

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **88102415.2**

Int. Cl. 4: **B22D 19/00**

Anmeldetag: **19.02.88**

Priorität: **19.03.87 CH 1055/87**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.10.88 Patentblatt 88/41

Benannte Vertragsstaaten:
CH DE GB LI SE

Anmelder: **BBC Brown Boveri AG**
Haselstrasse
CH-5401 Baden(CH)

Erfinder: **Verpoort, Clemens, Dr.**
Bollstrasse 45
CH-5442 Fislisbach(CH)

Verfahren zur Herstellung einer zusammengesetzten Gasturbinenschaufel bestehend aus Fussstück, Schaufelblatt und Deckplatte oder Deckband, wobei das Schaufelblatt aus einer dispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung besteht, und nach diesem Verfahren hergestellte zusammengesetzte Gasturbinenschaufel.

Eine zusammengesetzte Gasturbinenschaufel besteht aus einem Schaufelblatt (1) aus einer oxyd-dispensionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung im Zustand von längsgerichteten groben Stengelkristallen und einer Deckplatte (6) bzw. einem Deckband sowie einem Fussstück (7), letztere aus einer nicht-dispensionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung (Gusslegierung). Die Gasturbinenschaufel wird hergestellt, indem das mit Vertiefungen (4) und/oder Erhebungen (5) versehene Kopfende (2) bzw. Fussende (3) des Schaufelblattes (1) nach Vorwärmung des letzteren auf eine Temperatur von 50 bis 300 °C unterhalb der Solidustemperatur der tiefstschmelzenden Phase des Schaufelblattwerkstoffs mit der besagten nichtdispersionsgehärteten Superlegierung ein- bzw. umgossen wird. Die Giesstemperatur soll dabei höchstens 100 °C über der Liquidustemperatur der höchstschmelzenden Phase dieser Legierung liegen. Es ist jegliches Anschmelzen des Schaufelblattes (1) und jegliche metallurgische Bindung zu vermeiden. Vorteilhafterweise wird zwischen Schaufelblatt (1) und Deckplatte (6) bzw. Fussstück (7) eine wärmedämmende, mechanisch dämpfende Zwischenschicht (16) aus einem Oxyd mindestens eines der Elemente Cr, Al, Si, Ti, Zr von 5 bis 200 µm Dicke vorgesehen.

Fig.1

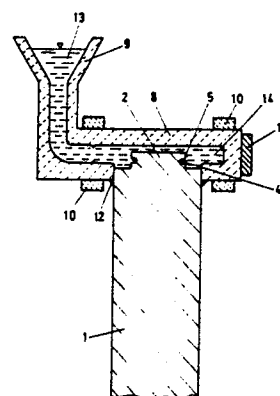
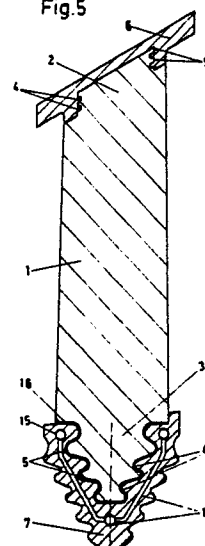


Fig.5



EP 0 285 778 A1

Verfahren zur Herstellung einer zusammengesetzten Gasturbinenschaufel bestehend aus Fusstück, Schaufelblatt und Deckplatte oder Deckband, wobei das Schaufelblatt aus einer dispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung besteht, und nach diesem Verfahren hergestellte zusammengesetzte Gasturbinenschaufel.

TECHNISCHES GEBIET

Gasturbinen für höchste Ansprüche. Steigerung des Wirkungsgrades bedingt höhere Gastemperaturen und damit warmfestere Werkstoffe, geeignetere Werkstoffkombinationen und bessere Konstruktionen für die einzelnen Bauteile. Das wichtigste und kritischste Bauteil ist dabei die Turbinenschaufel.

Die Erfindung bezieht sich auf die Weiterentwicklung mechanisch und/oder thermisch hochbeanspruchter Gasturbinenschaufeln, wobei die vorteilhaften Eigenschaften dispersionsgehärteter Legierungen für bestimmte Beanspruchungsarten mit denjenigen von nichtdispersionsgehärteten Legierungen in optimaler Weise zu kombinieren sind.

Insbesondere betrifft sie ein Verfahren zur Herstellung einer zusammengesetzten Gasturbinenschaufel bestehend aus Fusstück, Schaufelblatt und Deckplatte oder Deckband, wobei das Schaufelblatt aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung im Zustand von längsgerichteten groben Stengelkristallen besteht.

Sie betrifft ferner eine zusammengesetzte Gasturbinenschaufel, bestehend aus einem Fusstück, einem Schaufelblatt und einer Deckplatte oder einem Deckband, wobei das Schaufelblatt aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung im Zustand von längsgerichteten groben Stengelkristallen besteht.

STAND DER TECHNIK

Bei rotierenden thermischen Maschinen (z.B. Dampf- und Gasturbinen) werden zumindest in gewissen Stufen die Schaufelenden mit Deckplatten und/oder Deckbändern versehen. Die Gründe dafür sind sowohl strömungstechnischer, wärmetechnischer und geometrischer Art. Durch diese Massnahmen soll also die Aerodynamik, die Thermodynamik und die Mechanik der Maschine verbessert und sicherer gestaltet werden. In diesem Zusammenhang sind unzählige Ausführungsformen und Materialkombinationen von Deckplatten und Deckbändern und deren Herstellung bzw. Befestigung am Kopfende der Schaufel - auch monolithische Konstruktionen, mit dem Schaufelblatt ein Ganzes bildend - bekannt geworden. Es kann dazu unter anderem folgende Literatur zitiert werden:

- Walter Traupel, Thermische Turbomaschinen, 2. Bd. Regelverhalten, Festigkeit und dynamische Probleme, Springer Verlag 1960

- H. Petermann, Konstruktion und Bauelemente von Strömungsmaschinen, Springer Verlag 1960

- Fritz Dietzel, Dampfturbinen, Georg Liebermann Verlag 1950

- Fritz Dietzel, Dampfturbinen, Berechnung, Konstruktion, Carl Hauser Verlag.

Als Schaufelwerkstoffe für hochbeanspruchte Gasturbinen sind in neuerer Zeit oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierungen vorgeschlagen worden, da sie gegenüber gewöhnlichen Guss- und Knet-Superlegierungen höhere Betriebstemperaturen erlauben. Um bei hohen Temperaturen die besten Festigkeitswerte (hohe Zeitstandfestigkeit) zu erreichen, werden Bauteile aus diesen Legierungen mit in Schaufelachse gerichteten, längsgestreckten groben Kristalliten eingesetzt. Im Verlauf der Herstellung muss im allgemeinen das Werkstück (Halbzeug oder Festigkeit) einen Zonenglühprozess durchmachen. Aus verschiedenen Gründen (Thermodynamik, Kristallisationsgesetze) sind die Querschnittsabmessungen derartiger Schaufelwerkstoffe im grobkörnigen Zustand begrenzt. Damit werden den Schaufelabmessungen ebenfalls Grenzen gesetzt. Da nun die Fläche einer Deckplatte in der Regel ein Mehrfaches der Querschnittsfläche des entsprechenden Schaufelblattes ausmacht, können Blatt und Deckplatte von gewissen Abmessungen an nicht mehr monolithisch aus einem Stück gefertigt werden. Das gleiche gilt für die Fusspartie der Schaufel, die in den relativen Abmessungen sehr voluminös ausfallen kann. Sollen oxyddispersionsgehärtete Superlegierungen erfolgreich und allgemein eingesetzt werden, ergibt sich daher die Forderung nach einer Aufteilung in Schaufelblatt einerseits und Deckplatte und Fusstück andererseits. Es gibt noch andere, von der Festigkeit und der Materialbeanspruchung an den Einspannstellen her bedingte Gründe zu einer derartigen Aufteilung. Eine rein mechanische Befestigung der Deckplatte am Kopfende des Schaufelblattes kann zwar das Problem grundsätzlich lösen, ist jedoch aufwendig, benötigt zusätzliche Befestigungselemente und kann zu schwer kontrollierbaren Zusatzspannungen im Betrieb führen. Eine Schweissverbindung scheidet aus, da durch örtliches Aufschmelzen die Struktur des oxyddispersionsgehärteten Werkstoffs weitgehend zerstört wird. Ein Verbinden durch Löten oder Diffusionsfügen verlangt sehr sauber

bearbeitete Kontaktflächen und ist technologisch mit Schwierigkeiten verbunden.

Das Ein- und Umgiessen von metallischen Werkstückteilen mit einem metallischen Werkstoff - meist tieferen Schmelzpunkts - ist an sich aus zahlreichen Anwendungsfällen in der Technik bekannt. Es ist unter anderem schon vorgeschlagen worden, Stahl in Gusseisen einzugiessen. Dabei musste darauf geachtet werden, dass der Stahl möglichst einem Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt, der kleiner oder höchstens gleich demjenigen des Gusseisens ist. Dazu eignen sich z.B. Stähle mit 10 bis 18 % Cr-Gehalt. Das Verfahren wurde unter anderem zum Umgiessen von Turbinenschaufeln vorgesehen (Vergl. CH-A-480 445). Vorteilhaft sollen sich dabei Zwischenschichten aus Oxyden erweisen.

