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

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 513 407 B1**

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift: **19.07.95**

(51) Int. Cl.[6]: **F01D 5/28**, C22F 1/18, C22C 14/00

(21) Anmeldenummer: **91107707.1**

(22) Anmeldetag: **13.05.91**

(54) **Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel.**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.11.92 Patentblatt 92/47

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.07.95 Patentblatt 95/29

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI NL SE

(56) Entgegenhaltungen:
FR-A- 2 136 170
GB-A- 696 715
US-A- 4 746 374
US-A- 4 820 360

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 145 (M-224)(1290) 24. Juni 1983 & JP-A-58 057 005

(73) Patentinhaber: **ASEA BROWN BOVERI AG**
Haselstrasse 16
CH-5401 Baden (CH)

(72) Erfinder: **Nazmy, Mohamed, Dr.**
Zelglistrasse 30
CH-5442 Fislisbach (CH)
Erfinder: **Staubli, Markus**
Haushalde 9
CH-5605 Dottikon (CH)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 0 513 407 B1

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einem Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel, enthaltend einen Schaufelblatt, Schaufelfuss und gegebenenfalls Schaufeldeckband aufweisenden Gusskörper aus einer Legierung auf der Basis eines dotierstoffhaltigen gamma-Titanaluminids.

STAND DER TECHNIK

Gamma-Titanaluminide haben Eigenschaften, welche deren Einsatz als Werkstoff für hohen Temperaturen ausgesetzte Turbinenschaufeln begünstigen. Dazu gehört unter anderem ihre gegenüber üblicherweise verwendeten Superlegierungen niedrige Dichte, die beispielsweise bei Ni-Superlegierungen mehr als doppelt so gross ist.

Aus G. Sauthoff, "Intermetallische Phasen", Werkstoffe zwischen Metall und Keramik, Magazin neue Werkstoffe 1/89, S. 15-19 sind Turbinenschaufeln aus mit Niob dotiertem gamma-Titanaluminid bekannt. Solche Schaufeln weisen eine hohe Warmfestigkeit auf, jedoch ist deren Duktilität bei Raumtemperatur gering, so dass an biegebeanspruchten Teilen Beschädigungen nicht mit Sicherheit auszuschliessen sind.

In FR-A-2 136 170 ist ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel, bestehend aus einem ein Schaufelblatt und einen Schaufelfuss aufweisenden Gusskörper aus einer Aluminium oder Titan enthaltenden Legierung, beschrieben. Bei diesem Verfahren wird zunächst eine Schmelze der Legierung in eine Präzisionsgussform abgegossen. Die Gussform wird sodann mit ihrem oberhalb des Schaufelfusses gelegenen Teil in einen induktiv beheizbaren Graphitbehälter gebracht. Der oberhalb des Schaufelfusses gelegene Teil des in der Gussform befindlichen Gusskörpers wird sodann induktiv aufgeschmolzen und durch langsames Wegführen des Graphitbehälters zur Schaufelspitze hin gerichtet erstarrt. Hierbei bilden sich im Schaufelblatt parallel zur Schaufellängsachse ausgerichtete Kristalle, welche dem Schaufelblatt eine hohe Zug- und Zeitstandfestigkeit verleihen. Der Schaufelfuss besteht hingegen aus nichtgerichtetem, duktilem Legierungsmaterial. Zur Herstellung einer thermisch und mechanisch hoch belastbaren Turbinenschaufel aus dotierstoffhaltigem gamma-Titanaluminid ist dieses Verfahren nicht geeignet.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Der Erfindung, wie sie in den Patentansprüchen angegeben ist, liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem in einfacher und in einer für eine Serienfertigung geeigneten Weise eine aus dotiertem gamma-Titanaluminid bestehende Turbinenschaufel hoher thermischer und mechanischer Belastbarkeit und hoher Zeitstandfestigkeit hergestellt werden kann.

