



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

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

(51) Int Cl.7: **F01D 5/28, B22F 3/00**

(21) Anmeldenummer: **01890337.7**

(22) Anmeldetag: **12.12.2001**

(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:  
**AL LT LV MK RO SI**

- **Saller, Gabriele**  
8700 Leoben (AT)
- **Huber, Raimund**  
8605 Kapfenberg (AT)
- **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**

(71) Anmelder: **Böhler Edelstahl GmbH & Co KG**  
8605 Kapfenberg (AT)

(72) Erfinder:  
• **Hackl, Gerhard**  
8605 Kapfenberg (AT)

(74) Vertreter: **Wildhack, Helmut, Dr. Dipl.-Ing.**  
**Patentanwälte Wildhack - Jellinek**  
**Landstrasser Hauptstrasse 50**  
**1030 Wien (AT)**

(54) **Turbomaschinenschaufel**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Turbinenschaufel oder Verdichterschaufel, welche durch spanabhebende Bearbeitung aus einem Vormaterial erstellt ist.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, die Schaufel mit den Werkstoffeigenschaften bei Raumtemperatur:

Zugfestigkeit:  $R_m$  = mindestens 700 N/mm<sup>2</sup>

Dehngrenze:  $R_{p0,2}$  = 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 Gasverdüsung mittels Stickstoffes und heißisostatischen Pressens (HIP) des Pulvers, hergestellten, gegebenenfalls unverformten Vormaterial, welches spanabhebend bearbeitet und die derart erstellte Turbinenschaufel thermisch behandelt oder vergütet ist.

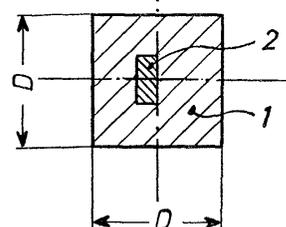
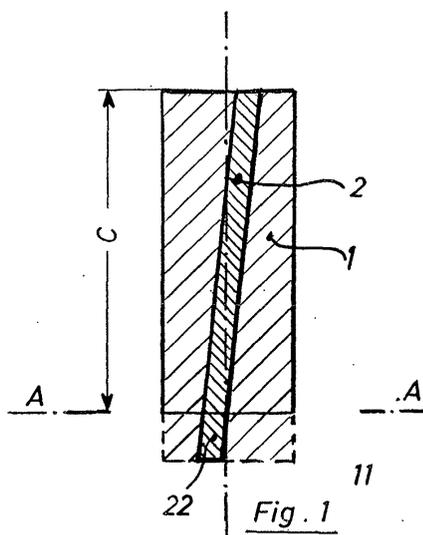


Fig. 2

**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/der Walzen hergestellt und gegebenenfalls für die Weiterverarbeitung wärmebehandelt. Es ist bekannt, Gußblöcke, Strangußblossoms 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	$R_m = \text{mindestens } 700 \text{ N/mm}^2$
Dehngrenze	$R_{p0,2} = \text{mindestens } 550 \text{ N/mm}^2$
Dehnung	$A = \text{mindestens } 15 \%$
Einschnürung	$Z = \text{mindestens } 10\%$

für Dampfturbinen oder Gasturbinen sowie Verdichter, gebildet aus einem pulvermetallurgisch ( PM), bei Pulverisierung einer Schmelze durch Gasverdüsung 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 Gasverdüsung 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, vergleichmäßigt 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

## EP 1 215 366 A2

PM-Schaufel auf, was ein sogenanntes Richten weitgehend unnötig macht und Richtspannungen vermeidet, andererseits 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 Güteermerekmale 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 Gütesteigerung 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)	bis 29,0
Kohlenstoff (C)	bis 0,4
Stickstoff (N)	bis 0,3
(C+N)	0,16 bis 0,4
Molybdän (Mo)	bis 2,0
Vanadin (V)	bis 1,0
Silizium (Si)	bis 0,6
Mangan(Mn)	bis 2,0
Schwefel (S)	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 und Begleitelementen 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 0,28, vorzugsweise 0,1 bis 0,24
(C+N) =	0,11 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 0,5 bis 0,95
S =	0,002 bis 0,39, vorzugsweise 0,06 bis 0,35
(Mn/S) =	MIN 2,1, vorzugsweise MIN 2,5

## EP 1 215 366 A2

(fortgesetzt)

5	Ni =	MAX 2,4, vorzugsweise MAX 0,9
	B =	bis 0,01
10	Fe =	Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen 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.

