

EUROPÄISCHE EIGNUNGSPRÜFUNG 2021

Aufgabe A

Diese Prüfungsaufgabe enthält:

- | | | |
|---|---------------------------|-----------------|
| * | Schreiben des Anmelders | 2021/A/DE/1-7 |
| * | Zeichnungen der Anmeldung | 2021/A/DE/8-9 |
| * | Dokument D1 | 2021/A/DE/10-12 |
| * | Dokument D2 | 2021/A/DE/13-14 |

Schreiben des Anmelders

Generate Ltd.

Parsons Green

5 Vereinigtes Königreich

Sehr geehrte Frau Laval,

10 [001] Unsere Firma wurde vor Kurzem mit dem Ziel gegründet, Bauteile zu entwickeln und herzustellen, die in Gasturbinenmotoren verwendet werden. Wir wollen unsere neueste Produktpalette morgen auf einer Messe in Südafrika vorstellen und möchten sichergehen, dass die betreffende Technologie durch eine Patentanmeldung geschützt ist. Ein potenzieller Kunde hat uns für den Rest des heutigen Tages zu einer Safari in
15 einer Gegend ohne Handyempfang eingeladen, sodass wir für Fragen nicht erreichbar sind. Ich habe sämtliche Informationen beigelegt, die Sie für die Abfassung der Patentanmeldung benötigen, sowie zwei Dokumente D1 und D2, die von Interesse sein könnten. Beachten Sie bitte, dass es zu unserer Firmenpolitik gehört, keine zusätzlichen Anspruchsgebühren zu zahlen.

20

[002] Eine typische Gasturbine, wie sie in Flugzeugmotoren verwendet wird, besteht aus drei Stufen. Die erste Stufe ist ein Kompressor, in dem Luft zu Hochdruck komprimiert wird. Die zweite Stufe ist die Verbrennungszone, in der die Hochdruckluft und Treibstoff gemischt und verbrannt werden. Die dritte Stufe ist der Abgasbereich und nutzt die
25 Energie des heißen Abgases aus der Verbrennungszone, um Antrieb für das Flugzeug und die erforderliche Energie für den Kompressor zu liefern.

[003] Die Effizienz einer Gasturbine verbessert sich, wenn die Temperatur der Verbrennungszone so hoch wie möglich ist. Die Verbrennungszone muss daher aus Materialien hergestellt werden, die diesen hohen Temperaturen standhalten können. Die in der Verbrennungszone verwendeten Bauteile werden typischerweise aus

5 Superlegierungen hergestellt (einer bekannten Klasse von Kobalt- und Nickellegierungen, die speziell für die Verwendung bei hohen Temperaturen geeignet sind). Moderne Gasturbinen sind jedoch für den Betrieb mit einer Verbrennungszone ausgelegt, die eine Temperatur von mindestens 1 600 °C hat, was über dem Schmelzpunkt von Superlegierungen liegt. Die Superlegierung muss daher gegen

10 solche hohen Temperaturen geschützt werden. Ein Ansatz ist die Verwendung einer wärmedämmenden Schicht aus einem Keramikoxid, welches meistens Zirkoniumoxid ist. Ein anderer, nur für Turbinenschaufeln verwendeter Ansatz besteht darin, Löcher durch das Bauteil hindurch bereitzustellen und es mit der durch die Löcher hindurchströmenden Luft zu kühlen. Mit einer solchen Luftkühlung kann das Bauteil

15 gekühlt werden, sie ist allerdings in der Regel allein nicht ausreichend.

[004] Motorenbauteile aus Superlegierungen mit Zirkoniumoxidbeschichtung sind wirksam, haben aber nur eine begrenzte Lebensdauer. Die Wärmeausdehnungskoeffizienten von Superlegierungen und Zirkoniumoxid weisen

20 deutliche Unterschiede auf. Deshalb dehnt sich beim Erhitzen eines beschichteten Motorenbauteils aus einer Superlegierung die Superlegierung in einem anderen Maße aus als die Beschichtung. Dadurch entstehen Spannungen an der Schnittstelle zwischen der Superlegierung und der Beschichtung, und schließlich fallen Teile der Beschichtung ab. Das Bauteil muss dann ersetzt werden. Eine bekannte Lösung für dieses Problem

25 besteht darin, zwischen dem Keramikoxid und der Superlegierung eine Haftschrift zu verwenden, die Nickel und/oder Kobalt sowie 10 - 50 Gew.-% Aluminium enthält. Ein beschichtetes Motorenbauteil mit einer solchen verbesserten Beschichtung ist im Dokument D1 dargestellt. Die Bauteile des Dokuments D1 weisen eine verbesserte Lebensdauer auf, doch sind weitere Verbesserungen erforderlich.

