



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 38 715 T2 2009.05.28

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 088 909 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 600 38 715.1

(96) Europäisches Aktenzeichen: 00 308 537.0

(96) Europäischer Anmeldetag: 28.09.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 04.04.2001

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 30.04.2008

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 28.05.2009

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: C23C 28/00 (2006.01)

C23C 4/02 (2006.01)

C23C 4/06 (2006.01)

C23C 4/10 (2006.01)

C23C 4/08 (2006.01)

F01D 5/28 (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**407495** 28.09.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**CH, DE, FR, GB, IT, LI**

(73) Patentinhaber:  
**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(72) Erfinder:  
**Thompson, Anthony Mark, Niskayuna, New York  
12309, US; Hasz, Wayne Charles, Pownal, Vermont  
05261, US**

(74) Vertreter:  
**Luderschmidt, Schüler & Partner, 65189  
Wiesbaden**

(54) Bezeichnung: **Wärmedämmendes Beschichtungssystem für ein Turbinenmotorbauteil**

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 eingelebt, 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]** Die Erfindung betrifft allgemein thermische Barriereforschungssysteme, insbesondere thermische Barriereforschungssysteme, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind, wie zum Beispiel in einer Gasturbinemaschine.

**[0002]** Höhere Betriebstemperaturen für Gasturbinemaschinen wurden kontinuierlich im Stand der Technik gewünscht, um die Betriebseffizienz der Maschine zu verbessern. Als jedoch die Betriebstemperaturen erhöht wurden, mussten auch die Hochtemperaturfähigkeiten der Komponenten in der Maschine ebenfalls ansteigen. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Superlegierungen auf Nickelbasis und Kobaltbasis eingesetzt, die oxidationsbeständige und korrosionsbeständige Überzugs- und Beschichtungen vom Diffusionstyp beinhalten.

**[0003]** Weitere Verbesserungen bei den Hochtemperaturfähigkeiten der Komponenten wurden durch Beschichtung von Maschinenkomponenten mit einer thermischen Barriereforschung (TBC) realisiert, zusätzlich zu den Überzugs- und den Beschichtungen vom Diffusionstyp, die oben erwähnt sind. TBCs werden allgemein aus keramischen Materialien gebildet, wie zum Beispiel Zirkondioxid ( $ZrO_2$ ), stabilisiert mit einem Oxidmaterial. Um die Haftung zwischen der thermischen Barriereforschung und dem darunter liegenden Substrat zu verbessern, werden Bindungsbeschichtungen verwendet. Ein Typ einer Bindungsbeschichtung wird aus MCrAlY gebildet, wobei M ausgewählt wird aus der Gruppe bestehend aus Eisen, Kobalt, Nickel und Kombinationen davon.

**[0004]** Solche Bindungsbeschichtungen können durch thermische Sprühtechniken abgelagert werden, einschließlich Niedrigdruck-Plasmasprühen (LPPS), Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (High Velocity-Oxy Fuel, HVOF) und Luftplasmasprühen (APS). Von diesen Bindungsbeschichtungen wurden APS-Bindungsbeschichtungen wegen ihrer Einfachheit der Ablagerung und Bindungsqualität und Integrität zwischen dem Substrat und der TBC verwendet. Im Stand der Technik besteht jedoch eine Notwendigkeit für weiter verbesserte Bindungsbeschichtungen eines thermischen Barriereforschungssystems. Solche Bindungsbeschichtungen sollten leicht abzulagern sein, verbesserte Oxidations- und/oder Korrosionsbeständigkeit haben und eine gute Klebegrenzfläche für die darüber liegende thermische Barriereforschung zur Verfügung stellen.

## KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0005]** In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein Verfahren zur Bildung eines thermischen Barriereforschungssystems auf einem Turbinemaschinenbauteil zur Verfügung gestellt. Das

Verfahren beinhaltet das Bilden einer Bindungsbeschichtung auf dem Turbinemaschinenbauteil durch gemeinsames thermisches Sprühen von ersten und zweiten verschiedenen Legierungspulvern auf das Turbinemaschinenbauteil, um einen oxidationsbeständigen Bereich des ersten Legierungspulvers, aufweisend eine erste MCrAlY-Legierung, zu bilden, wobei M ausgewählt wird aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt und Kombinationen davon. Dann wird ein Bindungsbereich durch thermisches Sprühen eines dritten Legierungspulvers auf den oxidationsbeständigen Bereich zur Verfügung gestellt, wobei das dritte Legierungspulver eine zweite MCrAlY-Legierung aufweist, wobei M ausgewählt wird aus Nickel, Kobalt und Kombinationen davon. Der oxidationsbeständige Bereich ist stärker beständig gegenüber Oxidation als der Bindungsbereich. Eine thermische Barriereforschung wird dann abgelagert, um die Bindungsbeschichtung zu überziehen.