**[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 =	bis 0,1
	N =	bis 0,098
	(C+N) =	0,05 bis 0,12
	Si =	bis 1,0
20	Mn =	bis 2,0
	Cr =	bis 20,0
	S =	bis 0,49
	Mn/S =	MIN 1,9
	Mo =	bis 3,0
25	V =	bis 0,2
	Ni =	bis 8,0
	Cu =	bis 4,5
	B =	bis 0,01
	Al =	bis 0,08
30	Nb =	bis 0,6
	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 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
45	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 =	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
50	Al =	bis 0,04
	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 29 Gew.-% Eisen gebildet ist.

**[0020]** Metallurgisch bzw. herstellungstechnisch ist jedoch ein Chromgehalt, der mindestens 14 Gew.-% 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. Es zeigen

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

**[0022]** 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.

**[0023]** 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. Dies Probenanordnung in den untersuchten Knüppeln wurde gewählt, um die Wirkung von zentrisch längsgerichteten Seigerungen zu ermitteln.

**[0024]** 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.

**[0025]** 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 erstarrten gelassenen Stählen und folgender Umformung der Blöcke deutliche Verbiegungen, die mit höheren Temperaturänderungsgeschwindigkeiten und größeren Gußblockquerschnitten zunahmen.

**[0026]** 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 mit den Werkstoffeigenschaften bei Raumtemperatur:

- 35 Zugfestigkeit:  $R_m =$  mindestens  $700 \text{ N/mm}^2$   
 Dehngrenze :  $R_{p0,2} =$  mindestens  $550 \text{ N/mm}^2$   
 Dehnung:  $A =$  mindestens 15 %  
 40 Einschnürung:  $Z =$  mindestens 10 %

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

2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Vormaterial nach dem heißisostatischen Pressen (HIP-en) und nach einer Warmumformung mit einem Umformgrad von mindestens 2,5-fach spanabhebend bearbeitet wird.

3. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Vormaterial nach dem heißisostatischen Pressen (HIP-en), vorzugsweise in einer endabmessungsnahen Form, unverformt (as HIP- ed) spanabhebend bearbeitet ist.

4. Turbinenschaufel nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** das PM-Vormaterial aus einer Eisenbasislegierung, welche ledeburitfrei erstarrt, gebildet ist.

## EP 1 215 366 A2

5. Turbinenschaufel nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** das PM-Vormaterial aus einem martensitischen Chromstahl mit einer Zusammensetzung von in Gew.-%

Chrom ( Cr)	bis 29,0
Kohlenstoff (C)	bis 0,4
Stickstoff (N)	bis 0,3
(C+N)	0,16 bis 0,4
Molybdän (Mo)	bis 2,0
Vanadin (V)	bis 1,0
Silizium (Si)	bis 0,6
Mangan (Mn)	bis 2,0
Schwefel (S)	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 herstellungsbedingten Verunreinigungen und Begleitelementen, gebildet ist.

6. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** das PM-Vormaterial aus einem martensitischen Chromstahl mit einer Zusammensetzung in 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 0,28, vorzugsweise 0,1 bis 0,24
(C+N) =	0,11 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 =	0,4 bis 1,1, 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
Ni =	MAX 2,4, vorzugsweise MAX 0,9
B =	bis 0,01
F =	Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen gebildet ist.

7. Turbinenschaufel nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** das PM-Vormaterial aus einem weichmartensitischen oder nickelmartensitischen Stahl mit einer Zusammensetzung von Gew.% von

C =	bis 0,1
N =	bis 0,098
(C+N) =	0,05 bis 0,12
Si =	bis 1,0
Mn =	bis 2,0
Cr =	bis 20,0
S =	bis 0,49
Mn/S =	MIN 1,9
Mo =	bis 3,0
V =	bis 0,2
Ni =	bis 8,0
Cu =	bis 4,5

## EP 1 215 366 A2

(fortgesetzt)

B =	bis 0,01
Al =	bis 0,08
Nb =	bis 0,6
Fe =	Rest und herstellungsbedingte Verunreinigungen gebildet ist.

8. Turbinenschaufel nach den Ansprüchen 1 bis 4 und 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** das PM-Vormaterial aus einem martensitischen Stahl mit einer Zusammensetzung in Gew.% von

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 =	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, gebildet ist.	

9. Turbinenschaufel nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** das PM-Vormaterial aus einer Nickelbasis- oder Kobaltbasislegierung oder einer Legierung mit weniger als 29 Gew.% Eisen gebildet ist.