Es besteht ein grosses Bedürfnis, beim Bau hochbeanspruchter thermischer Maschinen, insbesondere Gasturbinen, vermehrt oxyddispersionsgehärtete Superlegierungen einzusetzen und dementsprechend dem Konstrukteur die technologischen Mittel in die Hand zu geben, bei möglichst grosser Freiheit in konstruktiver Gestaltung diese Legierungen beträchtlich optimal verwenden zu können.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine zusammengesetzte Gasturbinenschaufel bestehend aus Fussstück, Schaufelblatt und Deckplatte oder Deckband sowie ein Verfahren zu ihrer Herstellung anzugeben, wobei einerseits von der Verwendung oxyddispersionsgehärteter Nickelbasis-Superlegierungen mehr Berücksichtigung ihrer nur beschränkt verfügbaren Querschnittsabmessungen im Zustand längsgerichteter grober Stengelkristalle für das Schaufelblatt optimaler Gebrauch gemacht und andererseits durch geeignete Werkstoffauswahl und konstruktive Gestaltung des Fussstücks und der Deckplatte oder des Deckbandes sowie deren Herstellung eine optimale Zuordnung zum Schaufelblatt und damit eine allen thermischen und mechanischen Betriebsbedingungen bestens gewachsene Verbundkonstruktion erreicht werden soll. Dabei soll der unterschiedlichen thermischen und mechanischen Belastung von Schaufelfusspartie, Schaufelblatt, Schaufelkopfpattie und Deckplatte bzw. Deckband unter Berücksichtigung des Normalbetriebs, der Betriebsunterbrüche (Abstellen und Anfahren der Turbine) sowie des plötzlichen Lastabwurfs (plötzliches Abschalten des mit der Turbine gekoppelten Generators bei Weiterlaufen der Maschinengruppe) Rechnung getragen werden.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass im eingangs erwähnten Verfahren sowohl das Kop-

fende wie das Fussende des Schaufelblattes an der Mantelfläche mit Vertiefungen und/oder Erhebungen versehen wird, dass das Schaufelblatt in eine die Negativform der Deckplatte und des Fussstückes aufweisende Giessform derart eingelegt wird, dass das Kopfende und das Fussende in den Hohlraum der Giessform vorkragen, dass das Schaufelblatt auf eine Temperatur, welche 50 bis 300 °C unterhalb der Solidustemperatur der tiefstschmelzenden Phase des Schaufelblattwerkstoffs liegt, vorgewärmt wird, und dass der Hohlraum der Giessform mit der Schmelze einer für die Deckplatte und das Fussstück bestimmten nichtdispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung mit einer Giesstemperatur, welche höchstens 100 °C über der Liquidustemperatur der höchstschmelzenden Phase dieser Legierung liegt, derart gefüllt wird, dass das Kopfende und das Fussende des Schaufelblattes vollständig umgossen und eingegossen werden, und dass die Temperatur der Schmelze nach Beendigung des Giessvorgangs und während des Erstarrens sowie diejenige des Schaufelblattes derart gesteuert wird, dass jegliches Anschmelzen des Schaufelblattes und jegliche metallurgische Bindung zwischen dem Werkstoff des Schaufelblattes und demjenigen der Deckplatte und des Fussstücks vermieden wird, und dass das gesamte Werkstück auf Raumtemperatur abgekühlt wird.

Die Aufgabe wird ferner dadurch gelöst, dass bei der eingangs erwähnten zusammengesetzten Gasturbinenschaufel das Fussstück und die Deckplatte aus einer nichtdispersionsgehärteten Nickelbasis-Guss-Superlegierung bestehen und dass das Fussstück und die Deckplatte über Vertiefungen und/oder Erhebungen am Fussende und am Kopfende der Mantelfläche des Schaufelblattes unter Wahrung eines metallischen Unterbruchs und ohne jegliche metallurgische Bindung rein mechanisch durch Um- und Eingiessen befestigt sind.

WEG ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden, durch Figuren näher erläuterten Ausführungsbeispiele beschrieben.

Dabei zeigt:

Fig. 1 einen schematischen Längsschnitt (Aufriss) durch eine Giesseinrichtung für das Kopfende dieses einzugiessenden Schaufelblattes,

Fig. 2 einen schematischen Längsschnitt durch eine zusammengesetzte Leitschaufel für eine Gasturbine,

Fig. 3 einen schematischen Längsschnitt durch den Fussteil mit Zwischenschicht zwischen Schaufelblatt und Fussstück einer Leitschaufel für eine Gasturbine,

Fig. 4 einen schematischen Längsschnitt durch eine zusammengesetzte Laufschaufel für eine Gasturbine.

Fig. 5 einen schematischen Längsschnitt durch eine zusammengesetzte Laufschaufel mit Zwischenschicht und Kühlkanälen im Fussteil.

In Fig. 1 ist ein schematischer Längsschnitt (Aufriss) durch eine Giesseinrichtung für das Kopfe eines einzugießenden Schaufelblatts hergestellt. 1 ist das Schaufelblatt aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung, dessen Längsachse sich in senkrechter Stellung befindet. Das einbzw. umzugießende Kopfe 2 befindet sich oben. Es ist gegenüber dem aktiven Profil des Schaufelblatts 1 in den Querabmessungen abgesetzt und weist eine umlaufende Vertiefung 4 und eine ebensolche Erhebung 5 zwecks besserer mechanischer Verankerung der durch Umgießen herzustellenden und zu befestigenden Deckplatte (Bezugszeichen 6 in Fig. 2) auf. 8 ist die aus Keramik bestehende Giessform, welche auf ihrer konkaven Seite der Form der herzustellenden Deckplatte (Negativform) entspricht. 9 ist der seitlich angebrachte Eingusstrichter der Giessform 8. Um die Giesstemperatur niedrig halten zu können, sind an kritischen Stellen höheren Wärmeabflusses wärmeisolierende Packungen 10 bzw. eine Heizplatte 11 auf der Aussenseite der Giessform 8 vorgesehen. Um ein allfälliges Durchsickern der Schmelze 13 aus einer Nickelbasis-Superlegierung im Spalt zwischen der Mantelfläche des Schaufelblatts 1 und der Giessform 8 zu vermeiden, ist an der entsprechenden einspringenden Ecke auf der Giessformaussenseite eine um das ganze Schaufelprofil umlaufende, kragenförmige Dichtung 12 aus Keramik-Klebstoff vorgesehen. In Fig. 1 ist der Zeitpunkt der Beendigung des Giessvorganges dargestellt. 14 stellt den die Deckplatte bildenden Teil der Schmelze 13 dar.

Fig. 2 stellt einen schematischen Längsschnitt durch eine zusammengestellte Leitschaufel für eine Gasturbine dar. 1 ist das aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung bestehende, durch Zonenglühen in Längsrichtung orientierte, grobe Stengelkristalle aufweisende Schaufelblatt. 2 ist das Kopfe, 3 das Fussende des Schaufelblattes 1, die beide je eine umlaufende Vertiefung 4 und eine ebensolche Erhebung 5 besitzen. 6 ist die Deckplatte bzw. das Deckband, 7 das Gussstück der Schaufel. Beide bestehen je aus einer nichtdispersionsgehärteten Nickelbasis-Guss-Superlegierung. 6 und 7 weisen im allgemeinen - je nach Zusammensetzung, Giesstemperatur und Abkühlungsbedingungen - feinkörnige bis mit-

telkörnige Kristallstruktur auf.

Fig. 3 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch den Fussteil einer Leitschaufel für eine Gasturbine, wobei das Fussstück Kühlkanäle aufweist und sich zwischen Fussstück und Schaufelblatt eine Zwischenschicht befindet. 15 sind Kühlkanäle im Fussstück 7 der Schaufel. 16 ist eine aus einem Oxyd bestehende, wärmedämmende, die metallurgische Bindung zwischen Schaufelblatt 1 und Fussstück 7 verhindernde Oxydschicht. Diese kann eine auf natürliche Weise entstehende Oxydschicht des Schaufelblattes 1 von wenigen μm Dicke oder eine speziell auf diesem Mantelteil des Schaufelblattes 1 aufgetragene Schicht eines Oxyds ausgewählt aus den Elementen Cr, Al, Si, Ti, Rz mit einer Dicke von 5 bis 200 μm sein.

In Fig. 4 ist ein schematischer Längsschnitt durch eine zusammengesetzte Laufschaufel für eine Gasturbine dargestellt. Grundsätzlich entsprechen alle Bezugszeichen denjenigen der vorangegangenen Figuren. Lediglich die Formen der Bauteile sind verschieden. Der Fussteil der Schaufel hat eine zweifache Tannenbaumverzahnung, welche eine gute Versenkung im Rotorkörper der Turbine gewährleistet.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Längsschnitt durch eine zusammengesetzte Laufschaufel mit Zwischenschicht und Kühlkanälen im Fussteil. Die einzelnen Bauteile und Bezugszeichen entsprechen grundsätzlich denjenigen der Figur 4. Am Kopfe 2 des Schaufelblattes 1 aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung befindet sich die aus einer nichtoxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Guss-Superlegierung bestehende Deckplatte 6 mit Vertiefungen 4 und Erhebungen 5 zwecks Verankerung. Das Fussende 3 des Schaufelblattes 1 ist tannenbaumförmig mit Vertiefungen 4 und Erhebungen 5 ausgeführt und steckt seinerseits in einem tannenbaumförmigen Fussstück 7 aus einer Nickelbasis-Guss-Superlegierung. Das Fussstück 7 ist mit Kühlkanälen 15 versehen. Zwischen dem Fussende 3 des Schaufelblattes 1 und dem Fussstück 7 befindet sich eine bis 200 μm dicke Zwischenschicht aus einem Oxyd. Diese dient zur elastischen Aufnahme von Einspannkräften und Dehnungsunterschieden bei rasch wechselnden Betriebsverhältnissen (Thermoschock etc.) und zur Wärmedämmung zwischen Schaufel und Rotorkörper.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 1

Siehe Figuren 1 und 2!

Aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung wurde ein Schaufelblatt 1 für eine Gasturbinen-Leitschaufel durch mechani-

sche Bearbeitung hergestellt. Der Werkstoff lag in Form von prismatischem Halbzeug mit einem rechteckigen Querschnitt von 100 mm Breite und 32 mm Dicke im zonengeglühten rekristallisierten grobkörnigen Zustand vor. Die längsgerichteten Stengelkristalle haben durchschnittlich eine Länge von 20 mm, eine Breite von 6 mm und eine Dicke von 3 mm. Der mit dem Handelsnamen MA 6000 bezeichnete Werkstoff von INCO hatte die nachfolgende Zusammensetzung:

Cr = 15,0 Gew.-%
Al = 4,5 Gew.-%
Ti = 2,5 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 4,0 Gew.-%
Ta = 2,0 Gew.-%
Zr = 0,25 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,05 Gew.-%
Y₂O₃ = Rest Gew.-%

Das Schaufelblatt 1 mit Tragflügelprofil hatte folgende Abmessungen:

Totale Länge = 180 mm
Grösste Breite = 85 mm
Grösste Dicke = 24 mm
Profilhöhe = 30 mm

Das Kopfende 2 des Schaufelblatts 1 war auf seiner Mantelfläche abgesetzt. Der abgesetzte Teil wies eine Vertiefung 4 in Form einer umlaufenden ausgerundeten Nut von 4 mm Tiefe und 2,5 mm Breite auf. Dadurch wurde am äussersten Ende eine Erhebung 5 gebildet.

Das Schaufelblatt 1 wurde nun auf eine Temperatur von 1140 °C aufgeheizt und in die ebenfalls vorgewärmte Giessform 8 aus Keramik gebracht, so dass das Kopfende 2 in den Hohlraum der letzteren vorkragte. Die Giessform 8 wurde gegen das Schaufelblatt 1 mittels Dichtung 12 aus Keramik-Klebstoff abgeschlossen. Nun wurde über den Eingusstrichter 9 eine Schmelze aus einer Superlegierung in den Hohlraum der Giessform 8 gegossen, wobei deren nachträglich die Deckplatte bildende Teil 14 das Kopfende 2 des Schaufelblatts 1 umschloss. Die für die Schmelze 13 verwendete nichtdispersionsgehärtete Nickelbasis-Guss-Superlegierung mit dem Handelsnamen IN 738 von INCO hatte die nachfolgende Zusammensetzung:

Cr = 16,0 Gew.-%
Co = 8,5 Gew.-%
Mo = 1,75 Gew.-%
W = 2,6 Gew.-%
Ta = 1,75 Gew.-%
Nb = 0,9 Gew.-%

Al = 3,4 Gew.-%
Ti = 3,4 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,11 Gew.-%
Ni = Rest

Diese Legierung hat eine Liquidustemperatur von ca. 1315 °C. Die Giesstemperatur betrug maximal 1380 °C. Nach der verhältnismässig raschen Erstarrung der Schmelze 14 wurde das Werkstück langsam abgekühlt. Dank der tiefen Giesstemperatur wurde ein mild-bis feinkörniges Gefüge für die Deckplatte 6 erzielt. Letztere hatte folgende Abmessungen:

Mittlere Dicke = 10 mm
Breite = 70 mm
Länge = 90 mm

Die Untersuchungen ergaben, dass zwischen dem Schaufelblatt 1 und der Deckplatte 6 keinerlei metallurgische Bindung besteht, dass also das Gefüge des Kopfendes 2 nicht angeschmolzen worden war. Die Bindung war rein mechanischer Art, wobei eine natürliche Oxydschicht von ca. 3 µm Dicke auf der Oberfläche des Schaufelblattes 1 einen direkten metallischen Kontakt verhinderte.

Die fertige Schaufel wurde einem 5 min-Zyklus zwischen den Temperaturgrenzen von ca. 200 °C und ca. 1000 °C unterworfen, um ihre Thermochockempfindlichkeit zu prüfen. Nach 500 Zyklen konnten keine Risse und keine Lockerung der Deckplatte 6 vom Schaufelblatt 1 festgestellt werden. Die natürliche Oxydhaut zwischen diesen beiden Teilen wirkte bereits als Wärmedämmschicht, so dass die Deckplatte höchstens auf eine Temperatur von 800 °C kann. Dies wirkt sich auch im Betrieb vorteilhaft aus, insbesondere bei Abschaltungen oder generatorseitigen Lastabwürfen.

Ganz allgemein soll im vorliegenden Fall die Vorwärmtemperatur des Schaufelblattes 1 1140 bis 1180 °C und die Giesstemperatur der Schmelze 13 höchstens 1380 °C betragen.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 2

Siehe Figuren 1 und 2!

Gemäss Beispiel 1 wurde ein Schaufelblatt 1 aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung hergestellt. Die Legierungszusammensetzung und die Abmessungen entsprachen genau Beispiel 1. Das Schaufelblatt 1 wurde auf eine Temperatur von 1160 °C vorgewärmt und mit seinem Kopfende 2 in eine Giessform 8 gemäss Fig. 1 und mit seinem Fussende 3 in eine entspre-

chende Giessform (nicht gezeichnet!) eingelegt. Nun wurden die Hohlräume beider Giessformen gleichzeitig mit einer Schmelze 13 aus einer nicht-dispersionsgehärteten Nickelbasis-Guss-Superlegierung mit der Handelsbezeichnung IN 939 von INCO gefüllt. Die Legierung hatte die nachfolgende Zusammensetzung:

Cr = 22,4 Gew.-%
Co = 19,0 Gew.-%
Ta = 1,4 Gew.-%
Nb = 1,0 Gew.-%
Al = 1,9 Gew.-%
Ti = 3,7 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
C = 0,15 Gew.-%
Ni = Rest

Diese Legierung hat eine Liquidustemperatur von ca. 1340 °C. Die Giesstemperatur betrug maximal 1400 °C. Im übrigen wurde genau gleich verfahren wie unter Beispiel 1 angegeben. Die Untersuchung ergab, dass zwischen Schaufelblatt 1 einerseits und Deckplatte 6 bzw. Fussstück 7 keinerlei metallurgische Bindung bestand. Die Prüfung auf Temperaturwechselbeständigkeit ergab Rissfreiheit und kein Loslösen der Deckplatte 6 bzw. des Fussstücks 7 vom Schaufelblatt 1.

Im Interesse von Lunkerfreiheit und möglichst geringer Porosität ist bei der konstruktiven Gestaltung der Deckplatte 6 und insbesondere des Fussstücks 7 darauf zu achten, dass Materialanhäufungen der Guss-Superlegierung vermieden werden können.

Ganz allgemein soll im vorliegenden Fall die Vorwärmtemperatur des Schaufelblattes 1 1160 bis 1200 °C und die Giesstemperatur der Schmelze 13 höchstens 1400 °C betragen.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 3

Siehe Figuren 1 und 3!

Aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung wurde ein Schaufelblatt 1 für eine Gasturbinen-Leitschaufel durch mechanische Bearbeitung hergestellt. Das im grobkörnigen, längsgerichteten Stengelkristalle aufweisende Halbzeug als Ausgangsmaterial sowie das fertige Schaufelblatt wiesen die gleichen Abmessungen wie in Beispiel 1 auf. Die Legierung hatte folgende Zusammensetzung:

Cr = 20,0 Gew.-%
Al = 6,0 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 3,5 Gew.-%

Zr = 0,19 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,01 Gew.-%
Y₂O₃ = 1,1 Gew.-%
Ni = Rest

Das Fussende 3 des Schaufelblattes 1 war auf seiner Mantelfläche abgesetzt und wies eine rechteckförmige Vertiefung 4 von 10 mm Tiefe und 14 mm Breite sowie eine entsprechende Erhebung 5 von 10 mm Dicke und 13 mm Breite auf. Die gesamte Oberfläche des Fussendes 3 des Schaufelblattes 1 wurde nach dem Plasmaspritzverfahren mit einer ca. 150 µm dicken Zwischenschicht 16 aus Al₂O₃ versehen.

In der Folge wurde nun gleich verfahren wie unter Beispiel 1 angegeben. Das Schaufelblatt 1 wurde auf eine Temperatur von 1120 °C aufgeheizt und in eine entsprechende Giessform aus Keramik gebracht. Die verwendete Guss-Superlegierung IN 738 entsprach genau derjenigen von Beispiel 1. Die Giesstemperatur betrug maximal 1380 °C. Im Interesse einer besseren Kühlung des Fussstücks 7 und der Vermeidung von Materialanhäufungen sowie einer leichteren Konstruktion wurde dieses mit Kühlkanälen 15 ausgerüstet. Trotz der Zwischenschicht 16 war die mechanische Bindung zwischen Schaufelblatt 1 und Fussstück 7 sehr gut. Die Temperaturwechselbeständigkeit war ausgezeichnet. Es konnten nach 1000 Zyklen keine Anrisse festgestellt werden. Die Zwischenschicht 16 erwies sich als Wärmedämmschicht hervorragend. Bei einer durchschnittlichen Temperatur des Schaufelblattes von 1000 °C erreichte das Fussstück nur ca. 700 °C.

Ganz allgemein soll im vorliegenden Fall die Vorwärmtemperatur des Schaufelblattes 1120 bis 1160 °C und die Giesstemperatur der Schmelze 13 höchstens 1380 °C betragen.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 4

Siehe Figuren 1 und 4!

Aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung wurde ein Schaufelblatt 1 für eine Gasturbinen-Laufschaufel durch mechanische Bearbeitung hergestellt. Der Werkstoff lag in Form von prismatischem Halbzeug mit einem rechteckigen Querschnitt von 100 mm Breite und 30 mm Dicke im zonengeglühten rekristallisierten grobkörnigen Zustand vor. Die längsgerichteten Stengelkristalle hatten durchschnittlich eine Länge von 25 mm, eine Breite von 8 mm und eine Dicke von 3,5 mm. Das Halbzeug wurde vor der mechanischen Bearbeitung zwecks Erhöhung der Duktilität senkrecht zur Längsrichtung der Stengelkristalle

einer Wärmebehandlung unterworfen, welche in einem Glühen bei oder dicht oberhalb der tiefstmöglichen Lösungsglüh-temperatur für die γ -Phase in der γ -Matrix, gefolgt von einem Abkühlen mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von höchstens 5 °C/min bestand. Der Werkstoff entsprach genau der Zusammensetzung gemäss Beispiel 3.

