



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 19 796 T2** 2008.01.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 414 604 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 19 796.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/17995**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 768 284.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/101103**

(86) PCT-Anmeldetag: **07.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **19.12.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.05.2004**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **25.04.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.01.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B22D 13/00** (2006.01)

**B22D 11/00** (2006.01)

**B05D 3/02** (2006.01)

**C01B 31/00** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**296770 P**      **11.06.2001**      **US**

(73) Patentinhaber:

**Santoku America, Inc., Tolleson, Ariz., US**

(74) Vertreter:

**Patent- und Rechtsanwälte Kraus & Weisert,  
80539 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**RAY, Ranjan, Phoenix, AZ 85022, US; SCOTT,  
Donald, Peoria, AZ 85381, US**

(54) Bezeichnung: **SCHLEUDERGIESSEN VON SUPERLEGIERUNGEN AUF NICKELBASIS MIT VERBESSERTER OBERFLÄCHENQUALITÄT, KONSTRUKTIVER STABILITÄT UND VERBESSERTEN MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN IN ISOTROPEN GRAPHITMODULEN UNTER VAKUUM**

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

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldung Nr. 60/296,770, die am 11. Juni 2001 eingereicht worden ist.

## I. Gebiet der Erfindung

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Verfahren zur Verarbeitung von metallischen Legierungen wie Superlegierungen auf Nickel-Basis zu hohlen Rohren, Zylindern, Röhren, Ringen und ähnlichen rohrförmigen Produkten durch Schmelzen der Legierungen in einem Vakuum oder unter einem geringen Partialdruck eines Inertgases und nachfolgendes zentrifugales Gießen der Schmelze unter Vakuum oder unter einem geringen Druck eines Inertgases in Formen, die aus feinkörnigem, isotropen Graphit hoher Dichte und hoher Festigkeit maschinell hergestellt worden sind, wobei sich die Form um ihre eigene Achse dreht. Das Verfahren bezieht sich auch auf eine Zentrifugalgussformvorrichtung, die eine isotrope Graphitform beinhaltet.

## II. Hintergrund der Erfindung

**[0003]** Superlegierungen auf Nickel-Basis, die zu Formen, wie nahtlose Ringe, hohle Rohre und Röhren, verarbeitet worden sind, finden sich in vielerlei technischen Anwendungen in Flugzeugmotoren, in der Ölindustrie und der chemischen Industrie sowie in anderen Hochleistungskomponenten. Komplexe hochgradig legierte Superlegierungen auf Nickel-Basis werden für fordernde Anwendungen in Flugzeugmotoren, wie Turbinengehäusen, Dichtungen und Ringen, in Form nahtloser Ringe erzeugt. [Fig. 1](#) zeigt ein Diagramm eines Turbinengehäuses **10** und eines Kompressorgehäuses **20**. Das Turbinengehäuse **10** ist aus Hochtemperatur-Superlegierungen auf Nickel-Basis hergestellt. Die beigefügte [Fig. 2](#) zeigt auch ein Diagramm eines Turbinengehäuses **30**, das aus Hochtemperatur-Superlegierungen auf Nickel-Basis hergestellt worden ist. Nahtlose Ringe können flach sein (wie eine Beilegscheibe) oder sie können höhere vertikale Wände zeigen (was einem hohlen zylindrischen Abschnitt ähnelt). Die Höhen von gewalzten Ringen reichen von weniger als 1 Zoll bis zu mehr als 9 Fuß. In Abhängigkeit von der verwendeten Ausstattung liegen die Verhältnisse von Wanddicke zur Höhe der Ringe typischerweise im Bereich von 1:16 bis zu 16:1, obwohl mit einer speziellen Bearbeitung größere Verhältnisse erzielt worden sind.

**[0004]** Die beiden Primärprozesse für das Schmieden von Ringen unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der Ausstattung, sondern auch hinsichtlich der erzeugten Mengen. Sattel-Dorn-Schmieden auf einer Presse, was auch als Ringschmieden bezeichnet wird, ist insbesondere auf schwere Querschnitte und geringe Mengen anwendbar. Im Wesentlichen wird ein gestauchter und gelochter Ringrohling über einen Dorn positioniert, der an seinen Enden von Sätteln gestützt wird. Da der Ring zwischen jedem Schlag rotiert, deformiert der Pressstempel oder die obere Pressform den Metallring gegen den sich ausdehnenden Dorn, was die Wanddicke verringert und den Ringdurchmesser erhöht.

**[0005]** Beim kontinuierlichen Ringwalzen werden nahtlose Ringe hergestellt, indem die Dicke eines durchbohrten Rohlings zwischen eine Antriebswalze und eine frei laufende Walze in einer speziell geplanten Ausstattung verringert wird. Zusätzliche Walzen (radial und axial) kontrollieren die Höhe und verleihen dem Querschnitt spezielle Konturen. Ringwalzen sind gut geeignet für die Herstellung großer Mengen sowie von konturierten Ringen, sie sind jedoch nicht auf diese beschränkt. In der Praxis erzeugen Ringwalzen nahtlose gewalzte Ringe bei geringeren Toleranzen oder mehr bei letztendlichen Dimensionen. Die [Fig. 3A-Fig. 3G](#) zeigen schematisch die verschiedenen Stufen der Schmiedeprozessarbeitsschritte für nahtlose gewalzte Ringe. [Fig. 4](#) zeigt eine Ringwalzmaschine im Betrieb.

**[0006]** Die [Fig. 3A-Fig. 3G](#) zeigen eine Ausführungsform eines Schmiedeprozessarbeitsschritts für nahtlose gewalzte Ringe, um einen Ring **40** herzustellen. [Fig. 3A](#) zeigt, dass der Ringwalzprozess typischerweise mit dem Stauchen des Ausgangsmaterials **42** auf flachen Pressformen **44** an seiner plastischen Deformationstemperatur beginnt – im Falle von 1020-Stahl ungefähr 2200 Grad Fahrenheit – um ein relativ flacheres Material **43** zu erzeugen. [Fig. 3B](#) zeigt, dass das Durchbohren des relativ flacheren Materials **43** das Eintreiben eines Lochstempels **45** in das heiße gestauchte Material beinhaltet, was bewirkt, dass das Metall radial verdrängt wird, wie es durch die Abbildung gezeigt wird. [Fig. 3C](#) zeigt einen nachfolgenden Arbeitsschritt, nämlich das Scheren mit einem Scherstempel **46**, das dazu dient, eine kleine Ausnehmung **43a** zu entfernen, um ein ringförmiges Material **47** zu erzeugen. [Fig. 3D](#) zeigt, dass das Entfernen der kleinen Ausnehmung **43a** ein vollständiges Loch durch das ringförmige Material **47** erzeugt, das nun für den Ringwalzarbeitsschritt selbst fertig ist. An diesem Punkt wird das ringförmige Material **47** als ein Vorformling **47** bezeichnet. [Fig. 3E](#) zeigt, dass der Doughnut-förmige Vorformling **47** über die ID-Walze (Innendurchmesserwalze) **48** geschoben wird, die aus

einer Draufsicht gezeigt ist. [Fig. 3F](#) zeigt eine Seitenansicht der Ringmühle und des Arbeitsstückvorformlings **47**, der gegen die OD-Walze (Außendurchmesserwalze) **49** drückt, was eine Rotationsbewegung bewirkt. [Fig. 3G](#) zeigt, dass diese Rotationsbewegung zu einem Verdünnen des Querschnitts und einer entsprechenden Erhöhung des Durchmessers des Rings **40** führt. Wird der Ring **40** einmal von der Ringmühle abgenommen, ist er dann fertig für Sekundärarbeitsschritte, wie das Toleranzkalibrieren, Trennen, Wärmebehandlung und Test/Inspektion.

