



(11)

EP 2 990 141 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
03.04.2019 Patentblatt 2019/14

(21) Anmeldenummer: **14182981.2**

(22) Anmeldetag: **01.09.2014**

(51) Int Cl.:

B22F 5/00 (2006.01)	B22F 5/04 (2006.01)
B22F 3/15 (2006.01)	B22F 3/24 (2006.01)
B22F 9/08 (2006.01)	C25F 5/00 (2006.01)
C22C 1/02 (2006.01)	C22C 14/00 (2006.01)
C22F 1/18 (2006.01)	C22C 1/04 (2006.01)
B22D 7/00 (2006.01)	B22D 29/00 (2006.01)

(54) **Herstellungsverfahren für TiAl-Bauteile**

Method for producing TiAl components

Procédé de fabrication de composants en Titanaluminide (TiAl)

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.03.2016 Patentblatt 2016/09

(73) Patentinhaber: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

(72) Erfinder:

- **Schloffer, Martin**
81247 München (DE)

• **Smarsly, Wilfried**

81669 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

JP-A- 2006 009 062	JP-A- 2008 208 432
US-A- 5 098 484	US-A- 5 424 027
US-A- 5 768 679	

Bemerkungen:

Die Akte enthält technische Angaben, die nach dem Eingang der Anmeldung eingereicht wurden und die nicht in dieser Patentschrift enthalten sind.

EP 2 990 141 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils, insbesondere eines Bauteils für eine Strömungsmaschine, wie beispielsweise ein Flugtriebwerk, aus einem Hochtemperaturwerkstoff, insbesondere einer TiAl - Legierung.

STAND DER TECHNIK

[0002] Für den Betrieb von Strömungsmaschinen sind auf Grund der Einsatzbedingungen der verwendeten Bauteile mit zum Teil hohen Temperaturen, aggressiven Umgebungen und hohen einwirkenden Kräften spezielle Werkstoffe für bestimmte Bauteile erforderlich, die sowohl durch ihre chemische Zusammensetzung als auch durch ihre Mikrostruktur optimal an den Einsatzzweck angepasst sind.

[0003] Legierungen auf Basis von intermetallischen Titanaluminid - Verbindungen (TiAl - Legierungen) finden beim Bau von Strömungsmaschinen, wie stationären Gasturbinen oder Flugtriebwerken, beispielsweise als Werkstoff für Laufschaufeln Verwendung, da sie die für den Einsatz erforderlichen mechanischen Eigenschaften aufweisen und zusätzlich ein geringes spezifisches Gewicht besitzen, sodass der Einsatz derartiger Legierungen die Effizienz von stationären Gasturbinen und Flugtriebwerken steigern kann. Entsprechend gibt es bereits eine Vielzahl von TiAl - Legierungen sowie Verfahren zur Herstellung von entsprechenden Bauteilen daraus.

[0004] Bauteile aus TiAl - Legierungen lassen sich ähnlich wie vergleichbare Bauteile aus anderen Hochtemperaturlegierungen, beispielsweise auf Ni - , Fe - oder Co - Basis, sowohl schmelzmetallurgisch als auch pulvermetallurgisch herstellen.

[0005] Bei der schmelzmetallurgischen Herstellung wird die Legierung, die für die Herstellung des Bauteils verwendet wird, in Form einer Schmelze bereitgestellt und diese wird in einer Form abgegossen. Der gegossene Werkstoff muss üblicherweise geeigneten Umformungen und/oder Wärmebehandlungen unterzogen werden, um das Gussgefüge zu zerstören und eine gewünschte Mikrostruktur des Werkstoffs einzustellen. Das entsprechende Bauteil kann dann durch geeignete Nachbearbeitung, beispielsweise durch spanabhebende, mechanische Bearbeitung oder elektrochemische Bearbeitung in die gewünschte Form gebracht werden.

[0006] Bei der pulvermetallurgischen Herstellung umfassen die Herstellungsschritte zusätzlich oder alternativ zu den einzelnen Schritten der schmelzmetallurgischen Herstellung den Einsatz von Pulvermaterialien, um beispielsweise durch mechanisches Legieren eine gewünschte Zusammensetzung des Werkstoffs zu erzeugen. Ein Beispiel für die Herstellung eines Gegenstands

aus einer TiAl - Legierung unter Verwendung von Pulvermaterialien ist in der US 5,424,027 beschrieben.

[0007] Gemäß diesem Dokument werden Gegenstände aus TiAl - Legierungen mit 50 at. % Aluminium sowie Legierungen mit 48 at. % Aluminium und 1 at. % Niob, 48 at. % Aluminium, 2 at. % Niob und 2 at. % Chrom sowie 48 at. % Aluminium, 1 at. % Niob und 1 at. % Vanadium und 48 at. % Aluminium, 3 at. % Niob, 2 at. % Chrom und 1 at. % Mangan sowie Rest jeweils Titan dadurch hergestellt, dass ein entsprechend vorlegiertes TiAl - Pulver in eine geeignete Form eingefüllt wird, um anschließend heißisostatisch gepresst zu werden. Nach dem heißisostatischen Pressen wird der Werkstoff einer Warmumformung unterzogen, um eine feine, gleichmäßige und isotrope Mikrostruktur einzustellen.

[0008] Für eine Warmumformung, die sowohl bei einer schmelzmetallurgischen Herstellung als auch bei der pulvermetallurgischen Herstellung gemäß der US 5,424,027 durchgeführt werden kann bzw. zur Erzielung bestimmter Eigenschaften durchgeführt werden muss, ist ein hoher Aufwand bezüglich der Warmumformungsschritte erforderlich. Außerdem ist bei einer derartigen Herstellung ein hoher Materialverbrauch gegeben, da eine endkonturnahe Herstellung, beispielsweise durch endkonturnahes Gießen, nicht möglich ist. In diesem Zusammenhang ergibt sich dann ein weiterer, erhöhter Aufwand für die spannabhebende bzw. elektrochemische Formgebung des Bauteils.

