angeordnet zu sein. Vorzugsweise erstreckt sich die Beschichtung **18** nicht entlang der gesamten Länge der Vorderkante **16** und Hinterkante **14**. Wie bereits erwähnt, hat die Anmelderin entdeckt, dass eine Verbesserung der Ermüdungseigenschaften der Schaufel **2** erreicht werden kann, wenn die Beschichtung **18** nicht am unteren Bereich der Vorderkante **16** und Hinterkante **14** in der Nähe der Plattform **22** lokalisiert ist.

[0032] Die Beschichtung **18** kann sich entlang der Vorderkante **16** von dem Schneidepunkt von der spitzen **4** und der Vorderkante **16** erstrecken. In ähnlicher Weise kann sich die Beschichtung **18** entlang der Hinterkante **14** von dem Schneidepunkt der Spitze **4** und der Hinterkante **14** erstrecken. Die Beschichtung **18** erstreckt sich jedoch nicht vollständig bis zur Plattform **22**, weder an der Vorderkante **16**, noch an der Hinterkante **14**. Allgemein gesagt hat die Anmelderin gefunden, dass die Beschichtung vorzugsweise entlang der Vorderkante **16** und Hinterkante **14** der Schaufel **2** zwischen ca. 0% Spannweite und ca. 25% Spannweite, konventionell gemessen von der Strömungswegfläche **20** von der Plattform **22** radial auswärts in Richtung der Spitze **4**, sich nicht erstrecken sollte (alle Bezugnahmen auf Prozent Spannweite sollen hier bedeuten: gemessen von der Strömungswegfläche **20** von der Plattform **22** radial auswärts in Richtung der Spitze **4**). Maximal sollte die Beschichtung **18** nicht entlang der Vorderkante **16** und Hinterkante **14** der Schaufel **2** zwischen ca. 0% Spannweite und ca. 40% Spannweite aufgetragen werden, wie in [Fig. 1](#) gezeigt.

[0033] Die Anmelderin hat festgestellt, dass zum Erreichen einer Verbesserung der Strömungsprofil-Ermüdungseigenschaften die Beschichtung **18** nicht in den stark beanspruchten Bereichen des Strömungsprofilbereichs **8** aufgebracht werden soll, welche im Allgemeinen die Bereiche der Vorderkante **16** und Hinterkante **14** sind, welche in der Nähe der Plattform **22** lokalisiert sind. Insbesondere hat die Anmelderin festgestellt, dass eine Beschichtung **18** mindestens vorzugsweise nicht im Bereich der Kehle **24** zwischen Strömungsprofil und Plattform an der Vorderkante und Hinterkante aufgebracht werden sollte.

Wenn außerdem Kühlungslöcher auf der vorderen Kante **16** lokalisiert sind, sollte sich die Beschichtung **18** vorzugsweise von der Spitze **4** entlang der Vorderkante **16** erstrecken und ungefähr kurz vor der untersten Reihe von Kühlungslöchern auf der Vorderkante **16** enden, vorausgesetzt, diese Kühlungslöcher sind innerhalb der 0–40%-Spanne lokalisiert. Falls in ähnlicher Weise Auslasssschlüsse an der Hinterkante **14** angeordnet sind, sollte sich die Beschichtung **18** vorzugsweise nicht auf der Hinterkante im Bereich der ca. 10 untersten Auslasssschlüsse befinden. Solche Merkmale befinden sich oft an einer Stelle mit begrenzter Hochzyklus-Ermüdungsfestigkeit, und die Beschichtung **18** sollte nicht in diesen Bereichen aufgebracht werden, vorausgesetzt dass diese Merkmale ebenfalls innerhalb der 0–40%-Spanne lokalisiert sind.

