

(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  
20. Mai 2010 (20.05.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/054633 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
C23C 18/08 (2006.01) C23C 18/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/001580

(22) Internationales Anmeldedatum:  
7. November 2009 (07.11.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2008 056 741.8  
11. November 2008 (11.11.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): MTU AERO ENGINES GMBH [DE/DE];  
Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BAYER, Erwin [DE/  
DE]; Ostenstrasse 36, 85221 Dachau (DE). SMARSLY,  
Wilfried [DE/DE]; Rablstr. 16, 81669 München (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: MTU AERO ENGINES  
GMBH; Intellectual Property Management, Postfach 50  
06 40, 80976 München (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, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (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, SE, SI,  
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,  
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

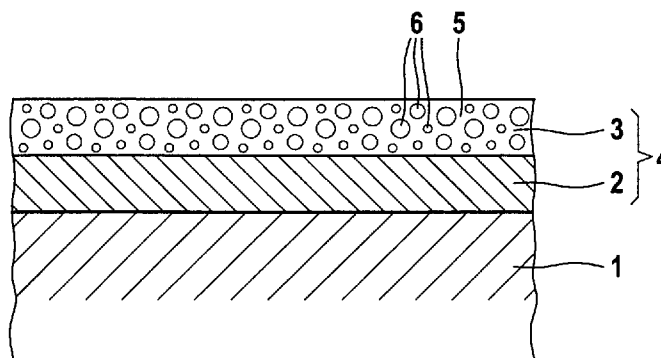
Veröffentlicht:

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

(54) Title: WEAR-RESISTANT LAYER FOR TIAL

(54) Bezeichnung : VERSCHLEISSCHUTZSCHICHT FÜR TIAL

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a wear-resistant part for high-temperature applications made of a TiAl material, in particular a turbine blade comprising an at least double-layered protective coating (4). A first diffusion barrier layer (2) made of a precious metal and a second hard material layer (3) containing hard material particles that are embedded in a precious metal matrix are applied to the TiAl material (1) as a protective coating. The invention also relates to a corresponding production method.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein verschleißgeschütztes Bauteil für Hochtemperaturanwendungen aus einem TiAl-Werkstoff, insbesondere eine Turbinenschaufel mit einer mindestens zweilagigen Schutzschicht (4), wobei eine erste Diffusionsspererschicht (2) aus einem Edelmetall und eine zweite Hartstoffschicht (3) mit Hartstoffpartikeln, die in einer Edelmetallmatrix eingelagert sind, auf dem TiAl-Werkstoff (1) als Schutzschicht aufgebracht sind sowie ein entsprechendes Herstellungsverfahren.



WO 2010/054633 A2

## VERSCHLEISSSCHUTZSCHICHT FÜR TIAL

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

#### 5 GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft ein verschleißgeschütztes Bauteil aus einem TiAl-Werkstoff für Hochtemperaturanwendungen mit einer zweilagigen Schutzschicht sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung und die entsprechende Anwendung bei einer Turbinenschaufel.  
10 fel.

#### STAND DER TECHNIK

TiAl-Werkstoffe, also Werkstoffe auf der Basis von  $\gamma$ -Titanaluminid,  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al sowie entsprechenden Legierungen sind aufgrund ihres geringen Gewichts für den Einsatz im Gas- bzw. Flugturbinenbau interessant.  
15

Allerdings benötigen diese Werkstoffe, die insbesondere für Turbinenschaufeln Verwendung finden, einen Schutz gegen Verschleiß und/oder korrosionsbedingte Degradation. So besteht beispielsweise bei der Anordnung der TiAl-Turbinenschaufeln auf Rotoren aus Nickelwerkstoffen die Gefahr einer Schädigung durch Fretting, also die Kombination aus Reibverschleiß und Korrosion.  
20

Im Schaufelblattbereich kann durch Umgebungseinflüsse, beispielsweise beim Einsatz von Flugturbinen in sandigen oder staubigen Gegenden, Erosion als Schädigungsmechanismus auftreten.  
25

Ferner sind derartige Turbinenschaufeln häufig so ausgebildet, dass sie mit ihren freien Enden gegenüber Dichtflächen, so genannten Dicht-Fins abdichten, wobei zur Erzeugung einer guten Dichtwirkung sich die Enden der Turbinenschaufeln einschleifen, so dass an den Enden der Turbinenschaufeln abrasiver Verschleiß auftreten kann. So sind beispielsweise in der DE 37 88 116 T2, EP 0 166 676 A2 und der CA 2 411 156 A1 Schleifmaterialien für Turbinenschaufelenden beschrieben.  
30

Gleichzeitig gibt es Temperatur- oder Korrosionsschutzschichten, wie in der US 5,413,871 oder der JP 2003269105 A beschrieben.