**[0006]** In einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein Turbinemaschinenbauteil zur Verfügung gestellt. Das Bauteil beinhaltet ein Substrat und eine Bindungsbeschichtung, die das Substrat überzieht. Die Bindungsbeschichtung hat einen oxidationsbeständigen Bereich und einen Bindungsbereich, der den oxidationsbeständigen Bereich überzieht, wobei der oxidationsbeständige Bereich stärker gegen Oxidation beständig ist als der Bindungsbereich. Eine thermische Barriereforschung überzieht die Bindungsbeschichtung.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHUNGEN

**[0007]** [Fig. 1](#) ist ein Querschnitt einer Mikroaufnahme eines Beispiels eines thermischen Barriereforschungssystems auf einem Substrat vor der periodischen Wärmebehandlung, und

**[0008]** [Fig. 2](#) ist ein Querschnitt einer Mikroaufnahme des in [Fig. 1](#) veranschaulichten Beispiels nach der periodischen Wärmebehandlung.

## EINGEHENDE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführungsform wird ein Substrat, allgemein in der Form eines Turbinemaschinenbauteils, behandelt, um seine Hochtemperaturleistungsfähigkeit zu verbessern, wie zum Beispiel bei Temperaturen oberhalb von 1000°C. Das Substrat wird typischerweise aus einem Superlegierungsmaterial gebildet, das für Hochtemperaturleistungsfähigkeit beispielsweise im Hinblick auf Zugfestigkeit, Kriechfestigkeit, Oxidationsbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit bekannt ist. Das Superlegierungsmaterial wird typischerweise aus einer Legierung auf Nickelbasis oder Kobaltbasis gebildet, wobei Nickel oder Kobalt das einzige größte Element in der Superlegierung nach Ge-

wicht ist. Anschauliche Superlegierungen auf Nickelbasis beinhalten zumindest etwa 40 Gew.-% Ni und zumindest eine Komponente aus der Gruppe bestehend aus Kobalt, Chrom, Aluminium, Wolfram, Molybdän, Titan und Eisen. Beispiele für Superlegierungen auf Nickelbasis werden bezeichnet durch die Handelsnamen Inconel®, Nimonic®, Rene® (z. B. Rene®80-, Rene®95-, Rene®142- und Rene®N5-Legierungen) und Udimet®, und beinhalten gerichtet verfestigte und Einkristall-Superlegierungen. Beispieldichte Superlegierungen auf Kobaltbasis beinhalten zumindest etwa 30 Gew.-% Co und zumindest eine Komponente aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Chrom, Aluminium, Wolfram, Molybdän, Titan und Eisen. Beispiele für Superlegierung auf Kobaltbasis werden bezeichnet durch die Handelsnamen Haynes®, Nozzalloy®, Stellite® und Ultimet®. Die tatsächliche Konfiguration eines Substrats kann weit variieren, wie z. B. in der Form einer Brennkammerauskleidung, Brennkammerdoms, Verkleidung, Schaufel oder Flügel, Düse oder Leitschaufel. Flügel sind eine typische Anwendung für TBC-Systeme gemäß den erfindungsgemäßen Ausführungsformen.

**[0010]** Gemäß den erfindungsgemäßen Ausführungsformen wird eine Bindungsbeschichtung durch thermisches Sprühen auf das Substrat abgelagert. So wie hier verwendet, beinhaltet thermisches Sprühen Flammenspritzen, HVOF(Hochgeschwindigkeitsflamm)-Spritzen, Plasmasprühen und Lichtbogenbrandspritzen. Plasmasprühen beinhaltet Luftpitasprühen (APS) und Niedrigdruck-Plasmasprühen (LPPS), auch bekannt als Vakuumplasmasprühen (VPS). Zur einfacheren Anwendung und aus hier im Folgenden diskutierten Gründen wird Luftpitasprühen (APS) allgemein verwendet, um die Bindungsbeschichtung gemäß den erfindungsgemäßen Ausführungsformen abzulagern.

**[0011]** Die Bindungsbeschichtung enthält zumindest zwei Bereiche, einschließlich einem oxidationsbeständigen Bereich und einem Bindungsbereich, der den oxidationsbeständigen Bereich überzieht. Der oxidationsbeständige Bereich schützt das darunter liegende Substrat vor Oxidation und/oder Korrosionsangriff während der eigentlichen Verwendung. Während der Bindungsbereich einen gewissen Grad an Oxidationsbeständigkeit hat, besitzt er eine geringere Beständigkeit gegenüber Oxidation als der oxidationsbeständige Bereich. Der Bindungsbereich stellt eine Compliance-Anpassung und hohe Oberflächenbindungsfläche zur Verfügung, um darauf starke Haftung der darüberliegenden thermischen Barriereforschichtung zur Verfügung zu stellen.

**[0012]** Der oxidationsbeständige Bereich wird durch gemeinsames thermisches Sprühen von zwei voneinander getrennten Legierungen in Pulverform gebildet. Die erste Legierung für den oxidationsbeständigen Bereich ist auf Nickel- oder Kobaltbasis, wie z.

B. solche, die bereits für herkömmliche Bindungsbeschichtungen verwendet werden, die durch die allgemeine Zusammensetzung MCrAlY bekannt sind, wobei M ein Element ist, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt und Kombinationen davon.

**[0013]** Gemäß einer besonderen erfindungsgemäßen Entwicklung ist die zweite Legierung dabei wirksam, die Oxidationscharakteristiken des Materials, das durch thermisches Sprühen abgelagert wird, und die Oxidation des darunterliegenden Substrats zu modifizieren. Es wird angenommen, dass die zweite Legierung das abgelagerte Material und/oder Substrat entweder chemisch oder physikalisch modifiziert. In einer Ausführungsform enthält die Legierung Silizium, was als wirksam bei der Hinauszögerung von Oxidation von nicht nur dem oxidationsbeständigen Bereich selbst, sondern auch beim Hinauszögern der Oxidation des darunterliegenden Substrats angenommen wird.