- [005] Wir haben nun einen neuen Typ eines beschichteten Motorenbauteils entwickelt, bei dem ein Substrat aus einer Superlegierung mit einer Keramikoxidschicht mit einer säulenförmigen Mikrostruktur beschichtet wird. Durch die Lücken zwischen den Säulen kann sich die Beschichtung verformen, wenn sich das Substrat und das Keramikoxid bei Erhitzung ausdehnen, und es entsteht eine wesentlich geringere Spannung. Die Säulen müssen im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche ausgerichtet sein, um diese Wirkung zu erzeugen. Eine Säule gilt als im Wesentlichen senkrecht, wenn der Winkel zwischen der Säule und der Oberfläche des Substrats zwischen 75° und 105° beträgt. Dieser neue Typ eines beschichteten Motorenbauteils kann hergestellt werden, indem die bekannte Haftschrift und die bekannte Keramikoxidschicht aus Zirkoniumoxid verwendet werden. In diesem Fall erhöht sich die Lebensdauer des beschichteten Bauteils deutlich. Es ist auch möglich, die Haftschrift wegzulassen und das Keramikoxid direkt auf dem Bauteil abzuscheiden. Ein solches Bauteil weist eine ähnliche Lebensdauer wie die aus Dokument D1 bekannten Bauteile auf, wiegt aber weniger, was bei der Verwendung des Bauteils in Flugzeugmotoren ein großer Vorteil ist. Überraschenderweise wurde festgestellt, dass eine Keramikoxidschicht mit säulenförmiger Mikrostruktur die Superlegierungen genauso gut gegen hohe Temperaturen schützt wie herkömmliche Keramikoxidschichten.
- [006] Welche Art von Keramikoxid verwendet wird, ist nicht entscheidend; es kann aus der Klasse der in Dokument D1 offenbarten Keramikoxidmaterialien ausgewählt werden. Beispiele für diese Materialien sind Zirkoniumoxid, Aluminiumoxid oder Titanoxid. Die Keramikoxidschicht hat vorzugsweise eine Dicke von mindestens 25 Mikrometern, andernfalls ist die Wärmedämmung nicht ausreichend. Die Dicke geht in der Regel nicht über 2 Millimeter hinaus. Bevorzugt wird eine maximale Dicke von 2 Millimetern, um sicherzustellen, dass das Gewicht des Bauteils nicht zu hoch ist. Die Haftschrift wird aus den in Dokument D1 verwendeten Materialien hergestellt und hat typischerweise eine Dicke von 10 - 200 Mikrometern.

[007] Die Erfindung wird durch die folgenden Abbildungen veranschaulicht:

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch ein beschichtetes Bauteil, das durch Elektronenstrahlverdampfung hergestellt ist.

Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch ein beschichtetes Bauteil, das durch Spritzen und
5 anschließende Laserbehandlung hergestellt ist.

Fig. 3 zeigt eine Turbinenschaufel mit Kühlungsöffnungen.