Die US 5,116,430 und die US 5,154,816 beschreiben Verschleißschutzschichten für Titanwerkstoffe bei welchen insbesondere Nickelschichten unter einer Verschleißschutzschicht mit harten, insbesondere keramischen Partikeln vorgesehen sind. Allerdings besteht bei diesen Schichtsystemen die Problematik, dass bei Hochtemperaturanwendungen, wie bei der Anwendung von Titanaluminiden in Turbinen, durch die Diffusion von Komponenten des Schichtmaterials in den Grundwerkstoff der Grundwerkstoff in unzulässiger Weise verändert oder beeinträchtigt werden kann.

## OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

### AUFGABE DER ERFINDUNG

15

Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Schutzschicht für TiAl-Werkstoffe bzw. entsprechende Bauteile, insbesondere Turbinenschaufeln und ein Verfahren zu deren Herstellung bereitzustellen, welches die Probleme aus dem Stand der Technik vermeidet.

20

Insbesondere soll ein TiAl-Bauteil bzw. ein entsprechendes Schutzsystem für einen TiAl-Werkstoff und ein Verfahren zu dessen Herstellung bereitgestellt werden, welche bei Hochtemperaturanwendungen einen sicheren Schutz vor Verschleiß unterschiedlichster Arten bietet, wie z.B. Erosion, Reibverschleiß, oder Verschleiß im Zusammenhang mit Korrosionerscheinungen verhindert, wobei die Schutzschicht im Betrieb sicher und einfach herstellbar sein soll.

25

### TECHNISCHE LÖSUNG

30

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein verschleißgeschütztes Bauteil mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Verfahren zur Herstellung eines entsprechenden Bauteils mit den Merkmalen des Anspruchs 15 sowie insbesondere einer Turbinenschaufel mit den Merkmalen des Anspruchs 20. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass auf einem TiAl-Werkstoff, also einem Werkstoff auf Basis der intermetallischen Phasen  $\gamma$ -TiAl,  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al und Legierungen daraus, ein mindestens zweilagiges bzw. zweischichtiges Schutzschichtsystem bereitgestellt wird, welches eine erste Diffusionssperrschicht aus einem Edelmetall und eine zweite Hartstoffschicht mit Hartstoffpartikeln umfasst, wobei die Hartstoffpartikel in einer Edelmetallmatrix eingelagert sind.

Ein derartiges zweilagiges Schichtsystem bietet die Möglichkeit eine Diffusion von Komponenten der Schutzschicht, also insbesondere der Elemente der Hartstoffpartikel, in das TiAl zu verhindern, wobei gleichzeitig das duktile Edelmetall Risswachstum verhindert bzw. zumindest behindert, so dass die mechanischen Eigenschaften und insbesondere die Schwingfestigkeit des Bauteils nicht beeinträchtigt werden.

Die Hartstoffpartikel, die in der Edelmetallmatrix in der Hartstoffschicht eingelagert sind, stellen die nötige Härte und den Widerstand gegen beispielsweise Erosion oder abrasiven Verschleiß und dergleichen bereit, wobei die Einlagerung der Hartstoffpartikel in eine Edelmetallmatrix bzw. die Umhüllung der einzelnen Partikel durch Edelmetall die Gefahr von Rissbildung und -wachstum und damit negativen Einwirkungen auf die mechanischen Eigenschaften der gesamte Beschichtung bzw. auf den gesamten Werkstoffverbund verringern bzw. vermeiden.