**[0007]** [Fig. 4](#) zeigt eine Fotografie einer Walzenschmiedemaschine für einen Ring **40** im Betrieb.

**[0008]** Sogar obwohl Grundformen mit rechtwinkligen Querschnitten geläufig sind, werden Ringe, die komplexe, funktionelle Querschnitte zeigen, durch maschinelles Bearbeiten oder Schmieden aus einfachen Ringen hergestellt, um im Wesentlichen beliebige Design-Anforderungen zu erfüllen. Um es geeignet zu bezeichnen, können diese "konturierten" gewalzten Ringe in vielen verschiedenartigen Formen mit Konturen an den inneren und/oder äußeren Durchmessern hergestellt werden.

**[0009]** Die Herstellung von Superlegierungsringen aus Schmiedebarren fordert viele Stufen durch Ringwalzen. Ein Heißbearbeiten dieser Legierungen ist schwierig und sie können mit einer geringen prozentualen Deformation in jeder Stufe des Ringwalzschmiedens deformiert werden. Nach jedem Deformationsarbeitsschritt müssen die Außen- und Innendurchmesser der gedehnten Ringe geschliffen werden, um oxidierte Schichten und Schmiederisse vor dem erneuten Erwärmen des Rings für den nächsten Zyklus des Heißschmiedens zu entfernen. Wegen der übermäßigen, daran beteiligten Fabrikationsstufen sind die Herstellungskosten sehr hoch und die Ausbeuten sehr gering. Typischerweise wird ein Ring mit einem Durchmesser von 60 Zoll, der 250 lbs. wiegt und zur Anwendung als ein Motorengehäuse für ein großes Flugzeug geeignet ist, durch Ringwalzschmieden eines Ausgangsbarrons mit einem Gewicht von 2.000 lbs. hergestellt. Der hohe Verlust an teuren Materialien während der Fabrikationsstufen führt zu hohen Kosten für die letztendlichen Produkte.

**[0010]** Der herkömmliche Weg zur Rohrerstellung beinhaltet typischerweise Argon-Sauerstoff-Decarbonisierungs(AOD)-Schmelzen, kontinuierliches Gießen, Heißwalzen, Bohren und Extrusion. Dieser Weg wird hauptsächlich für die Herstellung von Rohren mit einem Durchmesser von bis zu 250 mm in großem Umfang verwendet. Jedoch ist die Heißbearbeitung von komplexen Superlegierungen auf Nickel-Basis, die zur Makrosegregation neigen, schwierig oder unmöglich.

**[0011]** Zentrifugalgießen ergänzt den herkömmlichen Rohrerzeugungsprozess und bietet auch eine erhebliche Flexibilität in Bezug auf den Durchmesser und Wanddicke. Die mechanischen Eigenschaften von zentrifugal gegossenen Rohren sind häufig zu einem herkömmlich gegossenen und heiß bearbeiteten Material äquivalent. Die Einheitlichkeit und Dichte von Zentrifugalguussteilen erreicht die von geschmiedetem Material mit dem zusätzlichen Vorteil, dass die mechanischen Eigenschaften in sämtlichen Richtungen nahezu gleich sind. Viele technische Eisen- und Nicht-Eisen-Legierungen, die einer Bearbeitung durch Schmelzen an Luft und Gießen zugänglich sind, können in herkömmlicher Weise durch Zentrifugalgießen an Luft zu Rohren verarbeitet werden. Komplexe Superlegierungen auf Nickel-Basis erfordern jedoch ein Schmelzen und Gießen im Vakuum. Darüber hinaus verursachen die hoch reaktiven Superlegierungsschmelzen auf Nickel-Basis wahrscheinlich während der Hochgeschwindigkeitsrotation der mit hochreiner Keramik ausgekleideten Zentrifugalform ein Aufbrechen und Abbröckeln der Keramikverkleidung, was zur Bildung einer sehr rauen Außenoberfläche des Gussrohres führt. Die von der Form abbröckelnden keramischen Verkleidungsmaterialien bleiben wahrscheinlich im Inneren des verfestigten Superlegierungsrohres als schädliche Einschlüsse erhalten, die die Bruchzähigkeitseigenschaften der letztendlichen Produkte erheblich verringern werden.

**[0012]** Es besteht ein Bedarf nach einem verbesserten kostengünstigen Verfahren zur Herstellung eines hochgradig legierten Komplexes, z.B. Superlegierungen auf Nickel-Basis, als Rohre und nahtlose Ringe mit einfachen oder konturierten Querschnitten, die in kostengünstiger Weise zu endgültigen Formen maschinell bearbeitet werden können, die für Flugzeugmotoren und andere technische Hochleistungsanwendungen geeignet sind.

**[0013]** Der Begriff "Superlegierung" wird in dieser Anmeldung im herkömmlichen Sinn verwendet und beschreibt die Klasse von Legierungen, die zur Verwendung in Hochtemperaturumgebungen entwickelt worden sind und typischerweise eine Dehngrenze von mehr als 100 ksi bei 1.000°F besitzen. Superlegierungen auf Nickel-Basis werden im großen Umfang in Gasturbinenmotoren verwendet und haben sich über die letzten 50 Jahre stark weiter entwickelt. Wie hierin verwendet, wird der Begriff "Superlegierung" eine Superlegierung auf Nickel-Basis bedeuten, die eine erhebliche Menge der verfestigenden  $\gamma'$  ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ )-Phase enthält, vorzugsweise etwa 30 bis etwa 50 Vol.-% der  $\gamma'$ -Phase ( $\gamma$ -Primärphase). Repräsentative Beispiele einer derartigen Klasse

von Legierungen beinhalten die Superlegierungen auf Nickel-Basis, von denen viele Aluminium in einer Menge von mindestens etwa 5 Gew.-% sowie ein oder mehr andere Legierungselemente, wie Titan, Chrom, Wolfram, Tantal usw., enthalten und die durch Lösungswärmebehandlung verfestigt werden. Derartige Superlegierungen auf Nickel-Basis sind in der US-PS Nr. 4,209,348, erteilt an Duhl et al., und der US-PS Nr. 4,719,080 beschrieben. Andere Superlegierungen auf Nickel-Basis sind dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt und werden in dem Buch mit dem Titel "Superalloys II" Sims et al., herausgegeben von John Wiley & Sons, 1987, beschrieben.