Das Verfahren nach der Erfindung liefert eine thermisch und mechanisch hoch belastbare Turbinenschaufel, welche sich auch bei Biegebelastung durch eine hohe Lebensdauer auszeichnet. Dies wird dadurch ermöglicht, dass die unterschiedlich beanspruchten Teile der Turbinenschaufel unterschiedlich spezifizierte Modifikationen des als Werkstoff verwendeten dotierten gamma-Titanaluminids aufweisen. Hierbei erweist es sich fertigungstechnisch von besonderem Vorteil, dass die Turbinenschaufel lediglich aus einem preisgünstig herzustellenden, einstückigen Gusskörper herausgeformt wird. Zudem kann dieses Verfahren durch den Einsatz gängiger Mittel, wie Giessformen, Öfen, Fressen und mechanische und elektrochemische Bearbeitungsvorrichtungen, in einfacher Weise für eine Serienfertigung ausgebildet werden.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung und die damit erzielbaren Vorteile werden nachfolgend anhand einer Zeichnung näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

In der einzigen Figur ist ein geglühter, heissisostatisch gepresster, warmverformter und wärmebehandelter Gusskörper dargestellt, aus dem durch Materialabheben eine nach dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellte Turbinenschaufel herausgearbeitet wurde.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Der in der Figur dargestellte geglühte, heissisostatisch gepresste, warmverformte und wärmebehandelte Gusskörper weist die wesentlichen Material-und Formeigenschaften der nach dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellten Turbinenschaufel auf. Er enthält ein langgestrecktes Schaufelblatt 1, einen am einen Ende des Schaufelblattes 1 angeformten Schaufelfuss 2 sowie ein am entgegengesetzten Ende des Schaufelblattes angeformtes Schaufeldeckband 3. Aus diesem Gusskörper wird durch geringfügige materialabhebende Bearbeitung die Turbinenschaufel hergestellt. Die materialabhebende Bearbeitung besteht im wesentlichen in einer Anpassung der Abmessungen des Gusskörpers an die erwünschten Abmessungen der Turbinenschaufel. Beim Schaufelfuss 2 und beim Schaufeldeckband 3 erfolgt dies mit Vorteil durch Schleifen und Polieren. Hierbei können zugleich

auch die in der Figur gestrichelt dargestellten tannenbaumartig angeordneten Befestigungsnuten 4 des Schaufelfusses 2 gebildet werden. Das Schaufelblatt wird vorzugsweise durch elektrochemische Bearbeitung an die erwünschte Schaufelblattform angepasst.

Der in der Figur dargestellte Gusskörper besteht im wesentlichen aus einer Legierung auf der Basis eines dotierstoffhaltigen gamma-Titanaluminids. Zumindest in Teilen des Schaufelblattes 1 liegt diese Legierung in Form eines Werkstoffs mit grobkörniger Struktur und mit einem zu hoher Zug- und Zeitstandfestigkeit führendem Gefüge vor. Zumindest in Teilen des Schaufelfusses 2 und des Schaufeldeckbandes 3 liegt die Legierung in Form eines Werkstoffs mit feinkörniger Struktur und mit einer gegenüber dem im Schaufelblatt 1 befindlichen Werkstoff erhöhten Duktilität vor. Hierdurch wird eine hohe Lebensdauer des Schaufelblattes erreicht. Dies ist zum einen dadurch bedingt, dass das bei Betrieb der Turbine auf hohen Temperaturen befindliche Schaufelblatt aufgrund seiner grobkörnigen Struktur und seines Gefüges eine gute Zug- und Zeitstandfestigkeit aufweist, wohingegen seine bei tiefen Temperaturen vorhandene geringe Duktilität ohne Bedeutung ist. Zum anderen ist dies auch dadurch bedingt, dass sich bei Betrieb der Turbine der Schaufelfuss und das Schaufeldeckband auf vergleichsweise tiefen Temperaturen befinden und dann aufgrund ihrer feinkörnigen Struktur und ihres Gefüges eine verglichen mit dem im Schaufelblatt vorgesehenen Material eine hohe Duktilität aufweisen. Vom Schaufelfuss und vom Schaufeldeckband können so über einen grossen Zeitraum vergleichsweise grosse Torsions- und Biegekräfte aufgenommen werden, ohne dass Spannungsrisse gebildet werden.

Die Turbinenschaufel nach der Erfindung lässt sich mit Vorteil bei mittleren und hohen Temperaturen, d. h. bei Temperaturen zwischen 200 und 1000 °C, insbesondere in Gasturbinen und in Verdichtern, einsetzen. Je nach Ausführungsform der Gasturbine oder des Verdichters kann hierbei das Schaufeldeckblatt 3 vorhanden sein oder entfallen.