Der hier verwendete Begriff des TiAl-Werkstoffs umfasst ganz allgemein die intermetallischen Phasen des TiAl, also insbesondere  $\gamma$ -Titanaluminid bzw.  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al sowie auch entsprechende Legierungen, beispielsweise mit Niob oder dergleichen. Außerdem können die entsprechenden Werkstoffe Begleitelemente, wie Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und dergleichen umfassen.

Die Edelmetalle für die Diffusionssperrschicht bzw. die Edelmetallmatrix umfassen die Platinmetalle, Gold, Silber, Quecksilber und Rhenium, also insbesondere Ruthenium, Rhodium, Palladium, Silber, Rhenium, Osmium, Iridium, Platin, Gold und Quecksilber wobei insbesondere die Verwendung von Palladium, Silber, Osmium, Platin und Gold in Frage kommen.

Die Hartstoffpartikel der Hartstoffschicht können insbesondere nanoskalig ausgebildet sein, um durch ihre Größe bereits die Bildung von Rissen oder Risswachstum zu vermeiden. Insbe-

sondere können die Hartstoffpartikel der Hartstoffschicht eine mittlere oder maximale Korngröße von 500 nm oder weniger, insbesondere 250 nm oder weniger, vorzugsweise 100 nm oder weniger aufweisen.

- 5 Die Hartstoffpartikel können aus einem keramischen Werkstoff oder einem sonstigen harten Werkstoff sein, wie insbesondere Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Diamant, diamantähnlichem Kohlenstoff, Bornitrid, kubischem Bornitrid (CBN), Titannitrid, Titan-Aluminium-Nitrid, Siliziumoxid, insbesondere Siliziumdioxid und Siliziumcarbid und dergleichen.
- 10 Die Schutzschicht kann insbesondere auf den oben geschilderten, grundsätzlich zweischichtigen bzw. zweilagigen Aufbau beschränkt sein, wobei die Diffusionssperrschicht als auch die Hartstoffschicht an sich in mehreren Lagen oder unterschiedlichen Teilschichten ausgebildet sein können.
- 15 Insbesondere kann die Diffusionssperrschicht unmittelbar auf dem TiAl-Werkstoff angeordnet sein und/oder die Hartstoffschicht als Oberflächenschicht ausgebildet sein.

- Die Diffusionssperrschicht kann eine Dicke von 0,5  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$ , insbesondere 1  $\mu\text{m}$  bis 3  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise ca. 1  $\mu\text{m}$  bis 2  $\mu\text{m}$  aufweisen, während die Hartstoffschicht eine Dicke
- 20 von 0,1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise 0,1  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$ , höchst vorzugsweise 0,2 bis 0,8  $\mu\text{m}$ , insbesondere ca. 0,5  $\mu\text{m}$  aufweisen kann.

- Die Schutzschicht kann insbesondere durch eine Anpassung der Hartstoffschicht an unterschiedliche Einsatzbedingungen angepasst werden. So kann beispielsweise die chemische
- 25 Zusammensetzung der verwendeten Hartstoffpartikel, die Größe der Hartstoffpartikel und/oder deren Anteile in der Hartstoffschicht variiert werden. Für ein Bauteil kann diese Variation entlang der Dicke der Hartstoffschicht gegeben sein, so dass die Schutzschicht und insbesondere die Hartstoffschicht in Form einer Gradientenschicht ausgebildet sein können. Darüber hinaus ist es auch denkbar, dass diskrete Bereiche mit unterschiedlichen Ausbildungen
- 30 der Hartstoffschicht auf einem Bauteil angeordnet werden. Darüber hinaus können diese Bereiche auch kontinuierlich ineinander übergehen.

Die entsprechenden Schichten können in jeder geeigneten Art und Weise auf dem TiAl-Werkstoff abgeschieden werden. Insbesondere kann jedoch eine organische Edelmetallver-

bindung eingesetzt werden, die mit oder ohne Lösemittel auf dem TiAl-Werkstoff aufgebracht werden kann. Beispiele für organo-metallische Verbindungen, die Edelmetalle enthalten, sind z.B. in der EP 0 456 908 A genannt.

