

(19)



(11)

**EP 1 215 366 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**18.05.2011 Patentblatt 2011/20**

(51) Int Cl.:  
**F01D 5/28** (2006.01)      **B22F 3/00** (2006.01)  
**B22F 5/04** (2006.01)      **C22C 33/02** (2006.01)  
**C22C 38/00** (2006.01)      **C22C 38/42** (2006.01)  
**C22C 38/60** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **01890337.7**

(22) Anmeldetag: **12.12.2001**

(54) **Turbinenschaufel**

Turbine blade  
 Aube de turbine

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**SI**

- Winkelmeier, Rupert  
8605 Kapfenberg (AT)
- Schirninger, Günter  
8652 Kindberg (AT)
- Stromberger, Michael, Dipl. Ing.  
8600 Bruck/Mur (AT)

(30) Priorität: **15.12.2000 AT 209600**

(74) Vertreter: **Wildhack & Jellinek**  
**Patentanwälte**  
**Landstraßer Hauptstraße 50**  
**1030 Wien (AT)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**19.06.2002 Patentblatt 2002/25**

(73) Patentinhaber: **BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG**  
**8605 Kapfenberg (AT)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-B- 1 238 676 GB-A- 718 382**  
**GB-A- 1 379 608 US-A- 4 329 175**

- (72) Erfinder:
- Hackl, Gerhard  
8605 Kapfenberg (AT)
  - Saller, Gabriele  
8700 Leoben (AT)
  - Huber, Raimund  
8605 Kapfenberg (AT)

- DATABASE WPI Section Ch, Week 198405  
Derwent Publications Ltd., London, GB; Class M27, AN 1984-026946 XP002292794 & JP 58 217664 A (TOKYO SHIBAURA DENKI KK) 17. Dezember 1983 (1983-12-17)

**EP 1 215 366 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

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinenschaufel für Dampf- oder Gasturbinen sowie Verdichter, welche Schaufel aus Vormaterial durch spanabhebende Bearbeitung erstellt und thermisch behandelt oder vergütet wird.

**[0002]** Turbinenschaufeln mit einer für den jeweiligen Einsatz in den Turbinen und Verdichtern erforderlichen Form können nach dem Gesenkschmiede- Verfahren durch spanende Bearbeitung aus einem Knüppel oder durch ein Schmieden auf Rohform mit einer anschließenden Spanabnahme erstellt werden. Dabei wird das Vormaterial aus in Formen erstarrten Legierungen durch Schmieden und/oder Walzen hergestellt und gegebenenfalls für die Weiterverarbeitung wärmebehandelt. Es ist bekannt, Gußblöcke, Stranggußblosses oder Umschmelzblöcke für die Vormaterialherstellung zu verwenden.

**[0003]** Zur Erhöhung des Wirkungsgrades werden Turbinen mit hohen Dampfeintrittstemperaturen von bis zu 600°C und darüber und geringen Spalten zwischen Umlenk- und Laufschaufeln gebaut, so dass der Güte und den Eigenschaften des Schaufelwerkstoffes besonderer Stellenwert zukommt. Außerordentlich wichtig ist es dabei, dass bei einer Erwärmung auf den Betriebszustand der Turbine und in der Folge beim Lastlauf die Schaufeln "stehen", also sich nicht verbiegen und dass insbesondere bei den Laufschaufeln kein Kriechen des Werkstoffes bei der hohen Betriebstemperatur und einer dergleichen Zentrifugalbelastung eintritt. Turbinen für zweiphasige Generatoren weisen eine Umdrehungszahl von 3000 bzw. 3600 min<sup>-1</sup> auf, was bei hohen Leistungen derselben beträchtlicher Beanspruchungen der Laufschaufeln erbringt.

**[0004]** Die nach dem eingangs beschriebenen Verfahren hergestellten Turbinenschaufeln weisen jedoch über den Querschnitt und gegebenenfalls in Achs- bzw. Längsrichtung Seigerungen auf, die von der Blockerstarrung herrühren. Bei einer Warmumformung und Wärmebehandlung werden diese Inhomogenitäten zwar gestreckt und teilweise durch Diffusion vermindert, eine vollkommene Materialhomogenität kann jedoch nicht erreicht werden. Auch bei einer Verwendung von Umschmelzblöcken wie Elektro-Schlacke-Umschmelz- oder Vakuum-Umschmelz-Blöcken ist zumeist keine vollständige Isotropie des Legierungwerkstoffes erreichbar.

