



(11)

EP 2 227 571 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
02.09.2015 Patentblatt 2015/36

(51) Int Cl.:
C22C 14/00 ^(2006.01) **C22F 1/18** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08841961.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2008/001702

(22) Anmeldetag: **18.10.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/052792 (30.04.2009 Gazette 2009/18)

(54) **WERKSTOFF FÜR EIN GASTURBINENBAUTEIL, VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES GASTURBINENBAUTEILS SOWIE GASTURBINENBAUTEIL**

MATERIAL FOR A GAS TURBINE COMPONENT, METHOD FOR PRODUCING A GAS TURBINE COMPONENT AND GAS TURBINE COMPONENT

MATÉRIAU POUR COMPOSANT DE TURBINE À GAZ, PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN COMPOSANT DE TURBINE À GAZ ET COMPOSANT DE TURBINE À GAZ

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(74) Vertreter: **Hübner, Gerd**
Rau, Schneck & Hübner
Patentanwälte Rechtsanwälte PartGmbB
Königstrasse 2
90402 Nürnberg (DE)

(30) Priorität: **27.10.2007 DE 102007051499**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.09.2010 Patentblatt 2010/37

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 592 189 DE-A1-102004 056 582
US-H- H1 659

(73) Patentinhaber:
• **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)
• **GfE Metalle und Materialien GmbH**
90431 Nürnberg (DE)
• **Montanuniversität Leoben**
8700 Leoben (AT)
• **Böhler Schmiedetechnik GmbH & Co KG**
8605 Kapfenberg (AT)

• **IMAYEV, R. M. ET AL: "Alloy design concepts for refined gamma titanium aluminide based alloys" INTERMETALLICS , 15(4), 451-460 CODEN: IERME5; ISSN: 0966-9795, 29. Januar 2007 (2007-01-29), XP005924292**
• **KOBAYASHI, SATORU ET AL: "Microstructure control using . beta .-titanium phase for wrought gamma TiAl based alloys" GAMMA TITANIUM ALUMINIDES 2003, PROCEEDINGS OF [A] SYMPOSIUM HELD DURING THE TMS ANNUAL MEETING, SAN DIEGO, CA, UNITED STATES, MAR. 2-6, 2003 , 165-175. EDITOR(S): KIM, YOUNG-WON; CLEMENS, HELMUT; ROSENBERGER, ANDREW H . PUBLISHER: MINERALS, META, 2003, XP009110846**

(72) Erfinder:
• **SMARSLY, Wilfried**
81669 München (DE)
• **CLEMENS, Helmut**
A-8700 Leoben (AT)
• **GUETHER, Volker**
90559 Burgthann (DE)
• **KREMMER, Sascha**
A- 8714 Kraubath (AT)
• **OTTO, Andreas**
90574 Rosstal (DE)
• **CHLADIL, Harald**
8793 Trofaiach (AT)

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).

EP 2 227 571 B1

- GUETHER, VOLKER ET AL: "Microstructure and corresponding tensile properties of as-cast, . beta .-solidifying, . gamma .-TiAl based TNM alloys" STRUCTURAL ALUMINIDES FOR ELEVATED TEMPERATURES: GAMMA TITANIUM AND OTHER METALLIC ALUMINIDES, PROCEEDINGS OF [A] SYMPOSIUM HELD DURING [THE] TMS ANNUAL MEETING & EXHIBITION, NEW ORLEANS, LA, UNITED STATES, MAR. 9-13, 2008 , 249-256. EDITOR(S): KIM,, 2008, XP009110850
- IMAEV, R. M. ET AL: "Refining of the microstructure of cast intermetallic alloy Ti - 43% Al - X (Nb, Mo, B) with the help of heat treatment" METAL SCIENCE AND HEAT TREATMENT , 48 (1-2), 81-84 CODEN: MHTRAN; ISSN: 0026-0673, 2006, XP002510776
- H. F. CHLADIL ET AL: "Characterization of a [beta]-Solidified [gamma]-TiAl alloy", BHM BERG- UND HÜTTENMÄNNISCHE MONATSHEFTE, vol. 151, no. 9, 1 September 2006 (2006-09-01), pages 356-361, XP055008248, ISSN: 0005-8912, DOI: 10.1007/BF03165196

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Gasturbinenbauteils nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie ein Gasturbinenbauteil nach Anspruch 4.