[0009] Das Dokument JP 2008208432 A offenbart eine pulvermetallurgische Herstellung eines Bauteils aus einem TiAl - Werkstoff durch heißisostatisches Pressen. Auch in den Dokumenten US 5 768 679 A und JP 2006 009 062 A werden Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus TiAl - Werkstoffen beschrieben, bei denen die Formgebung durch heißisostatisches Pressen (HIP) erfolgt, wobei nach der Formgebung eine Wärmebehandlung des Bauteils vorgenommen wird.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0010] Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einer Hochtemperaturlegierung, insbesondere einer TiAl - Legierung anzugeben, mit welchem effizient unter Reduzierung des Aufwands gegenüber dem Stand der Technik ein Bauteil gefertigt werden kann, wobei der Werkstoff des Bauteils eine optimale Mikrostruktur, insbesondere eine homogene und gleichmäßige Gefügestruktur aufweisen soll, sodass das Bauteil ebenfalls gleichmäßige mechanische Eigenschaften aufweist. Das entsprechende Verfahren soll einfach und zuverlässig durchführbar sein und reproduzierbar geeignete Mikrostrukturen bei Hochtemperaturlegierungen und insbesondere TiAl-Legierungen einstellen lassen, die die erforderlichen Eigenschaften insbesondere für Bauteile von Strömungsmaschinen bereitstellen.

TECHNISCHE LÖSUNG

[0011] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0012] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, ein Bauteil, insbesondere ein Bauteil für eine Strömungsmaschine, wie eine stationäre Gasturbine oder ein Flugtriebwerk, aus einer TiAl - Legierung dadurch herzustellen, dass zunächst ein Pulver aus der gewünschten Legierung hergestellt wird, dieses Pulver in eine Kapsel eingefüllt wird, deren Form der Form des herzustellenden Bauteils weitgehend entspricht, und diese Kapseln mit dem eingefüllten Pulver heißisostatisch zu pressen und einer Wärmebehandlung zu unterziehen, sodass nach dem Entfernen der Kapsel und der Nachbearbeitung des Bauteils zur Herstellung der endgültigen Kontur durch Materialabtrag das fertige Bauteil vorliegt.

[0013] Durch das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich eine Warmumformung bzw. ein Schmieden des Werkstoffs vermeiden, sodass der Aufwand bei der Herstellung reduziert werden kann. Gleichzeitig kann jedoch eine homogene, gleichmäßige Mikrostruktur ohne Seigerungen und Ausscheidungsvergrößerungen hergestellt werden, die günstige mechanische Eigenschaften des eingesetzten Werkstoffs für den Einsatz in Strömungsmaschinen liefert.

[0014] Durch die Verwendung einer endkonturnahen Kapsel, die also die Form des herzustellenden Bauteils berücksichtigt bzw. dieser angenähert ist, lassen sich aufwändige Nachbearbeitungen mit der Entfernung eines großen Volumens überschüssigen Materials durch Materialabtrag vermeiden, sodass der Materialeinsatz und der dadurch verbundene Aufwand verringert werden können. Die endkonturnahe Form der Kapsel muss somit lediglich die nachfolgenden Bearbeitungsschritte berücksichtigen, bei denen jedoch keine umfangreiche Formänderung des Bauteils mehr stattfindet, wie dies beispielsweise bei einer erforderlichen Warmumformung der Fall wäre. Beispielsweise kann lediglich ein geringes Aufmaß zur endgültigen Form bzw. Kontur des herzustellenden Bauteils vorgesehen werden, welches herstellungsbedingte Abweichungen beim heißisostatischen Pressen, der Wärmebehandlung oder dem Entfernen der Kapsel Rechnung trägt, sodass durch den anschließenden Materialabtrag die gewünschte Form des Bauteils erhalten werden kann.

[0015] Durch die Verwendung von Pulver kann eine feine Mikrostruktur mit kleiner, homogen verteilter Korngröße und homogener Elementverteilung erzielt werden, da beispielsweise keine Texturen durch Schmiedeprozesse eingebracht werden und das Pulver sehr gut im Vakuum und unter Schutzgas handhabbar ist und somit in entsprechender Reinheit eingesetzt und verarbeitet werden kann. Dabei kann zum Erreichen eines geringen Anteils an Verunreinigungen, beispielsweise Sauerstoffkontaminationen, eine Verarbeitung unter Schutzgas

vorgenommen werden.

[0016] Das oben beschriebene Herstellungsverfahren kann insbesondere für TiAl - Legierungen und insbesondere hochlegierte TiAl - Legierungen und/oder TiAl - Legierungen mit hohen Al - Gehalten, beispielsweise mit Al - Gehalten von mehr als 30 at. % Al, insbesondere mehr als 45 at. % Al, vorzugsweise mehr als 50 at. % und bis zu 60 at. % Al oder mehr eingesetzt werden, da bei diesen Legierungen die Ausbildung von fein verteilten Ausscheidungen und einer feinkörnigen, homogenen Mikrostruktur mit dem vorliegenden Verfahren günstig zu erzielen ist.

[0017] Bei der Herstellung des Pulvers für den Einsatz bei dem vorliegenden Verfahren können verschiedene Ausgangsmaterialien Verwendung finden, wie beispielsweise Pulver aus den einzelnen, zu legierenden Elementen oder zu recycelndes Pulver oder Pulver aus Masteralloys, also Legierungen, die Teile der späteren Legierungszusammensetzung umfassen. Die Ausgangsmaterialien können zu Presslingen gepresst werden, welche dann für das Erschmelzen der Legierung eingesetzt werden können.

