

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 513 407 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **91107707.1**

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

(22) Anmeldetag: **13.05.91**

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

(71) Anmelder: **ASEA BROWN BOVERI AG**

CH-5401 Baden(CH)

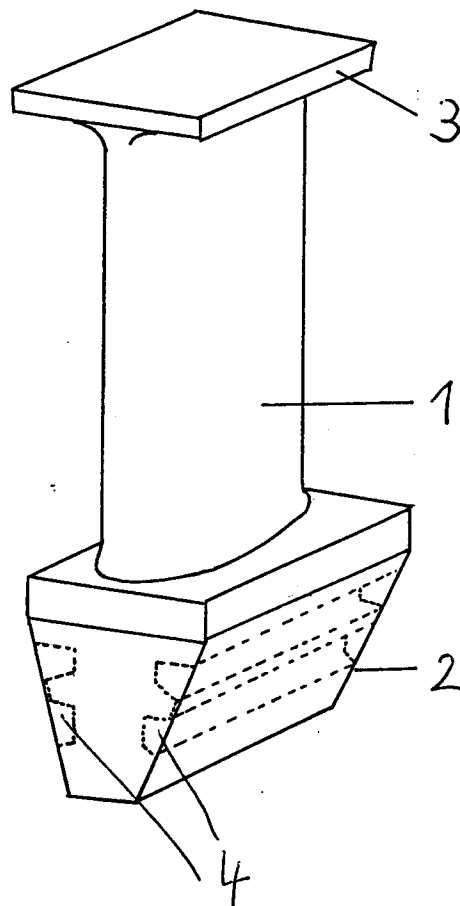
(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI NL SE

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

(54) **Turbinenschaufel und Verfahren zur Herstellung dieser Turbinenschaufel.**

(57) Turbinenschaufel bestehend aus einem Schaufelblatt (1), Schaufelfuss (2) und gegebenenfalls Schaufeldeckband (3) aufweisenden Gusskörper aus einer Legierung auf der Basis eines dotierstoffhaltigen gamma-Titanaluminids.

Zumindest in Teilen des Schaufelblattes (1) hat der Werkstoff eine grobkörnige Struktur mit einem zu hoher Zug- und Zeitstandfestigkeit führendem Gefüge. In Teilen des Schaufelfusses (2) und/oder des gegebenenfalls vorgesehenen Schaufeldeckbandes (3) hat der Werkstoff eine feinkörnige Struktur mit einer gegenüber dem im Schaufelblatt (1) befindlichen Werkstoff erhöhten Duktilität.



EP 0 513 407 A1

TECHNISCHES GEBIET

Bei der Erfindung wird ausgegangen von einer Turbinenschaufel, enthaltend einen Schaufelblatt, Schaufelfuss und gegebenenfalls Schaufeldeckband aufweisenden Gusskörper aus einer Legierung auf der Basis eines dotierstoffhaltigen gamma-Titanaluminids. Die Erfindung geht ferner aus von einem Verfahren, um eine solche Turbinenschaufel herzustellen.

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 ist eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art bekannt. Der Werkstoff dieser Turbinenschaufel weist eine vergleichsweise hohe Warmfestigkeit auf, jedoch ist die Duktilität dieses Werkstoffs bei Raumtemperatur vergleichsweise gering, so dass an biegebeanspruchten Teilen der Turbinenschaufel Beschädigungen nicht mit Sicherheit auszuschliessen sind.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Der Erfindung, wie sie in den Patentansprüchen 1 und 4 angegeben ist, liegt die Aufgabe zugrunde, eine Turbinenschaufel der eingangs genannten Art anzugeben, welche sich bei Einsatz in einer bei mittleren und hohen Temperaturen betriebenen Turbine durch eine hohe Lebensdauer auszeichnet, und gleichzeitig einen Weg zu weisen, der es ermöglicht, eine solche Turbinenschaufel in einfacher und für eine Massenfertigung geeigneten Weise herzustellen.

Die Turbinenschaufel nach der Erfindung zeichnet sich gegenüber vergleichbaren Turbinenschaufeln nach dem Stand der Technik selbst bei hoher, insbesondere auf Biegung erfolgender, Beanspruchung durch eine hohe Lebensdauer aus. Dies ist dadurch ermöglicht, dass die unterschiedlich beanspruchten Teile der Turbinenschaufel unterschiedlich spezifizierte Modifikationen des als Werkstoff verwendeten 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, Pressen und

mechanische und elektrochemische Bearbeitungsvorrichtungen, in einfacher Weise für eine Massenfertigung 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 materialabhebende Bearbeitung die Turbinenschaufel nach der Erfindung hergestellt wird.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Der in der Figur dargestellte geglühte, heissisostatisch gepresste, warmverformte und wärmebehandelte Gusskörper weist die wesentlichen Material- und Formeigenschaften der Turbinenschaufel nach der Erfindung 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 nach der Erfindung 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 grob-

körnigen 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 entzunderete 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 $\epsilon = 1,3$ erreicht, wobei

$$\epsilon = \ln \frac{h_0}{h} \quad \text{mit}$$

h_0 = 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 Legierungszusammensetzung kann die Warmverformung bei Temperaturen zwischen 1050 und 1200 °C mit einer zwischen $5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ und 10^{-2} s^{-1} gelegenen Verformungsgeschwindigkeit bis zu einer Verformung $\epsilon = 1,6$ 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.