[008] Einer der Erfinder hat eine Untersuchung der Wärmeeigenschaften eines Motorenbauteils aus dem heißen Teil eines Busmotors durchgeführt, das aus einem mit
10 einem Keramikoxid beschichteten Metall, nämlich Aluminium mit einer 30 Mikrometer dicken Aluminiumoxidbeschichtung bestand. Die verwendete Aluminiumoxidschicht hatte eine säulenförmige Mikrostruktur, wobei die Säulen senkrecht zur Oberfläche des Motorenbauteils angeordnet waren. Der Erfinder hat Eigenschaften identifiziert, die seiner Ansicht nach für Turbinenbauteile nützlich sein könnten. Aluminium allein, selbst
15 wenn es beschichtet ist, hält der Temperatur der Verbrennungszone von Turbinen nicht stand. Hinzukommt, dass Anodisieren, das in dieser Untersuchung verwendete Verfahren zur Herstellung der säulenförmigen Struktur, auf keinem anderen Metall säulenförmige Beschichtungen erzeugt. Deshalb war ein anderes Beschichtungsverfahren erforderlich. Die Erfinder haben die Elektronenstrahlverdampfung, eine aus
20 dem Dokument D2 bekannte Beschichtungstechnik, untersucht. Sie haben die Bedingungen identifiziert, die erforderlich sind, um eine geeignete wärmedämmende Schicht eines Keramikoxids mit säulenförmiger Mikrostruktur auf einem Motorenbauteil abzuscheiden, das aus einer Superlegierung hergestellt ist.

- [009] Die Elektronenstrahlverdampfung ist ein bekanntes Verfahren für das Abscheiden von Keramikoxidschichten auf Bauteile. Bekannt ist auch das Verdampfen von Keramikoxiden mithilfe eines Plasmas. Geeignete Vorrichtungen sind im Handel erhältlich, siehe z. B. Dokument D2. Um verdampftes Material als Beschichtung auf ein
- 5 Superlegierungsbauteil abzuscheiden, muss das Bauteil zuerst an einem Halter befestigt und zusammen mit einer Quelle für das Keramikoxid und, falls erforderlich, einer Quelle für die Haftschrift in einer Vakuumkammer platziert werden. Die Vakuumkammer wird dann ausgepumpt. In einem typischen Verfahren wird das Bauteil in der ausgepumpten Vakuumkammer kontinuierlich gedreht und dann auf die
- 10 Temperatur erhitzt, bei der sich das verdampfte Material abscheidet. Das Material für die Haftschrift, falls eine verwendet wird, wird verdampft und scheidet sich auf dem Bauteil ab, was für die Haftschrift in der Regel bei einer Temperatur von 800 - 900 °C geschieht. Anschließend wird das Keramikoxid auf der Haftschrift oder, falls keine Haftschrift verwendet wird, direkt auf dem Bauteil abgeschieden. Wir haben festgestellt,
- 15 dass man bei einem Verdampfungsverfahren nur dann eine säulenförmige Struktur erhält, wenn zum Verdampfen des Keramikoxids ein Elektronenstrahl verwendet wird und wenn die Temperatur des Bauteils beim Abscheiden des Keramikoxids 920 - 1 050 °C beträgt. Wenn das Keramikoxid Zirkoniumoxid ist, wird eine Temperatur von 950 - 1 000 °C benötigt.
- 20
- [010] Ein Querschnitt durch eine bevorzugte nach diesem Verfahren hergestellte Beschichtung ist in Fig. 1 dargestellt. Das Bauteil 10 umfasst ein Substrat 11 aus einer Superlegierung, eine Haftschrift 12 und eine Keramikoxidschicht 13. Die Struktur der Keramikoxidschicht ist säulenförmig und weist Säulen 14a, 14b, 14c mit Lücken 15a,
- 25 15b zwischen den Säulen auf.

[011] Wir haben noch ein weiteres Verfahren entdeckt, das für die Herstellung der erfindungsgemäßen beschichteten Bauteile verwendet werden kann. Bei diesem Verfahren wird eine herkömmliche Beschichtung hergestellt, z. B. anhand des in Dokument D1 beschriebenen Verfahrens, und die Beschichtung wird dann maschinell, vorzugsweise mit einem Laser bearbeitet, um die Säulen in der Keramikoxidschicht auszubilden. Vorzugweise werden sowohl die Keramikoxidschicht als auch, sofern vorhanden, die Haftschicht mittels Plasmaspritzens abgeschieden, und zur Ausbildung der säulenförmigen Struktur mit einem Laser bearbeitet. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass eine herkömmliche Beschichtungsvorrichtung verwendet werden kann.