- 5 Die in der aufgetragenen Schicht vorhandenen Lösemittel können durch Temperatureinwirkung verdunstet werden. Gleichzeitig kann bei der Temperaturbehandlung die organische Edelmetallverbindung gespritzt werden, so dass entsprechend flüchtige Komponenten entstehen und nur das Edelmetall auf der behandelten Oberfläche zurückbleibt. Damit kann in sehr einfacher Weise eine dünne Diffusionssperrschicht aus einem Edelmetall gebildet werden.

10

In gleicher Weise lässt sich dadurch eine Hartstoffschicht ausbilden. In diesem Fall müssen lediglich zur organischen Edelmetallverbindung bzw. zu dem Gemisch aus organischer Edelmetallverbindung und Lösemittel die Hartstoffpartikel dispergiert werden, so dass die Hartstoffpartikel nach der Temperaturbehandlung in der abgeschiedenen Edelmetallschicht

15 verbleiben.

Bei der hier verwendeten Bezeichnung Lösemittel kann es sich um jedes Lösemittel handeln, mit welchem die organische Edelmetallverbindung eine Lösung eingehen kann, beispielsweise auch um Wasser.

20

Der Lösemittelanteil kann entsprechend auch variieren, um die Eigenschaften der abgeschiedenen Edelmetallschicht bzw. der Edelmetallschicht mit dispergierten Hartstoffteilchen zu beeinflussen.

- 25 Für die Aufbringung der organischen Edelmetallverbindung mit oder ohne Lösemittel bzw. mit oder ohne Hartstoffpartikel können sämtliche geeigneten Aufbringungstechniken verwendet werden, insbesondere Techniken aus dem Bereich der Lackiertechnik, wie Bestreichen, Sprühen und dergleichen.

- 30 Die Diffusionssperrschicht und die Hartstoffschicht können separat nacheinander aufgebracht werden oder Teile der Behandlung, wie beispielsweise die Temperaturbehandlung zusammen durchlaufen. In diesem Fall können die entsprechenden organischen Edelmetallverbindungen mit oder ohne Lösemittel sowie einmal ohne und einmal mit den entsprechenden Hartstoffpartikeln nacheinander in flüssiger Form auf dem Werkstoff aufgebracht werden und anschlie-

ßend gemeinsam durch Temperaturbehandlung in entsprechende Metallschichten überführt werden. Sollte jedoch die aufzubringende Flüssigkeit so dünnflüssig sein, dass die dispergierten Hartstoffpartikel nicht zuverlässig in dem entsprechenden Flüssigkeitsfilm gehalten werden können, empfiehlt sich eine vollständig getrennte und zeitlich aufeinander folgende Auf-  
5 bringung.

Eine entsprechende Turbinenschaufel kann durchgehend eine erfindungsgemäße Schutzschicht aufweisen, wobei jedoch für die verschiedenen Einsatzgebiete die Schutzschicht angepasst werden kann. So können beispielsweise im Bereich der Schaufelenden mit der Abra-  
10 sivschiicht der Anteil als auch die Größe der Hartstoffpartikel in der Hartstoffschiicht erhöht werden. Entsprechend kann auch eine derartige Schicht mit einem geringeren Lösemittelanteil aufgetragen werden. Im Vergleich dazu können die übrigen Bereiche mit kleineren und weniger Hartstoffpartikeln versehen werden bzw. mit größerem Lösemittelanteil abgeschieden werden.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

Weitere Vorteile, Kennzeichen und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der beigefügten

20 Zeichnungen deutlich. Die Zeichnungen zeigen hierbei in rein schematischer Weise in

Figur 1 eine Schnittansicht durch den Schichtaufbau eines erfindungsgemäßen Bauteils;

Figur 2 eine Darstellung der Bearbeitungsfolge zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Schutzschicht; und in

25 Figur 3 eine perspektivische Darstellung einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel.

#### AUSFÜHRUNGSBEISPIEL(E)

Figur 1 zeigt in einer teilweisen Schnittansicht den Oberflächenbereich eines TiAl-Bauteils 1, wobei der Grundwerkstoff beispielsweise aus  $\gamma$ -TiAl oder einer entsprechenden Legierung auf  
30 Basis von  $\gamma$ -TiAl mit Zusätzen von Niob oder Begleitelementen wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Silizium, Wasserstoff und dergleichen gebildet sein kann.