Der Gusskörper gemäss der Figur wird wie folgt hergestellt: Unter Schutzgas, wie etwa Argon, oder unter Vakuum wird in einem Induktionsofen folgende Legierung auf der Basis eines gamma-Titanaluminids mit Chrom als Dotierstoff erschmolzen:

Al = 48 At.-%
Cr = 3 At.-%
Ti = Rest.

Andere geeignete Legierungen sind gamma-Titanaluminide in denen als Dotierstoff mindestens eines oder mehrere der Elemente B, Co, Cr, Ge, Hf, Mn, Mo, Nb, Pd, Si, Ta, V, Y, W sowie Zr enthalten sind. Die Menge an zugesetztem Dotierstoff beträgt vorzugsweise 0,5 bis 8 Atomprozent.

Die Schmelze wird in einer der herzustellenden Turbinenschaufel entsprechenden Gussform abgegossen. Der gebildete Gusskörper kann hierauf mit Vorteil zu Zwecken seiner Homogenisierung bei ca. 1100 °C während beispielsweise 10h in Argonatmosphäre geglüht und auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Sodann werden Gusshaut und Zunderschicht entfernt, indem beispielsweise eine Oberflächenschicht von ca. 1 mm Dicke auf mechanischem oder chemischem Wege abgetragen wird. Der entzunderte Gusskörper wird in eine passende Kapsel aus weichem Kohlenstoffstahl eingeschoben und letztere gasdicht verschweisst. Der eingekapselte Gusskörper wird nun bei einer Temperatur von 1260 °C während 3 h unter einem Druck von 120 MPa heiss-isostatisch gepresst und abgekühlt.

Das Glühen der Legierung sollte je nach Zusammensetzung bei Temperaturen zwischen 1000 und 1100 °C während mindestens einer halben und während höchstens dreissig Stunden durchgeführt werden. Entsprechendes gilt für das heiss-isostatische Pressen, welches mit Vorteil bei Temperaturen zwischen 1200 und 1300 °C und einem Druck zwischen 100 und 150 MPa mindestens eine und höchstens fünf Stunden lang durchgeführt werden sollte.

Anschliessend erfolgt ein ein- bis mehrmaliges isothermes Warmverformen des dem Schaufelfuss 2 und/oder dem Schaufeldeckband 3 entsprechenden Teils des geglühten und heiss-isostatisch gepressten Gusskörpers unter Bildung des Werkstoffs mit feinkörniger Struktur und eine Wärmebehandlung zumindest des dem Schaufelblatt 1 entsprechenden Teils des geglühten und heiss-isostatisch gepressten Gusskörpers vor oder nach dem isothermen Warmverformen unter Bildung des Werkstoffs mit grobkörniger Struktur.

Hierbei können mit Vorteil zwei Wege beschritten werden. Beim Beschreiten des ersten Weges wird der geglühte und heiss-isostatisch gepresste Gusskörper vor dem isothermen Warmverformen unter Bildung des Werkstoffs mit grobkörniger Struktur wärmebehandelt, wohingegen beim Beschreiten des zweiten Weges der das Schaufelblatt umfassende Teil des geglühten und heiss-isostatisch gepressten Gusskörpers nach dem isothermen Warmverformen unter Bildung des Werkstoffs mit grobkörniger Struktur wärmebehandelt wird.Es hat sich als zweckmässig erwiesen, vor dem isothermen Warmverformen den geglühten und heiss-isostatisch gepressten Gusskörper mit einer Geschwindigkeit zwischen 10 und 50 °C/min auf die zum Warmverformen benötigte Temperatur zu erwärmen.