10

[012] Ein Querschnitt durch eine nach diesem Verfahren hergestellte Beschichtung ist in Fig. 2 dargestellt. In dieser Abbildung umfasst das beschichtete Bauteil 20 ein Superlegierungssubstrat 21, eine Haftschicht 22 und eine Keramikoxidschicht 23. Ebenfalls dargestellt sind Säulen 24a, 24b mit einer Lücke 25 zwischen den Säulen. Bei dieser Ausführungsform bestehen die einzelnen Säulen der Beschichtung aus einem Stapel flacher Körner 26a, 26b, 26c aus Keramikoxid, weil die Beschichtung mittels Plasmaspritzens hergestellt wurde. Die Lebensdauer der nach diesem Verfahren hergestellten Beschichtung ist höher als bei bekannten Beschichtungen, aber nicht so hoch wie bei Beschichtungen, die durch Elektronenstrahlverdampfung hergestellt wurden.

20

[013] Das erfindungsgemäße beschichtete Motorenbauteil kann ein Turbinenbauteil sein, wie etwa eine Turbinenschaufel oder die Auskleidung einer Brennkammer. Erfindungsgemäße beschichtete Motorenbauteile können auch Teile von Pumpen in Raketenmotoren oder andere Motorenbauteile sein, die bei sehr hohen Temperaturen eingesetzt werden, wie etwa die Auskleidung des Abgasbereichs eines Gasturbinenmotors. Bauteile mit einem Keramikoxid mit säulenförmiger Mikrostruktur können in keinem anderen technischen Bereich verwendet werden als bei Motorenbauteilen für Motoren, deren Verbrennungszone eine Temperatur von mindestens 1 600 °C aufweist.

30

[014] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, die erfindungsgemäße Beschichtung mit Luftkühlung zu kombinieren. Bei Turbinenschaufeln lässt sich eine Luftkühlung erreichen, indem die Turbinenschaufel hohl ausgebildet wird und Kühllungsluft aus dem hohlen Innenraum der

- 5 Turbinenschaufel durch Löcher in ihren Wänden und einer etwaigen Beschichtung zu ihrer Außenfläche geleitet wird. In Fig. 3 ist eine Turbinenschaufel 30 mit Kühllungslöchern 31a, 31b, 31c dargestellt. Das zweckmäßigste Verfahren für die Herstellung dieser Ausführungsform ist das zweite Verfahren, weil der für die Erzeugung der säulenförmigen Struktur verwendete Laser auch dazu genutzt werden kann, sowohl
- 10 die Beschichtung als auch die Wände der Turbinenschaufel zu durchbohren, um die Kühllungslöcher herzustellen.