**[0014]** Andere Literaturstellen, die Superlegierungen und ihre Bearbeitung betreffen, sind nachstehend angegeben:

"Investment-cast superalloys challenge wrought materials" aus Advanced Materials and Process, Nr. 4, S. 107-108 (1990).

"Solidification Processing", Hrsg. B. J. Clark und M. Gardner, S. 154-157 und 172-174, McGraw-Hill (1974).

"Phase Transformations in Metals and Alloys", D. A. Porter, S. 234, Van Nostrand Reinhold (1981).

Nazmy et al., The effect of advanced fine grain casting technology on the static and cyclic properties of IN713LC. Konf.: High temperature materials for power engineering 1990, S. 1397-1404, Kluwer Academic Publishers (1990).

Bouse & Behrendt, Mechanical properties of Microcast-X alloy 718 fine grain investment castings, Konf.: Superalloy 718: Metallurgy and applications, Verl.: TMS, S. 319-328 (1989).

Zusammenfassung des UdSSR-Erfinderscheins 1306641, veröffentlicht am 30. April 1987,

WPI-Zugangsnr. 85-090592/85 & Zusammenfassung der JP 60-40644 (KAWASAKI), veröffentlicht am 04. März 1985.

WPI-Zugangsnr. 81-06485D/81 & Zusammenfassung der JP 55-149747 (SOGO), veröffentlicht am 21. November 1980.

Fang, J., Yu, B., Konferenz: High Temperature Alloys for Gas Turbines, 1982, Liege, Belgien, 4.-6. Okt. 1982, S. 987-997, Verl.: D. Reidel Publishing Co., P. O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, Niederlande (1982).

**[0015]** Bearbeitungstechniken für Superlegierungen haben sich ebenfalls weiter entwickelt, wie aus den folgenden Literaturstellen ersichtlich ist, und viele der neueren Prozesse sind ziemlich kostspielig.

**[0016]** Die US-PS Nr. 3,519,503 beschreibt einen isothermen Schmiedeprozess zur Herstellung komplexer Superlegierungsformen. Dieser Prozess wird gegenwärtig in großem Umfang verwendet und in seiner gegenwärtig ausgeführten Form erfordert er, dass das Ausgangsmaterial durch Pulvermetallurgietechniken hergestellt wird. Das Verlassen auf Pulvermetallurgietechniken macht diesen Prozess kostspielig.

**[0017]** Die US-PS Nr. 4,574,015 behandelt ein Verfahren zur Verbesserung der Schmiedbarkeit von Superlegierungen, in dem überalterte Mikrostrukturen in derartigen Legierungen erzeugt werden. Die Partikelgröße der  $\gamma$ -Primärphase wird stark über das hinaus erhöht, was normalerweise zu beobachten wäre.

**[0018]** Die US-PS Nr. 4,579,602 behandelt eine Superlegierungsschmiedesequenz, die eine Überalterungshitzebehandlung beinhaltet.

**[0019]** Die US-PS Nr. 4,769,087 beschreibt eine andere Schmiedesequenz für Superlegierungen.

**[0020]** Die US-PS Nr. 4,612,062 beschreibt eine Schmiedesequenz zur Herstellung eines feinkörnigen Gegenstands aus einer Superlegierung auf Nickel-Basis.

**[0021]** Die US-PS Nr. 4,453,985 beschreibt einen isothermen Schmiedeprozess, der feinkörniges Produkt erzeugt.

**[0022]** Die US-PS Nr. 2,977,222 beschreibt eine Klasse von Superlegierungen, die zu denjenigen ähnlich sind, für die der erfindungsgemäße Prozess eine besondere Anwendbarkeit aufweist.

**[0023]** Es ist gut bekannt, eine Metallform durch einen Zentrifugalgussprozess herzustellen, indem ein geschmolzenes Metall in einen Hohlraum eingegossen wird, die rotiert. Zentrifugalgießen bietet den Vorteil, eine Abscheidung von Verunreinigungen in Richtung der Rotationsachse und weg von der äußeren Oberfläche des Gussstücks zu erzielen, weil im Allgemeinen auftretende Verunreinigungen eine geringere Dichte als das Metall des Gussstücks besitzen. Darüber hinaus ermöglicht Zentrifugalgießen die Herstellung von rohen Gussformen mit kontrollierter Wanddicke, ohne dass zentrale Kerne erforderlich sind, obwohl, wenn dies gewünscht ist, die rotierende Form ausreichend gefüllt werden kann, um eine Form ohne einen zentralen Hohlraum zu

liefern. In jedem Fall kann der Teil des Gussstücks, der die Verunreinigungen enthält, beispielsweise durch maschinelles Bearbeiten entfernt werden.

**[0024]** Bisher ist ein derartiges Zentrifugalgießen mit Dauerformen für Metallformen von relativ einfacher äußerer Oberflächengestaltung wie allgemein zylindrisch verwendet worden.

**[0025]** Durch Einbringen einer Sandform mit geeigneter Form in einen Behälter, der im Allgemeinen aus Stahl hergestellt ist, kann die externe Oberfläche des Gussstücks mit einer komplexeren Ausgestaltung versehen werden, wobei aufgrund der Schwierigkeit, der Komplexität und des Aufwands für das Entfernen eines starren Modells, typischerweise aus Holz, für die Herstellung der Sandform bestehen, sogar wenn das starre Modell zerlegbar gemacht wird, um das Entfernen zu ermöglichen.

**[0026]** Es besteht ein Bedarf nach Metallformen, insbesondere nach Hohlformen, wie Gehäusen für Gasturbinenmotoren, die eine externe Form von relativ höherer Komplexität und Präzision besitzen, als dies bislang möglich oder wirtschaftlich gewesen ist, durch Herstellung mittels Zentrifugalguss.

**[0027]** Die US-PS Nr. 6,116,327 von Beighton offenbart ein Verfahren zur Herstellung einer Metallform, das die Stufen des Zuführens von geschmolzenem Metall in eine keramische Maskenform, die in einem Behälter angebracht ist, schnelles Rotieren des Behälters und der Maskenform in dem Behälter um eine Achse und Erstarren lassen des Metalls in der Maskenform sowie nachfolgendes Entfernen, beispielsweise durch Aufbrechen der Maskenform, umfasst, um die Metallform freizulegen. Die keramischen Maskenformen werden hergestellt, indem ein Modell aus einem flexiblen elastisch deformierbaren Material mit erforderlicher Form bereitgestellt wird, und von einem Dorn gestützt wird, mindestens ein Überzug aus einem härtbaren feuerfesten Material auf das Modell aufgetragen wird, um eine starre Maske zu bilden, und der Dorn aus der Stützbeziehung zu dem Modell entfernt wird und nachfolgend das Modell aus der Maske durch elastisches Deformieren des Modells entfernt wird. Das Modell wird hergestellt, indem das Material in einer Stammform mit einer erforderlichen Gestalt geformt wird und das Modell aus der Stammform durch elastisches Deformieren des Modells entfernt wird, nachdem das Modell gehärtet worden ist.