Das Schaufelblatt 1 hatte ein Tragflügelprofil mit folgenden Abmessungen:

Totale Länge = 200 mm
Grösste Breite = 70 mm
Grösste Dicke = 20 mm
Profilhöhe 28 = mm

Das Kopfende 2 des Schaufelblatts 1 war auf seiner Mantelfläche abgesetzt. Der abgesetzte Teil wies Vertiefungen 4 in Form von umlaufenden, im Grund abgerundeten Nuten von 2 mm Tiefe und 2 mm Breite auf. Die sich zwischen den Nuten befindlichen Erhebungen 5 hatten ähnliche Dimensionen.

Das Schaufelblatt 1 wurde nun auf eine Temperatur von 1120 °C vorgewärmt und in eine ebenfalls vorgewärmte Giessform ähnlich 8 in Fig. 1 gebracht.

Das weitere Vorgehen entsprach demjenigen in Beispiel 1. Für die Schmelze 13 wurde die Guss-Superlegierung IN 939 entsprechend Zusammensetzung nach Beispiel 2 verwendet. Die Giesstemperatur betrug maximal 1400 °C. Die Erstarrung erfolgte in verhältnismässig kurzer Zeit, was ein feinkörniges Gefüge zur Folge hatte. Nach der Erstarrung wurde das Werkstück langsam abgekühlt. Die Deckplatte 6 hatte folgende Abmessungen:

Mittlere Dicke = 8 mm
Breite = 80 mm (schief zur Schaufel gemessen)
Länge = 100 mm

Die natürliche Oxydschicht zwischen Schaufelblatt 1 und Deckplatte 6 hatte eine durchschnittliche Dicke von 3 bis 5 μ m.

Die Temperaturwechselbeständigkeit im Bereich zwischen 200 und 1000 °C war sehr gut. Nach 500 Zyklen konnten keine Anrisse in Schaufelblatt 1 oder in der Deckplatte 6 festgestellt werden.

Ganz allgemein soll im vorliegenden Fall die Vorwärmtemperatur des Schaufelblatts 1 1120 bis 1160 °C und die Giesstemperatur der Schmelze 13 höchstens 1400 °C betragen.

Siehe Figuren 1 und 4!

Gemäss Beispiel 4 wurde ein Schaufelblatt 1 aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung hergestellt. Die Legierungszusammensetzung wurde wie folgt gewählt:

Cr = 17,0 Gew.-%
Al = 6,0 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 3,5 Gew.-%
Ta = 2,0 Gew.-%
Zr = 0,15 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,05 Gew.-%
Y₂O₃ = 1,1 Gew.-%
Ni = Rest

Im Gegensatz zu Beispiel 4 war jedoch das Halbzeug nicht zuvor einer Wärmebehandlung zur Erhöhung der Duktilität unterworfen worden.

Die Abmessungen des Schaufelblatts entsprachen denjenigen des Beispiels 4. Das Fussende 3 des Schaufelblatts 1 wies - in der Axialebene des Turbinenrotors gesehen - eine tannenbaumähnliche Form mit 3 Vertiefungen 4 und 3 Erhebungen 5 auf, was eine ausgezeichnete Verankerung im Fussstück 7 gewährleistete (siehe Fig. 4!).

Das Schaufelblatt 1 wurde auf eine Temperatur von 1130 °C vorgewärmt und mit seinem Kopfende 2 und seinem Fussende 3 in je eine entsprechende vorgewärmte Giessform eingelegt und mit Keramik-Klebstoff abgedichtet. Die Hohlräume beider Giessformen wurden gleichzeitig mit einer Schmelze 13 aus der Guss-Superlegierung IN 738 mit Zusammensetzung gemäss Beispiel 1 gefüllt. Die Giesstemperatur betrug 1380 °C. Im übrigen wurde entsprechend der vorangegangenen Beispiele verfahren. Die Giessform für das Fussstück 7 war derart konstruiert, dass letzteres im Endzustand ebenfalls - im Axialschnitt des Rotors - eine Tannenbaumform aufwies. 5 Vertiefungen wechselten mit 5 Erhebungen ab, wobei die dem Fussende 3 des Schaufelblattes 1 näherliegenden ungefähr der entsprechenden Vertiefungen 4 und Erhebungen 5 gegenüberstanden. Dadurch wurde eine ausgezeichnete Verzahnung Schaufelblatt 1 / Fussstück 7 / Rotorkörper erreicht, obwohl keinerlei metallurgische Bindung vorhanden war.

Die Thermoschockprüfungen wurden einwandfrei bestanden. Nach 1000 Zyklen waren keinerlei Risse noch Loslösungen der Verankerung zwischen Schaufelblatt zwischen Schaufelblatt 1 einerseits und Deckplatte 6 und Fussstück 7 andererseits feststellbar.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 5

Ganz allgemein soll im vorliegenden Fall die Vorwärmtemperatur des Schaufelblatts 1 1130 bis 1170 °C und die Giesstemperatur der Schmelze 13 höchstens 1380 °C betragen.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 6

Siehe Figuren 1 und 5!

Aus einer nicht zuvor durch eine Wärmebehandlung zur Erhöhung der Duktilität vorbehandelten, als Halbzeug gemäss Beispiel 5 vorliegenden oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung wurde ein Schaufelblatt 1 für eine Gasturbinen-Laufschaufel durch mechanische Bearbeitung hergestellt. Die Zusammensetzung des Werkstoffs sowie die Abmessungen und die Form des Schaufelblatts entsprechen genau den in Beispiel 5 angegebenen Werten.

Die gesamte Oberfläche des tannenbaumförmigen Fussendes 3 des Schaufelblatts 1 wurde nach dem Plasmaspritzverfahren mit einer durchschnittlich 80 µm dicken Zwischenschicht 16 aus mit 1 % Y_2O_3 dotiertem ZrO_2 versehen.

Das Schaufelblatt 1 wurde nun auf eine Temperatur von 1180 °C aufgeheizt, um einen möglichst grossen Anteil der γ -Phase in der γ -Matrix des Werkstoffs in Lösung zu bringen. Daraufhin wurde das Fussende 3 des Schaufelblatts 1 in eine entsprechende, mit Kernen versehene vorgewärmte Giessform gebracht und mit Keramik-Klebstoff abgedichtet. Als Schmelze 13 wurde die Guss-Superlegierung IN 939 mit der Zusammensetzung von Beispiel 2 mit einer Liquidustemperatur von ca. 1340 °C verwendet. Die Giesstemperatur betrug 1380 °C. Dank der für die Kühlkanäle 15 bestimmten Kerne wurde eine unzulässige Materialanhäufung im Bereich der Fussstücks 7 vermieden. Dadurch konnte der Erstarrungsvorgang optimal gestaltet und ein feinkörniges Gefüge erzielt werden. Die weitere Abkühlung des Werkstücks wurde sorgfältig überwacht. Es wurde eine Abkühlungsgeschwindigkeit von maximal 5 °C/min bis auf 600 °C herunter eingehalten. Von da ab wurde das Werkstück seiner natürlichen Abkühlung überlassen. Durch dieses Vorgehen wurde die Duktilität des Schaufelblattwerkstoffs insbesondere in der Querrichtung zu den längsgerichteten Stengelkristallen gegenüber dem Anlieferungszustand beträchtlich erhöht. Dies ist insbesondere für das Betriebsverhalten der Verankerung im Fussende 3 des Schaufelblatts 1 von ausschlaggebender Bedeutung. Durch die Erhöhung der Duktilität wurde die Sicherheit gegen Anreissen oder Lockern in diesem hochbeanspruchten Bereich der Schaufel beträchtlich erhöht.

Die bei gleichzeitig aufgebrachtter zyklischer

Zugbelastung vorgenommene Thermo-schockprüfung von 1000 Zyklen zwischen 100 und 1000 °C Schaufelblattemperatur zeigte das ausgezeichnete thermische, mechanische und thermomechanische Verhalten dieser nichtmetallischen Verbindung unter dynamischen Verhältnissen. Die Zwischenschicht 16 wirkte nicht nur als Wärmedämmschicht, sondern übernahm auch als Übertragungsglied für eine elastische Einspannung eine wichtige mechanische Funktion beim Abbau von Spannungsspitzen. Zudem wurde ein nahezu idealer Verbundkörper für die verschiedenartigen Beanspruchungen geschaffen: Schaufelblatt 1 mit grobem Korn für hohe Kriechfestigkeit bei höchsten Temperaturen; Fussstück 7 mit feinem Korn für hohe mechanische Wechsellast bei mittleren Temperaturen; keine metallurgische Bindung zwischen 1 und 7 mit kritischer, das Gefüge störender Übergangszone.

Ganz allgemein soll im vorliegenden Fall die Vorwärmtemperatur des Schaufelblatts 1 1160 bis 1180 °C und die Giesstemperatur der Schmelze 13 höchstens 1400 °C betragen.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL 7

Siehe Figuren 1 und 4!

Gemäss Beispiel 5 wurde ein Schaufelblatt 1 aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung hergestellt. Legierungszusammensetzung und Abmessungen entsprachen den in Beispiel 5 angegebenen Werten.

Das Schaufelblatt 1 wurde auf eine Temperatur von 1180 °C aufgeheizt und mit seinem Kopfende 2 und seinem Fussende 3 in je eine entsprechende vorgewärmte Giessform eingelegt und mit Keramik-Klebstoff abgedichtet. Die Hohlräume der Giessformen wurden gleichzeitig mit einer Schmelze 13 aus der Guss-Superlegierung IN 738 mit der Zusammensetzung gemäss Beispiel 1 gefüllt. Die Giesstemperatur betrug 1370 °C. Die Abkühlung wurde derart gesteuert, dass nach erfolgter Erstarrung der Schmelze 13 der Temperaturbereich von 1200 °C bis auf 600 °C herunter in nur 2 h durchlaufen wurde. Damit wurde eine Erhöhung der Duktilität des Schaufelblattwerkstoffs erzielt.

