(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 706 516 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.09.2016 Patentblatt 2016/39

(21) Anmeldenummer: **04802982.1**

(22) Anmeldetag: **22.12.2004**

(51) Int Cl.:
C22C 14/00 *(2006.01)* ***C22C 1/02*** *(2006.01)*
C22C 1/03 *(2006.01)* ***C22F 1/18*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2004/002801

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2005/071128 (04.08.2005 Gazette 2005/31)

(54) **VERFAHREN ZUM HERSTELLEN VON GUSSBAUTEILEN**

METHOD FOR THE PRODUCTION OF CAST COMPONENTS

PROCEDE POUR PRODUIRE DES PIECES COULEES

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **21.01.2004 DE 102004002956**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.10.2006 Patentblatt 2006/40

(73) Patentinhaber: **G4T GmbH**
96231 Bad Staffelstein (DE)

(72) Erfinder:
- **RENKEL, Manfred**
  96231 Bad Staffelstein (DE)
- **SMARSLY, Wilfried**
  81669 München (DE)

(74) Vertreter: **Dr. Gassner & Partner mbB**
Marie-Curie-Str. 1
91052 Erlangen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 634 496 US-A- 5 429 796

- **PYO-CHUN PARK, CHANG-WOO CHOI, CHUN-PYO HONG: "A Study on the Melting and Casting of TiAl Intermetallic Compound by VIM Process" JOURNAL OF THE KOREAN INSTITUTE OF METALLURGY AND MATERIALS, Bd. 29, Nr. 6, 1991, Seiten 562-569, XP008056446 Seoul**

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 1 706 516 B1

Beschreibung

[0001] Die hier vorliegende Erfindung betrifft die Herstellung von Bauteilen, insbesondere die Herstellung von Gasturbinenbauteilen, mithilfe eines Gießverfahrens. Beim Gießen werden Formen, sogenannte Gussformen, verwendet, wobei die Gussformen eine Innenkontur aufweisen, die der Außenkontur des herzustellenden Bauteils entspricht. Prinzipiell unterscheidet man bei Gießverfahren solche, die mit verlorenen Gussformen oder Dauergussformen arbeiten. Bei Gießverfahren, die mit verlorenen Gussformen arbeiten, kann mit einer Gussform immer nur ein Bauteil hergestellt werden. Bei Gießverfahren, die mit Dauergussformen arbeiten, können die Gussformen mehrfach verwendet werden. Zu den Gießverfahren, die mit verlorenen Gussformen arbeiten, zählt unter anderem das sogenannte Feingießen. Bei den Gießverfahren, die mit Dauergussformen arbeiten, sei hier exemplarisch auf das Kokillengießen verwiesen.

[0002] Zur Herstellung eines Bauteils mithilfe des Gießens wird so vorgegangen, dass ein Werkstoff, aus welchem das herzustellende Bauteil gefertigt werden soll, in einem Schmelztiegel geschmolzen wird, und der geschmolzene Werkstoff in die Gussform eingefüllt wird. Beim Schmelzen des Werkstoffs wird dabei nach dem Stand der Technik so vorgegangen, dass alle an der Bildung des Werkstoffs beteiligten Elemente bzw. Verbindungen gleichzeitig geschmolzen werden. Dabei tritt das Problem auf, dass volatile Elemente, wie zum Beispiel Mangan oder Aluminium, verdampfen können, was einen Verlust dieser Elemente darstellt. Die Einhaltung der gewünschten Zusammensetzung des Werkstoffs für das durch Gießen herzustellende Bauteil ist nach dem Stand der Technik demnach nur unter hohen Materialverlusten zu erreichen.

[0003] US5429796 offenbart ein Verfahren zur Herstellung der Bauteilen aus intermetallischen Titan-Aluminium -Werkstoff, insbesondere Gasturbinenbauteilen. Das Ti-Al Material ist geschmolzen in einem Schmelztiegel. Die TiAl Schmelze enthält (in Atom%) von 40% bis ungefähr 52% Ti, von 44% bis ungefähr 52% Al und eins oder mehr von Cr, C, Ga, Mo, Mn, Nb, Ni, Si, Ta, V und W, jedes in einer Menge von ungefähr 0.05% bis ungefähr 8%. Borid dispersoide wird in der Schmelze in einer Menge von mindestens ungefähr 0.5 Volumen % der Schmelze gegeben. Die Schmelze wird in einer Gussform vergiesst Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Verfahren zum Herstellen eines Gussbauteils zu schaffen.