**[0028]** Hugo et al. offenbaren in der US-PS Nr. 5,826,322 die Herstellung von Partikeln aus Gussstücken (10) von Metallen aus der Gruppe der Lanthanide, Aluminium, Bor, Chrom, Eisen, Calcium, Magnesium, Mangan, Nickel, Niob, Kobalt, Titan, Vanadium, Zirkonium und deren Legierungen, die in einer orientierten Art und Weise erstarrt sind, insbesondere für die Herstellung von Materialien aus der Gruppe der magnetischen Materialien, Wasserstoffspeicherelemente (Hydridspeicherelemente) sowie Batterieelektroden, indem eine Schmelze des Metalls in einer nicht-reaktiven Atmosphäre in das Innere einer zumindest im Wesentlichen zylindrischen Kühloberfläche (9) nach dem Prinzip des Zentrifugalgusses eingebracht wird. Der Zylinder rotiert bei hoher Geschwindigkeit um eine Rotationsachse und die Schmelze wird fortschreitend von außen nach innen mit einer im Wesentlichen radialen Erstarrungsrichtung abgekühlt. Das hohle Gussstück (10) wird dann zu Partikeln zerkleinert. Die Schmelze wird vorzugsweise in einer Dicke auf die rotierende Kühloberfläche (9) aufgebracht, die nicht mehr als 10% und vorzugsweise nicht mehr als 5% des Durchmessers der Kühloberfläche (9) beträgt, und der Durchmesser der Kühloberfläche (9) beträgt mindestens 200 mm und vorzugsweise mindestens 500 mm.

**[0029]** Die Verwendung von Graphit in Investment-Formen ist in den US-PSen Nrn. 3,241,200; 3,243,733; 3,265,574; 3,266,106; 3,296,666 und 3,321,005 von Lirones beschrieben worden. Die US-PS Nr. 3,257,692 von Operhall; die US-PS Nr. 3,485,288 von Zusman et al.; und die US-PS Nr. 3,389,743 von Morozov et al. beschreiben eine kohlenstoffhaltige Formoberfläche, wobei Graphitpulver und fein verteilte anorganische Pulver, die "Stuccos" genannt werden, verwendet werden.

**[0030]** Die US-PS Nr. 4,627,945 von Winkelbauer et al. offenbart feuerfeste Spritzguss-Ummantelungsrohre, die aus Aluminiumoxid und 1 bis 30 Gew.-% Wirbelschicht-Röstkoks sowie anderen Inhaltsstoffen hergestellt sind. Die '945-Patentschrift offenbart auch, dass es bekannt ist, isostatisch gepresste feuerfeste Ummantelungsrohre aus einem Gemisch von Aluminiumoxid und 15 bis 30 Gew.-% flockenförmigem Graphit sowie anderen Inhaltsstoffen herzustellen.

### III. Bevorzugte Aufgaben der vorliegenden Erfindung

**[0031]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Superlegierungen auf Nickel-Basis einem Zentrifugalgießen zu Rohren, Röhren und Ringen unter Vakuum oder Partialdruck eines Inertgases in isotropen Graphitformen zu unterziehen, die um ihre eigene Achse rotieren.

**[0032]** Eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt in der Bereitstellung einer Zentrifugalgußvorrichtung, die eine isotrope Graphitform beinhaltet.

#### IV. Zusammenfassung der Erfindung

**[0033]** Diese Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung verschiedenartiger metallischer Legierungen wie Superlegierungen auf Nickel-Basis als technische Komponenten, wie Ringe, rohrförmige Teile und Röhren durch Vakuuminduktionsschmelzen der Legierungen und nachfolgendes Zentrifugalgießen der Schmelze unter Vakuum in Graphitformen, die um ihre eigene Achse rotieren. Spezieller bezieht sich diese Erfindung auf die Verwendung von hochgradig dichtem, hochgradig festem isotropen Graphit. [Fig. 5](#) zeigt eine schematische Zeichnung der Zentrifugalvakuumgußvorrichtung zum Gießen von Superlegierungen auf Nickel-Basis unter Vakuum in eine rotierende isotrope Graphitform, um ein hohles Rohrgußstück in Übereinstimmung mit dem Umfang der vorliegenden Erfindung herzustellen.

**[0034]** Aus einem Gefäß in einer Vakuumkammer wird geschmolzenes Metall durch eine Gießrinne in eine rotierende isotrope Graphitform gegossen. Beim Zentrifugalguß dreht sich die rotierende isotrope Graphitmetallform unter Vakuum mit hohen Gußgeschwindigkeiten in einer horizontalen, vertikalen oder geneigten Position, während das geschmolzene Metall eingegossen wird. Die Rotationsachse kann horizontal oder in einem beliebigen Winkel bis zur vertikalen Position geneigt sein. Das in den schnell rotierenden Hohlraum der Form eingegossene, geschmolzene Metall wird durch eine Zentrifugalkraft gegen die Wand der Form gedrückt. Die Geschwindigkeit der Rotation und die Metallgießrate variieren mit der Legierung, der Größe und der Form, die gegossen wird.

**[0035]** Wenn die geschmolzene Metalllegierung in die rotierende isotrope Graphitform angegossen wird, wird sie auf die Geschwindigkeit der Form beschleunigt. Die Zentrifugalkraft bewirkt, dass sich das Metall über die Formoberfläche verteilt und diese bedeckt. Ein kontinuierliches Eingießen des geschmolzenen Metalls erhöht die Dicke der beabsichtigten Formstückdimensionen. Rotationsgeschwindigkeiten variieren, reichen jedoch manchmal mehr als das 150-Fache der Schwerkraft an der äußeren Oberfläche der Gussstücke.

**[0036]** Ist das Metall einmal über die Formoberfläche verteilt, setzt das Erstarren sofort ein. Metall gelangt an die Fest-Flüssig-Grenzfläche, während diese in Richtung der Bohrung fortschreitet. Dies zusammen mit dem wirkenden Zentrifugaldruck führt zu einer einwandfreien, dichten Struktur entlang der Wand mit Verunreinigungen, die auf einen Bereich nahe der inneren Oberfläche eingeschränkt sind. Die Innenschicht des erstarrten Teils kann durch Bohren entfernt werden, wenn eine maschinell bearbeitete innere Oberfläche erforderlich ist. Dementsprechend wird das hohle Rohrgußstück verfestigt und gewonnen.

**[0037]** Für spezielle technische Formen bietet das Zentrifugalgießen die folgenden spezifischen Nutzen von Superlegierungen auf Nickel-Basis:

Eine jede Superlegierung, für die ein statisches Gießen unter Vakuum geläufig ist, kann gemäß der vorliegenden Erfindung als ein rohrförmiges Produkt, als ein Ring und als eine Röhre zentrifugal gegossen werden; und mechanische Eigenschaften der gemäß der vorliegenden Erfindung zentrifugal gegossenen Superlegierungen auf Nickel-Basis werden ausgezeichnet sein.