[0034] Während des Maschinenbetriebs sind die meisten Turbinenlaufschaufeln typischerweise am heißesten zwischen ca. 50% Spannweite und ca. 75% Spannweite. Erfahrungen beim Testen von metallischen Bindungsschichtmaterialien auf den äußeren Flächen eines Strömungsprofilbereichs unter einem WärmeBarrierematerial haben gezeigt, dass oberhalb von ca. 40% der Spannweite Absplitterungen des Keramikmaterials entlang der Vorderkante und Hinterkante des Strömungsprofils stattfinden kann, wodurch das darunter liegende Material der metallischen Bindungsschicht freigelegt wird. Daher ist die Eliminierung des metallischen Bindungsschichtmaterials von der Vorder- und Hinterkante oberhalb von 40% Spannweite nicht empfehlenswert, da dies zu einem unerwünschten Freisetzen von Basismetalllegierung nach Absplitterung des Keramikmaterials führen kann.

[0035] Insbesondere widerfahren den Vorderkanten von Strömungsprofilen oberhalb von ca. 50% der Spannweite etwas Absplitterung aufgrund splitternder äußerer Luftdichtungen, welche kleine Mengen an Material freisetzen können, welche auf die Vorderkanten von stromabwärts befindlichen Strömungsprofilen aufprallen können. Außerdem kann jegliches Material in der Gasströmung potenziell das keramische Material auf den Vorderkanten der Strömungsprofile splittern lassen. Es gibt jedoch nur ein geringes Risiko für Absplitterung an der Vorderkante in der Nähe der Plattform, da Absplitterung typischerweise so weit innen nicht stattfindet.

[0036] Während des Betriebs ist die Temperatur der Hinterkante des Strömungsprofils in der Nähe der Plattform typischerweise nicht so hoch wie die Bereiche des Strömungsprofils innerhalb von 50 bis 75% der Spannweite. Oberhalb von ca. 40% der Spannweite erwärmt sich die Hinterkante eines Strömungsprofils viel stärker als die Strömungsbereiche in der Nähe der Plattform, und sie ist aufgrund ihrer Geometrie schwierig zu kühlen. Daher ist das Beibehal-

ten eines metallischen Bindungsschichtmaterials auf der Hinterkante oberhalb von ca. 40% erwünscht. Außerdem findet während des Betriebs Absplitterung typischerweise nicht entlang der Hinterkante in der Nähe der Plattform bei bis zu 40% statt, weil jegliche Fremdkörper in der Maschine typischerweise zentrifugal nach außen geschleudert werden und daher nicht auf die Hinterkante in der Nähe der Plattform des Strömungsprofils auftreffen.

[0037] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Beschichtung **18** im Wesentlichen nicht auf der Überdruckfläche **10** oder der Unterdruckfläche **12** des Strömungsprofilbereichs **8** lokalisiert, wie in [Fig. 1](#) gezeigt. Im Allgemeinen kann sich die Beschichtung **18** axial um ca. 0,25 Inch (0,64 cm) bis ca. 0,50 Inch (1,27 cm) auf der Überdruckfläche und um ca. 0,25 Inch (0,46 cm) bis ca. 0,50 Inch (1,27 cm) im Strömungsbereich erstrecken, jeweils gemessen ab der Vorderkante **16**. In ähnlicher Weise kann die Beschichtung **18** sich für ca. 0,25 Inch (0,64 cm) bis ca. 0,50 Inch (1,27 cm) auf der Überdruckseite **10** und für ca. 0,25 Inch (0,64 cm) bis ca. 0,50 Inch (1,27 cm) auf der Unterdruckfläche **12** des Strömungsprofilbereichs **8** erstrecken, jeweils gemessen von der Hinterkante **14** aus, so dass die heißesten Bereiche der Druckfläche **10** und der Unterdruckfläche **12** in der Nähe der Hinterkante **14** beschichtet sind.

[0038] Fachleute erkennen, dass die oben beschriebenen axialen Strecken variieren können, abhängig von Faktoren wie Größe der Schaufel **2**, Dicke der Vorderkante **16**, Winkelorientierung der Vorderkante **16** und von den Temperatureigenschaften des Basismetalls des Strömungsprofilbereichs **8**.

[0039] Konventionelle Maskierungstechniken können vor dem Aufbringen der Beschichtung **18** angewendet werden, um zu gewährleisten, dass die Beschichtung **18** dort, wo gewünscht, aufgebracht wird.