**[0014]** Die zweite Legierung modifiziert allgemein den oxidationsbeständigen Bereich physikalisch durch Erhöhung seiner Dichte, wie z. B. durch anschließende Wärmebehandlung bei einer erhöhten Temperatur nach thermischem Sprühen. Während die Wärmebehandlung nach dem thermischen Sprühen ausgeführt wird, muss sie nicht sofort danach erfolgen. Zum Beispiel kann die Wärmebehandlung als ein Teil eines Wärmebehandlungsschrittes für die thermische Barriereforschichtung oder das Substrat ausgeführt werden, wie zum Beispiel als Wärmebehandlungsprozesse für vertikal mikrogerissene TBCs oder Superlegierungskomponenten bekannt. Die zweite Legierung schmilzt typischerweise entweder, wobei sie die Hohlräume in dem thermisch gesprühten Material füllt, oder wirkt dabei, die intrinsische Verdichtungsgeschwindigkeit der Legierung des ersten Pulvers zu erhöhen, wie zum Beispiel durch Flüssig- oder Festphasensintern. In noch einer anderen Form kann die Wärmebehandlung bewirkt werden, um eine Legierung in dem oxidationsbeständigen Bereich herzustellen, die eine allgemein gleichförmige Zusammensetzung hat, wobei die Zusammensetzung wünschenswerte Oxidations- und/oder Korrosionsbeständigkeit hat. In dieser Ausführungsform kann die gleichförmige Zusammensetzung durch Tempern erreicht werden, entweder durch Fest- oder durch Flüssigphasen-Interdiffusion der Legierungskomponenten während der Wärmebehandlung.

**[0015]** Während die Verdichtung des thermisch gesprühten Materials gewünscht ist, ist es nicht wesentlich, dass vollständige Verdichtung erreicht wird. Eher können leichte Erhöhungen in der Verdichtung in dem abgelagerten Material dabei wirksam sein, den Grad des Zusammenhangs von Hohlräumen (offene Porosität), die in dem Material vorhanden ist, zu verringern und somit die Empfindlichkeit des dar-

unterliegenden Substrats gegenüber Oxidation oder Korrosion. Leichte Verdichtung wird allgemein veranschaulicht als „Abklemmen“ („pinching-off“) der Hohlräume, wobei „geschlossene Porosität“ erzeugt wird. Tatsächlich ist, wie unten im Zusammenhang mit einem speziellen Beispiel diskutiert, optisch durch Querschnittsmikrofotografien keine wesentliche Verdichtung zu beobachten, jedoch werden nichtsdestoweniger signifikante Verbesserungen im Grad der Oxidation des darunterliegenden Substrats beobachtet.

**[0016]** Typischerweise wird die erste Legierung aus einer homogenen Superlegierungszusammensetzung, wie zum Beispiel MCrAlY, gebildet, wobei M ausgewählt wird aus einer Gruppe bestehend aus Eisen, Kobalt, Nickel und Kombinationen davon. In einer besonderen Ausführungsform ist die Legierung auf Nickelbasis (d. h. M ist Nickel) und wird bezeichnet mit der Verkäuferbezeichnung Ni211 von Praxair. Ni211 hat eine nominale Zusammensetzung 22,0 Cr, 10,0 Al, 1,0 Y, Rest Ni (alles in Gewichtsprozent).

**[0017]** Die zweite Legierung ist eine Superlegierungs-Lötlegierung. Die Lötlegierungszusammensetzung enthält typischerweise eine oder mehrere Komponenten zur Verringerung ihres Schmelzpunktes. Schmelzpunktsuppressoren für Lötlegierungen auf Nickelbasis und Kobaltbasis beinhalten Silizium, Bor, Phosphor oder Kombinationen davon. Vorzugsweise ist der Schmelzpunktssuppressor einer aus Silizium oder Bor oder eine Kombination davon. In einer besonderen Ausführungsform enthält die Lötlegierung Nickel, Chrom und Silizium, wie zum Beispiel Legierungszusammensetzung Nr. 5 unten. Beispielhafte Lötlegierungszusammensetzungen auf Nickelbasis beinhalten das Folgende (Komponenten sind in Gew.-% angegeben):

1. 4,5 Si, 14,5 Cr, 3,3 B und 4,5 Fe, Rest Ni;
2. 15 Cr, 3,5 B, Rest Ni;
3. 4,5 Si, 3 B, Rest Ni;
4. 4,2 Si, 7 Cr, 3B, 3 Fe, Rest Ni;
5. 10 Si, 19 Cr, Rest Ni;
6. 3,5 Si, 22 Co, 2,8 B, Rest Ni;
7. 3,5 Si, 1,8 B, Rest Ni;
8. 4,5 Si, 14 Cr, 3 B, 4,5 Fe, Rest Ni;
9. 17 Cr, 9 Si, 0,1 B, Rest Ni;
10. 2,6 Si, 2 Cr, 2 B, 1 Fe, Rest Ni;
11. 15 Cr, 8 Si, Rest Ni;
12. 7 Cr, 3 Fe, 4 Si, 3 B, Rest Ni.