[0004] Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass das eingangs genannte Verfahren durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 weitergebildet ist. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst zumindest die folgenden Schritte: a) Bereitstellen eines Schmelztiegels und mindestens eines Halbzeugs aus einem intermetallischen Titan-Aluminium-Werkstoff; b) Schmelzen des oder jedes Halbzeugs aus dem intermetallischen Titan-Aluminium-Werkstoff in dem Schmelztiegel; c) Einbringen mindestens eines zusätzlichen Elements oder einer zusätzlichen Verbindung in die Schmelze, wobei das oder jedes Element bzw. die oder jede Verbindung abhängig von deren Schmelztemperatur in die Schmelze eingebracht wird; d) Bereitstellen einer Gussform; e) Einfüllen der Schmelze in die Gussform; f) Erstarren der Schmelze in der Gussform; g) Herauslösen des Gussbauteils aus der Gussform.

[0005] Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Nachfolgend wird das hier vorliegende Verfahren zum Herstellen von Gussbauteilen, insbesondere von Gasturbinengussbauteilen, in größerem Detail beschrieben.

[0006] In einem ersten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Schmelztiegel sowie ein Halbzeug aus einem intermetallischen Titan-Aluminium-Werkstoff bereitgestellt. Bei dem Halbzeug aus dem intermetallischen Titan-Aluminium-Werkstoff kann es sich zum Beispiel um ein Ti45Al-Halbzeug oder auch um ein Ti55Al-Halbzeug handeln, je nachdem, welcher Titananteil im Werkstoff des herzustellenden Gussbauteils erwünscht ist. Der Schmelztiegel kann ein Graphittiegel oder auch ein Kaltwandtiegel sein.

[0007] Das oder jedes Halbzeug wird in einem zweiten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens im Schmelztiegel geschmolzen. Zum Schmelzen des oder jeden Halbzeugs wird der Schmelztiegel induktiv erwärmt.

[0008] Nach dem Erwärmen der Schmelze aus dem aufgeschmolzenen Titan-Aluminium-Halbzeug werden zusätzliche Elemente bzw. zusätzliche Verbindungen in die Schmelze eingebracht. Dabei werden zuerst refraktäre Elemente oder Verbindung, anschließend volatile Elemente oder Verbindungen und gegebenenfalls anschließend Feinstoffe in die Schmelze eingebracht. Bei den refraktären, zusätzlichen Elementen oder Verbindungen kann es sich um Wolfram, Tantal oder Niob handeln. Weiterhin kann als refraktäres Zusatzelement Titan beigemischt werden, was insbesondere dann erfolgt, wenn der Titananteil des Werkstoffs noch erhöht werden soll. Nachdem die refraktären Elemente in die Schmelze eingebracht wurden, können volatile Elemente, wie zum Beispiel Mangan, in die Schmelze eingebracht werden. Abschließend können noch Feinstoffe, wie zum Beispiel Titanborid oder Titandiborid, in die Schmelze eingebracht werden. Die zusätzlichen Elemente bzw. Verbindungen werden demzufolge abhängig von deren Schmelztemperaturen in die Schmelze eingebracht, wobei zuerst solche Elemente bzw. Verbindungen eingebracht werden, die einen hohen Schmelzpunkt haben. Die Elemente bzw. Verbindungen mit einem niedrigen Schmelzpunkt werden zum Schluss in die Schmelze eingebracht. Die obigen Elemente können als Reinmetalle oder Legierungen in die Schmelze eingebracht werden.

[0009] Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung werden die Elemente bzw. Verbindungen in definierten Dosierungen bzw. Mengen in die Schmelze eingebracht.