[0040] Tests haben bestätigt, dass es möglich ist, die Beschichtung **18** von der Überdruckfläche **10** und der Unterdruckfläche **12** des Strömungsbereichs **8** im Wesentlichen wegzulassen, weil solche Flächen keinen starken Aufprallschäden ausgesetzt sind, beispielsweise durch Fremdobjekte. Außerdem können diese Flächen des Strömungsprofils **8** problemlos gekühlt werden, indem kühlende Luft entlang der Flächen über Kühlungslöcher geleitet wird, die dort angeordnet sind, wo eine derartige Kühlung erforderlich ist.

[0041] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die Beschichtung **18** auf die Vorderkante **16** und Hinterkante **14**, wie oben beschrieben, aufgebracht, die auch auf die Überdruckfläche **10** und Unterdruckfläche **12** des Strömungsprofils **8**, die dazu direkt benachbart sind, wie beispielsweise in [Fig. 2](#) gezeigt. Diese Ausführungsform ist geeignet, jedoch

nicht bevorzugt, aufgrund des zusätzlichen Gewichts der Maschine aufgrund der erhöhten Menge an Beschichtung auf dem Strömungsprofilbereich 8.

[0042] Typischerweise wird dann sämtliches Maskierungsmaterial entfernt. Fall gewünscht, kann ein geeignetes Keramikmaterial über dem Strömungsprofilbereich 8 der Schaufel 2 aufgebracht werden. Das Keramikmaterial kann jene Materialien umfassen, welche in den US-Patenten Re. 33 876, 4 321 311, 4 405 659, 4 405 660, 5 262 245 und 5 087 477 beschrieben sind, deren Inhalt hiermit durch Bezugnahme inkorporiert wird. Beispielhafte Keramikmaterialien umfassen Zirconoxid, stabilisiert durch Magnesiumoxid, Ceroxid oder Yttriumoxid, aufgetragen durch Verfahren wie physikalische Elektronenstrahl-Dampfablagerung oder Plasmasprayablagerung. Die Anmelderin hat gefunden, dass Yttriumoxid-stabilisiertes Zirconoxid ein besonders geeignetes Keramikmaterial ist.

[0043] Es sollte auch angemerkt werden, dass die Spitze 4 typischerweise keine Stelle ist, welche die Ermüdungsfestigkeit begrenzt. Fachleute erkennen, dass die Spitze 4 konventionell behandelt/beschichtet werden kann mit Materialien, welche in der Technik bekannt sind, z.B. kubischer Bornitrid, jeweils abhängig von der gewünschten Anwendung.

[0044] Ein Vorteil dieser Erfindung ist eine Vergrößerung der Ermüdungsfestigkeit des Strömungsprofils. Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass die Beschichtung 18 von der konvexen Seite des Bereichs der mittleren Flügeltiefe (mid-chord) in der Nähe der Plattform 22 eliminiert wird, welche bei Beschichtung auch die Ermüdungsfestigkeit begrenzen kann. Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass Strömungsprofile der Erfindung ein reduziertes Gewicht haben, was zu einer besseren Effizienz der Maschine bzw. des Triebwerks führt.

[0045] Wenn gleich die Erfindung in Bezug auf detaillierte Ausführungsformen gezeigt wurde, können verschiedene Änderungen von Form und Details gemacht werden, ohne den Bereich der beanspruchten Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Strömungsprofil (2) aufweisend eine Spitze (4); einen Wurzelbereich (6); eine Plattform (22) mit einer Strömungswegfläche (20); und einen Strömungsprofilbereich (8) zwischen der Spitze und der Plattform mit einer Vorderkante (16) und einer Hinterkante (14), wobei eine metallische Beschichtung (18) entlang der Vorderkante (16) und der Hinterkante (14) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die metallische Beschichtung eine Bindungsbeschichtung ist, die sich von der Spitze in Richtung der Strömungswegfläche für mindestens etwa 60% der Spanne erstreckt, aber einen Bereich der Vorderkante und der Hinterkante ausnimmt, welcher sich in Nähe der Plattform befindet.