**[0018]** Andere Lötlegierungszusammensetzungen auf Nickelbasis beinhalten:

12. 10,1 Si, 19,0 Cr, Rest Ni;
13. 4,5 Fe, 4,5 Si, 14,0 Cr, 3,1 B, 0,75 C, Rest Ni;
14. 4,5 Fe, 4,5 Si, 14,0 Cr, 3,1 B, Rest Ni;
15. 4,5 Si, 3,1 B, Rest Ni;
16. 11,0 P, Rest Ni; und
17. 10,1 P, 14,0 Cr, Rest Ni.

**[0019]** Lötlegierungszusammensetzungen auf Kobaltbasis beinhalten:

1. 8 Si, 19 Cr, 17 Ni, 4 W, 0,8 B, Rest Co
2. 17,0 Ni, 1,0 Fe, 8,0 Si, 19,0 Cr, 0,8 B, 0,4 C, Rest Co;
3. 23,5 Cr, 10 Ni, 7 W, 3,5 Ta, 2,9 B, 0,2 Ti, Rest Co;
4. 22 Cr, 22 Ni, 14,5 W, 0,35 Si, 2,3 B, Rest Co.

**[0020]** Folgend auf das gemeinsame Sprühen, um den oxidationsbeständigen Bereich zu bilden, wird thermisches Sprühen ausgeführt, um den Bindungsbereich zu bilden, der den oxidationsbeständigen Bereich überzieht. Der Bindungsbereich unterscheidet sich allgemein von dem oxidationsbeständigen Bereich dadurch, dass er eine Struktur hat, die eher die Haftung zwischen der darüberliegenden thermischen Barriereforschichtung (TBC) verbessert, als die Oxidations- oder Korrosionsbeständigkeit. Der Bindungsbereich wird gebildet durch thermisches Sprühen einer dritten Legierung in Pulverform. Die dritte Legierung ist eine MCrAlY-Legierung, wobei M ausgewählt wird aus einer Gruppe bestehend aus Eisen, Kobalt, Nickel und Kombinationen davon. Die dritte Legierung ist vorteilhafterweise die gleiche Legierung wie die der ersten Legierung. In einer besonderen Ausführungsform ist die dritte Legierung auf Nickelbasis (d. h. M ist Nickel) und wird bezeichnet durch die Verkäuferbezeichnung Ni211 von Praxair. Ni211 hat eine nominale Zusammensetzung von 67,0 Ni, 22,0 Cr, 10,0 Al und 1,0 Y, alles in Gewichtsprozent.

**[0021]** Der Übergang von der Ablagerung des oxidationsbeständigen Bereiches zum Bindungsbereich ist typischerweise schrittweise, wobei die Zufuhr einer Mischung des ersten und zweiten Pulvers angehalten wird, die Zufuhr des dritten Pulvers begonnen wird und thermisches Sprühen dann weitergeführt wird. Diese Technik resultiert in einer zweilagigen Bindungsbeschichtung, wobei jeder Bereich in der Form einer unterschiedlichen Schicht ist, die voneinander durch Lokalisieren von chemischen Spezies sowie Konzentration von Oxidmaterial nach Ofenzyltest oder nach tatsächlicher Verwendung unterschieden werden kann. Alternativ kann der Übergang beim thermischen Sprühen allmählich gemacht werden, wobei eine Bindungsbeschichtung gebildet wird, die abgestuft ist. Hierbei werden die ersten und zweiten Pulver abgelagert und das Verhältnis des zweiten wird verändert, so dass die Zufuhr des zweiten Pulvers schrittweise eliminiert wird, wobei ein Überzugsbereich gebildet wird, der prinzipiell aus der ersten Legierung (wie zum Beispiel MCrAlY) gebildet ist. Die Bindungsbeschichtung hat typischerweise eine Dicke in einem Bereich von etwa 25 Mikron bis etwa 750 Mikron, wie zum Beispiel etwa 100 Mikron bis etwa 400 Mikron.

**[0022]** Folgend auf das thermische Sprühen und vor irgendwelchen weiteren Wärmebehandlungsschritten

ten, wie zum Beispiel Wärmebehandlung zur Verdichtung und/oder Tempern, hat der oxidationsbeständige Bereich typischerweise zwei Hauptphasen, enthaltend eine erste Phase, die zu der ersten Legierung korrespondiert, und eine zweite Phase, die zu der zweiten Legierung korrespondiert. Die zwei Phasen korrespondieren allgemein zu den jeweiligen Zusammensetzungen der beiden anfänglichen Pulver. Folgend auf einen weiteren Wärmebehandlungsschritt wird der Grad und die Morphologie der Porosität in dem oxidationsbeständigen Bereich typischerweise modifiziert, obwohl signifikante Erhöhungen in der Dichte nicht wesentlich sein müssen, um die gewünschte Verbesserung in der Oxidationsbeständigkeit oder des Substratschutzes zu erreichen. Das heißt, Reduktion des Grads der Verbindungsähnlichkeit der Porosität kann wirksam sein, um die Fähigkeit des Substrats für Oxidation und/oder Korrosion zu verringern. Nach Wärmebehandlung hat der oxidationsbeständige Bereich typischerweise eine von verschiedenen Mikrostrukturen, einschließlich einer untereinander verbundenen Matrixphase, in welcher die erste Phase dispergiert ist, der ersten Phase und einer interkristallinen zweiten Phase, oder einer homogenen Zusammensetzung, die sich durch Interdiffusion der ersten und zweiten Phasen anordnet.