Dabei wird im Sinne der Erfindung so vorgegangen, dass die jeweilige Dosierung bzw. Menge des einzubringenden Elements bzw. der einzubringen Verbindung derart bemessen ist, dass ausgehend von einer vor dem Einbringen herrschenden Temperatur der Schmelze (zum Beispiel 1600°C) die Temperatur der Schmelze nach dem Einbringen des Elements bzw. der Verbindung stets größer als 1550°C ist und weiterhin die vor dem Einbringen herrschende Temperatur nach maximal 15 Minuten wieder erreicht wird. Hierdurch wird gewährleistet, dass während des Einbringens der zusätzlichen Elemente bzw. Verbindungen in die Schmelze dieselbe nur geringen Temperaturschwankungen unterliegt.

[0010] Weiterhin sind im Sinne der hier vorliegenden Erfindung die jeweilige Dosierung bzw. Menge der einzubringenden Elemente bzw. Verbindungen derart bemessen, dass bei einer Elementdichte bzw. Verbindungsdichte von größer als 6°g/cm^3 die einzubringende Dosierung bzw. Menge ein maximales Gewicht von 250 g aufweist. Liegt hingegen die Element-dichte bzw. Verbindungsdichte unterhalb von 6°g/cm^3, so beträgt das Gewicht der einzubringenden Dosierung bzw. Menge des Elements bzw. der Verbindung maximal 50 g. Auch hierdurch wird erreicht, dass die Schmelze während dem Einbringen der zusätzlichen Elemente bzw. Verbindungen nur geringen Schwankungen ausgesetzt ist.

[0011] Wie bereits erwähnt, wird das Halbzeug aus dem intermetallischen Titan-Aluminium-Werkstoff, in welchen die zusätzlichen Elemente bzw. Verbindungen eingebracht werden, im Schmelztiegel auf induktivem Wege erwärmt bzw. erhitzt. Das Einbringen der zusätzlichen Elemente bzw. Verbindungen erfolgt in-situ während des Schmelzvorgangs, also während der induktiven Erwärmung. Das induktive Erwärmungssystem erzeugt innerhalb der Schmelze ein chaotisches Strömungsfeld, sodass ein partielles Legieren und Homogenisieren mit den volatilen und/oder refraktären Elementen oder Verbindungen realisiert werden kann.

[0012] Das induktive System induziert in der Schmelze Wirbelströme und sorgt für eine Strömung innerhalb der Schmelze. Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird das oder jedes Element bzw. die oder jede Verbindung in einer definierten, strömungsoptimierten Geometrie in die Schmelze eingebracht. Unter strömungsoptimierter Geometrie ist hierbei zu verstehen, dass die strömungsoptimierte Geometrie einen guten Transport des oder jeden Elements bzw. der oder jeder Verbindung innerhalb der Schmelze ermöglicht. Hierzu werden die zusätzlichen Elemente bzw. Verbindungen als flächige Elemente bzw. scheibenförmige Elemente in die Schmelze eingebracht. Hierdurch wird gewährleistet, dass sich die in die Schmelze einzubringenden, zusätzlichen Elemente bzw. Verbindungen innerhalb der Schmelze fein verteilen.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine kostengünstige Herstellung von Gussbauteilen für Gasturbinen. Es kann eine hohe chemische Homogenität der Gussbauteile auf Basis intermetallischer Phasen realisiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Gussbauteils, insbesondere eines Gasturbinenbauteils, mit folgenden Schritten:

   a) Bereitstellen eines Schmelztiegels und mindestens eines Halbzeugs aus einem intermetallischen Titan-Aluminium-Werkstoff;
   b) Schmelzen des oder jeden Halbzeugs aus dem intermetallischen Titan-Aluminium-Werkstoff in dem Schmelztiegel;
   c) Einbringen mehrerer zusätzlicher Elemente oder zusätzlicher Verbindungen abhängig von deren Schmelztemperatur zeitlich hintereinander in die Schmelze, wobei zuerst zumindest ein Element bzw. eine Verbindung mit einem hohen und nachfolgend zumindest ein weiteres Element bzw. eine weitere Verbindung mit einem niedrigeren Schmelzpunkt in die Schmelze eingebracht werden,
   d) Bereitstellen einer Gussform;
   e) Einfüllen der Schmelze in die Gussform;
   f) Erstarren der Schmelze in der Gussform; und
   g) Herauslösen des Gussbauteils aus der Gussform.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zuerst refraktäre zusätzliche Elemente oder Verbindungen, anschließend volatile zusätzliche Elemente oder Verbindungen und gegebenenfalls anschließend Feinstoffe in die Schmelze eingebracht werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als refraktäre zusätzliche Elemente Wolfram, Tantal, Niob und gegebenenfalls Titan oder Legierungen dieser Elemente in die Schmelze eingebracht werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als volatiles zusätzliches Element Mangan oder eine Legierung dieses Elements in die Schmelze eingebracht wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Feinstoff Titanborid in die Schmelze eingebracht wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder jedes Element bzw. die oder jede Verbindung in einer derart bemessenen Menge in die Schmelze eingebracht wird, dass ausgehend von einer vor dem

Einbringen herrschenden Temperatur der Schmelze die Temperatur nach dem Einbringen stets größer als 1550°C ist und die vor dem Einbringen herrschende Temperatur nach maximal 15 Minuten wieder erreicht wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder jedes zusätzliche Element bzw. die oder jede zusätzliche Verbindung in einer Menge in die Schmelze eingebracht wird, welche bei einer Element- bzw. Verbindungsdichte von größer als 6 g/cm^3 ein maximales Gewicht von 250 g aufweist.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder jedes zusätzliche Element bzw. die oder jede zusätzliche Verbindung in einer Menge in die Schmelze eingebracht wird, welche bei einer Element- bzw. Verbindungsdichte von kleiner als 6 g/cm^3 ein maximales Gewicht von 50 g aufweist.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder jedes zusätzliche Element bzw. die oder jede zusätzliche Verbindung in einer strömungsoptimierten Geometrie in die Schmelze eingebracht wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oder jedes Element bzw. die oder jede Verbindung eine flächige oder scheibenförmige Geometrie aufweist.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Schmelzvorgangs eine induktive Erwärmung bzw. Erhitzung des Schmelztiegels und damit des oder jeden im Schmelztiegel zu schmelzenden Halbzeugs, Elements sowie der oder jeder Verbindung erfolgt.

Claims

1. Method for the production of a cast component, in particular a gas turbine component, with the following steps:

a) Provision of a melting crucible and at least one semi-finished product made of an intermetallic titanium-aluminum material;
b) Melting of the semi-finished product or each semi-finished product made of the intermetallic titanium-aluminum material in the melting crucible;
c) Adding of a plurality of additional elements or additional compounds to the molten mass in successively in time depending on their melting temperature, wherein at least one element and/or one compound with a high melting point is added to the molten mass first, followed by at least one further element and/or one further compound with a lower melting point,
d) Provision of a casting mold;
e) Pouring the molten mass into the casting mold;
f) Hardening of the molten mass in the casting mold; and
g) Removal of the cast component from the casting mold.

2. Method according to claim 1, **characterized in that** refractory additional elements or compounds are added first to the molten mass, followed by volatile additional elements or compounds and, and then, if necessary, fine materials.

3. Method according to claim 2 **characterized in that** the elements tungsten, tantalum, niobium and, if necessary, titanium or alloys of these elements are added as refractory additional elements to the molten mass.

4. Method according to claim 2 or 3 **characterized in that** manganese or an alloy of this element is added as volatile additional element to the molten mass.

5. Method according to one or more of claims 2 to 4 **characterized in that** titanium boride is added as fine material to the molten mass.

6. Method according to one or more of claims 1 to 5 **characterized in that** the element or each element and/or the compound or each component is added to the molten mass in an amount such that, assuming a molten mass temperature prior to the addition, the temperature is always greater than 1550° C after the addition, and the temperature before the addition will be reached again after a maximum of 15 minutes.