Mit freundlichen Grüßen

Alexandre Burdin

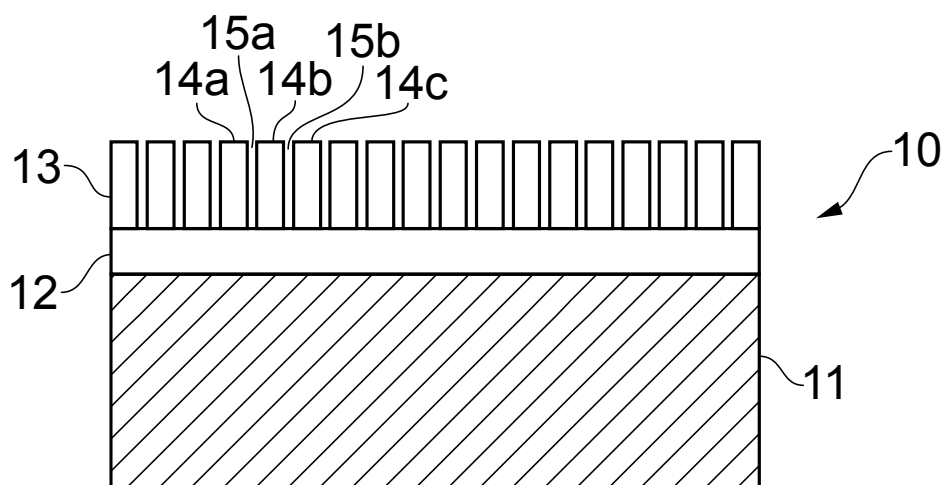


FIG. 1

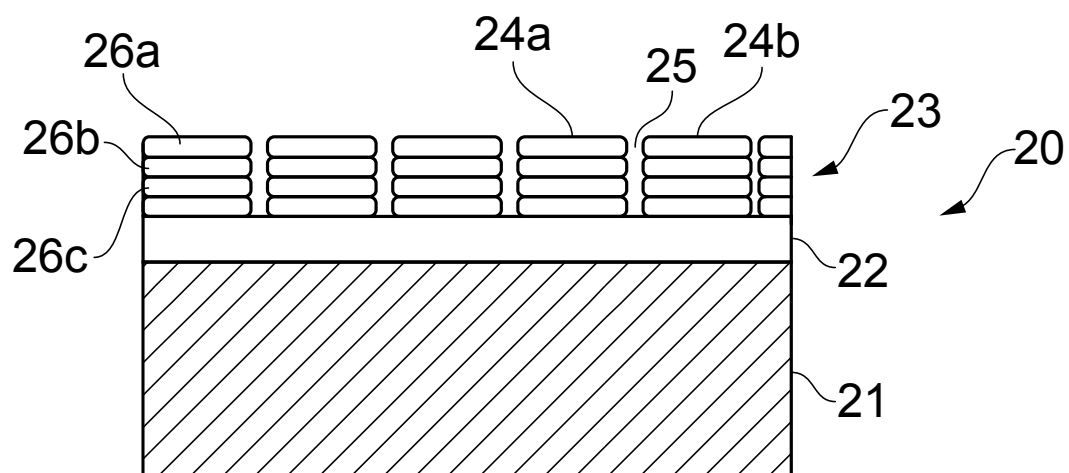


FIG. 2

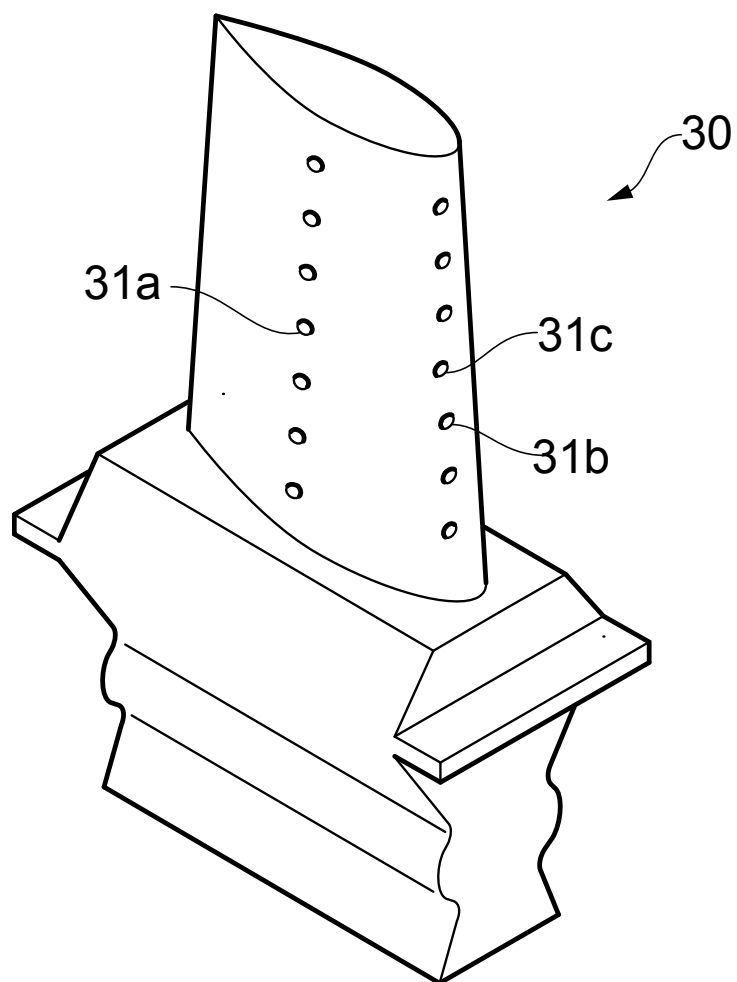


FIG. 3

Dokument D1

Patentanmeldung EP-A 5 000 002 vom 1. März 2014

Beschichtete Turbinenschaufel mit verlängerter Lebensdauer

5

[001] Turbinenschaufeln, die in den heißesten Teilen von Turbinenmotoren verwendet werden, sind aus Superlegierungen hergestellt. Die Oberfläche der Schaufel ist typischerweise mit einem Keramikoxid beschichtet, um sie gegen die hohen Temperaturen im Motor zu schützen.