**[0023]** Anschließend wird eine thermische Barriereforschichtung (TBC) auf der Bindungsbeschichtung abgelagert, allgemein direkt in Kontakt mit dem Bindungsbereich der Bindungsbeschichtung. Die thermische Barriereforschichtung wird aus einem keramischen Material gebildet, wie zum Beispiel Zirkondioxid, stabilisiert mit zumindest einem Oxid, einschließlich Yttriumoxid ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ), Ceroxid ( $\text{CeO}_2$ ), Magnesiumoxid ( $\text{MgO}$ ), Scandiumoxid ( $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ) und Kalziumoxid. In einer besonderen Ausführungsform wird die thermische Barriereforschichtung aus Yttriumoxid stabilisiertem Zirkondioxid gebildet. Die thermische Barriereforschichtung wird allgemein abgelagert durch eine von verschiedenen Techniken, wie zum Beispiel eine thermische Sprühtechnik, einschließlich Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) und Plasmasprühtechniken. Plasmasprühtechniken beinhalteten Luftplasmasprühen (APS), Vakuumplasmasprühen (VPS) und Niedrigdruck-Plasmasprühen (LPPS). Alternativ können Dampfablagerungstechniken, wie zum Beispiel physikalische Elektronenstrahldampfablagerung (EBPVD), verwendet werden. Zur einfacheren Anwendung und aus Herstellungsüberlegungen wird vorzugsweise Luftplasmasprühen verwendet. Die thermische Barriereforschichtung hat typischerweise eine Dicke in der Größenordnung von etwa 50 Mikron bis etwa 2500 Mikron, wie zum Beispiel etwa 75 Mikron bis etwa 1250 Mikron. Typischerweise ist die Dicke der Bindungsbeschichtung weniger als etwa 500 Mikron, wie zum Beispiel 400 Mikron.

**[0024]** Gemäß einer erfindungsgemäßen Entwick-

lung hat die Bindungsbeschichtung, die gemäß den oben beschriebenen Techniken gebildet wurde, sowohl überragende Oxidationsbeständigkeit als auch überragende Bindungshaftung an die darüberliegende thermische Barriereforschichtung. Insbesondere unter Verwendung einer Mischung von Legierungen des zuerst abgelagerten Materials wird ein oxidationsbeständiger Bereich, mit einem Grad an Oxidationsbeständigkeit gebildet, der normalerweise mit Prozessen assoziiert ist, die intrinsisch dichtere Schichten bilden, wie zum Beispiel Vakuumplasmasprühen (VPS) und Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF)-Techniken. Durch Verwendung einer dritten Legierung, wie zum Beispiel eine MCrAlY-Legierung alleine (d. h. ohne eine Oxidationsbeständigkeit erhöhende Komponente), wird der Bindungsbereich porös gemacht, was eine überragende Bindungsgrenzfläche zu der darüberliegenden thermischen Barriereforschichtung zur Verfügung stellt. Zusätzlich erlaubt die poröse Natur des Bindungsbereiches einen gewissen Grad an interner Oxidation, wodurch ein Grad an Compliance zur Verfügung gestellt wird, um thermischer Expansion und Kontraktion der darüberliegenden thermischen Barriereforschichtung Rechnung zu tragen.

#### Beispiel

**[0025]** Ein Rene® N5-Substrat in der Form eines Testabschnitts mit 1 Inch Durchmesser wird beschichtet. Eine Metco 7 MB Plasmasprüh-Lötlampe wird etwa 5 Inch von dem Testabschnitt entfernt platziert und eine Mischung Ni211-Pulver (-140 + 325 Mesh) und Lötlegierung (-140 + 325 Mesh) wird der Lötlampe zugeführt. Die Mischung enthält eine 25/75 gew.-%ige Mischung aus Ni211-Pulver/Lötlegierungspulver. Der Lötlampenstrom wird auf 500 A eingestellt, um einen 5 mil dicken oxidationsbeständigen Bereich zu bilden. Luftplasmasprühen wird gestoppt und Ni211 (-325 Mesh) wird dann der Lötlampe ohne jegliche Lötlegierung zugeführt. Der Lötlampenstrom wird wiederum auf 500 A gesetzt, um einen 10 mil dicken Bindungsbereich zu bilden. Das thermische Barriereforschichtungssystem wird mit einer luftplasmasprühten thermischen Barriereforschichtung vervollständigt, die eine Dicke von 20 mil hat. Der Abschnitt wird dann im Vakuum für 30 Minuten bei 1177°C (2150°F) einem Wärmebehandlungsschritt unterzogen.