Derartige Bauteile aus Titanaluminiden werden aufgrund ihres leichten Gewichtes beispielsweise in Flugzeugturbinen im Bereich niedriger Betriebstemperaturen eingesetzt. Zum Schutz von Erosion, Verschleiß und/oder Korrosion ist eine zweilagige Schutzschicht 4 auf der Oberfläche des TiAl-Werkstoffs 1 angeordnet, die aus den Teilschichten 2 und 3 besteht.

5

Die Teilschicht 2 ist eine Diffusionssperrschicht, die aus einem Edelmetall gebildet ist. Die Edelmetalle umfassen hierbei Ruthenium, Rhodium, Palladium, Silber, Rhenium, Osmium, Iridium, Platin, Silber und Quecksilber, wobei insbesondere Palladium, Silber, Platin, Osmium und Gold in Frage kommen.

10

Auf der Diffusionssperrschicht 2 aus einem Edelmetall ist eine Hartstoffschicht 3 vorgesehen, welche eine Vielzahl von Hartstoffpartikeln 6 in einer Edelmetallmatrix 5 umfasst. Die Edelmetallmatrix 5 kann hierbei aus dem gleichen Edelmetall gebildet sein, wie die Diffusionssperrschicht 2 oder aus einem unterschiedlichen Edelmetall.

15

Die Hartstoffpartikel können als Nanopartikel ausgebildet sein, also eine durchschnittliche oder maximale Größe von 500 nm, insbesondere 250 nm, vorzugsweise 100 nm aufweisen. Durch die geringe Größe der Hartstoffpartikel wird Rissbildung und/oder Risswachstum unterdrückt oder erschwert, was die mechanischen Eigenschaften der Schutzschicht 4 bzw. des gesamten Werkstoffverbundes verbessert. Darüber hinaus trägt die duktile Matrix aus einem Edelmetall dazu bei, dass keine Rissausbildung stattfinden kann.

20

Die Diffusionssperrschicht 2 verhindert das Eindiffundieren von Bestandteilen der Schutzschicht 4 bzw. insbesondere der Hartstoffschicht 3 und hier wiederum von Elementen der Hartstoffpartikel 6 in den TiAl-Grundwerkstoff, so dass eine unerwünschte Veränderung des TiAl-Grundwerkstoffs vermieden werden kann.

25

Die Hartstoffpartikel können aus keramischen Werkstoffen gebildet sein und insbesondere eine oder mehrere Komponenten ausgewählt aus Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Diamant, diamantähnlichem Kohlenstoff, Bornitrid, kubischem Bornitrid, Titanitrid, Titan-Aluminium-Nitrid oder Siliziumdioxid umfassen.

30

Die Verteilung der Hartstoffpartikel 6 in der Edelmetallmatrix 5 insbesondere hinsichtlich der Größe der Hartstoffpartikel und/oder des Anteils der Hartstoffpartikel 6 in der Metallmatrix 5

sowie der chemischen Zusammensetzung der Hartstoffpartikel 6 kann in den verschiedenen Dimensionen der Hartstoffschicht variieren, also sowohl in Dickenrichtung senkrecht zur Oberfläche des TiAl-Werkstoffs 1 als auch in den unabhängigen Raumrichtungen parallel zur Oberfläche des Bauteils. Hierzu kann beispielsweise die Hartstoffschicht mehrlagig und/oder  
5 getrennt nach verschiedenen Bereichen aufgebracht werden.

Die Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Produktionsprozesses, mit dem eine entsprechende Schutzschicht 4 auf einem TiAl-Werkstoff 1 erzeugt werden kann. Die Figur 2 zeigt, dass in einem Behälter eine Mischung aus einer organischen Edelmetallverbindung und  
10 einem Lösemittel 11 enthalten ist, welche über Pinsel oder Bürsten 13 oder dergleichen auf ein TiAl-Substrat aufgetragen wird, um einen flüssigen Film 12 auf der Oberfläche des TiAl-Substrats zu bilden.