Beim Beschreiten des ersten Weges wird der Gusskörper auf eine Temperatur von 1200 bis 1400 °C aufgeheizt und je nach Aufheiztemperatur

und Legierungszusammensetzung zwischen 0,5 und 25h wärmebehandelt. Beim Abkühlen kann eine weitere 1 bis 5h dauernde Wärmebehandlung durchgeführt werden. Nach der Wärmebehandlung weist der Gusskörper grobkörnige Struktur und ein zu hoher Zug- und Zeitstandfestigkeit führendes Gefüge auf. Der wärmebehandelte Gusskörper wird auf 1100 °C erwärmt und auf dieser Temperatur gehalten. Sodann werden der Schaufelfuss 2 und/oder das Schaufeldeckband 3 bei 1100 °C isotherm geschmiedet. Das verwendete Werkzeug ist vorzugsweise eine Schmiedepresse, bestehend etwa aus einer Molybdänlegierung mit dem Handelsnamen TZM mit folgender Zusammensetzung:

Ti = 0,5 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
C = 0,02 Gew.-%
Mo = Rest

Die Fliessgrenze des zu schmiedenden Werkstoffs beträgt ca. 260 MPa bei 1100 °C . Die Umformung wird durch Stauchen bis zu einer Verformung ϵ = 1,3 erreicht, wobei

$$\epsilon = \ln \frac{h_o}{h}$$

mit

h_o = ursprüngliche Höhe des Werkstücks und
h = Höhe des Werkstücks nach Umformung

bedeuten. Die lineare Verformungsgeschwindigkeit (Stempelgeschwindigkeit der Schmiedepresse) beträgt bei Beginn des Schmiedeprozesses 0,1 mm/s. Der Anfangsdruck der Schmiedepresse liegt bei ca. 300 MPa.

In Abhängigkeit von der Legierungszusammemsetzung kann die Warmverformung bei Temperaturen zwischen zwischen 1050 und 1200 °C mit einer zwischen $5 \cdot 10^{-5} s^{-1}$ und $10^{-2} s^{-1}$ gelegenen Verformungsgeschwindigkeit bis zu einer Verformung ϵ = 1,6 durchgeführt werden. Hierbei können mit Vorteil die warmzuverformenden Teile, wie der Schaufelfuss 2 und gegebenenfalls auch das Schaufeldeckband 3, in der Schmiedepresse durch Stauchen in mindestens zwei quer zur Längsachse der Turbinenschaufel verlaufenden Richtungen zunächst geknetet und dann zur Endform fertiggepresst werden. Die fertiggepressten Teile weisen feinkörnige Struktur mit einer gegenüber dem im Schaufelblatt befindlichen Werkstoff erhöhten Duktilität auf. Bei der wie vorstehend beschrieben hergestellten Turbinenschaufel liegen die Zugfestigkeit bzw. die Duktilität des Werkstoffs im Schaufelblatt 1 bei 390 MPa bzw. bei 0,3% und im Schaufelfuss 2 sowie im Schaufeldeckband 3 bei 370 MPa bzw. 1,3%.

Beim Beschreiten des zweiten Weges wird der Gusskörper beispielsweise mit einer Aufheizgeschwindigkeit von 10 bis 50 °C/min auf 1100 °C erwärmt und auf dieser Temperatur gehalten. Sodann werden der Schaufelfuss 2 und/oder das Schaufeldeckband 3 bei 1100 °C entsprechend dem zuvor beschriebenen Verfahren isotherm geschmiedet. Die fertiggeschmiedeten Teile weisen ebenfalls feinkörnige Struktur mit einer gegenüber dem im Schaufelblatt 1 befindlichen Werkstoff erhöhten Duktilität auf.

Mittels einer um das Schaufelblatt 1 angebrachten Induktionsspule wird das Schaufelblatt sodann auf eine Temperatur von 12oo bis 1400 °C aufgeheizt und je nach Aufheiztemperatur und Legierungszusammensetzung zwischen 0,5 und 25h wärmebehandelt. Beim Abkühlen kann eine weitere 1 bis 5h dauernde Wärmebehandlung durchgeführt werden. Nach der Wärmebehandlung weist das Schaufelblatt überwiegend grobkörnige Struktur und ein zu hoher Zug- und Zeitstandfestigkeit führendes Gefüge auf. Bei einer solchermassen hergestellten Turbinenschaufel weisen Zugfestigkeit und Duktilität des Werkstoffs im Schaufelblatt 1 bzw. im Schaufelfuss 2 sowie im Schaufeldeckband 3 nahezu die gleichen Werte auf wie bei der nach dem zuvor beschriebenen Verfahren hergestellten Turbinenschaufel.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel, enthaltend einen Schaufelblatt (1), Schaufelfuss (2) und gegebenenfalls Schaufeldeckband (3) aufweisenden Gusskörper aus einer Legierung auf der Basis eines dotierstoffhaltigen gamma-Titanaluminids, dadurch gekennzeichnet, dass folgende Verfahrensschritten durchgeführt werden:
   - Erschmelzen der Legierung,
   - Vergiessen der Schmelze zu einem Gusskörper von der Form der Turbinenschaufel,
   - Heiss-isostatisches Pressen des Gusskörpers,
   - Ein- bis mehrmaliges isothermes Warmverformen des dem Schaufelfuss (2) und/oder dem Schaufeldeckband (3) entsprechenden Teils des heiss-isostatisch gepressten Gusskörpers unter Bildung eines Werkstoffs mit feinkörniger Struktur und mit einer gegenüber dem im Schaufelblatt (1) befindlichen Werkstoff erhöhten Duktilität,
   - Wärmebehandeln zumindest des dem Schaufelblatt (1) entsprechenden Teils des heiss-isostatisch gepressten Guss-