**[0005]** Weist nun eine Turbinenschaufel Anisotropie mit über den Querschnitt exzentrisch verlaufenden Seigerungen auf, so kann es bei der Erwärmung und/oder Belastung derselben zum Auswandern der Schaufelenden aus der vorgesehenen Position kommen, was vom Turbinenhersteller zu berücksichtigen ist. Beispielsweise kann ein verstärktes Seigerungsbild durch die Magnetpulvermethode offengelegt werden.

**[0006]** Im Turbinenbau werden im Hinblick auf eine hohe Verfügbarkeit und Sicherheit der Wärmekraftmaschinen Turbinenschaufeln gefordert, die einerseits höchstmögliche Materialhomogenität besitzen und andererseits eine geringe Kriechneigung des Werkstoffes bei Betriebstemperatur aufweisen. Die Erfindung setzt sich das Ziel, Turbinenschaufeln zu schaffen, die an den Strömungsflächen spanabhebend bearbeitet sind und obige Forderungen erfüllen.

**[0007]** Dieses Ziel wird dadurch erreicht, dass eine Turbinenschaufel mit den Werkstoffeigenschaften bei Raumtemperatur:

Zugfestigkeit:  $R_m =$  mindestens 700 N/mm<sup>2</sup>  
 Dehngrenze:  $R_{0,2} =$  mindestens 550 N/mm<sup>2</sup>  
 Dehnung:  $A =$  mindestens 15 %  
 Einschnürung:  $Z =$  mindestens 10%

für Dampfturbinen oder Gasturbinen sowie Verdichter, gebildet aus einem pulvermetallurgisch (PM), bei Pulverisierung einer Schmelze durch Gasverdüstung mittels Stickstoffes und heißisostatischen Pressens (HIP) des Pulvers, hergestelltem Vormaterial, welches spanabhebend bearbeitet und die derart erstellte Turbinenschaufel thermisch behandelt oder vergütet ist.

**[0008]** Die mit der Erfindung erzielten Vorteile liegen im wesentlichen darin, dass ein, nach dem pulvermetallurgischen (PM)- Verfahren hergestelltes Vormaterial im wesentlichen seigerungsfrei ist und eine hohe Werkstoffhomogenität der daraus gefertigten Turbinenschaufel sicherstellt. Auch bei einem hohen Verformungsgrad bzw. einer großen Längsstreckung des Materials bleibt die Homogenität, insbesondere über den Querschnitt erhalten, wodurch keine Tendenz einer Verbiegung der freien Schaufelenden gegeben ist.

**[0009]** Bei der Pulverherstellung ist es erfindungswesentlich, dass diese durch eine Gasverdüstung mittels Stickstoffes erfolgt, weil ein an der Oberfläche der Pulverkörner mit einem Durchmesser von weniger als 0,2 mm anlagernder, erhöhter Stickstoffgehalt durch Diffusion bei den Temperaturen, die beim heißisostatischen Pressen zur Anwendung kommen, gleichmäßig wird. Ein Verdichten des Metallpulvers erfolgt in bekannter Weise in einem Behälter, wobei die Resthohlräume vor einem HIP-en evakuiert oder mit Stickstoff gefüllt werden.

**[0010]** Es war durchaus überraschend für den Fachmann, dass im Vergleich mit der Herstellung nach dem Stand der Technik eine PM-Fertigung eine derart wesentliche Gütesteigerung der Turbinenschaufel bewirkt. Einerseits treten bei einer thermischen Behandlung oder beim Vergüten des Werkstoffes keine oder nur geringe Formänderungen der PM-Schaufel auf, was ein sogenanntes Richten weitgehend unnötig macht und Richtspannungen vermeidet, anderer-

## EP 1 215 366 B1

seits kann die wesentlich verbesserte Schaufelgüte im Turbinenbau genutzt und die Betriebssicherheit der Wärmekraftmaschine erhöht werden.

**[0011]** Wenn, wie gemäß einer Weiterbildung der Erfindung, das Vormaterial nach dem heißisostatischen Pressen (HIP-en), vorzugsweise in einer endabmessungsnahen Form, unverformt (as-HIP-ed) spanabhebend bearbeitet ist, kann eine besonders wirtschaftliche Herstellung der Turbinenschaufel erreicht werden. Obwohl laut Fachmeinung eine unverformte PM- Turbinenschaufel, also im sogenannten " AS-HIPED" Zustand, die gewünschten mechanischen Materialeigenschaften nicht aufweisen kann, hat es sich herausgestellt, dass eine derartige Schaufel teilweise sogar verbesserte Güteermere besitzt.