**[0026]** Die resultierende Struktur ist in [Fig. 1](#) gezeigt. Wie veranschaulicht zeigt die Mikrofotografie ein Substrat **10**, die Bindungsschicht **12** und die thermische Barriereforschichtung **14**. Der oxidationsbeständige Bereich und der Bindungsbereich sind größtenteils voneinander nicht unterscheidbar, können aber mit einer Mikroprobenauftragung, welche die Verteilung der chemischen Spezies zeigt, deutlicher voneinander unterschieden werden. Aufgrund der Ablagerungstechnik durch APS sind „Splat“-Linien in

der abgelagerten Schicht vorhanden. Bei dem Luftplasmasprühprozess werden die Pulver geschmolzen und durch Umgebungsluft in Richtung des Substrats beschleunigt. Beim Auftreffen auf das Substrat flachen sich die geschmolzenen Legierungströpfchen ab und verfestigen sich. Das abgelagerte Material hat eine geschichtete Struktur, zusammengesetzt aus Bereichen von verfestigter Legierung mit Grenzflächenbereichen, Splatlinien, die etwas Oxid und Porosität enthalten können. Während angenommen wird, dass der oxidationsbeständige Bereich zu einem gewissen Ausmaß verdichtet wird, um die Art der Porosität zu verändern, wird merkliche Verdichtung aus dem Wärmebehandlungsschritt nicht beobachtet.

**[0027]** Die Probe wird dann dem Ofenzyklastest (FCT) in Luft unterzogen. Insbesondere wird die Probe in einen Ofen mit Bodenbeladung gebracht, in ungefähr 10 Minuten auf 1093°C (2000°F) erhitzt, 45 Minuten gehalten und dann mit Zwangsbelüftung auf etwa 93°C (200°F) gekühlt. Nach 200 dieser thermischen Zyklen wird die Probe untersucht. Die Mikrostruktur bei dieser speziellen Stufe des Zyklus ist in [Fig. 2](#) gezeigt. Wie gezeigt ist der Unterschied zwischen dem oxidationsbeständigen Bereich **16** und dem Bindungsbereich **18** klar zu sehen. Die Splatlinien im Bindungsbereich wurden aufgrund der Oxidation aus der Behandlung in dem Zyklustest hervorgehoben. Es wird angenommen, dass eine solche Oxidation zu einer Compliance-Anpassung mit der darüberliegenden thermischen Barriereforschichtung beträgt. Im Gegensatz dazu zeigt der oxidationsbeständige Bereich geringe oder keine nennenswerte weitere Oxidation der Splatlinien und das Substrat wird vor unerwünschter Oxidation geschützt. Wie in [Fig. 2](#) beobachtet hat der Bindungsbereich einen höheren Volumenprozentanteil an eingeschlossenem Oxid als der oxidationsbeständige Bereich.

**[0028]** Die Probe wird zusätzlichen Wärmezyklustests unterzogen, bis Versagen auftritt. Im Vergleich zur Basislinie der APS-Bindungsbeschichtungsprobe hat die verbesserte Bindungsbeschichtungsprobe merklich überragende (3X) Beständigkeit gegenüber Delaminierung sowohl der TBC/Bindungsbeschichtungsgrenzfläche als auch der Bindungsbeschichtung/Substratgrenzfläche.

**[0029]** Zusätzliche Beispiele werden dann mit verschiedenen Löt/MCrAlY-Verhältnissen hergestellt, insbesondere mit Verhältnissen von 0/100, 25/75, 75/25 und 100/0, sowohl von N5 als auch Ni413-Legierungen. Wärmebehandlungen nach Ablagerung werden bei 1177°C (2150°F) und bei 1079°C (1975°F) ausgeführt. Ofenzyklastests ergeben ähnliche Beständigkeiterhöhungen für die N5- und Ni413-Proben mit der 75:25 Löt:NiCrAlY-Bindungsbeschichtchemie.

**[0030]** Gemäß den erfundungsgemäßen Ausführungsformen wird ein verbessertes thermisches Barriereforschichtungssystem zur Verfügung gestellt. Verbesserte Haftung der thermischen Barriereforschichtung auf das darunter liegende Substrat wird aufrecht erhalten durch Einbringen eines verträglichen Bindungsbereiches einer Bindungsbeschichtung. Zusätzlich ist ein oxidationsbeständiger Bereich der Bindungsbeschichtung dabei wirksam, das darunterliegende Substrat vor Oxidation und/oder Korrosionsangriff während des Betriebs zu schützen, was andernfalls in Delaminierung resultiert. Vorteilhafterweise können beide Bereiche unter Verwendung der gleichen Technik, wie zum Beispiel Luftplasmasprühen, abgelagert werden.

**[0031]** Verschiedene Ausführungsformen der Erfindung wurden hier beschrieben. Diese Offenbarung soll jedoch nicht als eine Einschränkung des Umfangs der beanspruchten Erfindung gedacht sein. Demzufolge können dem Fachmann verschiedene Modifikationen, Anpassungen und Alternativen auftreten, ohne vom Umfang der vorliegenden Ansprüche abzuweichen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bildung eines thermischen Barriereforschichtungssystems auf einem Turbinenmaschinenbauteil, aufweisend die Schritte:  
Bilden einer Bindungsbeschichtung auf dem Turbinenmaschinenbauteil durch gemeinsames thermisches Sprühen von ersten und zweiten voneinander verschiedenen Legierungspulvern auf das Turbinenmaschinenbauteil, die einen oxidationsbeständigen Bereich bilden, und thermisches Sprühen eines dritten Legierungspulvers auf den oxidationsbeständigen Bereich, um einen Bindungsbereich zu bilden, wobei das erste Legierungspulver eine erste MCrAlY-Legierung aufweist, wobei M ausgewählt wird aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt und Kombinationen davon, das zweite Legierungspulver eine Lötlegierung auf einer Nickelbasis oder einer Kobaltbasis aufweist, wobei Nickel oder Kobalt nach Gewicht das allergrößte Element in der Lötlegierung ist, und das dritte Legierungspulver eine zweite MCrAlY-Legierung aufweist, wobei M ausgewählt wird aus Nickel, Kobalt und Kombinationen davon, wobei der oxidationsbeständige Bereich stärker beständig gegenüber Oxidation ist als der Bindungsbereich und Ablagern einer thermischen Barriereforschichtung, so dass sie die Bindungsbeschichtung überzieht.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei der oxidationsbeständige Bereich eine erste Schicht bildet und der Bindungsbereich eine zweite Schicht bildet.

3. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei folgend auf das gemeinsame thermische Sprühen der oxidationsbeständige Be-

reich eine erste Phase hat, die zu dem ersten Pulver korrespondiert, und eine zweite Phase, die zu dem zweiten Pulver korrespondiert, wobei die zweite Phase einen niedrigeren Schmelzpunkt hat als die erste Phase.

4. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei anschließend auf den Schritt der Bildung der Bindungsbeschichtung die Bindungsbeschichtung bei einer erhöhten Temperatur wärmebehandelt wird, um Porosität in der Bindungsbeschichtung zu reduzieren.

5. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei folgend auf die Wärmebehandlung bei dieser erhöhten Temperatur die zweite Phase eine Matrixphase bildet, in welcher die erste Phase dispergiert ist.

6. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei folgend auf die Wärmebehandlung bei dieser erhöhten Temperatur der oxidationsbeständige Bereich durch Flüssigphasensintern verdichtet wird und die zweite Phase schmilzt, um das Verdichten der ersten Phase zu beschleunigen und eine interkristalline Phase zu bilden.

7. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei folgend auf die Wärmebehandlung bei dieser erhöhten Temperatur der oxidationsbeständige Bereich durch Festphasensintern verdichtet wird, wobei die zweite Phase das Verdichten der ersten Phase begünstigt.

8. Verfahren gemäß Anspruch 4, wobei folgend auf die Wärmebehandlung bei dieser erhöhten Temperatur der oxidationsbeständige Bereich getempert wird, um eine gleichförmige Zusammensetzung zu bilden.

9. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei das Turbinenmaschinenbauteil eine Superlegierung aufweist.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, wobei die Superlegierung eine Superlegierung auf einer Nickelbasis oder einer Kobaltbasis ist, wobei Nickel oder Kobalt nach Gewicht die allergrößten Elemente der Superlegierung sind.

11. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei die Schritte des gemeinsamen thermischen Sprühens und des thermischen Sprühens durch Luftplasmasprühen ausgeführt werden.

12. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei die thermische Barriereforschichtung Zirkondioxid aufweist.

13. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei die thermische Barriereforschichtung durch thermisches Sprühen abgelagert

wird.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei das thermische Sprühen Luftplasmasprühen ist.

15. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei die thermische Barriereforschichtung in direktem Kontakt mit dem Bindungsbereich der Bindungsbeschichtung ist.

16. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei das dritte Legierungspulver die gleiche Legierung aufweist wie das erste Legierungspulver.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, wobei die ersten und dritten Legierungspulver eine homogene Zusammensetzung haben.

18. Verfahren gemäß irgendeinem vorhergehenden Anspruch, wobei der Bindungsbereich eine Vielzahl von Splatlinien hat, entlang welchen ein eingeschlossenes Oxid bei Behandlung mit erhöhter Temperatur in einer Umgebung, die Sauerstoff enthält, gebildet wird.

19. Verfahren gemäß Anspruch 18, wobei der Bindungsbereich einen höheren Volumenprozentanteil von eingeschlossenem Oxid als der oxidationsbeständige Bereich hat.

20. Verfahren zur Bildung eines thermischen Barriereforschichtungssystems auf einem Turbinenmaschinenbauteil, aufweisend die Schritte:  
Bildung einer Bindungsbeschichtung auf dem Turbinenmaschinenbauteil durch gemeinsames thermisches Sprühen von ersten und zweiten voneinander verschiedenen Legierungspulvern auf das Turbinenmaschinenbauteil, wobei ein oxidationsbeständiger Bereich gebildet wird, und thermisches Sprühen eines dritten Legierungspulvers auf den oxidationsbeständigen Bereich, um einen Bindungsbereich zu bilden, wobei der oxidationsbeständige Bereich stärker beständig gegenüber Oxidation ist als der Bindungsbereich, die ersten und dritten Legierungspulver NiCrAlY-Legierung aufweisen und das zweite Legierungspulver eine Lötlegierung aufweist, einschließlich Nickel, Silizium und Chrom, und Ablagern einer thermischen Barriereforschichtung, so dass sie die Bindungsbeschichtung überzieht.