**[0038]** Zentrifugalgußstücke einer Superlegierung auf Nickel-Basis können in annähernd jeder erforderlichen Länge, Dicke und jedem erforderlichen Durchmesser hergestellt werden. Da die Form nur die äußere Oberfläche und Länge bildet, können Gussstücke mit vielen verschiedenen Wanddicken mit der Form derselben Größe hergestellt werden. Die Zentrifugalkraft dieses Prozesses hält das Gussstück hohl, was die Notwendigkeit nach einem Kern ausschließt.

**[0039]** Eine horizontale Zentrifugalgußtechnik ist für die Herstellung von Superlegierungsröhren und -rohren mit großer Länge geeignet. Die Länge und der Außendurchmesser sind durch die Dimensionen des Formhohlraums festgelegt, während der Innendurchmesser durch die Menge an geschmolzenem Metall bestimmt wird, das in die Form gegossen wird.

**[0040]** Von Zylindern und Röhren verschiedene Gussstücke können auch in Vertikalgußvorrichtungen hergestellt werden. Formstücke, wie beispielsweise Propellernaben mit steuerbarer Neigung können unter Verwendung dieser Variation des Zentrifugalgußprozesses hergestellt werden.

**[0041]** Die äußere Oberfläche des Gussstücks kann von der echt kreisförmigen Form durch die Einführung von Bördel und kleinen Buckeln modifiziert werden, sie müssen jedoch im Allgemeinen symmetrisch um die



Achse liegen, um das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten. Die Innenoberfläche eines echten Zentrifugalgussstücks ist immer zylindrisch. Beim Halbzentrifugalguss wird ein zentraler Kern verwendet, um andere Formen als echte Zylinder zu ermöglichen, die an der Innenoberfläche des Gussstücks erzeugt werden sollen.

**[0042]** Die Einheitlichkeit und Dichte von Zentrifugalgussstücken erreicht diejenigen eines geschmiedeten Materials mit dem zusätzlichen Vorteil, dass die mechanischen Eigenschaften in sämtlichen Richtungen nahezu gleich sind. Die meisten Legierungen können erfolgreich durch den Zentrifugalprozess gegossen werden, sobald die Grundlagen einmal gelegt sind. Da keine Eingusstrichter und Steigtrichter verwendet werden, ist die Ausbeute oder das Verhältnis von Gussstück zu Metall jeweils auf das Gewicht bezogen hoch.

**[0043]** Eine hohe tangentielle Festigkeit und Duktilität wird zentrifugal gegossene Superlegierungen auf Nickel-Basis für drehmoment- und druckfeste Komponenten, wie Getriebe, Motorenlager für Flugzeuge, Radlager, Kupplungen, Distanzstücke für Rotoren, geschlossene Scheiben und Behälter, Flansche, Druckgefäße und Ventilkörper gut geeignet machen.

**[0044]** Superlegierungsschmelzen reagieren nicht mit ultra feinkörnigen isotropen Graphitformen hoher Dichte und somit können die Formen wiederholt viele Male verwendet werden, wodurch die Kosten der Herstellung von zentrifugal gegossenen Superlegierungskomponenten im Vergleich zum traditionellen Prozess erheblich reduziert werden. Nahezu netzförmige Teile können gegossen werden, was nachfolgende Arbeitsschritte, wie das maschinelle Bearbeiten ausschließt.

#### V. Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0045]** [Fig. 1](#) zeigt ein Turbinengehäuse und ein Kompressorgehäuse.

**[0046]** [Fig. 2](#) zeigt ein Gasturbinenmotorgehäuse.

**[0047]** [Fig. 3A-Fig. 3G](#) zeigen eine Ausführungsform eines Schmiedeprozessarbeitsschritts für einen nahtlosen gewalzten Ring.

**[0048]** [Fig. 4](#) ist eine Abbildung einer Ringwalzformmaschine im Betrieb.

**[0049]** [Fig. 5](#) ist eine schematische Darstellung einer Zentrifugalgussvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung.

**[0050]** [Fig. 6](#) ist eine schematische Zeichnung eines Querschnitts der Zentrifugalgussvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die des Weiteren einen Motor zum schnellen Drehen der Form zeigt.

**[0051]** [Fig. 7](#) zeigt die Form als zwei longitudinal aufgespaltene Stücke.

**[0052]** [Fig. 8](#) zeigt die Form als zwei transversal aufgespaltene Stücke.

#### VI. Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

##### A. Graphit

**[0053]** Isotroper Graphit ist als das Material für den Hauptkörper der Form der vorliegenden Erfindung aus den folgenden Gründen bevorzugt:

Durch isostatisches Pressen hergestellter isotroper Graphit weist feine Körner (etwa 3 bis 40  $\mu\text{m}$ ) auf, während extrudierter Graphit aus relativ groben Kohlenstoffteilchen hergestellt wird, was zu groben Körnern (400-1200  $\mu\text{m}$ ) führt. Isotroper feinkörniger Graphit besitzt eine viel höhere Festigkeit und Strukturintegrität als andere Arten von Graphit, wie beispielsweise die durch einen Extrusionsprozess hergestellten, auf Grund der Gegenwart feinerer Körnchen, einer höheren Dichte und einer geringeren Porosität sowie aufgrund des Fehlens von "lose gebundenen" Kohlenstoffpartikeln.

**[0054]** Isotroper feinkörniger Graphit kann mit einer im Vergleich zu extrudiertem Graphit sehr glatten Oberfläche aufgrund seiner hohen Härte, dem feinen Körnchen und der geringen Porosität maschinell bearbeitet werden. Spezieller bezieht sich diese Erfindung auf die Verwendung von hoch dichten, ultra feinkörnigen, isotropen Graphitformen, wobei der Graphit mit sehr hoher Reinheit (der vernachlässigbare Spurenelemente enthält) nach dem isostatischen Druckweg hergestellt wird. Hohe Dichte (1,65 bis 1,9  $\text{g/cm}^3$ , im Allgemeinen 1,77

bis 1,9 g/cm<sup>3</sup>), geringe Porosität (< etwa 15%, im Allgemeinen < etwa 13%), hohe Biegefestigkeit (zwischen 5.500 und 20.000 psi, im Allgemeinen 7.000 bis 20.000 psi), eine hohe Druckfestigkeit (> 9.000 psi, im Allgemeinen zwischen 12.000 und 35.000 psi, stärker bevorzugt zwischen 17.000 und 35.000 psi) und feine Körnchen (typischerweise etwa 3 bis 40 µm, vorzugsweise etwa 3 bis 10 µm) sind einige der charakteristischen Eigenschaften von isostatisch gepresstem Graphit, die ihn zur Verwendung als Formen für den Zentrifugalguss von Superlegierungen geeignet machen. Andere Vorteile des Graphitmaterials sind hohe thermische Schockfestigkeit, Verschleißfestigkeit und chemische Beständigkeit und ein minimales Benetzen mit flüssigem Metall.

**[0055]** Literaturstellen, die sich auf isotropen Graphit beziehen, beinhalten die US-PSen Nrn. 4,226,900 von Carlson et al., 5,525,276 von Okuyama et al., und 5,705,139 von Stiller et al.