**[0012]** Besondere Werkstoffvorteile, Insbesondere hinsichtlich gesteigerter Homogenität, können erreicht werden, wenn das PM-Vormaterial aus einer Eisenbasislegierung, welche ledeburitfrei erstarrt, gebildet ist. Obwohl das PM-Verfahren insbesondere für Legierungen entwickelt wurde, welche bei der Erstarrung primäre Ausscheidungen, zum Beispiel Karbide, bilden und dieses Verfahren bei ledeburitfrei erstarrenden Stählen nicht qualitätswirksam sein kann, hat es sich überraschend gezeigt, dass damit eine wesentliche Güteestelgerung des Schaufellegierungswerkstoffes erreichbar ist.

**[0013]** Eine Turbinenschaufel für hohe thermische und mechanische, insbesondere dynamische Beanspruchungen und fehlende Tendenz zu Endenverbiegungen im praktischen Einsatz ist erstellbar, wenn das PM-Vormaterial aus einem martensitischen Chromstahl mit einer Zusammensetzung von in Gew.-%

Chrom (Cr)	8,0 bis 29,0
Kohlenstoff (C)	0,1 bis 0,4
Stickstoff (N)	0,005 bis 0,3
(C+N)	0,11 bis 0,4
Molybdän (Mo)	0,3 bis 2,0
Vanadin (V)	0,08 bis 1,0
Silizium (Si)	0,05 bis 0,6
Mangan(Mn)	0.05 bis 2,0
Schwefel (S)	0.002 bis 0,49
(Mn/S)	MIN 2,0
Wolfram(W)	bis 2,5
Nickel (Ni)	MAX 3,0
Niob (Nb)	bis 0,12
Bor (B)	bis 0,01
Eisen(Fe)	Rest

sowie herstellungsbedingte Verunreinigungen gebildet ist.

**[0014]** Dabei wurde unerwartet gefunden, dass der Werkstoff vergleichsweise eine geringere Kriechneigung bei Einsatztemperatur aufweist. Die Ursachen dafür sind wissenschaftlich noch nicht vollkommen geklärt, es wird jedoch vermutet, dass einige Elemente, bevorzugt durch die PM-Herstellung, einen gewissen Dispersionshärteeffekt bewirken und bei hohen Temperaturen formerhaltend wirksam sind.

**[0015]** Fertigungstechnisch, aber auch im Hinblick auf die Langzeit-Gebrauchseigenschaften kann es bevorzugt sein, wenn für die Turbinenschaufel das PM-Vormaterial aus einem martensitischen Chromstahl mit einer Zusammensetzung von Gew.-% von

Cr =	8,0 bis 22,0, vorzugsweise 9,0 bis 16,0
C =	0,1 bis 0,35, vorzugsweise 0,15 bis 0,3
N =	0,005 bis 0.26, vorzugsweise 0,1 bis 0,24
(C+N) =	0,16 bis 0,40, vorzugsweise 0,21 bis 0,29
Mo =	0,5 bis 2,0, vorzugsweise 0,8 bis 1,8
V =	0,08 bis 0,6, vorzugsweise 0,12 bis 0,4
Si =	0,05 bis 0,5, vorzugsweise 0,1 bis 0,35
Mn =	0,05 bis 2,0, vorzugsweise 0.6 bis 0,96
S =	0,002 bis 0,39, vorzugsweise 0,06 bis 0,35
(Mn/S) =	MIN 2,1, vorzugsweise MIN 2.5
NI =	MAX 2.4, vorzugsweise MAX 0,9

## EP 1 215 366 B1

(fortgesetzt)

B = bis 0,01  
Fe = Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen

5 gebildet ist. Die synergetische Wirkung der Legierungselemente des PM-Werkstoffes ist dabei in mehrerer Hinsicht günstig für Turbinenschaufeln. Einerseits ist, obwohl Sulfide mit nur geringem Durchmesser vorliegen, die Zerspanbarkeit des Materials entscheidend verbessert, andererseits bleiben bei Einhaltung eines bestimmten Mn/S-Verhältnisses die mechanischen Eigenschaften auch bei oftmaligen Betriebszyklen auf hohem Niveau unverändert,  
10 **[0016]** Es kann auch erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass das PM-Material aus einem weichmartensitischen oder nickelmartensitischen Stahl mit einer Zusammensetzung von in Gew.-%

15 C = 0,02 bis 0,1  
N = 0,001 bis 0,098  
(C+N) = 0,05 bis 0,12  
Si = 0,08 bis 1,0  
Mn = 0,1 bis 2,0  
Cr = bis 20,0  
20 S = 0,003 bis 0,49  
Mn/S = MIN 1,9  
Mo = 0,6 bis 3,0  
V = bis 0,2  
Ni = 3,0 bis 8,0  
25 Cu = 1,0 bis 4,5  
B = bis 0,01  
Al = bis 0,08  
Nb = bis 0,8  
30 Fe = Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen

gebildet ist.