10

[002] Der Begriff Keramikoxid wird von verschiedenen Turbinenherstellern für verschiedene Gruppen von Materialien verwendet. In der vorliegenden Anmeldung bezeichnet der Begriff Metalloxide, die bei einer Temperatur von über 1 600 °C schmelzen. Diese Temperatur ist die Mindestbetriebstemperatur für die

15 Verbrennungszone von modernen Turbinenmotoren. Metalloxide, die bei niedrigeren Temperaturen schmelzen, können keine ausreichende Wärmedämmung bieten. Das am häufigsten verwendete Keramikoxid ist Zirkoniumoxid, aber auch Aluminiumoxid und komplexe Oxide mit einer Pyrochlorstruktur sind wirksam. Beschichtete Turbinenschaufeln sind seit einigen Jahren erhältlich. Es wurde festgestellt, dass die
20 Bauteile häufiger ausgetauscht werden mussten als erwartet, weil die Beschichtung abgeblättert war. Es wird davon ausgegangen, dass dies an den unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Beschichtung und der Superlegierung liegt. Dieser Unterschied verursacht Spannungen, wenn sich das Bauteil erhitzt und wieder abkühlt, und kann nach mehreren solcher Zyklen zum Verlust der Beschichtung führen.

25

[003] Die Erfindung betrifft eine neue Art von beschichteten Turbinenschaufeln. Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel wird zunächst mit einer Schicht eines Materials beschichtet, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen demjenigen der Superlegierung, aus dem die Turbinenschaufel hergestellt ist, und demjenigen des
5 Keramikoxids liegt. Diese Zwischenhaftschrift besteht aus einer Nickel- oder Kobaltlegierung. Vorzugsweise wird eine Nickellegierung verwendet, wenn das Superlegierungssubstrat ebenfalls auf Nickel basiert. Die Legierung enthält außerdem 10 - 50 Gew.-% Aluminium und bis zu 25 Gew.-% Chrom und/oder Yttrium. Anschließend wird die Turbinenschaufel mit einer herkömmlichen
10 Keramikoxidbeschichtung beschichtet, die mindestens 25 Mikrometer dick ist.

[004] Sowohl die Haftbeschichtung als auch das Keramikoxid werden vorzugsweise mittels Plasmaspritzens aufgetragen. Diese Technik führt zu einer einheitlichen Beschichtungsstruktur, die aus flachen Körnern des Beschichtungsmaterials mit einer
15 gewissen Porosität besteht. Die Tatsache, dass die Struktur einheitlich ist, wird als vorteilhaft angesehen. Falls gewünscht, kann die beschichtete Oberfläche des Bauteils mit einem Laser geschmolzen werden, was zu einer erosionsbeständigeren Oberfläche führt.

[005] Die Beschichtungsstruktur ist in Fig. 1 dargestellt, die einen Querschnitt durch eine
20 Turbinenschaufel zeigt. Die Turbinenschaufel umfasst ein Superlegierungssubstrat 10, eine Zwischenhaftschrift 20 und eine obere Schicht aus einem Keramikoxid 30. Eine Reihe von Tests hat ergeben, dass eine Turbinenschaufel, die mit einer Zwischenschicht beschichtet ist, eine um 40 % höhere Lebensdauer hat als eine
25 beschichtete Turbinenschaufel ohne Zwischenschicht.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel, umfassend ein Superlegierungssubstrat, eine Haftschrift auf der Oberfläche des Substrats und eine Keramikoxidschicht auf der Oberfläche der Haftschrift.
- 30 2. Turbinenschaufel gemäß Anspruch 1, bei der die Haftschrift eine Nickel- oder Kobaltlegierung ist, die 10 - 50 Gew.-% Aluminium und bis zu 25 Gew.-% Chrom oder Yttrium enthält.