[0002] Moderne Gasturbinen, insbesondere Flugtriebwerke, müssen höchsten Ansprüchen im Hinblick auf Zuverlässigkeit, Gewicht, Leistung, Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer gerecht werden. In den letzten Jahrzehnten wurden insbesondere auf dem zivilen Sektor Flugtriebwerke entwickelt, die den obigen Anforderungen voll gerecht werden und ein hohes Maß an technischer Perfektion erreicht haben. Bei der Entwicklung von Flugtriebwerken spielt unter anderem die Werkstoffauswahl, die Suche nach neuen, geeigneten Werkstoffen sowie die Suche nach neuen Fertigungsverfahren eine entscheidende Rolle.

[0003] Die wichtigsten, heutzutage für Flugtriebwerke oder sonstige Gasturbinen verwendeten Werkstoffe sind Titanlegierungen, Nickellegierungen (auch Superlegierungen genannt) und hochfeste Stähle. Die hochfesten Stähle werden für Wellenteile, Getriebeteile, Verdichtergehäuse und Turbinengehäuse verwendet. Titanlegierungen sind typische Werkstoffe für Verdichterteile. Nickellegierungen sind für die heißen Teile des Flugtriebwerks geeignet.

[0004] Als Fertigungsverfahren für Gasturbinenbauteile aus Titanlegierungen, Nickellegierung oder sonstigen Legierungen sind aus dem Stand der Technik in erster Linie das Feingießen sowie Schmieden bekannt. Alle hochbeanspruchten Gasturbinenbauteile, wie zum Beispiel Bauteile für einen Verdichter, sind Schmiedeteile. Bauteile für eine Turbine werden hingegen in der Regel als Feingussteile ausgeführt.

[0005] Die DE 10 2004 056 582 A1 offenbart eine Titan-Aluminium-Basis-Legierung mit den Bestandteilen Aluminium, Niob, Molybdän, Bor und Kohlenstoff. Dieser Druckschrift sind allerdings keine Hinweise über Mikrostrukturen des Werkstoffs im Bereich der Raumtemperatur bzw. der eutektoiden Temperatur entnehmbar. Es sind lediglich Hinweise auf das grundsätzliche Vorhandensein einer α_2 -, γ - und β -Phase enthalten.

[0006] Der Fachartikel von Imayev, R. M. et. al. "Alloy design concepts for refined gamma titanium aluminide based alloys", Intermetallics, 15 (4), 451-460 CODEN: IERME5; ISSN: 0966-9795, 29. Januar 2007 (2007-01-29), XP005924292 offenbart einen Titan-Aluminium-Basis-Legierungswerkstoff mit 44 at% Aluminium, 5 at% Niob, 1 at% Molybdän, 0,2 at% Bor und 0,3 at% Kohlenstoff, Rest Titan. Angaben über den Volumanteil einer β B2-Ti-Phase Bei Raumtemperatur bzw. bei der eutektoiden Temperatur sind dieser Druckschrift nicht entnehmbar.

[0007] Die EP 0 592 189 A1 offenbart einen Werkstoff umfassend zumindest Titan und Aluminium, der sowohl im Bereich der Raumtemperatur als auch im Bereich der eutektoiden Temperatur die Phase β B2, die Phase α_2

und die Phase γ mit einem Anteil der β B2-Phase von weniger als 5 Vol.-% aufweist.