**[0017]** Bei diesen aus höher nickelhaltigen Legierungen hergestellten Turbinenschaufeln können im wesentlichen die gleichen Verbesserungen der Materialeigenschaften wie bei den vorher angeführten martensitischen Chromstählen  
35 erreicht werden, wodurch die Schaufelgüte wesentlich gesteigert ist.  
**[0018]** Zur Optimierung des Herstellungsaufwandes und der Gebrauchseigenschaften der Turbinenschaufel kann es günstig sein, wenn das PM-Vormaterial aus einem martensitischen Stahl mit einer Zusammensetzung in Gew.-% von

40 C = 0,02 bis 0,08, vorzugsweise 0,03 bis 0,05  
N = 0,001 bis 0,05, vorzugsweise 0,0015 bis 0,039  
Si = 0,08 bis 0,5, vorzugsweise 0,1 bis 0,4  
Mn = 0,1 bis 1,9, vorzugsweise 0,2 bis 1,6  
S = 0,003 bis 0,39, vorzugsweise 0,1 bis 0,35  
45 Cr = 9,0 bis 20,0, vorzugsweise 9,0 bis 13,0  
Mo = 0,6 bis 2,0, vorzugsweise 0,6 bis 1,8  
Ni = 3,0 bis 7,9, vorzugsweise 3,5 bis 6,8  
Cu = 1,0 bis 4,4  
Al = bis 0,04  
50 Fe = Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen

gebildet ist.

**[0019]** Umfangreiche Versuche und Materialerprobungen haben gezeigt, dass insbesondere für eine Anwendung bei höchsten Temperaturen, zum Beispiel in Gasturbinen oder Triebwerken, es vorteilhaft sein kann, wenn für eine Fertigung der Schaufel das PM-Vormaterial aus einer Nickelbasis- oder Kobaltbasislegierung oder einer Legierung mit weniger als  
55 29 Gew.-% Eisen gebildet ist.  
**[0020]** Metallurgisch bzw. herstellungstechnisch ist jedoch ein Chromgehalt vorgesehen, der mindestens 14 Gew.-%

## EP 1 215 366 B1

beträgt, um Stickstoff, der eine günstige Wirkung auf die Materialeigenschaften ausübt, in Lösung zu bringen.

**[0021]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Materialerprobungen sowie Prüfergebnissen näher erläutert.

**[0022]** Es zeigen

- 5 Fig. 1 eine Probenlage im Knüppel in Längsrichtung  
Fig. 2 eine Probenlage im Querschnitt des Knüppels  
Fig. 3 eine Erprobung schematisch

**[0023]** Gemäß Fig. 1 wurden aus Walzknüppeln 1 für Turbinenschaufeln mit einer Seitenlänge von  $D = 35$  mm und einer Höhe von  $C = 350$  mm Proben 2 derart entnommen, dass am Ende eines vorgesehenen Einspannstückes 22 die Probe 2 einseitig eine Mittelachse des Querschnittes (Fig. 2) berührt und eine gegenüberliegende bzw. äußere Seite der Probe im Abstand von  $1/3$  der halben Seitenlänge  $D$  liegt. Die Breite der Proben betrug  $1/4$  der Seitenlänge  $D$  des Knüppels.

**[0024]** Über die Höhe  $C$  des Knüppels waren die Proben demselben derart schief entnommen, dass dem Einspannende gegenüberliegend, die äußere Probenseite mit einem Abstand von  $1/8 D$  gegen die Querschnittsachse distanziert war. Diese Probenanordnung in den untersuchten Knüppeln wurde gewählt, um die Wirkung von zentrisch längsgerichteten Seigerungen zu ermitteln.

**[0025]** Eine Erprobung ist in Fig. 3 schematisch dargestellt. Die Probeneinspannung erfolgte in einer Halterung 3, wobei ein Einspannstück 22 einer Probe 2 in dieser fixiert wurde. Mit unterschiedlichen Aufheizgeschwindigkeiten erfolgte eine jeweilige Erwärmung der Probe 2, die anschließend bei Temperaturen zwischen  $300^{\circ}\text{C}$  und  $550^{\circ}\text{C}$  gehalten wurden. Dabei erfolgte eine Messung der Abweichung des der Einspannung gegenüberliegenden Probenendes.