2. Strömungsprofil nach Anspruch 1, bei welchem die Bereiche der Vorderkante (16) und der Hinterkante (14) im Bereich des Übergangs (24) von Strömungsprofil zu Plattform durch die metallische Bindungsbeschichtung unbeschichtet sind.

3. Strömungsprofil nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem das Strömungsprofil (2) einen Zusammensetzungsbereich in Gew.-% von 3–12 Cr, 0–3 Mo, 3–10 W, 0–5 Re, 6–12 Ta, 4–7 Al, 0–15 Co, 0–0,045 C, 0–0,02 B, 0–0,01 Zr, 0–0,8 Hf, 0–2 Nb, 0–1 V, 0–0,7 Ti, 0–10 (Ru + Rh + Pd + Os + Ir + Pt), 0–0,1 Y, La, Sc, Ce, Lanthaniden oder Actiniden, Rest Ni hat.

4. Strömungsprofil nach Anspruch 3, bei welchem das Strömungsprofil (2) eine Zusammensetzung von 5 Cr, 10 Co, 1,9 Mo, 5,9 W, 3,0 Re, 8,4 Ta, 5,65 Al, 0,25 Hf, 0,013 Y, Rest im Wesentlichen Ni hat.

5. Strömungsprofil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welchem die metallische Bindungsbeschichtung (18) eine MCrAlY Beschichtung ist, wobei M Nickel, Cobalt, Eisen oder Mischungen daraus ist.

6. Strömungsprofil nach Anspruch 5, bei welchem die MCrAlY Beschichtung (18) in Gew.-% 5–40 Cr, 8–35 Al, 0–2 Y, 0,1–7 Si, 0,1–2 Hf, Rest gewählt aus der Gruppe, die aus Ni, Co, und Mischungen daraus besteht, ist.

7. Strömungsprofil nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welchem die metallische Bindungsbeschichtung (18) eine Aluminid-Beschichtung ist.

8. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die Bereiche der Vorderkante und der Hinterkante, die sich von der Strömungswegfläche auswärts in Richtung der Spitze erstrecken, für ca. 25% der Spanne durch die metallische Bindungsbeschichtung unbeschichtet sind.

9. Strömungsprofil nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei welchem die Bereiche der Vorderkante und der Hinterkante, die sich von der Strömungswegfläche auswärts in Richtung der Spitze erstrecken, für ca. 40% der Spanne durch die metallische Bindungsbeschichtung unbeschichtet sind.

10. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem die metallische Bindungsbeschichtung (18) außerdem an den Flächen (10, 12) des Strömungsprofilbereichs (8), die durch die metallische Bindungsbeschichtung an der Vorderkante (16) und der Hinterkante (14) begrenzt sind, angeordnet ist.

11. Strömungsprofil nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem die metallische Bindungsbeschichtung (**18**) außerdem an einem Teilbereich der Flächen (**10, 12**) des Strömungsprofilbereichs (**8**), die durch die metallische Bindungsbeschichtung an der Vorderkante (**16**) und der Hinterkante (**14**) begrenzt sind, angeordnet ist.

12. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend ein auf dem Strömungsprofilbereich (**8**) angeordnetes Keramikmaterial.

13. Strömungsprofil nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei welchem das Strömungsprofil eine Turbinenlaufschaufel ist.

14. Verfahren zur Herstellung eines ermüdungsfesten Strömungsprofils, aufweisen die folgenden Schritte:

a) Bereitstellen eines Strömungsprofils aufweisend eine Spitze (**4**); einen Wurzelbereich (**6**); eine Plattform (**22**) mit einer Strömungswegfläche (**20**); und einen Strömungsprofilbereich (**8**) zwischen der Spitze und der Plattform mit einer Vorderkante (**16**) und einer Hinterkante (**14**); und

b) Bereitstellen einer metallischen Beschichtung (**18**) entlang der Vorderkante (**16**) und der Hinterkante (**14**) des Strömungsprofils, dadurch gekennzeichnet, dass die metallische Beschichtung eine Bindungsbeschichtung ist, die sich einwärts von der Spitze in Richtung der Strömungswegfläche für mindestens etwa 60% der Spanne erstreckt, aber einen Bereich der Vorderkante und der Hinterkante ausnimmt, welcher sich in Nähe der Plattform befindet.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