[0018] Das Erschmelzen der Legierung kann durch einmaliges oder mehrmaliges Plasma - Lichtbogen - Schmelzen (PAM plasma arc melting), Vakuum - Lichtbogen - Schmelzen (VAR vacuum arc remelting) oder Vakuum - Induktions - Schmelzen (VIM vacuum induction melting) erfolgen. Beim Erschmelzen der TiAl - Legierung kann bereits eine mögliche Verarmung der Legierung bei der Herstellung und Verarbeitung, beispielsweise durch Abbrand von Elementen, wie z.B. Aluminium, beim Verdüsen berücksichtigt werden und somit die Legierungszusammensetzung entsprechend angepasst werden, also beispielsweise mit einem höheren Al - Anteil versehen werden.

[0019] Das Pulver kann direkt aus der entsprechenden Schmelze oder nach erneutem Aufschmelzen nach einem zwischenzeitlichen Abgießen der Schmelze aus einem Schmelzbad oder aus einem zwischenzeitlich abgegossenem Ingots durch Verdüsen hergestellt werden. Als Verfahren können das Vakuum - Inertgas - Zerstäuben (VIG vacuum inert gas atomization), das Plasma - Schmelzen - Induktionsführungs - Zerstäuben (PIGA plasma melting induction guiding atomization) oder die Elektroden - Induktions - Zerstäubung (EIGA electrode induction gas atomization) eingesetzt werden.

[0020] Das Pulver kann weiterhin einem zusätzlichen Reinigungsprozess unterzogen werden, um beispielsweise die Sauerstoffbelegung der Pulveroberfläche zu reduzieren und somit die Sauerstoffkontamination des eingesetzten Werkstoffs für die Bauteilherstellung zu reduzieren sowie organische und/oder anorganische Verunreinigungen zu verringern oder zu beseitigen. Außerdem kann bei dem Reinigungsprozess eine Bearbeitung der Pulverpartikel dahingehend erfolgen, dass eine sphärische Partikelform eingestellt und/oder die Größe der Partikel (Korngröße) beeinflusst wird. Beispielsweise kann dies in einem Plasmareinigungsprozess erfolgen,

bei dem die Pulverpartikel in ein Plasma eingebracht werden, sodass Kontaminationen entfernt werden und sich die Oberflächenform der Partikel einer Kugelform annähern kann.

[0021] Das hergestellte Pulver kann entsprechend der Partikelgröße klassifiziert werden und es können ein oder mehrere Pulverfraktionen für die weitere Herstellung des Bauteils ausgewählt werden. Die Fraktionierung kann vor oder nach dem Reinigungsprozess durchgeführt werden, wobei eine Reinigung vor der Fraktionierung bevorzugt ist, da durch eine Plasma - Reinigung die Größe der Partikel verändert werden kann.

[0022] Die Fraktionierung kann mit verschiedenen bekannten Verfahren durchgeführt werden und insbesondere ist eine zweistufige Fraktionierung möglich, bei der z.B. zunächst mittels einer Zentrifuge eine Vorfractionierung erfolgt und anschließend in einem zweiten Schritt durch Sieben und/oder Sichten eine Hauptfraktion erzeugt wird. Für die Herstellung eines feinkörnigen TiAl - Werkstoffs können insbesondere Pulverfraktionen mit durchschnittlichen oder maximalen Partikelgrößen $\leq 125\mu\text{m}$ im Durchmesser oder entsprechend der maximalen Erstreckung ausgewählt werden.

[0023] Die Kapsel, in die das Pulver für das nachfolgende heiß - isostatische Pressen eingefüllt wird, kann aus einem Blech aus einem ähnlichen Material wie das Pulver gefertigt werden, insbesondere aus dem Basis - Material des eingesetzten Pulvers, also beispielsweise einer Legierung mit dem gleichen Hauptbestandteil. Bei Verwendung einer TiAl - Legierung zur Herstellung des Bauteils kann die Kapsel mit beispielsweise 1 bis 3 mm, vorzugsweise 2 bis 3 mm, Wandstärke aus Titan oder einer Titan - Legierung gebildet sein.

[0024] Darüber hinaus kann die Kapsel aus mindestens zwei Formteilen gebildet sein, die zum Verschließen der Kapsel miteinander verbunden werden können, beispielsweise durch Schweißen unter Schutzgas.

[0025] Die Formteile der Kapsel können aus tiefgezogenen Blechen des entsprechenden Kapselmaterials gebildet sein, sodass eine der Form des herzustellenden Bauteils ähnliche Kontur der Kapsel in einfacher Weise hergestellt werden kann. Wie bereits vorher erwähnt, kann die Kontur bzw. Form der Kapsel mit einem gewissen Aufmaß ausgebildet sein, welches die Formänderungen beim anschließenden heißisostatischen Pressen und den Wärmebehandlungen berücksichtigt bzw. eine nachgeschalteten Nachbearbeitung durch Materialabtrag erlaubt, die die Möglichkeit gibt, die exakte gewünschte Form des Bauteils zu erzeugen.

[0026] Das Einfüllen des Pulvers in die Kapsel kann unter Schutzgas erfolgen, um so die Belastung mit Kontaminationen weiter zu verringern. Insbesondere kann das Einfüllen des Pulvers in die Kapsel direkt im Anschluss an die Reinigung unter Vakuum oder Schutzgas erfolgen, sodass das Pulver nicht mehr der Umgebungsatmosphäre ausgesetzt wird.

[0027] Zusätzlich kann die befüllte, aber noch nicht verschlossene Kapsel - oder alternativ auch das Pulver

vor dem Abfüllen in die Kapsel - einer Wärmebehandlung unter Vakuum (Reinigungswärmebehandlung) ausgesetzt werden, um eine weitere Reinigung des Pulvermaterials durch Verdampfen bzw. Ausgasen zu bewirken.

Beispielsweise kann die Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 200°C bis 500°C , vorzugsweise zwischen 440°C und 460°C bei Vakuum mit einem Druck $\leq 10^{-3}$ mbar, insbesondere $\leq 10^{-5}$ mbar oberhalb des Pulvers durchgeführt werden. Damit lässt sich beispielsweise der Sauerstoffgehalt bei der Herstellung eines Bauteils aus einer TiAl - Legierung auf einem Bereich ≤ 600 ppm verringern.