**[0026]** Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei einem erfindungsgemäßen PM-Werkstoff keinerlei Abweichungen von einer achsfluchtenden Lage des freien Probenendes auch bei hohen Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten entstanden. Hingegen zeigten Probenstäbe aus konventionellem Vormaterial, also in Blöcken erstarren gelassenen Stählen und folgender Umformung der Blöcke deutliche Verbiegungen, die mit höheren Temperaturänderungsgeschwindigkeiten und größeren Gußblockquerschnitten zunahmen.

**[0027]** Anhand der Zeitstandserprobungen des Werkstoffes bei Temperaturen von  $550^{\circ}\text{C}$  wurde gefunden, dass eine erfindungsgemäße Turbinenschaufel um mindestens 23% bessere Kriechwerte aufweist.

30

### Patentansprüche

1. Turbinenschaufel für Dampf- oder Gasturbinen oder Verdichterschaufel aus einem martensitischen Chromstahl mit einer Zusammensetzung von in Gew.-%

35

40

45

50

Chrom (Cr)	8.0 bis 29.0
Kohlenstoff (C)	0.1 bis 0,4
Stickstoff (N)	0.005 bis 0.3
(C+N)	0.11 bis 0.4
Molybdän (Mo)	0.5 bis 2.0
Vanadin (V)	0.08 bis 1.0
Silicium (Si)	0.05 bis 0.6
Mangan (Mn)	0.05 bis 2.0
Schwefel (S)	0.002 bis 0.49
(Mn/S)	MIN 2.0
wolfram (W)	bis 2.5
Nickel (Ni)	MAX 3.0
Niob (Nb)	bis 0.12
Bor (B)	bis 0.01
Eisen (Fe)	Rest

55

sowie herstellungsbedingten Verunreinigungen, gebildet aus einem pulvermetallurgisch (PM), bei Pulverisierung einer Schmelze durch Gasverdüsung mittels Stickstoffes und heißisostatischen Pressens (HIP-en) des Pulvers, hergestellten Vormaterial, welches spanabhebend bearbeitet und die derart erstellte Turbinen- oder Verdichterschaufel thermisch behandelt oder vergütet ist und bei Raumtemperatur die Werkstoffeigenschaften:

## EP 1 215 366 B1

Zugfestigkeit	$R_m$ = mindestens 700 N/mm <sup>2</sup>
Dehngrenze:	$R_{0,2}$ = mindestens 550 N/mm <sup>2</sup>
Dehnung:	A = mindestens 15%
Einschnürung:	Z = mindestens 10%

5

aufweist.

- 10 2. Turbinen- oder Verdichterschaufel nach Anspruch 1 aus einem martensitischen Chromstahl mit einer Zusammensetzung in Gew.-% von:

15	Cr =	8.0 bis 22.0,	vorzugsweise	9.0 bis 16.0
	C =	0.1 bis 0.35,	vorzugsweise	0.15 bis 0.3
	N =	0.005 bis 0.28,	vorzugsweise	0.1 bis 0.24
	(C+N) =	0.16 bis 0.4,	vorzugsweise	0.21 bis 0.29
	Mo =	0.5 bis 2.0,	vorzugsweise	0.8 bis 1.8
20	V =	0.08 bis 0.6,	vorzugsweise	0.12 bis 0.4
	Si =	0.05 bis 0.5,	vorzugsweise	0.1 bis 0.35
	Mn =	0.05 bis 2.0,	vorzugsweise	0.5 bis 0.95
	S =	0.002 bis 0.39,	vorzugsweise	0.06 bis 0.35
	(Mn/S) =	MIN 2.0,	vorzugsweise	MIN 2.5
25	Ni =	MAX 2.4,	vorzugsweise	MAX 0.9
	B =	bis 0.01		
	Fe =	Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen		

- 30 3. Turbinenschaufelfür Dampf- oder Gasturbinen oder Verdichterschaufel aus einem weichmartensitischen oder nikkelmartensitischen Stahl mit einer Zusammensetzung in Gew.-%:

35	C =	0.02 bis 0.1		
	N =	0.001 bis 0.098		
	(C+N) =	0.05 bis 0.12		
	Si =	0.08 bis 1.0		
	Mn =	0.1 bis 2.0		
	Cr =	bis 20.0		
40	S =	0.003 bis 0.49		
	(Mn/S) =	MIN 1.9		
	Mo =	0.6 bis 3.0		
	V =	bis 0.2		
	Ni =	3.0 bis 8.0		
45	Cu =	1.0 bis 4.5		
	B =	bis 0.01		
	Al =	bis 0.08		
	Nb =	bis 0.6		
50	Fe =	Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen,		

gebildet aus einem pulvermetallurgisch (PM), bei Pulverisierung einer Schmelze durch Gasvedüsung mittels Stickstoffes und hieÿisostatischen Pressens (HIP-en) des Pulvers, hergestellten Vormaterial, welches spanabhebend bearbeitet und die derart erstellte Turbinen- oder Verdichterschaufel thermisch behandelt oder vergütet ist und bei Raumtemperatur die Werkstoffeigenschaften:

55

Zugfestigkeit:	$R_m$ = mindestens 700 N/mm <sup>2</sup>
Dehngrenze:	$R_{0,2}$ = mindestens 550 N/mm <sup>2</sup>

## EP 1 215 366 B1

(fortgesetzt)

Dehnung: A = mindestens 15%

Einschnürung: Z = mindestens 10%

5

aufweist.

4. Turbinenschaufel nach Anspruch 3 aus einem weichmartensitischen oder nickelmartensitischen Stahl mit einer Zusammensetzung in Gew.-%:

10

C =	0.02 bis 0.08,	vorzugsweise	0.03 bis 0.05
N =	0.001 bis 0.05.	vorzugsweise	0.0015 bis 0.039
Si =	0.08 bis 0.5,	vorzugsweise	0.1 bis 0.4
Mn =	0.1 bis 1.9,	vorzugsweise	0.2 bis 1.6
S =	0.003 bis 0.39,	vorzugsweise	0.1 bis 0.35
Cr =	9.0 bis 20.0	vorzugsweise	9.0 bis 13.0
Mo =	0.6 bis 2.0,	vorzugsweise	0.6 bis 1.8
Ni =	3.0 bis 7.9,	vorzugsweise	3.5 bis 6.8
Cu =	1.0 bis 4.4		
Al =	bis 0.04		
Fe =	Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen,		

15

20

25

gebildet ist.

5. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welcher das Vormaterial nach dem heißisostatischen Pressen (HIP-en) und nach einer Warmumformung mit einem Umformgrad von mindestens 2.5-fach spanabhebend gebildet ist.

30

6. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welcher das Vormaterial nach dem heißisostatischen Pressen (HIP-en), vorzugsweise in einer endabmessungsnahen Form, unverformt (as HIP-ed) spanabhebend bearbeitet ist.

35

### Claims

1. Turbine blade for steam or gas turbines or compressor blade of martensitic chromium steel having a composition in weight-% of

40

chromium (Cr)	8,0 to 29,0
carbon (C)	0,1 to 0,4
nitrogen (N)	0,005 to 0,3
(C + N)	0,11 to 0,4
molybdenum (Mo)	0,5 to 2,0
vanadium (V)	0,08 to 1,0
silicon (Si)	0,05 to 0,6
manganese (Mn)	0,05 to 2,0
sulphur (S)	0,002 to 0,49
(Mn/S)	2,0 in minimum
tungsten (W)	up to 2,5
nickel (Ni)	3,0 in maximum
niobium (Nb)	up to 0,12
boron (B)	up to 0,01
iron (Fe)	the rest

50

55

## EP 1 215 366 B1

as well as production conditional impurities, formed from a preliminary material produced in a powder metallurgical way with pulverising the melt by gas atomising by means of nitrogen and high-temperature isostatic pressing (HIPing) the powder, which is machined in a metal-cutting way, and the turbine blade, thus produced, is thermally treated or quenched and tempered and exhibits the following properties of material at room temperature:

5

tensile strength:  $R_m =$  at least 700 N/mm<sup>2</sup>  
offset yield strength:  $R_{0,2} =$  at least 550 N/mm<sup>2</sup>  
elongation:  $A =$  at least 15%  
necking:  $Z =$  at least 10%.