Das fertige Werkstück wurde nun einer Nachverdichtung im Bereich der Deckplatte 6 und des Fussstücks 7 unterworfen. Das Werkstück wurde zunächst ohne Anwendung von Druck auf eine Temperatur von 1140 °C gebracht. Diese Temperatur lag im Bereich, welcher mindestens 100 °C, aber höchstens 150 °C tiefer lag als die Rekristallisationstemperatur sowohl des Schaufelblattwerkstoffs wie derjenigen der Deckplatte 6 und des Fussstücks 7. Daraufhin wurde das Werkstück ein-

em allseitigen Druck von 2000 bar ausgesetzt und somit während 3 h heiss-isostatisch gepresst. Die Abkühlung erfolgte mit einer Geschwindigkeit von 5 °C/min. Dadurch wurde die höchstmögliche Duktilität in der Querrichtung des Schaufelblatts 1 erreicht. Die Untersuchung ergab, dass für die Deckplatte 6 und das Fussstück 7 eine Dichte von 100 % des theoretischen Wertes erreicht wurde.

Die Festigkeit dieser beiden Werkstücksteile 6 und 7 erreichte mindestens die Werte eines normal bei höheren Temperaturen vergossenen und dicht erstarrten Vergleichskörpers. Die Thermo-schockprüfung sowie die dynamische Belastung bei höheren Temperaturen lieferten ausgezeichnete Resultate. Es konnten keine Anrisse noch Lockerungen im Verbundkörper beobachtet werden.

Die Erfindung ist nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt. Grundsätzlich können auch oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierungen für das Schaufelblatt 1 sowie nichtoxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierungen für die Deckplatte (das Deckband) 6 und das Fussstück 7 anderer als der angegebenen Zusammensetzungen Verwendung finden. Die Vorwärmtemperatur für das Schaufelblatt 1 soll in den Bereich von 50 bis 300 °C unterhalb der Solidustemperatur der tief-schmelzenden Phase des Schaufelblattwerkstoffs fallen, die Giesstemperatur der Schmelze 13 der nichtdispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung höchstens 100 °C über der Liquidustemperatur der höchstschmelzenden Phase dieser Legierung liegen. Die Temperatur der Schmelze 13 nach Beendigung des Giessvorgangs und während des Erstarrens sowie diejenige des Schaufelblatts 1 ist so zu steuern, dass jegliches Anschmelzen des Schaufelblatts 1 und jegliche metallurgische Bindung zwischen Schaufelblatt 1 und Deckplatte 6 bzw. Schaufelblatt 1 und Fussstück 7 vermieden wird. Das gesamte Werkstück ist hierauf gezielt auf Raumtemperatur abzukühlen.

Der Schaufelblattwerkstoff (Halbzeug) oder das Schaufelblatt 1 selbst werden zwecks Erhöhung der Duktilität senkrecht zur Längsrichtung des Stengelkristalls vorteilhafterweise vor dem Umgießen einer Wärmebehandlung unterworfen, welche in einem Glühen bei oder dicht oberhalb der Längsglühtemperatur der γ' -Phase in der γ -Matrix des Schaufelblattwerkstoffs, gefolgt von einem Abkühlen mit höchstens 5 °C/min besteht. Alternativ kann das Schaufelblatt 1 auf eine Temperatur vorgewärmt werden, welche mindestens einen Wert von 50 °C unterhalb der tiefstmöglichen Lösungsglühtemperatur der γ' -Phase erreicht. Nach dem Giessen soll die Abkühlungsgeschwindigkeit des Schaufelblatts 1 bis auf 600 °C herunter höchstens 5 °C/min betragen.

Daraufhin kann das Werkstück mit beliebiger

Abkühlungsgeschwindigkeit bis auf Raumtemperatur abgekühlt werden.

Vorzugsweise kann das Schaufelblatt 1 mindestens am Kopfende 2 und am Fussende 3 vor dem Umgießen mit einer 5 bis 200 μ m dicken Zwischenschicht 16 aus einem Oxyd mindestens eines der Elemente Cr, Al, Si, Ti, Zr versehen werden.

Zur Nachverdichtung der Deckplatte 6 und des Fussstücks 7 wird das gesamte Werkstück vorteilhafterweise nach Abkühlen auf Raumtemperatur nochmals auf eine Temperatur von 1050 bis 1200 °C gebracht und mindestens 6 und/oder 7 heiss-isostatisch gepresst, indem das Werkstück auf eine Temperatur erhitzt wird, die mindestens 100 °C, höchstens aber 150 °C tiefer liegt als die Rekristallisationstemperatur des Werkstoffs sowohl des Schaufelblatts 1 wie der Deckplatte 6 und des Fussstücks 7 und dass unter einem Druck von 1000 bis 3000 bar bei dieser Temperatur während 2 bis 24 h gehalten und anschliessend mit höchstens 5 °C/min bis wenigstens auf 600 °C abgekühlt wird.

Es ist dafür zu sorgen, dass unter allen Umständen dafür gesorgt wird, dass an der fertigen zusammengesetzten Gasturbinenschaufel zwischen dem Schaufelblatt 1 und der Deckplatte 6 bzw. dem Fussstück 7 ein metallischer Unterbruch und keinerlei metallurgische Bindung besteht. Der Unterbruch kann teilweise aus der natürlichen Oxydschicht, teilweise aus Hohlräumen bestehen und eine Breite von maximal 5 μ m aufweisen. Am Ort des metallischen Unterbruchs kann sich jedoch auch eine Zwischenschicht 16, bestehend aus einem Oxyd mindestens eines der Elemente Cr, Al, Si, Ti, Zr von 5 bis 200 μ m Dicke befinden. Letztere wird vorzugsweise als auf dem Schaufelblatt 1 fest haftende Schicht von mindestens 100 μ m Dicke, vorwiegend aus Al_2O_3 oder aus mit Y_2O_3 stabilisierendem ZrO_2 ausgeführt.

Vorteilhafterweise besteht das Schaufelblatt 1 aus einer oxyddispersionsgehärteten, nicht ausscheidungsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung mit erhöhter Duktilität senkrecht zur Längsrichtung der Stengelkristalle. Man verzichtet also in diesem Falle im Interesse der Nachgiebigkeit bewusst auf die zusätzliche Ausscheidungshärtung.

Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer zusammengesetzten Gasturbinenschaufel bestehend aus Fussstück (7), Schaufelblatt (1) und Deckplatte (6) oder Deckband (6), wobei das Schaufelblatt (1) aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung im Zustand von längsgerichteten groben Stengelkristallen besteht, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl das Kopfende (2) wie das

Fussende (3) des Schaufelblattes an der Mantelfläche mit Vertiefungen (4) und/oder Erhebungen (5) versehen wird, dass das Schaufelblatt (1) in eine die Negativform der Deckplatte (6) und des Fussstückes (7) aufweisende Giessform (8) derart eingelegt wird, dass das Kopfende (2) und das Fussende (3) in den Hohlraum der Giessform (8) vorkragen, dass das Schaufelblatt (1) auf eine Temperatur, welche 50 bis 300 °C unterhalb der Solidustemperatur der tiefstschmelzenden Phase des Schaufelblattwerkstoffs liegt, vorgewärmt wird, und dass der Hohlraum der Giessform (8) mit der Schmelze (13) einer für die Deckplatte (6) und das Fussstück (7) bestimmten nichtdispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung mit einer Giesstemperatur, welche höchstens 100 °C über der Liquidustemperatur der höchstschmelzenden Phase dieser Legierung liegt, derart gefüllt wird, dass das Kopfende (2) und das Fussende (3) des Schaufelblattes (1) vollständig umgossen und eingegossen werden, und dass die Temperatur der Schmelze (13) nach Beendigung des Giessvorgangs und während des Erstarrens sowie diejenige des Schaufelblattes (1) derart gesteuert wird, dass jegliches Anschmelzen des Schaufelblattes (1) und jegliche metallurgische Bindung zwischen dem Werkstoff des Schaufelblattes (1) und demjenigen der Deckplatte (6) und des Fussstückes (7) vermieden wird, und dass das gesamte Werkstück auf Raumtemperatur abgekühlt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (1) aus einem zuvor eine Wärmebehandlung zur Erhöhung der Duktilität senkrecht zur Längsrichtung der Stengelkristalle durchgemachten Halbzeug herausgearbeitet wird oder dass das Schaufelblatt (1) nach seiner Herstellung einer entsprechenden Wärmebehandlung unterworfen wird, welche in einem Glühen bei oder direkt oberhalb der tiefstmöglichen Lösungsglühtemperatur für die γ' -Phase in der γ -Matrix des Schaufelblattwerkstoffs, gefolgt von einem langsamen Abkühlen mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von höchstens 5 °C/min besteht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (1) vor dem Um- und Eingiessen auf eine Temperatur vorgewärmt wird, welche mindestens einen Wert von 50 °C unterhalb der tiefstmöglichen Lösungsglühtemperatur für die γ' -Phase in der γ -Matrix des Schaufelblattwerkstoffs erreicht, und dass das Schaufelblatt (1) nach dem Um- und Eingiessen mit einer Abkühlungsgeschwindigkeit von höchstens 5 °C/min wenigstens auf eine Temperatur von 600 °C herunter abgekühlt wird, während die die Deckplatte (6) und/oder das Fussstück (7) bildende erstarrte Schmelze mit einer beliebigen Abkühlungsgeschwindigkeit abgekühlt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (1) mindestens am Kopfende (2) und am Fussende (3) vor dem Einlegen in die Giessform (8) mit einer Zwischenschicht (16) aus einem Oxyd mindestens eines der Elemente Cr, Al, Si, Ti, Zr von 5 µm bis 200 µm Dicke versehen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierung des Schaufelblattes (1) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 15,0 Gew.-%
Al = 4,5 Gew.-%
Ti = 2,5 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 4,0 Gew.-%
Ta = 2,0 Gew.-%
Zr = 0,15 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,05 Gew.-%
Y₂O₃ = 1,1 Gew.-%
Ni = Rest

und dass das Schaufelblatt (1) auf eine Temperatur von 1140 bis 1180 °C vorgewärmt wird, dass ferner die Nickelbasis-Superlegierung des Fussstückes (7) und der Deckplatte (6) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 16,0 Gew.-%
Co = 8,5 Gew.-%
Mo = 1,75 Gew.-%
W = 2,6 Gew.-%
Ta = 1,75 Gew.-%
Nb = 0,9 Gew.-%
Al = 3,4 Gew.-%
Ti = 3,4 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,11 Gew.-%
Ni = Rest

und dass die Giesstemperatur der Schmelze (13) der vorgenannten Zusammensetzung höchstens 1380 °C beträgt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierung des Schaufelblattes (1) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 15,0 Gew.-%
Al = 4,5 Gew.-%
Ti = 2,5 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 4,0 Gew.-%
Ta = 2,0 Gew.-%
Zr = 0,15 Gew.-%