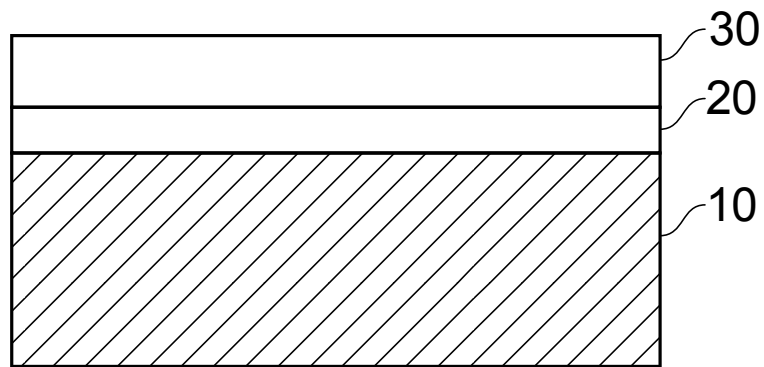


FIG. 1

Dokument D2

Verkaufskatalog vom 23. März 2002

- 5 [001] Zirvap™ ist die jüngste Generation einer flexiblen Vorrichtung für die Beschichtung mittels Elektronenstrahlverdampfung. Die Vorrichtung ist speziell dafür ausgelegt, Schichten von Keramikoxiden auf Metallen abzuscheiden. Unser patentiertes Beschichtungskammerdesign ist modular, die Zahl der erforderlichen Module hängt von dem zu beschichtenden Bauteil ab.

10

- [002] Die Elektronenstrahlverdampfung ist ein sehr effizientes Verfahren für das Beschichten von Metallen mit Keramikoxidschichten. Bei dieser Technik wird ein Keramikoxid-Target mit einem Elektronenstrahl bestrahlt. Der Elektronenstrahl heizt das Zielobjekt lokal auf Temperaturen von über 2 000 °C auf, wobei das Keramikoxid
15 verdampft. Der erzeugte Dampf strömt zu dem zu beschichtenden Bauteil, kondensiert auf dem relativ kalten Bauteil und bildet die gewünschte Schicht. Das Bauteil kann gedreht werden oder stationär sein, und das integrierte Heizmodul kann Bauteiltemperaturen erzeugen, die zwischen Raumtemperatur und 1 200 °C liegen. Die Temperatur des Bauteils bestimmt die Mikrostruktur der Schicht. Zur Durchführung des
20 Prozesses muss in der Beschichtungskammer ein Vakuum erzeugt werden; der Druck kann in unserer Beschichtungskammer variiert werden. Ein sehr niedriger Druck ist nützlich, wenn hohe Beschichtungsgeschwindigkeiten benötigt werden. Ein höherer Druck ist nützlich, wenn niedrige Beschichtungsgeschwindigkeiten benötigt werden.

- 25 [003] Die Beschichtungskammer kann mit Einbaupositionen für bis zu acht Targets von Beschichtungsmaterial und bis zu vier Elektronenstrahlen ausgestattet werden. Somit können selbst große Bauteile schnell mit einer dicken Schicht beschichtet werden. Alternativ kann in einer einzigen Beschichtungsvorrichtung eine mehrschichtige Beschichtung abgeschieden werden.

30

[004] Die Beschichtungsvorrichtung wurde erfolgreich angewandt, um eine Sicherheitsbeschichtung auf eine Turbinenschaufel aus einer Superlegierung aufzubringen. Solche Sicherheitsbeschichtungen werden zum Schutz gegen gefälschte Bauteile verwendet. Eine sehr dünne Schicht (ca. 1 Mikrometer) Zirkoniumoxid wird bei
5 950 °C auf den Rumpf der Turbinenschaufel abgeschieden. Diese Beschichtung hat eine säulenförmige Mikrostruktur mit Säulen, die senkrecht zur Oberfläche des Bauteils stehen, und mit Zwischenräumen zwischen den Säulen. Die Zwischenräume können mit einer einzigartigen Mischung von Seltenerd-Ionen geladen werden. Der Kunde kann diese Mischung identifizieren und damit die Echtheit des Bauteils überprüfen. Falls
10 gewünscht, kann die Beschichtung mit einem Plasma entfernt werden, bevor das Bauteil verwendet wird.

[005] Kontaktieren Sie uns noch heute unter Zirvapsales@beamcoat.com, und wir sind Ihnen bei allem, was Beschichtungen angeht, behilflich.