**[0056]** Isotroper feinkörniger Graphit ist ein synthetisches Material, das durch die folgenden Stufen hergestellt wird:

- (1) Aus Minen gewonnener feinkörniger Koks wird pulverisiert, von Aschen abgetrennt und durch Flotationstechniken gereinigt. Der zerstoßene Koks wird mit Bindemitteln (Teer) vermischt und homogenisiert.
- (2) Das Gemisch wird bei Raumtemperatur zu Rohpresslingen isostatisch verpresst.
- (3) Die Rohpresslinge werden bei 1200°C gebacken, was eine Carbonifikation und Verdichtung bewirkt. Das Bindemittel wird zu Kohlenstoff umgewandelt. Der Backprozess verbindet die ursprünglichen Kohlenstoffpartikel miteinander (ähnlich zum Prozess des Sinterns von Metallpulvern) zu einer festen Masse.
- (4) Der verdichtete Kohlenstoffteil wird dann bei 2.600°C graphitisiert. Graphitisierung ist die Bildung eines geordneten Graphitgitters aus Kohlenstoff. Der Kohlenstoff aus dem Bindemittel um die Korngrenzen herum wird ebenfalls zu Graphit umgewandelt. Das Endprodukt ist nahezu 100% Graphit (der Kohlenstoff aus dem Bindemittel wird vollständig während der Graphitisierung in Graphit umgewandelt).

**[0057]** Extrudierter anisotroper Graphit wird gemäß den folgenden Stufen synthetisiert:

- (1) Grobkörniger Koks (pulverisiert und gereinigt) wird mit Pech vermischt und zu Rohpresslingen warm extrudiert.
- (2) Die Rohpresslinge werden bei 1.200°C (Carbonifikation und Verdichtung) gebacken. Das Bindemittel (Pech) wird carbonifiziert.
- (3) Der gebackene Rohling wird zu Produkten graphitisiert, die hochgradig porös und strukturell schwach sind. Er wird mit Pech imprägniert, um die Poren zu füllen und die Festigkeit zu verbessern.
- (4) Der imprägnierte Graphit wird wiederum bei 1.200°C gebacken, um das Pech zu carbonifizieren.
- (5) Das Endprodukt (extrudierter Graphit) enthält ~90-95% Graphit und ~5-10% lose gebundenen Kohlenstoff.

**[0058]** Die typischen physikalischen Eigenschaften von durch isostatisches Pressen hergestelltem isotropem Graphit und durch Extrusion hergestelltem anisotropem Graphit sind in den Tabellen 1 und 2 angegeben.



TABELLE (EIGENSCHAFTEN VON DURCH ISOSTATISCHES PRESSEN HERGESTELLTEM ISOTROPEM GRAPHIT)							
Typ	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Shore-Härte	Biege-fest-tigkeit (psi)	Druckfes-tig-keit (psi)	Korngro-ße (µm)	Thermi-sche Leit-fähigkeit BTU/ft-h-° F	Porosität (offen)
R 8500	1.77	65	7250	17.400	6	46	13%
R 8650	1.84	75	9400	21.750	5	52	12%
R 8710	1.88	80	12300	34.800	3	58	10%
TABELLE 2 (EIGENSCHAFTEN VON DURCH EXTRUSION HERGESTELLTEM ANI-ANISOTROPEM GRAPHIT)							
Typ	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Rockwell "R" Harte	Biege-fest-tigkeit (psi)	Druckfes-tig-keit (psi)	Korn-grö-ße (µm)	Thermi-sche Leit-fähigkeit BTU/ft-h-° F	Porosität (offen)
HLM	1,72	87	3500	7500	410	86	23%
HLR	1,64	58	1750	4500	760	85	27%

**[0059]** Parameter, auf die in der vorliegenden Beschreibung Bezug genommen wird, sind gemäß den folgenden Standards gemessen, sofern nichts Anderes angegeben ist. Druckfestigkeit wird gemäß ASTM C-695 gemessen.

**[0060]** Biegefestigkeit wird gemäß ASTM C-651 gemessen.

**[0061]** Thermische Leitfähigkeit wird gemäß ASTM C-714 gemessen.

**[0062]** Porosität wird gemäß ASTM C-830 gemessen.

**[0063]** Scherfestigkeit wird gemäß ASTM C-273, D732 gemessen.

**[0064]** Shore-Härte wird gemäß ASTM D2240 gemessen.

**[0065]** Korngröße wird gemäß ASTM E 112 gemessen.

**[0066]** Der thermische Ausdehnungskoeffizient wird gemäß E 831 gemessen.

**[0067]** Die Dichte wird gemäß ASTM C838-96 gemessen.

**[0068]** Der Oxidationsschwellenwert wird gemäß ASTM E 1269-90 gemessen.

**[0069]** Die Mikrohärtigkeit nach Vickers in HV-Einheiten wird gemäß ASTM E 384 gemessen.

**[0070]** Durch isostatisches Pressen oder Vibrationsformen hergestellter isotroper Graphit weist feine isotrope Körnchen (3-40 µm) auf, während durch Extrusion aus relativ grobem Kohlenstoffpartikeln hergestellter Graphit grobe anisotrope Körnchen (400-1200 µm) aufweist.

**[0071]** Isotroper Graphit besitzt aufgrund des voran stehend beschriebenen Fehlens von "lose gebundenen" Kohlenstoffpartikeln, feineren Körnchen, höherer Dichte und geringerer Porosität eine viel höhere Festigkeit und eine höhere Strukturintegrität als extrudierter anisotroper Graphit.

**[0072]** Wenn flüssiges Metall in die Formen aus extrudiertem Graphit eingegossen wird, wird die Grenzflächenformwand/Schmelze Scherspannungen und Druckspannungen ausgesetzt, die ein Brechen des Graphits an der Grenzfläche bewirken. Die von der Formwand weggerissenen Graphitpartikel und die von der Formwand weggerissene "lose gebundene Kohlenstoffmasse" werden in der heißen Schmelze absorbiert und be-

ginnen mit den Oxidpartikeln in der Schmelze zu reagieren und Gasblasen aus Kohlendioxid zu bilden. Diese Gasblasen vereinigen sich und werden als Porosität in den erstarrten Gussstücken aufgefangen.

**[0073]** Aufgrund der hohen Eigenfestigkeit und des Fehlens von "lose gebundener" Kohlenstoffmasse wird isostatischer Graphit einer Abtragung und einem Aufbrechen aufgrund der Scherwirkung des flüssigen Metalls besser widerstehen als extrudierter Graphit und damit zeigen in Formen aus isostatischem Graphit hergestellte Gussstücke weniger Gussfehler und eine geringere Porosität im Vergleich zu Gussstücken, die in extrudiertem Graphit hergestellt worden sind.

**[0074]** Weitere Informationen über isotropen Graphit sind in der US-Patentanmeldung Seriennummer 10/143,920, die am 14. Mai 2002 eingereicht worden ist, und auf die hierin expressis verbis in ihrer Ganzheit Bezug genommen wird, offenbart.