[0028] Die Abkühlung der Oberfläche der Kapsel mit dem eingefüllten Pulver nach der Reinigungswärmebehandlung kann mit einer Abkühlrate von $25^{\circ}\text{C}/\text{min}$ bis $35^{\circ}\text{C}/\text{min}$, vorzugsweise bei $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ bis zu einer Temperatur von 120°C oder darunter, insbesondere auf 100°C , unter Vakuum durchgeführt werden, wobei anschließend das Verschließen der Kapsel beispielsweise durch Verschweißen unter Schutzgas erfolgen kann. Durch die schnelle Abkühlung kann das herrschende Vakuum verbessert, also niedrigere Drücke erzeugt werden, sodass die Reinigung des Pulvers weiter verbessert werden kann. Beispielsweise kann sich das Vakuum von 10^{-3} mbar auf 10^{-4} mbar verbessern.

[0029] Um die Schrumpfung und den Verzug kontrollieren zu können, kann das Pulver in der Kapsel durch mechanische Anregung, wie Vibration, Rütteln, Klopfen oder dergleichen verdichtet werden. Die Kapsel kann dabei noch offen oder verschlossenen sein, wobei bei einer offenen Kapsel die mechanische Verdichtung unter Vakuum erfolgen kann.

[0030] Die so vorbereitete Kapsel kann bei Temperaturen im Bereich von 1100°C bis 1400°C , insbesondere 1150°C bis 1300°C bei einem Druck von 100 bis 250 MPa für eine Zeitdauer von zwei bis sechs Stunden heißisostatisch gepresst werden, sodass sich ein kompakter Materialblock in einer endkonturnahen Form des Bauteils ergibt.

[0031] Die endkonturnahe Form kann so gewählt werden, dass das hergestellte Bauteil den Anforderungen der Herstellung von net - shape - Bauteilen oder near - net - shape - Bauteilen entspricht. Beispielsweise kann die heißisostatisch gepresste Kapsel ein Übermaß gegenüber dem fertigen Bauteil von 0,5 mm bis 5 mm, insbesondere 0,5 mm oder 1 mm bis 2 mm (net shape) oder 2 mm bis 5 mm (near net shape) plus jeweils der entsprechenden Kapseldicke aufweisen.

[0032] Nach dem heißisostatischen Pressen wird die Kapsel einer mehrstufigen Wärmebehandlung unterzogen, bei der entsprechend dem eingesetzten Pulvermaterial eine Lösungsglühung, eine Hochtemperaturglühung und eine Auslagerungsglühung in dieser Reihenfolge durchgeführt wird.

[0033] Bei der Verwendung einer TiAl - Legierung wird eine Lösungsglühung bei einer Temperatur bis zu 1400°C für 15 bis 45 Minuten durchgeführt. Die Hochtemperaturglühung wird bei einer Temperatur von

1100°C bis 1300°C durchgeführt und eine Auslagerungsglühung erfolgt bei einer Temperatur von 850°C bis 1100°C für sechs bis hundert Stunden.

[0034] Die Aufheiz- und/oder Abkühlraten für die Wärmebehandlung können in Abhängigkeit der Größe und/oder der Form des Bauteils gewählt werden, wobei beispielsweise für größere Bauteile eher geringere Aufheiz- und/oder Abkühlraten gewählt werden, während für kleine Bauteile größere Aufheiz- und/oder Abkühlraten realisiert werden können. Außerdem können die Aufheiz- und/oder Abkühlraten so bestimmt werden, dass möglichst kein Verzug des Bauteils stattfindet.

[0035] Nach der Wärmebehandlung wird die Kapsel entfernt, und zwar beispielsweise durch chemisches Beizen, elektrochemische Bearbeitung, Strahlen mit Partikeln, insbesondere mit Kunststoffgranulat und/oder spanabhebende mechanische Bearbeitung, wie Fräsen oder Schleifen. Danach kann die Nachbearbeitung der äußeren Form (Kontur) des Bauteils durch mechanische, spanabhebende Bearbeitung, insbesondere durch Fräsen, Schleifen, Polieren etc. und/oder elektrochemische Bearbeitung erfolgen.

[0036] Auf dem so hergestellten Bauteil können verschiedene Funktionsschichten aufgebracht werden, wie beispielsweise Verschleißschuttschichten, Korrosionsschuttschichten, Oxidationsschuttschichten und dergleichen.

[0037] Während des Verfahrens können das Bauteil und/oder das Material bzw. der Werkstoff, aus dem das Bauteil hergestellt ist, charakterisiert werden, insbesondere durch zerstörungsfreie Verfahren, wie beispielsweise durch Röntgendiffraktometrie.

[0038] Unter einer TiAl - Legierung wird gemäß der vorliegenden Erfindung ein Werkstoff verstanden wird, der als Hauptbestandteile Titan und Aluminium aufweist. Unter Hauptbestandteile werden diejenigen Elemente verstanden, deren Anteil in at.% oder Gew.% der größte ist, also bei einer TiAl - Legierung Titan und Aluminium als Elemente mit den größten Anteilen in at.% oder Gew.% in der Legierung vorliegen. Bei einer TiAl - Legierung, die gemäß dem vorliegenden Verfahren zu einem Bauteil verarbeitet wird, kann es sich insbesondere um eine hochlegierte TiAl - Legierung handeln, die insbesondere für hohe Temperaturen z. B. als Schaufelwerkstoff für Strömungsmaschinen eingesetzt werden kann. Entsprechend können chemische Elemente wie Niob, Molybdän, Wolfram, Kobalt, Chrom, Vanadium, Zirkon, Silizium, Kohlenstoff, Erbium, Gadolinium, Hafnium, Yttrium und Bor enthalten sein.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL

[0039] Weitere Vorteile, Kennzeichen und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung eines Ausführungsbeispiels deutlich. Allerdings ist die Erfindung nicht auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt.