[0008] Auch der Fachartikel von Kobayashi, Satoru et. al.: "Microstructure control using betatitanium phase for wrought gamma TiAl based alloys" Gamma Titanium Aluminides 2003, proceedings of [a] symposium held during the TMS annual meeting, San Diego, CA, United States, Mar. 2-6, 2003, 165-175. Editor(s): Kim, Young-Won; Clemens, Helmut; Rosenberger, Andrew H. Publisher: Minerals, Meta, 2003, XP009110846 offenbart eine Titan-Aluminium-Legierung mit einem Anteil der Phase β B2 von weniger als 5 Vol.-% im Bereich der eutektoiden Temperatur.

[0009] Aus der Praxis ist es bereits bekannt, Gasturbinenbauteile aus Titan-Aluminium-Basis-Legierungswerkstoffen zu fertigen. Dabei kommen insbesondere γ -TiAl-Basis-Legierungswerkstoffe zum Einsatz, wobei das Schmieden solcher γ -TiAl-Basis-Legierungswerkstoffe problematisch ist. Schmiedeteile aus solchen Werkstoffen müssen nach der Praxis durch isothermes Schmieden oder Hot-Die-Schmieden von vorgeformten, wie z. B. stranggepressten, Halbzeugen hergestellt werden. Das isotherme Schmieden sowie das Hot-Die-Schmieden erfordert quasi isotherm-stranggepresstes Vormaterial, wodurch sich hohe Herstellkosten ergeben.

[0010] Es besteht daher ein Bedarf für ein adaptives Schmiedeverfahren unter Verwendung eines Titan-Aluminium-Basis-Legierungswerkstoffes zur Herstellung von Gasturbinenbauteilen. Dieses Verfahren soll eine verbesserte Prozesssicherheit und Prozessstabilität unter reduzierten Herstellkosten gewährleisten.

[0011] Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Verfahren zur Herstellung eines Gasturbinenbauteils sowie ein neuartiges Gasturbinenbauteil zu schaffen.

[0012] Dieses Problem wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 gelöst. Erfindungsgemäß sind folgende Schritte vorgesehen:

a) Bereitstellen eines gegossenen Halbzeugs aus einem Titan-Aluminium-Basis-Legierungswerkstoff, umfassend zumindest Titan und Aluminium, wobei derselbe im Bereich der Raumtemperatur die Phase β B2-Ti, die Phase α_2 -Ti₃Al und die Phase γ -TiAl mit einem Anteil der β B2-Ti-Phase von maximal 5 Vol.-%; im Bereich der eutektoiden Temperatur die Phase β B2-Ti, die Phase α_2 -Ti₃Al und die Phase γ -TiAl mit einem Anteil der β -Ti-Phase von minimal 10 Vol.-% sowie folgende Zusammensetzung aufweist

- 42 bis 45 At.-% Aluminium,
- 3 bis 8 At.-% Niob,
- 0,2 bis 3 At.-% Molybdän und/oder Mangan,
- 0,1 bis 1 At.-% Bor und/oder Kohlenstoff und/oder Silizium
- im Rest Titan, sowie

b) Schmieden des Halbzeugs aus dem Werkstoff

zum Bauteil bei einer Umformtemperatur zwischen T_e-50K und $T_\alpha+100K$, wobei T_e die eutektische Temperatur des Werkstoffs und T_α die Alpha-Transus-Temperatur des Werkstoffs ist.

[0013] Der verwendete Werkstoff, bei welchem es sich um einen γ -TiAl-Basis Legierungswerkstoff handelt, erlaubt ein Schmieden innerhalb eines größeren Temperaturintervalls. Zum Schmieden wird als Vormaterial ein Gussmaterial verwendet, sodass auf teures Strangpressmaterial verzichtet werden kann.

[0014] Das erfindungsgemäße Gasturbinenbauteil ist in Anspruch 4 definiert.

[0015] Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine stark schematisierte Darstellung einer aus einem Titan-Aluminium-Basis-Legierungswerkstoff nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Schaufel einer Gasturbine.