körpers vor oder nach dem isothermen Warmverformen unter Bildung eines Werkstoffs mit grobkörniger Struktur und mit einem zu hoher Zug- und Zeitstandfestigkeit führendem Gefüge, und
- Materialabhebendes Bearbeiten des heiss-isostatisch gepressten, warmverformten und wärmebehandelten Gusskörpers zur Turbinenschaufel.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Dotierstoff mindestens eines oder mehrere der Elemente B, Co, Cr, Ge, Hf, Mn, Mo, Nb, Pd, Si, Ta, V, Y, W sowie Zr in der Legierung verwendet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung mindestens 0,5 und höchstens 8 Atomprozent Dotierstoff aufweist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der heiss-isostatisch gepresste Gusskörper vor dem isothermen Warmverformen unter Bildung des Werkstoffs mit grobkörniger Struktur wärmebehandelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der das Schaufelblatt (1) umfassende Teil des heiss-isostatisch gepressten Gusskörpers nach dem isothermen Warmverformen unter Bildung des Werkstoffs mit grobkörniger Struktur wärmebehandelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmebehandlung mit einer Induktionsspule ausgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmebehandlung zwischen 1200 und 1400 °C durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass nachfolgend eine weitere Wärmebehandlung zwischen 800 und 1000 °C durchgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Warmverformen zwischen 1050 und 1200 °C mit einer zwischen $5 \cdot 10^{-5} s^{-1}$ und $10^{-2} s^{-1}$ gelegenen Verformungsgeschwindigkeit bis zu einer Verformung $\epsilon = 1{,}6$ durchgeführt wird, wobei

$$\epsilon = \ln \frac{h_o}{h}$$

h_o = ursprüngliche Höhe des Werkstücks und
h = Höhe des Werkstücks nach Umformung bedeuten.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Warmverformen in einer Schmiedepresse durchgeführt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die warmzuverformenden Teile in der Schmiedepresse durch Stauchen in mindestens zwei quer zur Längsachse der Turbinenschaufel verlaufenden Richtungen zunächst geknetet und dann zur Endform fertiggepresst werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der heiss-isostatisch gepresste Gusskörper vor dem isothermen Warmverformen auf Raumtemperatur abgekühlt und nachfolgend mit einer Geschwindigkeit zwischen 10 und 50 °C/min auf die beim Warmverformen eingestellte Temperatur erwärmt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Gusskörper vor dem Warmverformen und dem Wärmebehandeln bei Temperaturen zwischen 1000 und 1100 °C homogenisiert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das heiss-isostatische Pressen bei Temperaturen zwischen 1200 und 1300 °C und einem Druck zwischen 100 und 150 MPa durchgeführt wird.

Claims

1. Process for producing a turbine blade containing a casting having a blade leaf (1), blade foot (2) and, if appropriate, blade cover strip (3) and composed of an alloy based on a dopant-containing gamma-titanium aluminide, characterized in that the following process steps are carried out:
- melting of the alloy,
- pouring of the melt to form a casting in the form of the turbine blade,
- hot-isostatic pressing of the casting,
- once-only to repeated isothermal hot forming of the part of the hot-isostatically

pressed casting corresponding to the blade foot (2) and/or to the blade cover strip (3) to form a material of fine-grained structure and with a ductility increased in relation to the material contained in the blade leaf (1),

- heat treatment at least of the part of the hot-isostatically pressed casting corresponding to the blade leaf (1) before or after the isothermal hot forming to form a material of coarse-grained structure and with a texture resulting in high tensile and creep strength, and
- material-removing machining of the hot-isostatically pressed, hot-formed and heat-treated casting to form the turbine blade.