21. Turbinenmaschinenbauteil, aufweisend:  
Ein Substrat,  
eine Bindungsbeschichtung, welche das Substrat überzieht, wobei die Bindungsbeschichtung einen oxidationsbeständigen Bereich hat, aufweisend gemeinsam thermisch gesprühte erste und zweite Legierungspulver, und einen Bindungsbereich, welcher den oxidationsbeständigen Bereich überzieht, aufweisend ein thermisch gesprühtes drittes Legie-

rungspulver, wobei das erste Legierungspulver eine erste MCrAlY-Legierung aufweist, wobei M ausgewählt wird aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt und Kombinationen davon, das zweite Legierungspulver eine Lötlegierung auf einer Nickelbasis oder einer Kobaltbasis aufweist, wobei Nickel oder Kobalt nach Gewicht das allergrößte Element in der Lötlegierung ist, und das dritte Legierungspulver eine zweite MCrAlY-Legierung aufweist, wobei M ausgewählt wird aus Nickel, Kobalt und Kombinationen davon, und wobei der oxidationsbeständige Bereich stärker beständig gegenüber Oxidation ist als der Bindungsbereich und eine thermische Barriereforschichtung, welche die Bindungsbeschichtung überzieht.

22. Turbinenmaschinenbauteil, aufweisend:

Ein Substrat,  
eine Bindungsbeschichtung, welche das Substrat überzieht, wobei die Bindungsbeschichtung einen oxidationsbeständigen Bereich hat, aufweisend gemeinsam thermisch gesprühte erste und zweite Legierungspulver, und einen Bindungsbereich, welcher den oxidationsbeständigen Bereich überzieht, und der ein thermisch gesprühtes drittes Legierungspulver aufweist, wobei der oxidationsbeständige Bereich stärker gegenüber Oxidation beständig ist als der Bindungsbereich, wobei die ersten und dritten Legierungspulver NiCrAlY-Legierung aufweisen und das zweite Legierungspulver eine Lötlegierung aufweist, einschließlich Nickel, Silizium und Chrom, sowie eine thermische Barriereforschichtung, welche die Bindungsbeschichtung überzieht.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

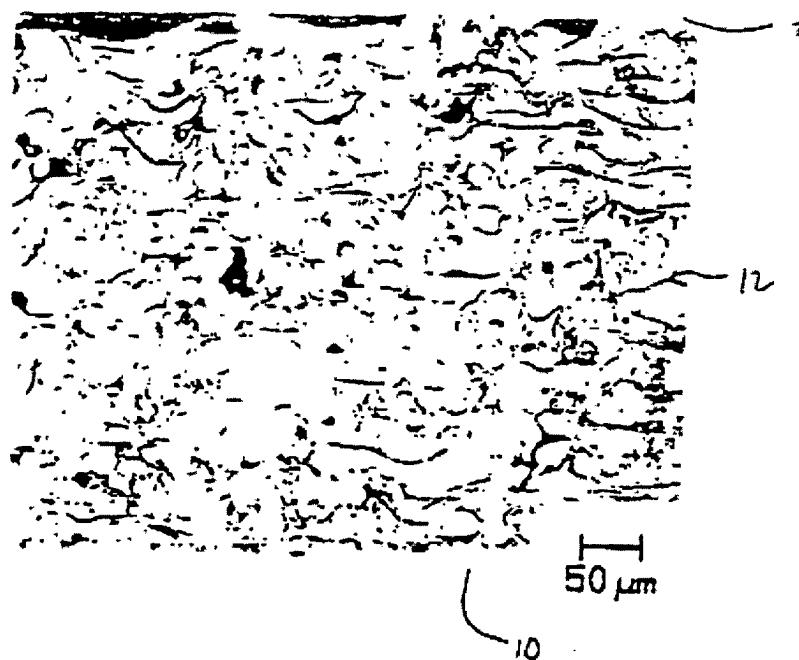


FIG. 1

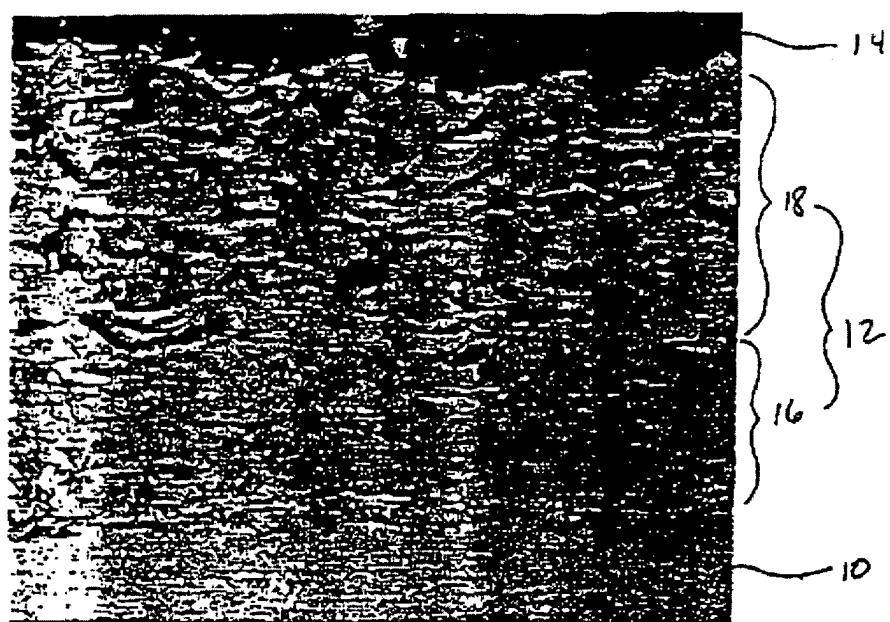


FIG. 2