[0016] Die hier vorliegende Erfindung setzt einen Werkstoff auf Basis einer Titan-Aluminium-Legierung ein. Der Werkstoff umfasst sowohl im Bereich der Raumtemperatur als auch im Bereich der sogenannten eutektischen Temperatur mehrere Phasen.

[0017] Im Bereich der Raumtemperatur weist der TiAl-Basis-Legierungswerkstoff die Phase β 2-Ti, die Phase α_2 -Ti₃Al und die Phase γ -TiAl auf, wobei der Anteil der β 2-Ti-Phase bei Raumtemperatur höchstens bzw. maximal 5 Vol.-% beträgt. Im Bereich der eutektischen Temperatur weist der erfindungsgemäße TiAl-Basis-Legierungswerkstoff die Phase β 2-Ti, die Phase α_2 -Ti₃Al und die Phase γ -TiAl auf, wobei der Anteil der β 2-Ti-Phase im Bereich der eutektischen Temperatur mindestens bzw. minimal 10 Vol.-% beträgt.

[0018] Bei dem Werkstoff handelt es sich demnach um einen γ -TiAl-Basis-Legierungswerkstoff. Derselbe kann mit konventionellen Schmiedeverfahren umgeformt werden, und zwar mit einer Schmiedetemperatur innerhalb eines relativ großen Temperaturintervalls. Die Schmiedetemperatur des Werkstoffs liegt zwischen T_e-50K und $T_\alpha+100K$, wobei T_e die eutektische Temperatur des Werkstoffs und T_α die Alpha-Transus-Temperatur des Werkstoffs ist.

[0019] Wenn die Schmiedetemperatur bzw. Umformtemperatur unter T_α liegt, sowie im Bereich der Schmiedetemperatur bzw. Umformtemperatur sowie im Bereich der eutektischen Temperatur und der Raumtemperatur befinden sich die Phasen β 2-Ti, α_2 -Ti₃Al und γ -TiAl im thermodynamischen Gleichgewicht.

[0020] Der Anteil der kubisch raumzentrierten β 2-Ti-Phase im thermodynamischen Gleichgewicht des verwendeten Werkstoffs ist im Bereich der Raumtemperatur

kleiner als 5 Vol.-%. Im Bereich der eutektischen Temperatur ist der Anteil der kubisch raumzentrierten β 2-Ti-Phase größer als 10 Vol.-%.

[0021] Der verwendete γ -TiAl-Basis-Legierungswerkstoff weist neben Titan und Aluminium weiterhin Niob, Molybdän und/oder Mangan sowie Bor und/oder Kohlenstoff und / oder Silizium auf.

[0022] Der Titan-Aluminium-Basis-Legierungswerkstoff weist folgende Zusammensetzung auf:

- 42 bis 45 At.-% Aluminium,
- 3 bis 8 At.-% Niob,
- 0,2 bis 3 At.-% Molybdän und/oder Mangan,
- 0,1 bis 1 At.-% , bevorzugt 0,1 bis 0,5 At.-%, Bor und/oder Kohlenstoff und / oder Silizium,
- im Rest Titan.

[0023] Zur Herstellung eines Gasturbinenbauteils aus dem erfindungsgemäßen Werkstoff wird im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens so vorgegangen, dass zuerst ein Halbzeug bzw. Vormaterial aus dem Werkstoff bereitgestellt wird. Bei dem Halbzeug handelt es sich um ein kostengünstiges, gegossenes Halbzeug

[0024] Anschließend wird im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens das gegossene Halbzeug aus dem erfindungsgemäßen γ -TiAl-Basis-Legierungswerkstoff durch Schmieden umgeformt, nämlich bei einer Umformtemperatur bzw. Schmiedetemperatur, die zwischen T_e-50K und $T_\alpha+100K$ liegt. Dabei wird mit einer Umformgeschwindigkeit von mindestens 1 s^{-1} geschmiedet. In zu bevorzugender Weiterbildung wird das Halbzeug dabei vor dem Schmieden wärmedämmend beschichtet.