## B. Legierungen

**[0075]** Es gibt eine Vielfalt an Superlegierungen auf Nickel-Basis.

**[0076]** Superlegierungen auf Nickel-Basis enthalten 10-20% Cr, höchstens etwa 8% Al und/oder Ti insgesamt und ein oder mehr Elemente in kleinen Mengen (0,1-12% insgesamt) wie B, C und/oder Zr, sowie kleine Mengen (0,1-12% insgesamt) an einem oder mehr Legierungselementen wie Mo, Nb, W, Ta, Co, Re, Hf und Fe. Sie können auch einige Spurenelemente wie Mn, Si, P, S, O und N enthalten, die durch eine gute Schmelzpraxis kontrolliert werden müssen. Es können auch verschmelzungsbedingte verunreinigende Elemente auftreten, wobei die verunreinigenden Elemente jeweils weniger als 0,05% und insgesamt weniger als 0,15% betragen. Soweit nichts Anderes angegeben ist, sind in der vorliegenden Beschreibung sämtliche prozentualen Zusammensetzungen in Gew.-% angegeben.

## C. Die Form

**[0077]** Typischerweise wird ein Block aus isotropem Graphit, wie voran stehend beschrieben, hergestellt und dann wird ein Formhohlraum maschinell in den Block eingearbeitet, um die isotrope Graphitform zu bilden. Wenn es gewünscht ist, kann der isotrope Graphit während der Bildung anfänglich gepresst werden, um einen Formhohlraum zu bilden.

**[0078]** Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) zeigen schematisch eine Ausführungsform einer drehbaren Zentrifugalform der vorliegenden Erfindung zum Formen eines hohlen Rohrgussstücks **70** bzw. **110**.

**[0079]** Die [Fig. 5](#) zeigt eine schematische Zeichnung der zentrifugalen Vakuumgussausstattung zum Gießen von Superlegierungen auf Nickel-Basis in eine rotierende isotrope Graphitform unter Vakuum, um ein hohles Rohrgussstück **70** gemäß der vorliegenden Erfindung herzustellen.

**[0080]** Aus einem Gefäß in einer Vakuumkammer **50** wird geschmolzenes Metall **60** durch eine Gießrinne in eine rotierende isotrope Graphitform **80** eingegossen. Beim Zentrifugalgießen dreht sich die rotierende isotrope Graphitmetallform **80** unter Vakuum bei hohen Geschwindigkeiten in einer horizontalen, vertikalen oder geneigten Position, während das geschmolzene Metall **60** eingegossen wird. Die Rotationsachse kann horizontal oder in einem beliebigen Winkel bis zur vertikalen Position geneigt sein. In den sich schnell drehenden Formhohlraum eingegossenes geschmolzenes Metall **60** wird durch eine Zentrifugalkraft gegen die Wand der Form **80** gedrückt. Die Rotationsgeschwindigkeit und die Metallgießrate variieren mit der Legierung, der Größe und der Form, die gegossen wird.

**[0081]** Während die geschmolzene Metalllegierung **60** in die rotierende isotrope Graphitform **80** eingegossen wird, wird sie auf die Formgeschwindigkeit beschleunigt. Die Zentrifugalkraft bewirkt, dass das Metall über die Formoberfläche verteilt wird und diese bedeckt. Ein fortgesetztes Eingießen des geschmolzenen Metalls **60** erhöht die Dicke der beabsichtigten Gussdimensionen. Die Rotationsgeschwindigkeiten variieren, erreichen jedoch manchmal mehr das 150-Fache der Schwerkraft an der Außenseite der Gussstücke.

**[0082]** Ist das Metall **60** einmal über die Formoberfläche verteilt, tritt sofort das Erstarren ein. Metall gelangt an die Fest-Flüssig-Grenzfläche, während sie in Richtung der Bohrung fortschreitet. Dies zusammen mit dem herrschenden Zentrifugaldruck führt zu einer einwandfreien, dichten Struktur entlang der Wand, wobei die Verunreinigungen im Allgemeinen auf einen Bereich nahe der Innenoberfläche beschränkt sind. Die Innenschicht des erstarrten Teils kann durch Bohren entfernt werden, wenn eine maschinell bearbeitete Innenoberfläche er-

forderlich ist. Dementsprechend erstarrt das hohle Rohrgussstück **70** und wird gewonnen.

**[0083]** [Fig. 6](#) zeigt eine Form **102**, die einen hohlen isotropen Graphitzylinder **110** in einer Halterung **130** beinhaltet. Die Halterung **130** ist an einer Welle **122** eines Motors **120** befestigt. Geschmolzenes Metall (in [Fig. 5](#) gezeigt, in [Fig. 6](#) jedoch nicht gezeigt) würde aus einem Behälter **150** durch eine Gießrinne **140** in den Hohlraum des isotropen Graphitzylinders **110** abgelassen. Der Zylinder ist an der an der Welle **122** befestigten Basis **130** befestigt. Der Motor **120** dreht die Welle, um den Zylinder **110** mit einer Geschwindigkeit zu drehen, die für einen Zentrifugalguss ausreichend ist, mit anderen Worten, die dazu ausreichend ist, die Schmelze auf eine konsistente Dicke entlang der longitudinalen Innenwand des Zylinders **110** zu drehen, während sich die Schmelze abkühlt und erstarrt. Günstigerweise besteht die Form aus zwei Teilen. Während des schnellen Drehens der beiden Teile werden sie durch die Halterung **130** und/oder andere geeignete Mittel, beispielsweise durch Löten (nicht gezeigt), zusammengehalten. Nach dem Erstarren der Schmelze wird der Zylinder **110** geöffnet und das Metallrohrprodukt wird entfernt. Beispielsweise kann die Form **110** aus zwei longitudinal aufgespaltenen Teilen bestehen, wie es in [Fig. 7](#) gezeigt ist, oder sie kann aus zwei transversal aufgespaltenen Teilen bestehen, wie es in [Fig. 8](#) gezeigt ist. Auf diese Weise ist der Graphitzylinder **110** wieder verwendbar.

#### D. Verwendung der Form

**[0084]** Zentrifugalgussstücke werden hergestellt, indem geschmolzenes Metall in die Graphitform eingegossen wird und die Form während des Gießarbeitsschritts um ihre eigene Achse rotiert oder gedreht wird.

**[0085]** Eine Legierung wird durch ein beliebiges herkömmliches Verfahren geschmolzen, das ein einheitliches Schmelzen erzielt und die Legierung nicht oxidiert oder in sonstiger Weise schädigt. Beispielsweise ist ein bevorzugtes Heizverfahren ein Vakuuminduktionsschmelzen. Vakuuminduktionsschmelzen ist ein bekannter Legierungsschmelzprozess, wie er in den folgenden Literaturstellen beschrieben ist: D.P. Moon et al., ASTM Data Series DS 7-SI, 1-350 (1953); M. C. Rebeisen et al., NASA SP-5095, 31-42 (1971); und R. Schlaffer, "Vacuum Induction Melting Technology of High Temperature Alloys", Proceedings of the AIME Electric Furnace Conference, Toronto, 1971.