[0040] Nach einem Ausführungsbeispiel wird mit dem

erfindungsgemäßen Verfahren eine Laufschaufel eines Flugtriebwerks aus einer hochlegierten TiAl - Legierung gebildet, wobei zunächst in einem ersten Schritt ein Pressling aus Pulvern der einzelnen zu legierenden Elemente und/oder von sogenannten Masteralloys gepresst wird. Außerdem kann der Pressling Titanschwamm enthalten (Verfahrensschritt I).

[0041] Der Pressling wird anschließend (Verfahrensschritt II) durch einen einmaligen Plasma - Lichtbogen - Schmelzvorgang aufgeschmolzen, sodass sich eine Legierungsschmelze ergibt. Diese wird zunächst abgegossen und anschließend in einem dritten Verfahrensschritt (Verfahrensschritt III) für die Pulverherstellung ein zweites Mal aufgeschmolzen, um eine Gasverdüsung aus dem Schmelzbad vornehmen zu können. Die Gasverdüsung aus dem Schmelzbad kann durch VIGA oder PIGA-Verfahren erfolgen, wobei durch die Gasverdüsung möglichst sphärische Pulverpartikel erzeugt werden sollen.

[0042] In einem vierten Verfahrensschritt (Verfahrensschritt IV) werden aus dem erzeugten Pulver die für die Weiterverarbeitung gewünschten Partikelgrößenfraktionen ausgewählt, beispielsweise Partikelgrößenfraktionen mit maximalen oder durchschnittlichen Durchmessern der Partikel im Bereich von 15 bis 150 µm oder vorzugsweise 45 bis 125 µm. Bei dem gewählten Ausführungsbeispiel wird die Partikelgröße $\leq 125 \mu\text{m}$ gehalten, um ein feinkörniges Gefüge zu erzielen.

[0043] In einem fünften Verfahrensschritt (Verfahrensschritt V) wird die gewählte Pulverfraktion in ein Plasma eingegeben, sodass durch das Plasma eine Reinigung der Pulverpartikel und eine sphärische Ausbildung der Pulverpartikel erfolgt. Durch das Plasma wird beispielsweise die Sauerstoffbelegung an der Pulveroberfläche reduziert und die Oberflächenform einer Kugelform angenähert.

[0044] Das so gereinigte Pulver wird unter Schutzgas, beispielsweise Helium oder Argon in Kapseln aus Titan eingefüllt (Verfahrensschritt VI), die beispielsweise eine Wandstärke von 1 bis 2 mm aufweisen, und entsprechend der Form des herzustellenden Bauteils beispielsweise aus zwei tiefgezogenen Titan-Bleichen geformt sind. Bei dem Titanmaterial, das für die Kapseln verwendet wird, kann es sich um sogenanntes Titan Grade I Material handeln.

[0045] Vor dem Verschließen der Kapsel durch Zusammenschweißen der Kapselteile im neunten Verfahrensschritt wird in einem siebten Verfahrensschritt (Verfahrensschritt VII) eine weitere Reinigung des Materials durchgeführt, indem die mit Pulver gefüllte, aber noch nicht verschlossene Kapsel unter Vakuumbedingungen bei einem Druck von $\leq 10^{-3}$ mbar, insbesondere $\leq 10^{-5}$ mbar bei Temperaturen bis 450°C ausgeheizt wird, damit weitere Verunreinigungen durch Verdampfen verflüchtigen. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise der Sauerstoffgehalt ≤ 600 ppm einstellen. Von der Ausheiztemperatur kann die weiterhin unter Vakuum gehaltene Kapsel auf 120°C oder 100°C abgekühlt werden, wobei eine Abkühlrate von 30°C/min gewählt werden kann (Verfahrensschritt VIII).

rensschritt VIII).

[0046] Im neunten Verfahrensschritt (Verfahrensschritt IX) wird die Kapsel durch Verschweißen verschlossen, sodass im zehnten Verfahrensschritt (Verfahrensschritt X) die Kapsel mit dem darin eingeschlossenen Pulver heißisostatisch gepresst werden kann und zwar bei einem Druck im Bereich von 100 bis 240 MPa und einer Temperatur im Bereich von 1150°C bis 1400°C für eine Zeitdauer von zwei bis sechs Stunden.

[0047] Nach dem heißisostatischen Pressen (Verfahrensschritt X) schließt sich als elfter Verfahrensschritt (Verfahrensschritt XI) eine mehrstufige Wärmebehandlung an, mit deren Hilfe die Mikrostruktur des Bauteils eingestellt werden kann. Zunächst erfolgt ein Lösungsglühen bei 1400°C oder knapp darunter für eine Zeitdauer von 15 bis 45 Minuten. Danach wird eine Hochtemperaturglühung bei 1100°C bis 1300°C durchgeführt und zum Abschluss erfolgt eine Auslagerungsglühung bei 850°C bis 1100°C für eine Zeitdauer von sechs bis hundert Stunden. Danach ist das Bauteil bezüglich des Werkstoffgefüges fertiggestellt und es müssen lediglich noch abschließende Arbeiten bezüglich der Formgebung des Bauteils durchgeführt werden.

[0048] Hierzu wird in einem zwölften Verfahrensschritt (Verfahrensschritt XII) die Kapsel entfernt, und zwar durch Abbeizen der Außenschicht und/oder elektrochemische Bearbeitung, Strahlen mit Partikeln, insbesondere Kunststoffpartikeln, und/oder durch mechanische Bearbeitung, wie Fräsen, Schleifen oder dergleichen.

[0049] In einem dreizehnten Verfahrensschritt (Verfahrensschritt XIII) wird nunmehr durch mechanische, insbesondere spanabhebende Bearbeitung das überschüssige Material von dem Bauteil entfernt, beispielsweise durch Fräsen, Schleifen, Polieren und dergleichen. Alternativ kann der Materialabtrag auch durch elektrochemische Bearbeitung erfolgen, sodass das Endmaß eingestellt wird.