[0025] Im Anschluss an das Schmieden erfolgt vorzugsweise eine Wärmebehandlung des herzustellenden Bauteils.

[0026] Dann, wenn gemäß Fig. 1 als Gasturbinenbauteil eine Laufschaufel 10 für einen Verdichter eines Flugtriebwerks hergestellt werden soll, wird beim erfindungsgemäßen Verfahren vorzugsweise so vorgegangen, dass im Bereich eines Schaufelblatts 11 zur Bereitstellung einer gröberen Mikrostruktur mit hoher Kriechfestigkeit einfach geschmiedet und im Bereich eines Schaufelfußes 12 zur Bereitstellung einer feineren Mikrostruktur mit hoher Duktilität mehrfach geschmiedet wird, wobei sich an das einfache Schmieden sowie an das mehrfache Schmieden vorzugsweise eine Wärmebehandlung anschließt.

[0027] Erfindungsgemäße Gasturbinenbauteile sind mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens aus dem angegebenen Werkstoff gefertigt. Vorzugsweise handelt es sich bei den erfindungsgemäßen Gasturbinenbauteilen um Verdichterbauteile, so z. B. um Laufschaufeln eines Verdichters eines Flugtriebwerks, oder um Turbinenbauteile

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Gasturbinenbauteils mit folgenden Schritten;

a) Bereitstellen eines gegossenen Halbzeugs aus einem Titan-Aluminium-Basis-Legierungswerkstoff, umfassend zumindest Titan und Aluminium, wobei

- derselbe im Bereich der Raumtemperatur die Phase β B2-Ti, die Phase α_2 -Ti₃Al und die Phase γ -TiAl mit einem Anteil der β /B2-Ti-Phase von maximal 5 Vol.-% aufweist,
- derselbe im Bereich der eutektoiden Temperatur die Phase β /B2-Ti, die Phase α_2 -Ti₃Al und die Phase γ -TiAl mit einem Anteil der β B2-Ti-Phase von minimal 10 Vol.-% aufweist, und
- derselbe folgende Zusammensetzung aufweist:

- 42 bis 45 At.-% Aluminium,
- 3 bis 8 At.-% Niob,
- 0,2 bis 3 At.-% Molybdän und/oder Mangan,
- 0,1 bis 1 At.-% Bor und/oder Kohlenstoff und / oder Silizium
- im Rest Titan, sowie

b) Schmieden des Halbzeugs aus dem Werkstoff zum Bauteil bei einer Umformtemperatur zwischen T_e -50K und T_a +100K, wobei T_e die eutektoide Temperatur des Werkstoffs und T_a die Alpha-Transus-Temperatur des Werkstoffs ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit einer Umformgeschwindigkeit von mindestens 1 s⁻¹ geschmiedet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Anschluss an das Schmieden eine Wärmebehandlung erfolgt.

4. Gasturbinenbauteil, hergestellt durch ein Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3.

5. Gasturbinenbauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** dasselbe eine Schaufel ist, die im Bereich eines Schaufelblatts zur Bereitstellung einer gröberen Mikrostruktur mit hoher Kriechfestigkeit einfach geschmiedet ist, und die im Bereich eines Schaufelfußes zur Bereitstellung einer feineren Mikrostruktur mit hoher Duktilität mehrfach geschmiedet ist.