B = 0,01 Gew.-%
 C = 0,05 Gew.-%
 Y_2O_3 = 1,1 Gew.-%
 Ni = Rest

und dass das Schaufelblatt (1) auf eine Temperatur von 1160 bis 1200 °C vorgewärmt wird, dass ferner die Nickelbasis-Superlegierung des Fussstücks (7) und der Deckplatte (6) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 22,4 Gew.-%
 Co = 19,0 Gew.-%
 Ta = 1,4 Gew.-%
 Nb = 1,0 Gew.-%
 Al = 1,9 Gew.-%
 Ti = 3,7 Gew.-%
 Zr = 0,1 Gew.-%
 C = 0,15 Gew.-%
 Ni = Rest

und dass die Giesstemperatur der Schmelze (13) der vorgenannten Zusammensetzung höchstens 1400 °C beträgt.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierung des Schaufelblattes (1) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 20,0 Gew.-%
 Al = 6,0 Gew.-%
 Mo = 2,0 Gew.-%
 W = 3,5 Gew.-%
 Zr = 0,19 Gew.-%
 B = 0,01 Gew.-%
 C = 0,05 Gew.-%
 Y_2O_3 = 1,1 Gew.-%
 Ni = Rest

und dass das Schaufelblatt (1) auf eine Temperatur von 1120 bis 1160 °C vorgewärmt wird, dass ferner die Nickelbasis-Superlegierung des Fussstücks (7) und der Deckplatte (6) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 16,0 Gew.-%
 Co = 8,5 Gew.-%
 Mo = 1,75 Gew.-%
 W = 2,6 Gew.-%
 Ta = 1,75 Gew.-%
 Nb = 0,9 Gew.-%
 Al = 3,4 Gew.-%
 Ti = 3,4 Gew.-%
 Zr = 0,1 Gew.-%
 B = 0,01 Gew.-%
 C = 0,11 Gew.-%
 Ni = Rest

und dass die Giesstemperatur der Schmelze (13) der vorgenannten Zusammensetzung höchstens 1380 °C beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierung des Schaufelblattes (1) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 20,0 Gew.-%
 Al = 6,0 Gew.-%
 Mo = 2,0 Gew.-%
 W = 3,5 Gew.-%
 Zr = 0,19 Gew.-%
 B = 0,01 Gew.-%
 C = 0,05 Gew.-%
 Y_2O_3 = 1,1 Gew.-%
 Ni = Rest

und dass das Schaufelblatt (1) auf eine Temperatur von 1120 bis 1160 °C vorgewärmt wird, dass ferner die Nickelbasis-Superlegierung des Fussstücks (7) und der Deckplatte (6) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 22,4 Gew.-%
 Co = 19,0 Gew.-%
 W = 2,0 Gew.-%
 Ta = 1,4 Gew.-%
 Nb = 1,0 Gew.-%
 Al = 1,9 Gew.-%
 Ti = 3,7 Gew.-%
 Zr = 0,1 Gew.-%
 C = 0,15 Gew.-%
 Ni = Rest

und dass die Giesstemperatur der Schmelze (13) der vorgenannten Zusammensetzung höchstens 1400 °C beträgt.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierung des Schaufelblattes (1) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 17,0 Gew.-%
 Al = 6,0 Gew.-%
 Mo = 2,0 Gew.-%
 W = 3,5 Gew.-%
 Ta = 2,0 Gew.-%
 Zr = 0,15 Gew.-%
 B = 0,01 Gew.-%
 C = 0,05 Gew.-%
 Y_2O_3 = 1,1 Gew.-%
 Ni = Rest

und dass das Schaufelblatt (1) auf eine Temperatur von 1130 bis 1170 °C vorgewärmt wird, dass ferner die Nickelbasis-Superlegierung des Fussstücks (7) und der Deckplatte (6) die nachfolgende Zu-

sammensetzung hat:

Cr = 16,0 Gew.-%
Co = 8,5 Gew.-%
Mo = 1,75 Gew.-%
W = 2,6 Gew.-%
Ta = 1,75 Gew.-%
Nb = 0,9 Gew.-%
Al = 3,4 Gew.-%
Ti = 3,4 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,11 Gew.-%
Ni = Rest

und dass die Giesstemperatur der Schmelze (13) der vorgenannten Zusammensetzung höchstens 1380 °C beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die oxyddispersionsgehärtete Nickelbasis-Superlegierung des Schaufelblattes (1) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 17,0 Gew.-%
Al = 6,0 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 3,5 Gew.-%
Ta = 2,0 Gew.-%
Zr = 0,15 gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,05 Gew.-%
Y₂O₃ = 1,1 Gew.-%
Ni = Rest

und dass das Schaufelblatt (1) auf eine Temperatur von 1130 bis 1170 °C vorgewärmt wird, dass ferner die Nickelbasis-Superlegierung des Fussstücks (7) und der Deckplatte (6) die nachfolgende Zusammensetzung hat:

Cr = 22,4 Gew.-%
Co = 19,0 Gew.-%
W = 2,0 Gew.-%
Ta = 1,4 Gew.-%
Nb = 1,0 Gew.-%
Al = 1,9 Gew.-%
Ti = 3,7 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
C = 0,15 Gew.-%
Ni = Rest

und dass die Giesstemperatur der Schmelze (13) der vorgenannten Zusammensetzung höchstens 1400 °C beträgt.

11. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das gesamte Werkstück nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur nochmals auf eine Temperatur

von 1050 bis 1200 °C erhitzt und mindestens das Fussstück (7) und die Deckplatte (6) einer Nachverdichtung durch heiss-isostatisches Pressen unterworfen werden, derart, dass das Werkstück zunächst auf eine Temperatur erhitzt wird, die mindestens 100 °C und höchstens 150 °C tiefer als die Rekristallisationstemperatur des Werkstoffs sowohl des Schaufelblattes (1) wie der Deckplatte (6) und des Fussstücks (7) liegt, und daraufhin unter einen Druck von 1000 bis 3000 bar bei dieser Temperatur während 2 bis 24 h gesetzt und anschliessend mit einer Geschwindigkeit von höchstens 5 °C/min wenigstens auf eine Temperatur von 600 °C herunter abgekühlt wird.

12. Zusammengesetzte Gasturbinenschaufel, bestehend aus einem Fussstück (7), einem Schaufelblatt (1) und einer Deckplatte (6) oder einem Deckband (6), wobei das Schaufelblatt (1) aus einer oxyddispersionsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung im Zustand von längsgerichteten groben Stengelkristallen besteht, dadurch gekennzeichnet, dass das Fussstück (7) und die Deckplatte (6) aus einer nichtdispersionsgehärteten Nickelbasis-Guss-Superlegierung bestehen und dass das Fussstück (7) und die Deckplatte (6) über Vertiefungen (4) und/oder Erhebungen (5) am Fussende (3) und am Kopfende (2) der Mantelfläche des Schaufelblattes (1) unter Wahrung eines metallischen Unterbruchs und ohne jegliche metallurgische Bindung rein mechanisch durch Um- und Eingiessen befestigt sind.

13. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der metallische Unterbruch zwischen Schaufelblatt (1) einerseits und Deckplatte (6) und/oder Fussstück (7) andererseits in einem teilweise von einer natürlichen Oxydschicht, teilweise von Hohlräumen gebildeten Spalt von maximal 5 µm Breite besteht.

14. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass sich im metallischen Unterbruch zwischen dem Schaufelblatt (1) einerseits und dem Fussstück (7) und/oder der Deckplatte (6) andererseits auf der Oberfläche des ersten eine Zwischenschicht (16) eines Oxyds mindestens eines der Elemente Cr, Al, Si, Ti, Zr von 5 µm bis 200 µm Dicke befindet.

15. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Zwischenschicht (16) als im Betrieb wärmedämmende, auf der Oberfläche des Schaufelblattes (1) fest haftende Schicht von mindestens 100 µm Dicke ausgebildet ist und überwiegend aus Al₂O₃ oder aus mit Y₂O₃ stabilisiertem ZrO₂ besteht.

16. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (1) aus einer oxyddispersionsgehärteten, nicht aus-

scheidungsgehärteten Nickelbasis-Superlegierung mit erhöhter Duktilität senkrecht zur Längsrichtung der Stengelkristalle besteht.

17. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (1) aus einer Legierung der nachfolgenden Zusammensetzung besteht:

Cr = 15,0 Gew.-%
Al = 4,5 Gew.-%
Ti = 2,5 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 4,0 Gew.-%
Ta = 2,0 Gew.-%
Zr = 0,15 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,05 Gew.-%
Y₂O₃ = 1,1 Gew.-%
Ni = Rest

18. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (1) aus einer Legierung der nachfolgenden Zusammensetzung besteht:

Cr = 20,0 Gew.-%
Al = 6,0 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 3,5 Gew.-%
Zr = 0,19 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,05 Gew.-%
Y₂O₃ = 1,1 Gew.-%
Ni = Rest

19. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (1) aus einer Legierung der nachfolgenden Zusammensetzung besteht:

Cr = 17,0 Gew.-%
Al = 6,0 Gew.-%
Mo = 2,0 Gew.-%
W = 3,5 Gew.-%
Ta = 2,0 Gew.-%
Zr = 0,15 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,05 Gew.-%
Y₂O₃ = 1,1 Gew.-%
Ni = Rest

20. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Fussstück (7) und die Deckplatte (6) aus einer Legierung der nachfolgenden Zusammensetzung bestehen:

Cr = 16,0 Gew.-%
Co = 8,5 Gew.-%

Mo = 1,75 Gew.-%
W = 2,6 Gew.-%
Ta = 1,75 Gew.-%
Nb = 0,9 Gew.-%
Al = 3,4 Gew.-%
Ti = 3,4 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
B = 0,01 Gew.-%
C = 0,11 Gew.-%
Ni = Rest

21. Gasturbinenschaufel nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Fussstück (7) und die Deckplatte (6) aus einer Legierung der nachfolgenden Zusammensetzung bestehen:

Cr = 22,4 Gew.-%
Co = 19,0 Gew.-%
W = 2,0 Gew.-%
Ta = 1,4 Gew.-%
Nb = 1,0 Gew.-%
Al = 1,9 Gew.-%
Ti = 3,7 Gew.-%
Zr = 0,1 Gew.-%
C = 0,15 Gew.-%
Ni = Rest