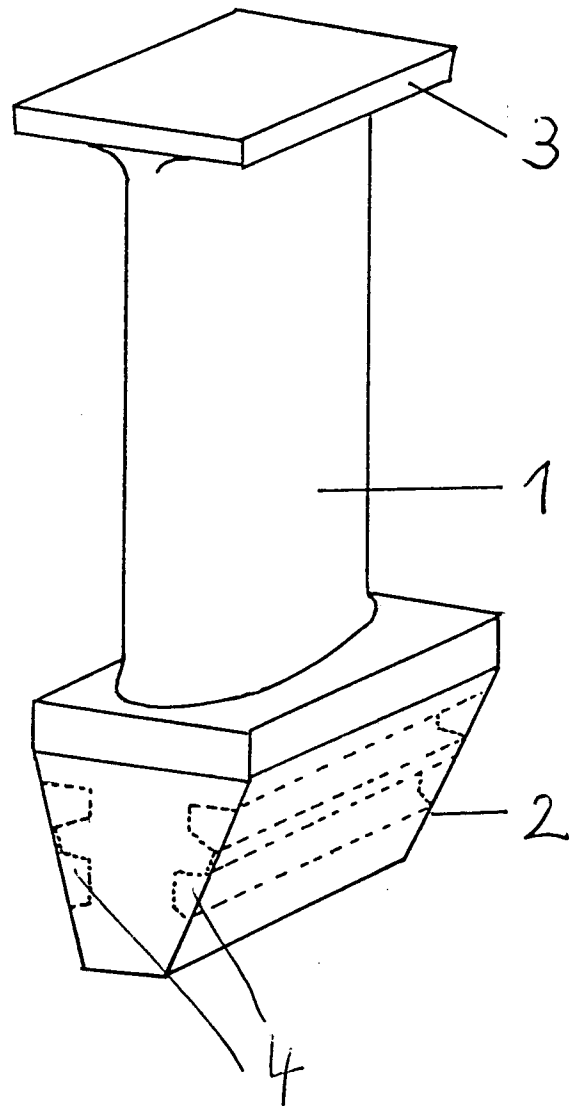
Mittels einer um das Schaufelblatt 1 angebrachten Induktionsspule wird das Schaufelblatt sodann auf eine Temperatur von 1200 bis 1400 °C aufgeheizt und je nach Aufheiztemperatur und Legierungszusammensetzung zwischen 0,5 und 25h wärmebehandelt. Beim Abkühlen kann eine weitere 1 bis 5h dauernde Wärmebehandlung durchgeführt werden. Nach der Wärmebehandlung weist 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. 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 die Legierung zumindest in Teilen des Schaufelblattes (1) in Form eines Werkstoff mit grobkörniger Struktur und mit einem zu hoher Zug- und Zeitstandfestigkeit führendem Gefüge vorliegt und zumindest in Teilen des Schaufelfusses (2) und/oder des gegebenenfalls vorgesehenen Schaufeldeckbandes (3) in Form eines Werkstoffs mit feinkörniger Struktur und mit einer gegenüber dem im Schaufelblatt (1) befindlichen Werkstoff erhöhten Duktilität.
2. Turbinenschaufel 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 enthalten sind.
3. Turbinenschaufel nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierung mindestens 0,5 und höchstens 8 Atomprozent Dotierstoff aufweist.
4. Verfahren zur Herstellung der Turbinenschaufel nach Patentanspruch 1, 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 des Werkstoffs mit feinkörniger Struktur,
 - Wärmebehandeln zumindest des dem Schaufelblatt (1) entsprechenden Teils des heiss-isostatisch gepressten Gusskörpers vor oder nach dem isothermen Warmverformen unter Bildung des Werkstoffs mit grobkörniger Struktur, und

- Materialabhebendes Bearbeiten des heiss-isostatisch gepressten, warmverformten und wärmebehandelten Gusskörpers zur Turbinenschaufel.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der heiss-isostatisch gepresste Gusskörper vor dem isothermen Warmverformen unter Bildung des Werkstoffs mit grobkörniger Struktur wärmebehandelt wird. 5 10
6. Verfahren nach Anspruch 4, 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. 15
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmebehandlung mit einer Induktionsspule ausgeführt wird. 20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Wärmebehandlung zwischen 1200 und 1400 °C durchgeführt wird. 25
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass nachfolgend eine weitere Wärmebehandlung zwischen 800 und 1000 °C durchgeführt wird. 30
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Warmverformen zwischen 1050 und 1200 °C mit einer zwischen $5 \cdot 10^{-5} \text{s}^{-1}$ und 10^{-2}s^{-1} gelegenen Verformungsgeschwindigkeit bis zu einer Verformung $\epsilon = 1,6$ durchgeführt wird, wobei
- $$\epsilon = \ln \frac{h_0}{h}$$
- 40
- h_0 = ursprüngliche Höhe des Werkstücks und
 h = Höhe des Werkstücks nach Umformung bedeuten. 45
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Warmverformen in einer Schmiedepresse durchgeführt wird. 50
12. Verfahren nach Anspruch 11, 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.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 12, 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.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Gusskörper vor dem Warmverformen und dem Wärmebehandeln bei Temperaturen zwischen 1000 und 1100 °C homogenisiert wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das heiss-isostatische Pressen bei Temperaturen zwischen 1200 und 1300 °C und einem Druck zwischen 100 und 150 MPa durchgeführt wird.





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 91 10 7707

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
Y	FR-A-2 136 170 (BBC)	1	F01D5/28
A	* das ganze Dokument *	7	C22F1/18
	---		C22C14/00
Y	US-A-4 820 360 (EYLON)	1	
A	* das ganze Dokument *	4	

A	US-A-4 746 374 (FROES)	1-4	
	* das ganze Dokument *		

A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 7, no. 145 (M-224)(1290) 24. Juni 1983 & JP-A-58 057 005 (HITACHI) 5. April 1983 * Zusammenfassung *	1	

A	GB-A-696 715 (METRO - CUTANIT)		

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			F01D C22F C22C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 09 DEZEMBER 1991	Prüfer IVERUS D.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument I : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			