7. Method according to one or more of claims 1 to 6 **characterized in that** the additional element or each additional element and/or the additional compound or each additional compound is added to the molten mass in an amount which has a maximum weight of 250 g at an element and/or compound density of greater than 6 g/cm^3.

8. Method according to one or more of claims 1 to 7 **characterized in that** the additional element or each additional element and/or the additional compound or each additional compound is added to the molten mass in an amount which has a maximum weight of 50 g at an element and/or compound density of less than 6 g/cm^3.

9. Method according to one or more of claims 1 to 8 **characterized in that** the additional element or each additional element and/or the additional compound or each additional compound is added to the molten mass in a flow-optimized geometry.

10. Method according to claim 9 **characterized in that** the additional element or each additional element and/or the additional compound or each additional compound has a flat or a disk-shaped geometry.

11. Method according to one or more of claims 1 to 10, **characterized in that**, during the melting process, the melting crucible is inductively warmed up and/or heated and with this also the semi-finished product or each semi-finished product and the element or each element, as well as the compound or each compound to be melted in the melting crucible.

Revendications

1. Procédé de production d'un composant coulé, en particulier d'un composant de turbine à gaz, consistant en les étapes suivantes:

   a) préparation d'un creuset et au moins d'un demi-produit à partir d'un matériau titane-aluminium intermétallique;
   b) fusion du ou de chaque demi-produit à partir du matériau titane-aluminium intermétallique dans le creuset;
   c) charge de plusieurs éléments additionnels ou de composés additionnels en fonction de leur température de fusion successivement dans le temps dans la masse fondue, en ce que d'abord au moins un élément ou un composé présentant un point de fusion élevé et consécutivement au moins un autre élément ou un autre composé présentant un point de fusion plus bas est chargé dans la masse fondue;
   d) préparation d'un moule de coulée;
   e) introduction de la masse fondue dans le moule de coulée;
   f) solidification de la masse fondue dans le moule de coulée; et
   g) extraction du composant coulé du moule de coulée.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** d'abord des éléments ou composés additionnels réfractaires, puis des éléments ou composés additionnels volatils et, le cas échéant, finalement des substances fines sont chargés dans la masse fondue.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** du tungstène, tantale, niobium et, le cas échéant, du titane ou des alliages de ces éléments sont chargés comme éléments additionnels réfractaires dans la masse fondue.

4. Procédé selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** du manganèse ou un alliage de cet élément est chargé comme élément additionnel volatil dans la masse fondue.

5. Procédé selon l'une ou plusieurs des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce que** du diborure de titane est chargé comme substance fine dans la masse fondue.

6. Procédé selon l'une ou plusieurs des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le ou chaque élément ou bien le ou chaque composé est chargé dans la masse fondue dans une telle quantité mesurée que, à partir d'une température de la masse fondue régnant avant la charge, la température après la charge est toujours supérieure à 1550 °C et la température régnant avant la charge est de nouveau atteinte au maximum après 15 minutes.

7. Procédé selon l'une ou plusieurs des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le ou chaque élément additionnel ou bien le ou chaque composé additionnel est chargé dans la masse fondue dans une quantité qui présente un poids maximal de 250 g pour une masse volumique d'élément ou de composé supérieure à 6 g/cm^3.

8. Procédé selon l'une ou plusieurs des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le ou chaque élément additionnel ou bien le ou chaque composé additionnel est chargé dans la masse fondue dans une quantité qui présente un poids maximal de 50 g pour une masse volumique d'élément ou de composé inférieure à 6 g/cm^3.

9. Procédé selon l'une ou plusieurs des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le ou chaque élément additionnel ou bien le ou chaque composé additionnel est chargé dans la masse fondue selon une géométrie d'écoulement optimisée.

10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le ou chaque élément ou bien le ou chaque composé présente une géométrie plane ou en forme de disque.

11. Procédé selon l'une ou plusieurs des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce qu'**un chauffage par induction ou réchauffage du creuset et ainsi du ou de chaque demi-produit à fondre dans le creuset, de l'élément ainsi que du ou de chaque composé s'effectue durant l'opération de fusion.

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 5429796 A **[0003]**