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1

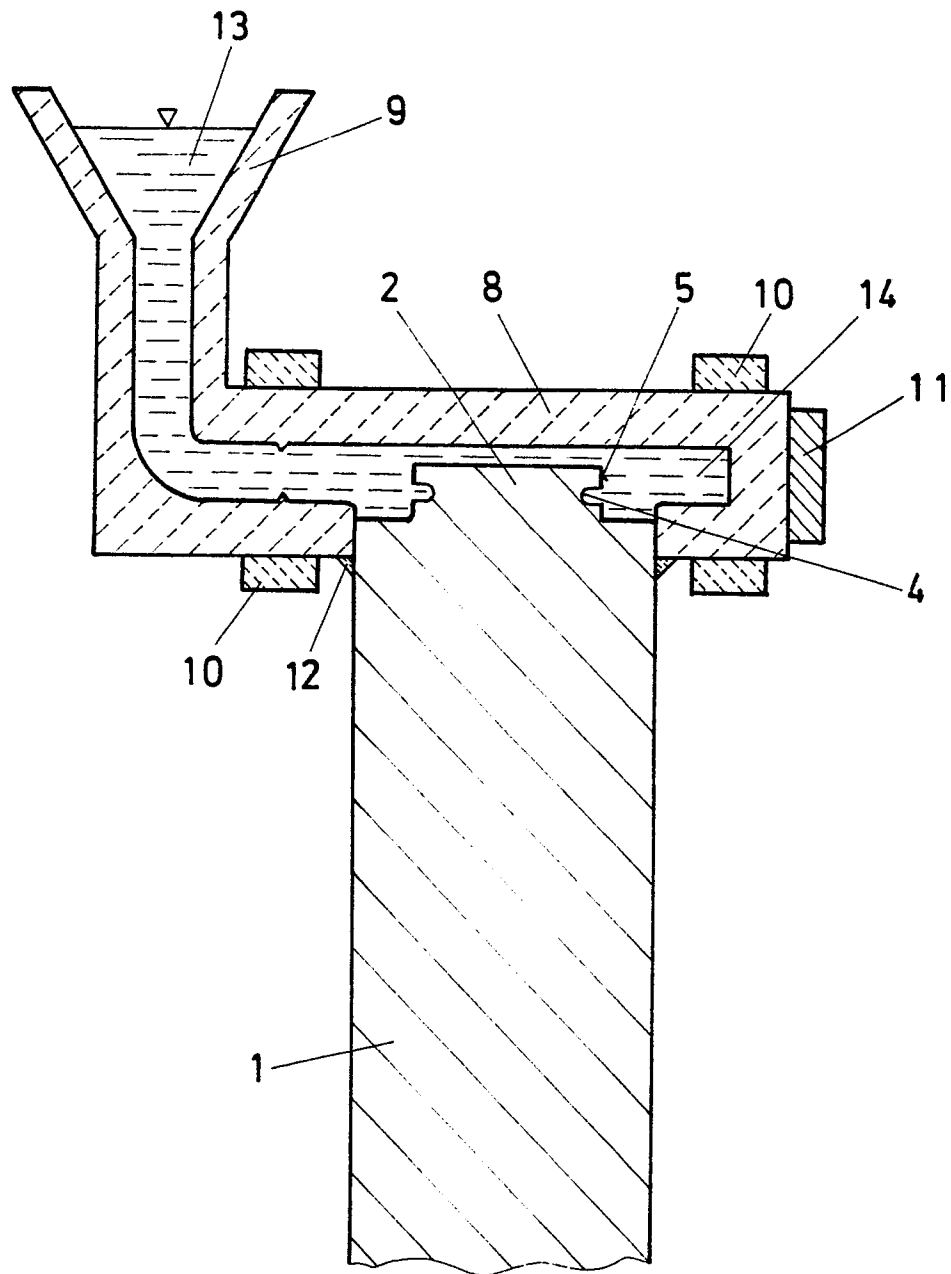


Fig.2

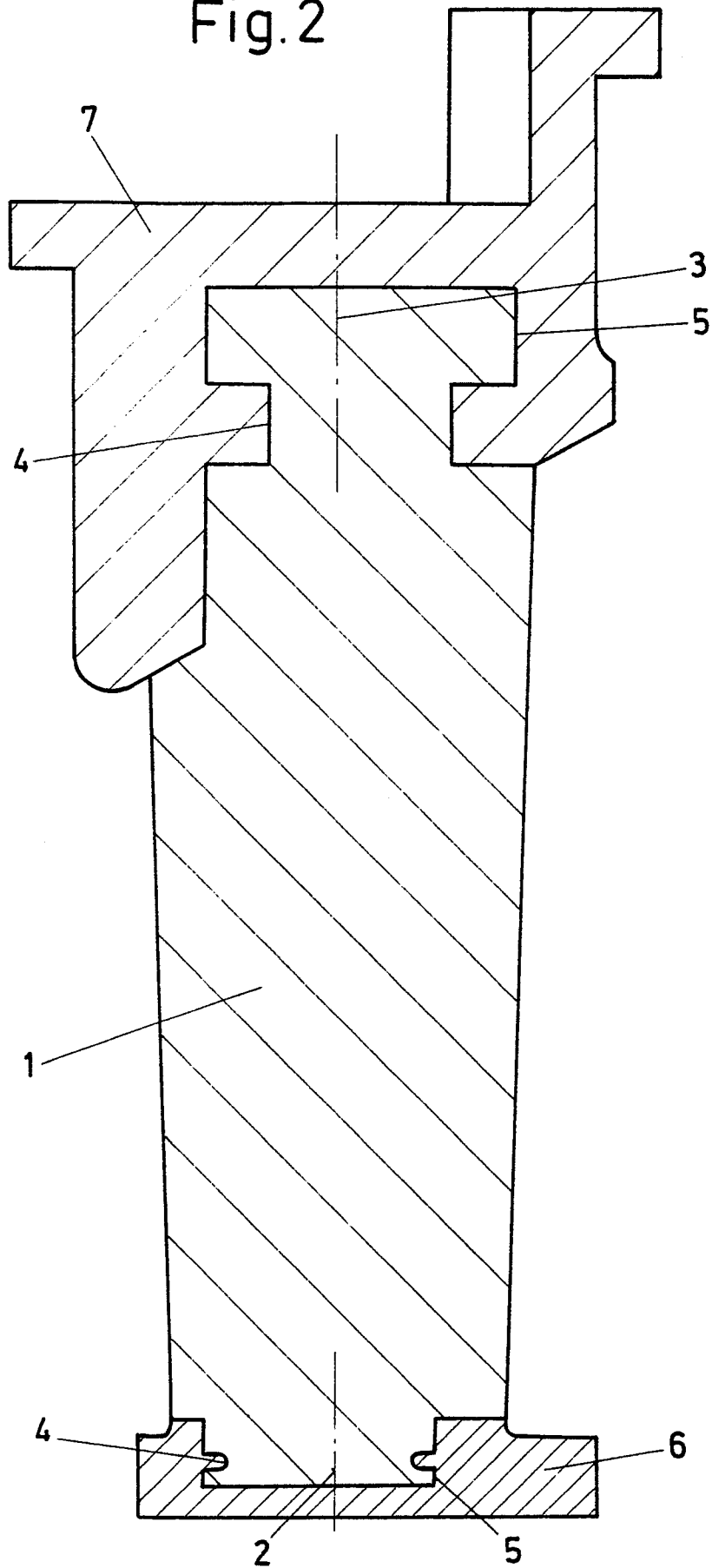


Fig.3

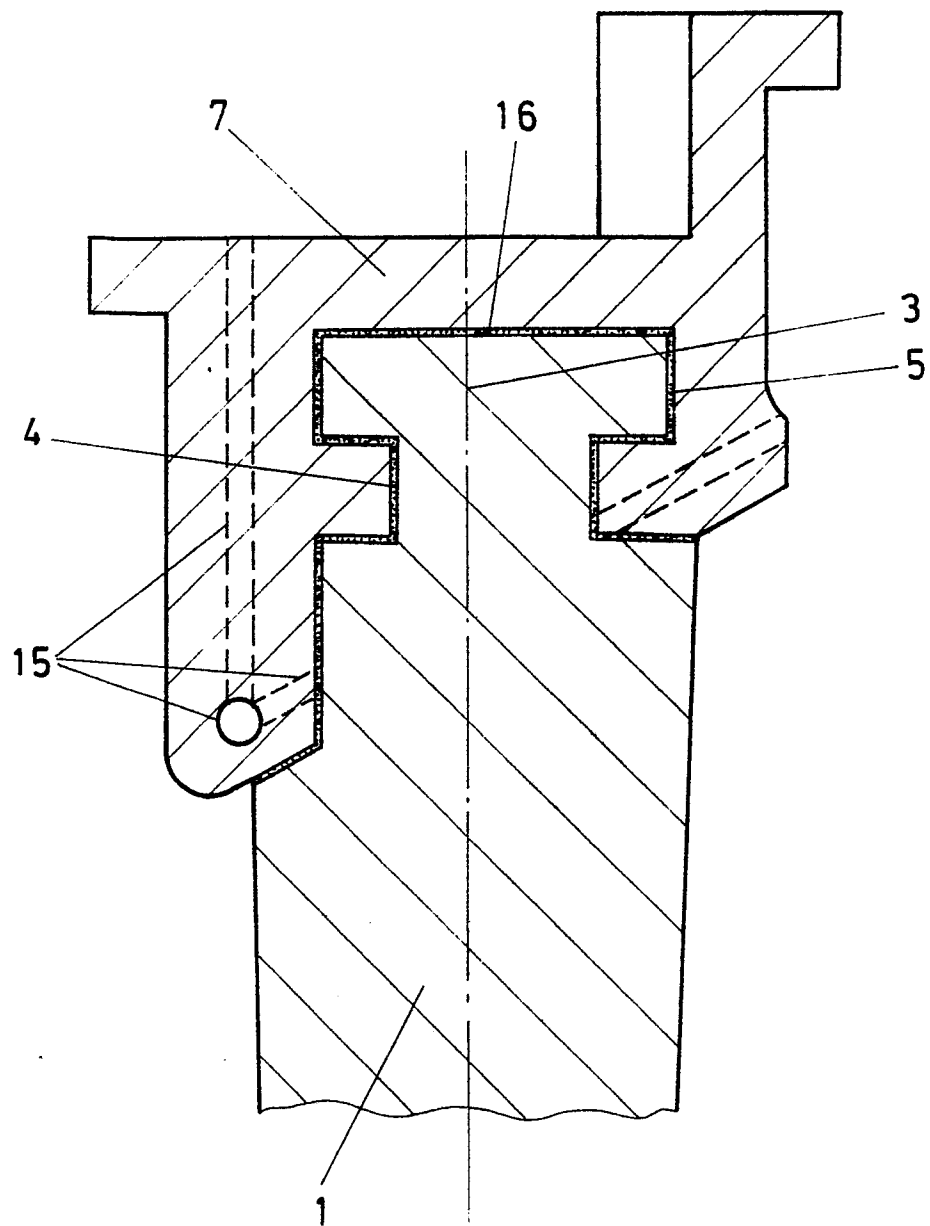


Fig.4

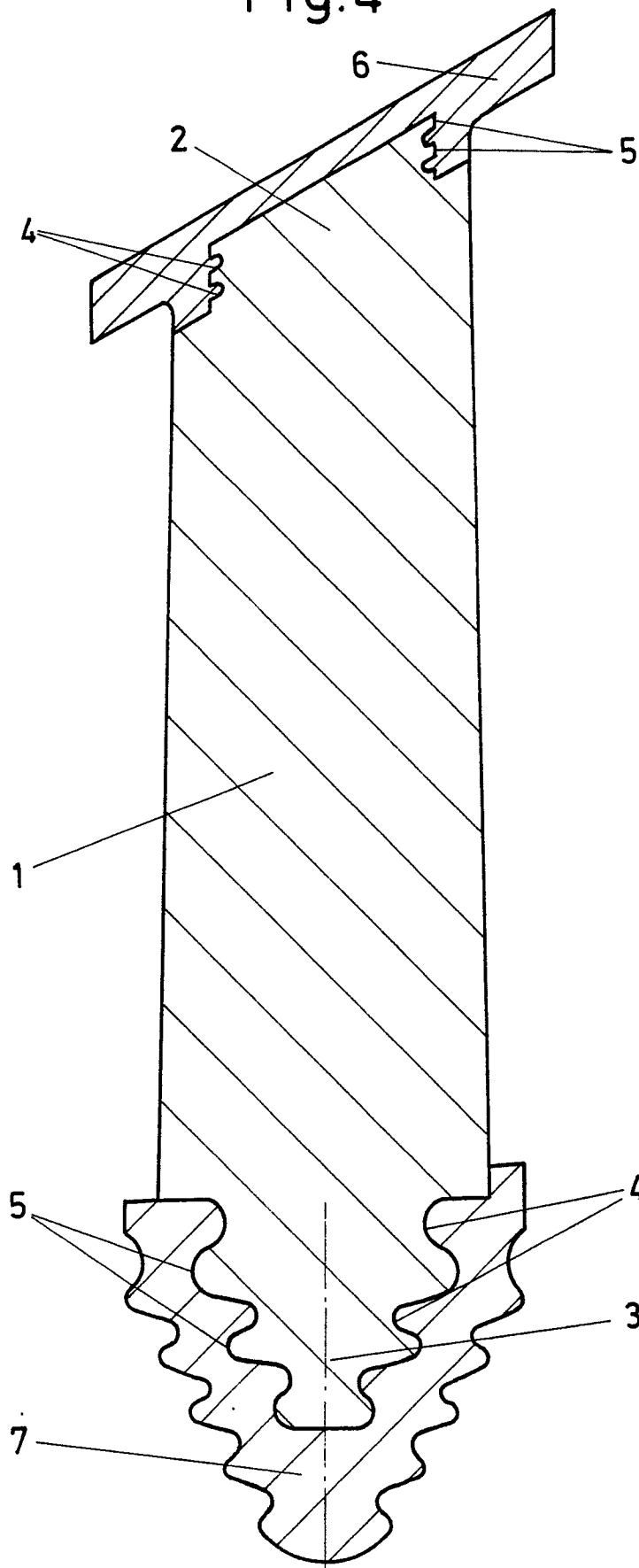
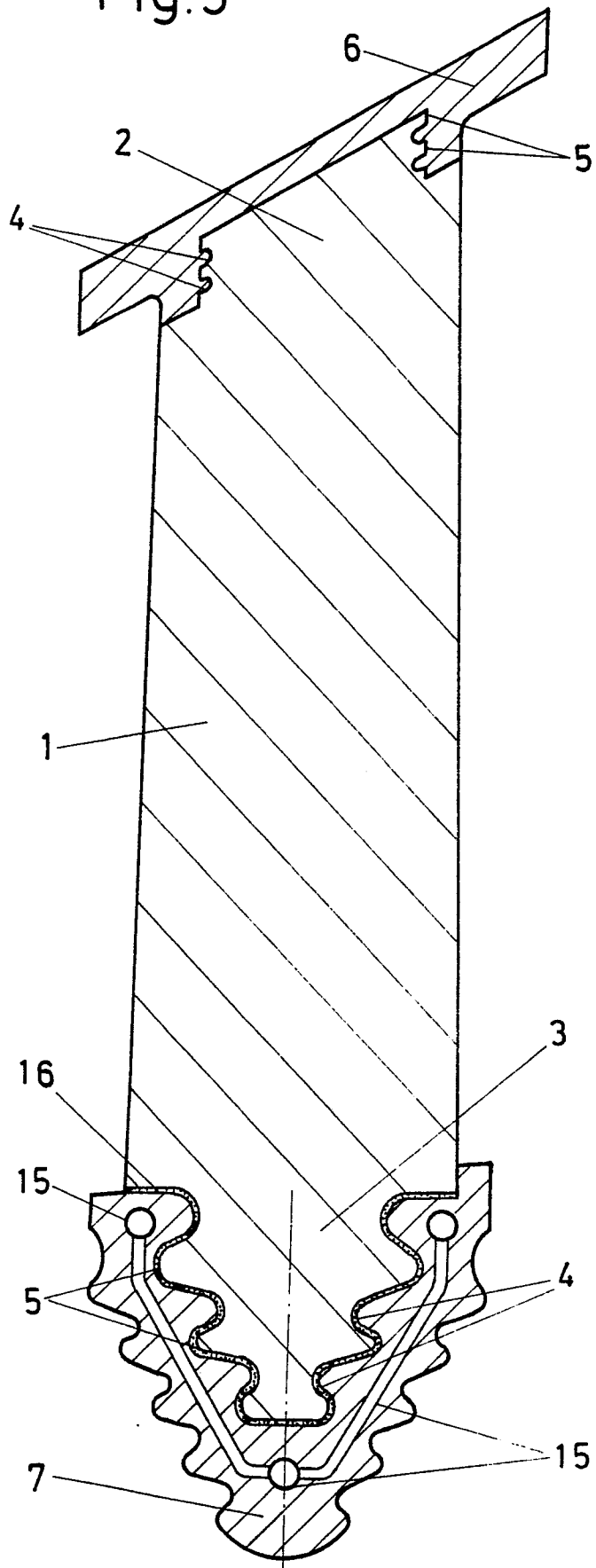


Fig.5





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 88 10 2415

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
Y	FR-A-1 554 000 (BROWN, BOVERIE & CIE S.A.) * Seite 1, rechte Spalte, Zeile 17 - Seite 2, linke Spalte, Zeile 22 * & CH-A-480 445 (Kat. D)	12-15	B 22 D 19/00
A	---	1,4	
Y	US-A-4 538 331 (M.J. EGAN) * Spalte 1, Zeilen 35-40; Spalte 2, Zeilen 7-56; Figur 3 *	12-15	
A	---	1	
A	US-A-2 834 537 (K.J. NEARY) * Spalte 3, Zeilen 14-24 *	1,12	

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)
			B 22 D F 01 D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 04-07-1988	Prüfer DOUGLAS K.P.R.
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 : nichtschriftliche 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 L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	