[0050] Die eingestellte Mikrostruktur des Bauteils lässt sich durch Röntgendiffraktometrie und sonstige zerstörungsfreie Prüfverfahren überprüfen. Des Weiteren können auf dem Bauteil erforderliche Schichten, wie Korrosionsschutzschichten, Oxidationsschutzschichten, Verschleißschutzschichten und dergleichen abgeschieden werden.

[0051] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand des Ausführungsbeispiels detailliert beschrieben worden ist, ist die Erfindung nicht auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt, sondern vielmehr können Abänderungen in der Weise vorgenommen werden, dass einzelne Merkmale weggelassen oder andersartige Kombinationen von Merkmalen verwirklicht werden, solange der Schutzbereich der beigefügten Ansprüche nicht verlassen wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils, insbesondere eines Bauteils für eine Strömungsmaschine,

aus einer TiAl - Legierung, welches folgende Schritte in der angegebenen Reihenfolge umfasst:

- Herstellung eines Pulvers aus der TiAl - Legierung,
- Herstellung einer Kapsel, deren Form der Form des herzustellenden Bauteils entspricht,
- Einfüllen des Pulvers in die Kapsel und Verschließen derselben,
- heißisostatisches Pressen der Kapsel mit dem Pulver,
- Wärmebehandlung der heißisostatisch gepressten Kapsel, wobei die Wärmebehandlung in der angegebenen Reihenfolge umfasst:

- eine Lösungsglühung bei einer Temperatur bis zu 1400°C für 15 bis 45 min,
- eine Hochtemperaturglühung bei einer Temperatur von 1100°C bis 1300°C für 15 bis 120 min, und
- eine Auslagerungsglühung bei einer Temperatur von 850°C bis 1100°C für 6 bis 100 h

- Entfernen der Kapsel,
- Nachbearbeitung der Kontur des Bauteils durch Materialabtrag.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Herstellung des Pulvers mindestens einen der folgenden Schritte, vorzugsweise alle Schritte in der angegebenen Reihenfolge umfasst:

- Pressen von Ausgangsmaterialien oder Erschmelzen von Vorlegierungen, die aus den zu legierenden Komponenten bestehen oder diese umfassen,
- Erschmelzen der Legierung durch einmaliges oder mehrmaliges Plasma - Lichtbogen - Schmelzen (PAM plasma arc melting) oder Vakuum - Lichtbogen - Schmelzen (VAR vacuum arc remelting) oder Vakuum - Induktions - Schmelzen (VIM),
- Verdüsung der Legierung zur Herstellung des Pulvers aus einem Schmelzbad oder mit Hilfe eines abgegossenen Ingots, insbesondere unter Verwendung eines der Verfahren, die Vakuum - Inertgas - Zerstäubung (VIGA vacuum inert gas atomization), Plasmaschmelzen - Induktionsführungszerstäubung (PIGA plasma melting induction guiding atomization), Elektronen - Induktions - Zerstäubung (EIGA electrode induction gas atomization) und Plasma - Rotationselektroden - Zerstäubung (PREP plasma rotating electrode process) umfassen,
- Klassifizieren von Pulverfraktionen und Auswählen einer oder mehrerer Pulverfraktionen mit durchschnittlichen oder maximalen Partikel-

- größen kleiner oder gleich 150 μm , insbesondere kleiner oder gleich 125 μm Durchmesser oder maximaler Erstreckung, insbesondere Partikeln mit maximalen oder durchschnittlichen Durchmessern der Partikel im Bereich von 15 bis 150 μm oder vorzugsweise 45 bis 125 μm , und
- Reinigung des Pulvers in einem Plasmareinigungsprozess.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapsel aus Titan oder einer Ti - Legierung gebildet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapsel aus mindestens zwei Formteilen gebildet wird, die insbesondere miteinander verschweißt werden, vorzugsweise unter Schutzgas.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapsel mit Aufmaß gegenüber dem herzustellenden Bauteil ausgebildet ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einfüllen des Pulvers unter Schutzgas oder unter Vakuum erfolgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pulver vor dem Abfüllen in die Kapsel oder die befüllte, aber noch nicht verschlossene Kapsel einer Wärmebehandlung unter Vakuum unterzogen wird, insbesondere einer Wärmebehandlung bei einer Temperatur im Bereich von 200°C bis 500°C, vorzugsweise zwischen 440°C und 460°C, und einem Druck kleiner oder gleich 10^{-3} mbar, insbesondere kleiner oder gleich 10^{-5} mbar.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Wärmebehandlung die Abkühlung mit einer Abkühlrate von 25°C/min bis 35°C/min, insbesondere 30°C/min bis auf eine Temperatur von 120°C oder weniger, insbesondere 100°C oder weniger erfolgt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Packungsdichte des Pulvers in der Kapsel vor
- oder nach dem Verschließen durch mechanische Anregung erhöht wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das heißisostatische Pressen im Temperaturbereich von 1100°C bis 1400°C, insbesondere 1150°C bis 1300°C bei einem Druck von 100 bis 250 MPa für eine Zeitdauer von 2 bis 6 h erfolgt.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch das heißisostatische Pressen ein net - shape - Bauteil oder near - net - shape - Bauteil erzeugt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Entfernen der Kapsel durch chemisches Beizen, elektrochemische Bearbeitung und/oder mechanische Bearbeitung erfolgt.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nachbearbeitung der Kontur durch mechanische, spanabhebende Bearbeitung, insbesondere Fräsen, und/oder durch elektrochemische Bearbeitung erfolgt.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil mit geeigneten Funktionsschichten versehen wird.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bauteil und/oder das Material, aus dem das Bauteil hergestellt worden ist, charakterisiert wird, insbesondere durch Röntgenbeugung.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung einen oder mehrere Bestandteile aus der Gruppe umfasst, die Nb, Mo, W, Co, Cr, V, Zr, Si, C, Er, Gd, Hf, Y und B beinhaltet.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Legierung neben den Hauptbestandteilen Ti und Al folgende Elemente mit den angegebenen Anteilen beinhaltet und vorzugsweise - außer unvermeidli-

chen Verunreinigungen - aus diesen gebildet ist:

W	0 bis 3 at. % und/oder	
Si	0,2 bis 0,35 at. % und/oder	5
C	0 bis 0,6 at. % und/oder	
Zr	0 bis 6 at. % und/oder	
Y	0 bis 0,5 at. % und/oder	
Hf	0 bis 0,3 at. % und/oder	10
Er	0 bis 0,5 at. % und/oder	
Gd	0 bis 0,5 at. % und/oder	
B	0 bis 0,2 at. % und/oder	
Nb	4 bis 25 at. % und/oder	
Mo	1 bis 10 at. % und/oder	15
W	0,5 bis 3 at. % und/oder	
Co	0,1 bis 10 at. % und/oder	
Cr	0,5 bis 3 at. % und/oder	
V	0,5 bis 10 at. % .	20

Claims

1. Method for producing a component, in particular a component for a turbomachine, made of a TiAl alloy, which method comprises the following steps in the given sequence:
 - producing a powder from the TiAl alloy;
 - producing a capsule, the shape of which corresponds to the shape of the component to be produced;
 - pouring the powder into the capsule and sealing said capsule;
 - hot-isostatically pressing the capsule together with the powder;
 - heat-treating the hot-isostatically pressed capsule, wherein the heat treatment comprises, in the given sequence:
 - solution annealing at a temperature of up to 1400°C for 15 to 45 min;
 - high-temperature annealing at a temperature of from 1100°C to 1300°C for 15 to 120 min; and
 - precipitation annealing at a temperature of from 850°C to 1100°C for 6 to 100 h;
 - removing the capsule;
 - finishing the contour of the component by removing material.
2. Method according to claim 1, **characterized in that** the production of the powder comprises at least one of the following steps, preferably all the steps in the given sequence:
 - pressing starting materials or smelting master alloys which consist of or comprise the components to be alloyed;
 - smelting the alloy by single or repeated plasma arc melting (PAM) or vacuum arc remelting (VAR) or vacuum induction melting (VIM);
 - atomizing the alloy to produce the powder from a molten bath or by means of a cast ingot, in particular using one of the methods which comprise vacuum inert gas atomization (VIGA), plasma melting induction guiding atomization (PIGA), electrode induction gas atomization (EIGA), and plasma rotating electrode process (PREP);
 - classifying powder fractions and selecting one or more powder fractions having average or maximum particle sizes of less than or equal to 150 µm, in particular less than or equal to 125 µm, in diameter or maximum extension, in particular particles having maximum or average diameters of the particle in the range of from 15 to 150 µm or preferably 45 to 125 µm; and
 - cleaning the powder in a plasma cleaning process.
3. Method according to either of the preceding claims, **characterized in that** the capsule is formed of titanium or a Ti alloy.
4. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the capsule is formed of at least two shaped parts, which are in particular welded together, preferably under protective gas.
5. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the capsule is formed with a machining allowance with respect to the component to be produced.
6. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the powder is poured in under protective gas or under vacuum.
7. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the powder before it is filled into the capsule, or the filled but not yet sealed capsule, is subjected to heat treatment under vacuum, in particular heat treatment at a temperature in the range of from 200°C to 500°C, preferably between 440°C and 460°C, and to a pressure of less than or equal to 10⁻³ mbar, in particular less than or equal to 10⁻⁵ mbar.
8. Method according to claim 7, **characterized in that**, after the heat treatment, the cooling takes place at a cooling rate of from 25°C/min to 35°C/min, in particular 30°C/min, to a temperature of 120°C or less, in particular 100°C or less.

9. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the packing density of the powder in the capsule is increased by mechanical agitation before or after the sealing. 5
10. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the hot-isostatic pressing takes place in the temperature range of from 1100°C to 1400°C, in particular 1150°C to 1300°C, at a pressure of from 100 to 250 MPa for a period of from 2 to 6 h. 10
11. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** a net-shape component or near-net-shape component is produced by the hot-isostatic pressing. 15
12. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the capsule is removed by chemical pickling, electrochemical machining and/or mechanical machining. 20
13. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the contour is finished by mechanical material removal, in particular milling, and/or by electrochemical machining. 25
14. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the component is provided with suitable functional coatings. 30
15. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the component and/or the material from which the component has been produced is **characterized, in particular** by X-ray diffraction. 35
16. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that** the alloy comprises one or more constituents from the group which contains Nb, Mo, W, Co, Cr, V, Zr, Si, C, Er, Gd, Hf, Y and B. 40
17. Method according to any of the preceding claims, **characterized in that**, in addition to the main constituents Ti and Al, the alloy contains the following elements in the specified proportions and is preferably, with the exception of unavoidable impurities, formed of said elements: 45

W	0 to 3 at.%; and/or	50
Si	0.2 to 0.35 at.%; and/or	
C	0 to 0.6 at.%; and/or	
Zr	0 to 6 at.%; and/or	
Y	0 to 0.5 at.%; and/or	
Hf	0 to 0.3 at.%; and/or	55
Er	0 to 0.5 at.%; and/or	
Gd	0 to 0.5 at.%; and/or	

(continued)

B	0 to 0.2 at.%; and/or
Nb	4 to 25 at.%; and/or
Mo	1 to 10 at.%; and/or
W	0.5 to 3 at.%; and/or
Co	0.1 to 10 at.%; and/or
Cr	0.5 to 3 at.%; and/or
V	0.5 to 10 at.%;

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un composant, en particulier d'un composant de turbomachine, à base d'un alliage TiAl, comprenant les étapes suivantes dans l'ordre indiqué :