10

2. Turbine or compressor blade according to claim 1 of a martensitic chromium steel having a composition in weight-% of

15

Cr =	8.0 to 22.0,	preferably	9.0 to 16.0
C =	0.1 to 0.35	preferably	0.15 to 0.3
N =	0.005 to 0.28	preferably	0.1 to 0.24
(C+N) =	0.16 to 0.4	preferably	0.21 to 0.29
Mo =	0.5 to 2.0	preferably	0.8 to 1.8
V	= 0.08 to 0.6	preferably	0.12 to 0.4
Si	= 0.05 to 0.5	preferably	0.1 to 0.35
Mn	= 0.05 to 2.0	preferably	0.5 to 0.95
S	= 0.002 to 0.39	preferably	0.06 to 0.35
(Mn/S)	= 2.0 in minimum	preferably	2.5 in minimum
Ni	= 2.4 in maximum	preferably	0.9 in maximum
B	= up to 0.01		
Fe	= the rest and production	conditional	impurities.

20

25

30

3. Turbine blade for steam or gas turbines or compressor blade of soft martensitic or nickel martensitic steel having a composition in weight-% of

35

C =	0.02 to 0.1
N =	0.001 to 0.098
(C+N) =	0.05 to 0.12
Si =	0.08 to 1.0
Mn =	0.1 to 2.0
Cr =	up to 20.0
S =	0.003 to 0.49
(Mn/S) =	1.9 in minimum
Mo =	0.6 to 3.0
V =	up to 0.2
Ni =	3.0 to 8.0
Cu =	1.0 to 4.5
B =	up to 0.01
Al =	up to 0.08
Nb =	up to 0.6
Fe =	the rest and production conditional impurities

40

45

50

formed from a preliminary material produced in a powder metallurgical way with pulverising the melt by gas atomising by means of nitrogen and high-temperature isostatic pressing (HIPing) the powder, which is machined in a metal-cutting way, and the turbine blade, thus produced, is thermally treated or quenched and tempered and exhibits the following properties of material at room temperature:

55

## EP 1 215 366 B1

tensile strength:  $R_m$  = at least 700 N/mm<sup>2</sup>  
offset yield strength:  $R_{0,2}$  = at least 550 N/mm<sup>2</sup>  
elongation: A = at least 15%  
necking: Z = at least 10%.

4. Turbine blade according to claim 3, of soft martensitic or nickel martensitic steel having a composition in weight-% of

C =	0.02 to 0.08	preferably	0.03 to 0.05
N =	0.001 to 0.05	preferably	0.0015 to 0.039
Si =	0.08 to 0.5	preferably	0.1 to 0.4
Mn =	0.1 to 1.9	preferably	0.2 to 1.6
S =	0.003 to 0.39	preferably	0.1 to 0.35
Cr =	9.0 to 20.0	preferably	9.0 to 13.0
Mo =	0.6 to 2.0	preferably	0.6 to 1.8
Ni =	3.0 to 7.9	preferably	3.5 to 6.8
Cu =	1.0 to 4.4		
Al =	up to 0.04		
Fe =	the rest and production conditional impurities.		

5. Turbine blade according to any of claims 1 to 4, wherein the preliminary material is formed after high-temperature isostatic pressing (HIPing) and after a thermal deformation with a strain of at least 2.5 times by machining.

6. Turbine blade according to any of claims 1 to 4, wherein the preliminary material is machined in undeformed condition (as HIPed) after high-temperature isostatic pressing (HIPing), preferably in a shape close to final dimensions.

### Revendications

1. Aube de turbine pour des turbines à vapeur ou à gaz, ou aube de compresseur d'un acier chromé martensitique, en pourcentage en poids, ayant une composition de

chrome (Cr)	8,0 à 29,0
carbone (C)	0,1 à 0,4
azote (N)	0,005 à 0,3
(C + N)	0,11 à 0,4
molybdène (Mo)	0,5 à 2,0
vanadium (V)	0,08 à 1,0
silicium (Si)	0,05 à 0,6
manganèse (Mn)	0,05 à 2,0
soufre (S)	0,002 à 0,49
(Mn/S)	2,0 en minimum
tungstène (W)	jusqu'à 2,5
nickel (Ni)	3,0 en maximum
niobium (Nb)	jusqu'à 0,12
bore (B)	jusqu'à 0,01
fer (Fe)	le reste

ainsi que des impuretés conditionnés par la fabrication, formée par un matériau préliminaire produit par la métallurgie des poudres (PM), en pulvérisant une fonte par atomisation à gaz au moyen d'azote et par compression isostatique à température élevée (HIP) du poudre, ledit matériau étant usiné par enlèvement de copeaux, et l'aube de turbine

## EP 1 215 366 B1

ou de compresseur ainsi fabriquée est traitée de manière thermique ou trempée et revenue et, à une température ambiante, a les propriétés suivantes de matériau :

5	résistance à la traction :	$R_m$ = au moins 700 N/mm <sup>2</sup>
	limite élastique :	$R_{0,2}$ = au moins 550 N/mm <sup>2</sup>
	allongement :	A = au moins 15%
	striction :	Z = au moins 10%.