Der entsprechend vorbereitete Werkstoff wird in einen Ofen 14 eingeführt, in dem eine Heizeinrichtung 15 vorgesehen ist, so dass der flüssige Film 12 zusammen mit dem Substrat 10 erhitzt werden kann. Dadurch kommt es zu einem Verdampfen des Lösungsmittels sowie zu einer Zersetzung der organischen Edelmetallverbindung und ebenfalls Verdampfen der flüchtigen Komponenten, was schematisch durch den Dampf 16 dargestellt ist. Zurück auf dem TiAl-Substrat 10 verbleibt die Edelmetallkomponente der organischen Edelmetallverbindung,  
20 so dass sich eine Edelmetallschicht 20 ausbildet, wobei die Dicke sehr gering ist und sich im Mikrometerbereich befindet.

Danach wird das vorbehandelte, mit einer Diffusionssperrschicht versehene TiAl-Substrat mit einer Mischung aus einer organischen Edelmetallverbindung, einem Lösemittel und darin  
25 dispergierten Hartstoffpartikeln ebenfalls über Pinsel oder Bürsten lackiert, so dass ein flüssiger Film 18 auf der vorher abgeschiedenen Edelmetallschicht 20 ausgebildet wird. Das so behandelte TiAl-Substrat 10 wird wieder in den entsprechenden Ofen 14 eingeführt und mittels der Heizeinrichtung 15 erhitzt, so dass das Lösemittel der Mischung 17 aus organischer Edelmetallverbindung, Lösemittel und darin dispergierten Hartstoffteilchen verdampft. Durch  
30 die Temperaturbehandlung wird die organische Edelmetallverbindung wiederum zersetzt, wobei die flüchtigen Komponenten ebenfalls verdampfen und sich in der Gasphase 16 befinden, die durch geeignete Absaugvorrichtungen (nicht gezeigt) entfernt und sachgerecht entsorgt werden kann.

Zurück bleibt eine Edelmetallmatrix mit darin eingelagerten Hartstoffpartikeln, die die Hartstoffschicht 30 bilden, so dass sich insgesamt der Schutzschichtaufbau aus einer äußeren Deckschicht 30 aus Hartstoffpartikeln in einer Edelmetallmatrix und einer darunter angeordneten Edelmetallmatrix auf dem TiAl-Werkstoff ergibt.

5

Das gezeigte Aufbringungsverfahren stellt lediglich eine Möglichkeit dar, wobei selbst hier Abwandlungen und Ergänzungen möglich sind. So können beispielsweise statt eines Bürsten- oder Pinselauftrags die Mischung 11 bzw. die Mischung 17 mit anderen Lackiertechnologien, zum Beispiel Sprühverfahren oder dergleichen, aufgebracht werden. Auch die Temperaturbe-

10

handlung kann in anderer geeigneter Weise erfolgen.

Zudem ist es vorstellbar, dass die beiden unterschiedlichen Teilschichten, nämlich die Diffusionssperrschicht 20 und die Hartstoffschicht 30 so aufgebracht werden, dass zunächst die Flüssigfilme 12 und 18 übereinander angeordnet werden und erst danach die Temperaturbe-

15

handlung stattfindet.

Die Figur 3 zeigt in einer perspektivischen Darstellung eine Turbinenschaufel 40, bei der die vorliegende Erfindung angewandt werden kann. Die Turbinenschaufel 40 umfasst einen Fußbereich 41, der in einen entsprechenden Rotor einer Gasturbine eingesetzt werden kann. In diesem Fußbereich kommt es unter Umständen zu Verschleißerscheinungen, da der Turbinenschaufelfuß 41 gegen den Rotor, der oftmals aus Nickel oder einer Nickelbasislegierung hergestellt ist, reibt. Im Zusammenhang mit den vorliegenden Korrosionsbedingungen kann es hier zu Frettingerscheinungen kommen.

20

Das Schaufelblatt 42 kann beispielsweise bei Verwendung in Flugturbinen in sandigen oder staubigen Gegenden Erosion ausgesetzt sein.

25

Der Endbereich 43 der Turbinenschaufel wird häufig zur Erzielung einer guten Abdichtung gegenüber dem Gehäuse abrasiven Verschleiß ausgesetzt.