- fabrication d'une poudre à base de l'alliage TiAl,
- fabrication d'une capsule dont la forme correspond à celle du composant à fabriquer,
- introduction de la poudre dans la capsule et fermeture de celle-ci,
- pressage isostatique à chaud de la capsule avec la poudre,
- traitement thermique de la capsule pressée isostatiquement à chaud, le traitement thermique comprenant, dans l'ordre indiqué :

- un recuit en solution à une température allant jusqu'à 1 400 °C pendant 15 à 45 minutes,
- un recuit à haute température à une température située dans la plage allant de 1 100 °C à 1 300 °C pendant 15 à 120 minutes, et
- un recuit par exposition à une température située dans la plage allant de 850 °C à 1 100 °C pendant 6 à 100 heures

- retrait de la capsule,
- post-traitement du contour du composant par enlèvement de matière.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la fabrication de la poudre comprend au moins l'une des étapes suivantes, et de préférence toutes les étapes, dans l'ordre indiqué :

- pressage de matériaux de base ou fusion d'alliages-mères constitués des constituants à allier ou comprenant ceux-ci,
- fusion de l'alliage par fusion à l'arc plasma (*plasma arc melting*, PAM), refusion à l'arc sous vide (*vacuum arc remelting*, VAR) ou fusion à induction sous vide (*vacuum induction melting*, VIM) simple ou multiple,

- atomisation de l'alliage pour fabriquer la poudre à partir d'un bain de fusion ou au moyen d'un lingot de coulée, en particulier en utilisant l'un des procédés comprenant l'atomisation par gaz inerte sous vide (*vacuum inert gas atomization*, VIGA), l'atomisation à guidage par induction de fusion au plasma (*plasma melting induction guiding atomization*, PIGA), l'atomisation par gaz à induction aux électrodes (*electrode induction gas atomization*, EIGA) et le procédé à électrode rotative au plasma (*plasma rotating electrode process*, PREP),
 - classification des fractions de poudre et sélection d'une ou de plusieurs fractions de poudre de granulométrie moyenne ou maximale inférieure ou égale à 150 μm , en particulier inférieure ou égale à 125 μm de diamètre ou d'extension maximale, en particulier de particules dont le diamètre de particule maximal ou moyen se situe dans la plage allant de 15 à 150 μm , ou de préférence de 45 à 125 μm , et
 - purification de la poudre dans un processus de purification au plasma.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la capsule est formée à partir de titane ou d'un alliage de titane.
 4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la capsule est formée à partir d'au moins deux parties de moule qui sont en particulier soudées l'une à l'autre, de préférence sous gaz inerte.
 5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la capsule est formée avec une tolérance par rapport au composant à fabriquer.
 6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'introduction de la poudre s'effectue sous gaz inerte ou sous vide.
 7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la poudre est soumise à un traitement thermique sous vide avant d'être versée dans la capsule ou dans la capsule remplie mais pas encore fermée, en particulier à un traitement thermique à une température située dans la plage allant de 200 °C à 500 °C, de préférence entre 440 °C et 460 °C, et à une pression inférieure ou égale à 10^{-3} mbar, en particulier inférieure ou égale à 10^{-5} mbar.
 8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'**après le traitement thermique, le refroidissement s'effectue à une vitesse de refroidissement située dans la plage allant de 25 °C/min à 35 °C/min, en particulier de 30 °C/min, jusqu'à une température de 120 °C ou moins, en particulier de 100 °C ou moins.
 9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la compacité de la poudre dans la capsule est augmentée, avant ou après la fermeture, par sollicitation mécanique.
 10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le pressage isostatique à chaud s'effectue dans une plage de températures allant de 1 100 °C à 1 400 °C, en particulier de 1 150 °C à 1 300 °C, à une pression située dans la plage allant de 100 à 250 MPa, pendant une durée située dans la plage allant de 2 à 6 heures.
 11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le pressage isostatique à chaud produit un composant à finition immédiate (*net shape*) ou quasi immédiate (*near net shape*).
 12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le retrait de la capsule s'effectue par décapage chimique, usinage électrochimique et/ou usinage mécanique.
 13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le post-traitement du contour s'effectue par usinage mécanique par enlèvement de copeaux, en particulier par fraisage, et/ou par usinage électrochimique.
 14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composant est pourvu de couches fonctionnelles appropriées.
 15. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composant et/ou le matériau à partir duquel le composant est fabriqué est caractérisé, en particulier par diffraction des rayons X.
 16. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'alliage comprend un ou plusieurs constituants choisis dans le groupe incluant les éléments Nb, Mo, W, Co, Cr, V, Zr, Si, C, Er, Gd, Hf, Y et B.
 17. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'alliage inclut, en plus des constituants principaux que sont le Ti et l'Al, les éléments suivants dans les proportions indiquées, et de préférence - en dehors des impuretés inévitables - est formé de ceux-ci :

W	de 0 à 3 % at. et/ou
---	----------------------

EP 2 990 141 B1

(suite)

Si	de 0,2 à 0,35 % at. et/ou	
C	de 0 à 0,6 % at. et/ou	
Zr	de 0 à 6 % at. et/ou	5
Y	de 0 à 0,5 % at. et/ou	
Hf	de 0 à 0,3 % at. et/ou	
Er	de 0 à 0,5 % at. et/ou	
Gd	de 0 à 0,5 % at. et/ou	10
B	de 0 à 0,2 % at. et/ou	
Nb	de 4 à 25 % at. et/ou	
Mo	de 1 à 10 % at. et/ou	
W	de 0,5 à 3 % at. et/ou	
Co	de 0,1 à 10 % at. et/ou	15
Cr	de 0,5 à 3 % at. et/ou	
V	de 0,5 à 10 % at.	
		20
		25
		30
		35
		40
		45
		50
		55

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5424027 A [0006] [0008]
- JP 2008208432 A [0009]
- US 5768679 A [0009]
- JP 2006009062 A [0009]