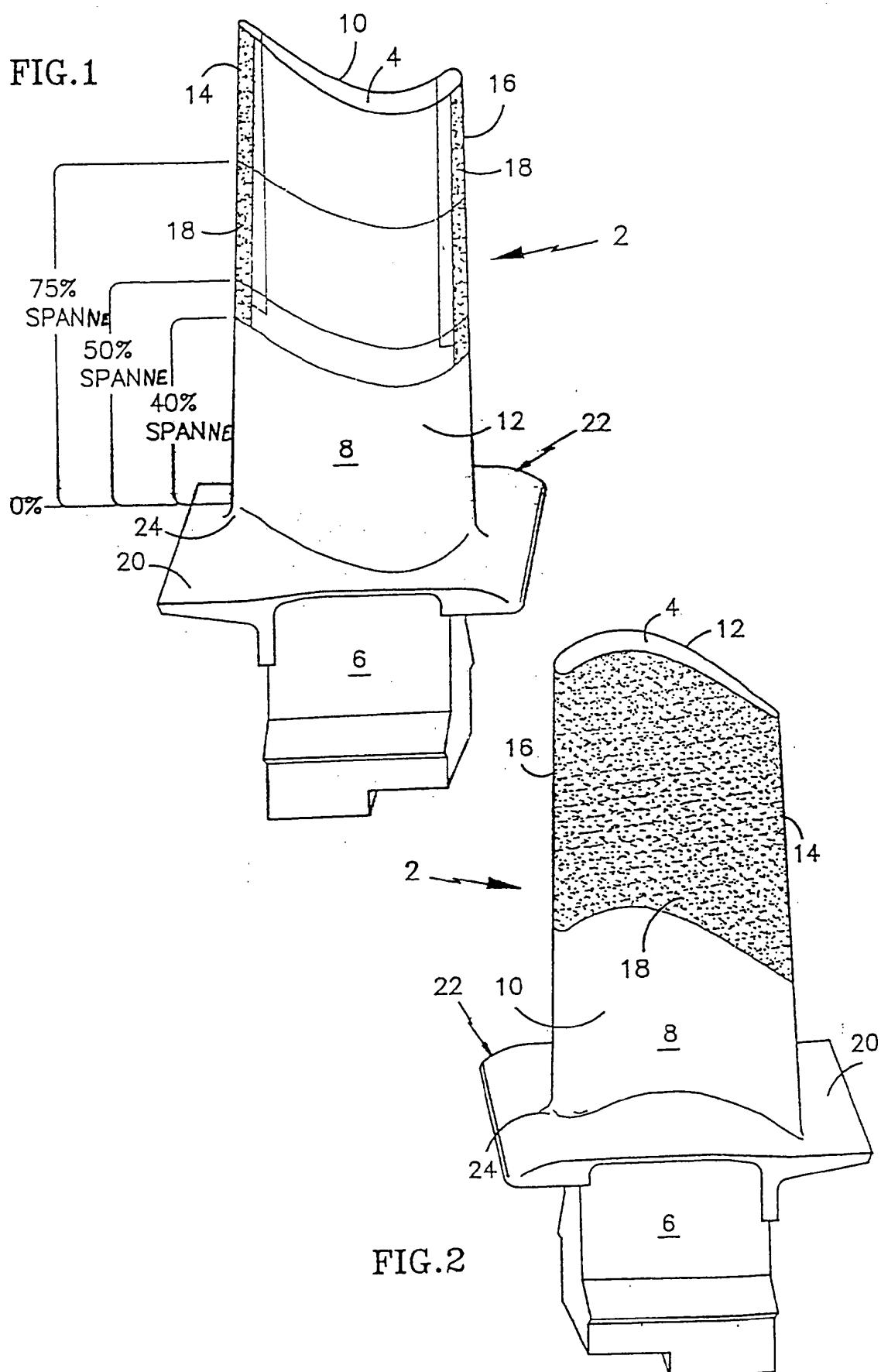


FIG.2