2. Process according to Claim 1, characterized in that at least one or more of the elements B, Co, Cr, Ge, Hf, Mn, Mo, Nb, Pd, Si, Ta, V, Y, W and Zr are used as dopant in the alloy.

3. Process according to Claim 2, characterized in that the alloy has at least 0.5 and at most 8 atomic per cent of dopant.

4. Process according to one of Claims 1 to 3, characterized in that the hot-isostatically pressed casting is heat-treated before the isothermal hot forming to form the material of coarse-grained structure.

5. Process according to one of Claims 1 to 3, characterized in that the part of the hot-isostatically pressed casting comprising the blade leaf (1) is heat-treated after the isothermal hot forming to form the material of coarse-grained structure.

6. Process according to Claim 5, characterized in that the heat treatment is carried out by means of an induction coil.

7. Process according to Claims 1 to 6, characterized in that the heat treatment is carried out at between 1200 and 1400 °C.

8. Process according to Claim 8, characterized in that a further heat treatment at between 800 and 1000 °C is subsequently carried out.

9. Process according to one of Claims 1 to 8, characterized in that the hot forming is carried out at between 1050 and 1200 °C with a deformation rate of between $5 \cdot 10^{-5} s^{-1}$ and $10^{-2} s^{-1}$, up to a deformation $\epsilon = 1.6$, in which

$$\epsilon = \ln \frac{h_o}{h}$$

h_o = original height of the workpiece and
h = height of the workpiece after forming.

10. Process according to Claim 9, characterized in that the hot forming is carried out in a forging press.

11. Process according to Claim 10, characterized in that the parts to be hot-formed are first kneaded in the forging press by upsetting in at least two directions transverse to the longitudinal axis of the turbine blade and are then finish-pressed to the final form.

12. Process according to one of Claims 1 to 11, characterized in that, before the isothermal hot forming, the hot-isostatically pressed casting is cooled to room temperature and is subsequently heated at a speed of between 10 and 50 °C/min to the temperature set during the hot forming.

13. Process according to one of Claims 1 to 12, characterized in that the casting is homogenized at temperatures of between 1000 and 1100 °C before the hot forming and the heat treatment.

14. Process according to one of Claims 1 to 13, characterized in that the hot-isostatic pressing is carried out at temperatures of between 1200 and 1300 °C and under a pressure of between 100 and 150 MPa.

Revendications

1. Procédé pour la fabrication d'une aube de turbine, comprenant un corps moulé comportant une pale (1), un pied d'aube (2) et éventuellement une bande de recouvrement de l'aube (3), en un alliage à base d'un aluminiure de titane-gamma contenant des matières de dopage, caractérisé en ce que l'on effectue les opérations suivantes :

- fusion de l'alliage,
- coulée du bain fondu en un corps moulé à la forme de l'aube de turbine,
- compression isostatique à chaud du corps moulé,
- déformation à chaud isotherme, unique ou répétée, de la partie du corps moulé

comprimé isostatiquement à chaud correspondant au pied de l'aube (2) et/ou à la bande de recouvrement de l'aube (3) avec formation d'une matière ayant une texture à grain fin et une ductilité accrue par rapport à la matière se trouvant dans la pale (1),

- traitement thermique au moins de la partie du corps moulé comprimé isostatiquement à chaud correspondant à la pale (1), avant ou après la déformation à chaud isotherme, avec formation d'une matière ayant une texture à gros grain et une structure conduisant à une haute résistance à la traction et au fluage, et
- usinage par enlèvement de matière du corps moulé comprimé isostatiquement à chaud, déformé à chaud et traité thermiquement, en une aube de turbine.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'on utilise dans l'alliage, comme matière de dopage, au moins un ou plusieurs des éléments B, Co, Cr, Ge, Hf, Mn, Mo, Nb, Pd, Si, Ta, V, Y, W ainsi que Zr.

3. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce que l'alliage présente au moins 0,5 et au plus 8 pour-cent atomiques de matière de dopage.

4. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le corps moulé comprimé isostatiquement à chaud est traité thermiquement avant la déformation à chaud isotherme, avec formation de la matière ayant une texture à gros grain.

5. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la partie du corps moulé comprimé isostatiquement à chaud comprenant la pale (1) est traitée thermiquement après la déformation à chaud isotherme, avec formation de la matière ayant une texture à gros grain.

6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que le traitement thermique est effectué avec une bobine d'induction.

7. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le traitement thermique est effectué entre 1200 et 1400 °C.

8. Procédé suivant la revendication 7, caractérisé en ce qu'un traitement thermique supplémentaire est effectué ultérieurement entre 800 et 1000 °C.

9. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la déformation à chaud est effectuée entre 1050 et 1200 °C avec une vitesse de déformation comprise entre $5 \cdot 10^{-5}$ s^{-1} et 10^{-2} s^{-1} jusqu'à un taux de déformation $\epsilon = 1{,}6$, avec

$$\epsilon = \ln \frac{h_o}{h}$$

où

h_0 = hauteur initiale de la pièce, et

h = hauteur de la pièce après formage.

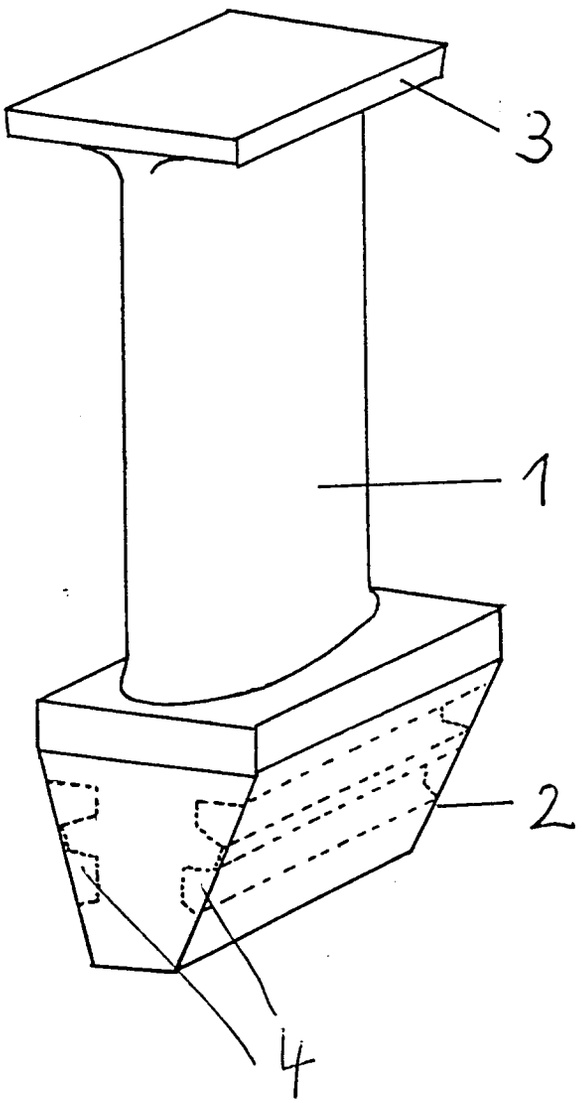
10. Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce que la déformation à chaud est effectuée dans une presse de forge.

11. Procédé suivant la revendication 10, caractérisé en ce que les parties à déformer à chaud sont d'abord corroyées dans la presse de forge par refoulement dans au moins deux directions orientées transversalement à l'axe longitudinal de l'aube de turbine et sont ensuite forgées à leur forme finale.

12. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le corps moulé comprimé isostatiquement à chaud est refroidi à la température ambiante avant la déformation à chaud isotherme et est ensuite chauffé à la température réglée pour la déformation à chaud avec une vitesse comprise entre 10 et 50 °C/min.

13. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que le corps moulé est homogénéisé à des températures comprises entre 1000 et 1100 °C avant la déformation à chaud et le traitement thermique.

14. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que la compression isostatique à chaud est effectuée à des températures comprises entre 1200 et 1300 °C et sous une pression comprise entre 100 et 150 MPa.


3
1
2
4