30

Allen diesen unterschiedlichen Bedingungen, die unter dem Oberbegriff Verschleiß verstanden werden sollen, kann mit der oben geschilderten Schutzschicht aus Diffusionssperrschicht 2 und Hartstoffschicht 3 begegnet werden. Allerdings kann die Schutzschicht 4 entsprechend den Einsatzgebieten, also der Anwendung im Fußbereich 41, im Schaufelblattbereich 42 oder

dem Endbereich 43 entsprechend modifiziert sein, was beispielsweise die chemische Zusammensetzung der Hartstoffpartikel, die Größe und Verteilung sowie den Anteil der Hartstoffpartikel in der Hartstoffschicht als auch das Verfahren zum Auftragen anbelangt. So kann beispielsweise der Endbereich 43 der Turbinenschaufel, welcher hohem abrasiven Verschleiß  
5 ausgesetzt ist, eine höhere Konzentration an Hartstoffpartikeln aufweisen, wobei diese zusätzlich mit ihrer mittleren Teilchengröße oder maximalen Teilchengröße auch größer ausgebildet sein können als im übrigen Bereich der Turbinenschaufel 40. Zudem kann beim Auftragen der Schichten über eine organische Edelmetallverbindung mit Lösemitteln die Lösemittelkonzentration verringert werden. Ähnliche Anpassungen lassen sich auch in anderen Bereichen der  
10 Turbinenschaufel 40 vornehmen.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand der beigefügten Ausführungsbeispiele detailliert beschrieben worden ist, ist für den Fachmann selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt ist, so dass Abwandlungen oder Änderungen im Rahmen des Fachwissens des allgemeinen Fachmanns möglich sind, insbesondere andersartige  
15 Kombinationen der vorgestellten Merkmale als auch Weglassen einzelner Merkmale, ohne den Schutzbereich der beigefügten Ansprüche zu verlassen. Die vorliegende Erfindung umfasst insbesondere sämtliche Kombinationen aller vorgestellten Merkmale.

20

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verschleißgeschütztes Bauteil für Hochtemperaturanwendungen aus einem TiAl-  
5      Werkstoff mit einer mindestens zweilagigen Schutzschicht (4),  
    **dadurch gekennzeichnet, dass**  
    eine erste Diffusionssperrschicht (2) aus einem Edelmetall und eine zweite Hartstoff-  
    schicht (3) mit Hartstoffpartikeln, die in einer Edelmetallmatrix eingelagert sind, auf dem  
    TiAl-Werkstoff (1) als Schutzschicht aufgebracht sind.
- 10    2. Bauteil nach Anspruch 1,  
    **dadurch gekennzeichnet, dass**  
    der TiAl-Werkstoff  $\gamma$ -TiAl,  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al oder eine Legierung auf Basis dieser intermetalli-  
    schen Phasen ist.
- 15    3. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
    **dadurch gekennzeichnet, dass**  
    die Diffusionssperrschicht (2) aus Platin, Palladium, Osmium, Silber, Gold oder Legie-  
    rungen davon ist.
- 20    4. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
    **dadurch gekennzeichnet, dass**  
    die Edelmetallmatrix der Hartstoffschicht (3) durch Platin, Osmium, Silber, Gold oder  
    Legierungen davon gebildet ist.
- 25    5. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
    **dadurch gekennzeichnet, dass**  
    die Hartstoffpartikel (6) der Hartstoffschicht nanoskalige Partikel sind.
- 30    6. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
    **dadurch gekennzeichnet, dass**  
    die Hartstoffpartikel (6) der Hartstoffschicht eine mittlere oder maximale Korngröße von  
    500 nm oder weniger aufweisen.
7. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
    **dadurch gekennzeichnet, dass**  
    die Hartstoffpartikel (6) der Hartstoffschicht eine mittlere oder maximale Korngröße von  
    250 nm oder weniger aufweisen.

8. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Hartstoffpartikel der Hartstoffschicht eine mittlere oder maximale Korngröße von 100 nm oder weniger aufweisen.
- 5 9. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Hartstoffpartikel der Hartstoffschicht aus einem keramischen Werkstoff sind.
10. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
10 die Hartstoffpartikel der Hartstoffschicht mindestens eine Komponente der Gruppe umfassen, die Aluminiumoxid, Zirkonoxid, Diamant, diamantähnlichen Kohlenstoff, Bornitrid, kubisches Bornitrid (CBN), Titannitrid, Titan-Aluminium-Nitrid, Siliziumoxid und Siliziumcarbid enthält.
11. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
15 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
auf dem TiAl-Werkstoff ausschließlich die zweilagige Schutzschicht (4) angeordnet ist.
12. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Diffusionssperrschicht (2) unmittelbar auf dem TiAl-Werkstoff angeordnet ist  
20 und/oder die Hartstoffschicht (3) als Oberflächenschicht ausgebildet ist.
13. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Diffusionssperrschicht (2) eine Dicke von 0,5 µm bis 10 µm und/oder die Hartstoffschicht eine Dicke von 0,1 µm bis 100 µm aufweist.
- 25 14. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Hartstoffpartikel (6) sich über der Flächenausdehnung und/oder der Dicke der Hartstoffschicht (3) in ihrer Größe, chemischen Zusammensetzung und/oder ihrem Anteil in der Hartstoffschicht unterscheiden.
- 30 15. Verfahren zur Herstellung einer mindestens zweilagigen Verschleißschutzschicht (4) auf einem TiAl-Werkstoff (1),  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

zur Herstellung einer Diffusionssperrschicht (2) ein Edelmetall abgeschieden wird und dass zur Ausbildung einer Hartstoffschicht (3) in einer Edelmetallmatrix eingelagerte Hartstoffpartikel abgeschieden werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15,

5 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
ein Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 13 hergestellt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 16,

10 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
zur Herstellung der Diffusionssperrschicht eine organische Edelmetallverbindung mit oder ohne Lösemittel auf dem TiAl-Werkstoff aufgebracht wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17,

**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zur Herstellung der Hartstoffschicht eine organische Edelmetallverbindung mit oder ohne Lösemittel mit dispergierten Hartstoffpartikeln aufgebracht wird.

15 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18,

**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zur Herstellung der Diffusionssperrschicht und/oder der Hartstoffschicht eine organische Edelmetallverbindung mit einem Lösemittelanteil von 30 % und mehr aufgebracht wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19,

20 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
die organische Edelmetallverbindung mit oder ohne Lösemittel und mit oder ohne Hartstoffpartikel mittels Lackiertechnik aufgebracht wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 20,

25 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
die organische Edelmetallverbindung mit oder ohne Lösemittel und mit oder ohne Hartstoffpartikel einer Temperaturbehandlung unterzogen wird, so dass vorhandenes Lösemittel verdampft und/oder die organische Edelmetallverbindung zersetzt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 21,

30 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
die organische Edelmetallverbindung mindestens ein Element aus der Gruppe umfasst, die Pt, Pd, Os, Re, Ru, Cu, Ag, Au, Ir und Mo enthält.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

zuerst die Diffusionssperrschicht und anschließend die Hartstoffschicht aufgebracht werden.

5 24. Verfahren nach Anspruch 21,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Temperaturbehandlung für die Diffusionssperrschicht und/oder die Hartstoffschicht nacheinander getrennt oder zusammen erfolgt.

25. Turbinenschaufel aus einem TiAl-Werkstoff mit einer mindestens zweilagigen Schutz-  
10 schicht,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

eine erste Diffusionssperrschicht aus einem Edelmetall und eine zweite Hartstoffschicht mit Hartstoffpartikeln, die in einer Edelmetallmatrix eingelagert sind, von der Schutzschicht auf dem TiAl-Werkstoff umfasst sind.

15 26. Turbinenschaufel nach Anspruch 25,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

sie als Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 13 ausgebildet ist.

27. Turbinenschaufel nach Anspruch 25 oder 26,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

20 im Bereich einer Dichtfläche eine Hartstoffschicht vorgesehen ist, die mit einer organischen Edelmetallverbindung mit gegenüber der übrigen Schutzschicht geringerem Lösemittelgehalt aufgetragen ist und/oder gegenüber der übrigen Schutzschicht mehr und/oder größere Hartstoffpartikel umfasst.

25