Claims

1. Method for producing a gas turbine component, the method comprising the following steps:

a) providing a cast semi-finished product made of a titanium aluminium base alloy material, the material comprising at least titanium and aluminium, wherein

- in the range of room temperature, said material contains the β /B2-Ti phase, the α_2 -Ti₃Al phase and the γ -TiAl phase, with a proportion of the β /B2-Ti phase amounting to no more than 5 vol%,
- in the range of the eutectoid temperature, said material contains the β /B2-Ti phase, the α_2 -Ti₃Al phase and the γ -TiAl phase, with a proportion of the β /B2-Ti phase amounting to at least 10 vol%, and
- the material has the following composition:

- 42 to 45 at% of aluminium,
- 3 to 8 at% of niobium,
- 0.2 to 3 at% of molybdenum and/or manganese,
- 0.1 to 1 at% of boron and/or carbon and/or silicon
- a rest of titanium, and

b) forging the semi-finished product made of said material to obtain the component at a forming temperature of between T_e -50K and T_a +100K, with T_e being the eutectoid temperature of the material and T_a being the alpha transus temperature of the material.

2. Method according to claim 1, **characterised in that** forging is carried out at a forming speed of at least 1s⁻¹.

3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** a heat treatment is carried out after forging.

4. Gas turbine component, produced by a method according to one or more of claims 1 to 3.

5. Gas turbine component according to claim 4, **characterised in that** said gas turbine component is a blade which is single-forged in the region of a blade vane to provide a coarser microstructure having a high creep resistance, and which is multi-forged in the region of a blade root to provide a finer microstructure having a high ductility.

Revendications

la réalisation d'une microstructure plus fine avec une ductilité élevée.

1. Procédé de fabrication d'un composant de turbine à gaz avec les étapes suivantes :
 - a) mise à disposition d'un produit semi-fini en fonte d'un matériau d'alliage à base de titane et d'aluminium, comprenant au moins du titane et de l'aluminium, dans lequel
 - celui-ci comporte la phase β /B2-Ti, la phase α_2 -Ti₃Al et la phase γ -TiAl, avec une proportion de phase β /B2-Ti d'au maximum 5 % en volume dans la plage de température ambiante,
 - celui-ci comporte la phase β /B2-Ti, la phase α_2 -Ti₃Al et la phase γ -TiAl, avec une proportion de phase β /B2-Ti d'au minimum 10 % en volume dans la plage de température eutectoïde, et
 - celui-ci présente la composition suivante :
 - 42 à 45 % d'atomes d'aluminium,
 - 3 à 8 % d'atomes de niobium,
 - 0,2 à 3 % d'atomes de molybdène et/ou de manganèse,
 - 0,1 à 1 % d'atomes de bore et/ou de carbone et/ou de silicium,
 - en complément du titane, ainsi que
 - b) le forgeage du produit semi-fini à partir du matériau pour en faire un composant à une température de formage entre $T_e - 50$ K et $T_\alpha + 100$ K, où la température eutectoïde du matériau et T_α sont la température de la transition alpha du matériau.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le forgeage est effectué avec une vitesse de formage d'au moins 1 s^{-1} .
3. Procédé selon les revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**à la suite du forgeage il y a un traitement thermique.
4. Composant de turbine à gaz, fabriqué par un procédé selon l'une ou plusieurs parmi les revendications 1 à 3.
5. Composant de turbine à gaz selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** celui-ci est une aube qui est soumise à un forgeage simple dans la zone de la pale de l'aube pour la réalisation d'une microstructure plus grossière avec une résistance au fluage élevée et qui est soumise à un forgeage multiple dans la zone du pied d'aube pour



Fig. 1

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

- DE 102004056582 A1 [0005]
- EP 0592189 A1 [0007]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **VONIMAYEV, R. M.** Alloy design concepts for refined gamma titanium aluminide based alloys. *Intermetallics*, 29. Januar 2007, vol. 15 (4), ISSN 0966-9795, 451-460 [0006]
- Microstructure control using betatitanium phase for wrought gamma TiAl based alloys. **VON KOBAYASHI, SATORU.** Gamma Titanium Aluminides 2003, proceedings of [a] symposium held during the TMS annual meeting, San Diego, CA, United States. Minerals, Meta, 02. März 2003 [0008]