10  
2. Aube de turbine ou de compresseur selon la revendication 1 d'un acier chromé martensitique, en pourcentage en poids, ayant une composition de

15	Cr =	8,0 à 22,0,	de préférence	9,0 à 16,0
	C =	0,1 à 0,35	de préférence	0,15 à 0,3
	N =	0,005 à 0,28	de préférence	0,1 à 0,24
	(C+N) =	0,16 à 0,4	de préférence	0,21 à 0,29
	Mo =	0,5 à 2,0	de préférence	0,8 à 1,8
20	V =	0,08 à 0,6	de préférence	0,12 à 0,4
	Si =	0,05 à 0,5	de préférence	0,1 à 0,35
	Mn =	0,05 à 2,0	de préférence	0,5 à 0,95
	S =	0,002 à 0,39	de préférence	0,06 à 0,35
25	(Mn/S) =	2,0 en minimum	de préférence	2,5 en minimum
	Ni =	2,4 en maximum	de préférence	0,9 en maximum
	B =	jusqu'à 0,01		
	Fe =	le reste et des impuretés conditionnés par la fabrication.		

30  
3. Aube de turbine pour des turbines à vapeur ou à gaz, ou aube de compresseur d'un acier martensitique doux ou martensitique à nickel, en pourcentage en poids, ayant une composition de

35	C =	0,02 à 0,1		
	N =	0,001 à 0,098		
	(C+N) =	0,05 à 0,12		
	Si =	0,08 à 1,0		
	Mn =	0,1 à 2,0		
40	Cr =	jusqu'à 20,0		
	S =	0,003 à 0,49		
	(Mn/S) =	1,9 en minimum		
	Mo =	0,6 à 3,0		
	V =	jusqu'à 0,2		
45	Ni =	3,0 à 8,0		
	Cu =	1,0 à 4,5		
	B =	jusqu'à 0,01		
	Al =	jusqu'à 0,08		
	Nb =	jusqu'à 0,6		
50	Fe =	le reste et des impuretés conditionnés par la fabrication,		

55  
formée par un matériau préliminaire produit par la métallurgie des poudres (PM), en pulvérisant une fonte par atomisation à gaz au moyen d'azote et par compression isostatique à température élevée (HIP) du poudre, ledit matériau étant usiné par enlèvement de copeaux, et l'aube de turbine ou de compresseur ainsi fabriquée est traitée de manière thermique ou trempée et revenue et, à une température ambiante, a les propriétés suivantes de matériau :

## EP 1 215 366 B1

résistance à la traction :  $R_m$  = au moins 700 N/mm<sup>2</sup>  
limite élastique :  $R_{0,2}$  = au moins 550 N/mm<sup>2</sup>  
allongement : A = au moins 15%  
striction : Z = au moins 10%.

5

10

4. Aube de turbine selon la revendication 3, formée d'un acier martensitique doux ou martensitique à nickel, en pourcentage en poids, ayant une composition de

15

20

C =	0,02 à 0,08	de préférence	0,03 à 0,05
N =	0,001 à 0,05	de préférence	0,0015 à 0,039
Si =	0,08 à 0,5	de préférence	0,1 à 0,4
Mn =	0,1 à 1,9	de préférence	0,2 à 1,6
S =	0,003 à 0,39	de préférence	0,1 à 0,35
Cr =	9,0 à 20,0	de préférence	9,0 à 13,0
Mo =	0,6 à 2,0	de préférence	0,6 à 1,8
Ni =	3,0 à 7,9	de préférence	3,5 à 6,8
Cu =	1,0 à 4,4		
Al =	jusqu'à 0,04		
Fe =	le reste et des impuretés conditionnés par la fabrication.		

25

5. Aube de turbine selon une quelconque des revendications 1 à 4, où le matériau préliminaire est formé, après la compression isostatique à température élevée (HIPer) et après une déformation à chaud avec un degré de déformation d'au moins 2,5 fois, par un usinage par enlèvement de copeaux.

30

6. Aube de turbine selon une quelconque des revendications 1 à 4, où le matériau préliminaire est usiné, après la compression isostatique à température élevée (HIPer), de préférence dans une moule proche à la mesure finale, sans déformation (comme HIPé), par enlèvement de copeaux.

35

40

45

50

55