**[0086]** Beispiele anderer geeigneter Heizprozesse beinhalten eine "Plasmavakuumbogenumschmelz-Technik" sowie Induktionsschalenschmelzen.

**[0087]** Die betreffenden Superlegierungen auf Nickel-Basis werden im Vakuum durch eine Schmelztechnik geschmolzen und das flüssige Metall wird unter vollem oder teilweisem Vakuum in die erhitzte oder unerhitzte Graphitform eingegossen. In einigen Beispielen eines teilweisen Vakuums wird das flüssige Metall unter einem Partialdruck eines Inertgases eingegossen.

**[0088]** Die Formgebung geschieht dann unter vollem oder teilweisem Vakuum. Während des Gießens (während der Formgebung) wird die Form einem Zentrifugieren unterzogen. Als eine Folge der Zentrifugalwirkung wird die in die Form eingegossene geschmolzene Legierung von einer zentralen Achse der Vorrichtung aus in einzelne Formhohlräume gedrückt, die sich auf dem Umfang befinden. Dies stellt ein Mittel zur Erhöhung des Einfülldrucks in jeder Form dar und ermöglicht die Reproduktion komplizierter Details.

**[0089]** Somit können rohrförmige Produkte aus Legierungen auf Basis eines Vakuumzentrifugalgießens der ausgewählten Legierungen in einem geschmolzenen Zustand in eine isotrope Graphitform hergestellt werden, wobei die Form um ihre eigene Achse rotiert.

**[0090]** Die Rotationsachse kann horizontal oder in einem beliebigen Winkel bis zur vertikalen Position geneigt sein. Das geschmolzene Metall wird in den sich schnell drehenden Formhohlraum eingegossen und das Metall wird durch die Zentrifugalkraft gegen die Wand der Form gedrückt. Die Rotationsgeschwindigkeit und die Metalleingießrate variieren mit der Legierung, der Größe und der Form, die gegossen wird. Während der Formgebung rotiert die Form typischerweise mit 10 bis 3.000 Umdrehungen/Minute. Die Rotationsgeschwindigkeit kann dazu verwendet werden, die Abkühlrate des Metalls zu kontrollieren.

**[0091]** Die Innenoberfläche eines echten Zentrifugalgießens ist zylindrisch. Beim Halb-Zentrifugalgießen wird ein zentraler Kern verwendet, um andere Formen als einen echten Zylinder zu ermöglichen, die an der Innenoberfläche des Gussstücks erzeugt werden. Zentrifugalgießen gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst echtes Zentrifugalgießen und/oder Halb-Zentrifugalgießen.

**[0092]** Man erwartet, dass die Einheitlichkeit und die Dichte von Zentrifugalgussstücken die von geschmiede-

ten Teilen mit dem zusätzlichen Vorteil erreichen, dass die mechanischen Eigenschaften in sämtliche Richtungen nahezu gleich sind. Ein gerichtetes Erstarren von der äußeren Oberfläche, die in Kontakt zur Form steht, wird zu Gussstücken mit herausragender Qualität führen, die frei von Gießfehlern sind.

**[0093]** Eine hohe Reinheit und eine hohe Dichte des isotropen Graphitformmaterials der vorliegenden Erfindung erhöht die Inertheit der Formoberfläche gegenüber der flüssigen Schmelze während des Erstarrens. Als eine Folge erzeugt der erfindungsgemäße Prozess ein Gussstück mit einer sehr glatten qualitativ hochwertigen Oberfläche im Vergleich zu dem herkömmlichen Keramikformgießprozess. Die isotropen Graphitformen zeigen eine sehr geringe Reaktion mit den geschmolzenen Superlegierungen auf Nickel-Basis und erleiden einen minimalen Verschleiß und eine minimale Abtragung nach der Verwendung und können daher wiederholt vielfach dazu verwendet werden, Zentrifugalgußstücke dieser Legierungen mit hoher Qualität herzustellen. Im Gegensatz dazu werden die herkömmlichen Keramikformen nur einmal zur Herstellung von Gussstücken aus Superlegierungen verwendet.

**[0094]** Darüber hinaus werden die feinen Körnchenstrukturen der Gussstücke, die von den schnellen Abkühlgeschwindigkeiten der Schmelze herrühren, zu verbesserten mechanischen Eigenschaften wie einer hohen Festigkeit für viele Superlegierungen auf Nickel-Basis führen, was für Anwendungen, wie Komponenten für Flugzeugmotoren, geeignet ist.

**[0095]** Man erwartet, dass die Einheitlichkeit und Dichte von Zentrifugalgußstücken diejenigen von geschmiedetem Material erreichen und den zusätzlichen Vorteil bieten, dass die mechanischen Eigenschaften in alle Richtungen nahezu gleich sind. Ein gerichtetes Erstarren von der äußeren Oberfläche, die in Kontakt zur Form steht, wird zu Gussstücken mit ausgezeichneter Qualität führen, die frei von Gießfehlern sind.

#### Beispiel 1

**[0096]** Verschiedene Superlegierungen auf Nickel-, Kobalt- und Eisen-Basis, die geeignete Kandidaten sind, um durch die Zentrifugalgußtechnik zu Komponenten mit hoher Integrität und Qualität unter Vakuum in isotropen Graphitformen überarbeitet zu werden, sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 (Zusammensetzungen sind in Gew.-% angegeben)												
Legierung	Ni	Cr	Co	Mo	W	Fe	C	Ta+Nb	Al	Ti	Si	Anderere
IN 738	63	16	8,5	1,75	2,6	0,5	0,13	2,6	3,45	3,45	0,2	0,1 Hf
Rene 80	60,5	14	9,5	4,0	4,0	0,17		3,0	5,0			0,03 Zr 0,15 B
Mar-M247	60	8,25	10	0,7	10		0,15	3,0	5,5	1,0		1,5Hf 0,15 B 0,05 Zr
PWA 795	14,03	19,96	46,4		9,33		0,35	2,89	4,4	0,18	0,17	1,14 Hf 0,02 Zr 0,07 Y

Rene 142	57,4	6,89	11,90	1,47	5,03		0,12	6,46	6,25	0,005	0,012	2,76 Re 1,54 Hf 0,017 Zr 0,018 B
Mar-M200	59	9,0	10,0		12,5	1,5	0,15	1,0	5,0	2,0		0,015 B 0,05 Zr
FSX 414	10	29	53,08		7,0		0,12				0,8	
IN939	48,33	22,5	19		2,0		0,16	1,35	1,85	3,8		0,005 B 0,01 Nb
IN792	61	12,5	9,0	1,9	4,15	0,5	0,1	4,65	3,35	3,95	0,2	
Mar-M918	19	19	54,56			0,5	0,04	7,0 Ta				
Mar-M509	10	23,5	55		7,0		0,60	3,5		0,2		0,5Zr
Legierung 1957	69,9	21,67	0,009				0,012	2,63		0,57	0,43	1,98 Pd
Pmet 920	43,45	20	13,5	1,5	15,50		0,045	4,2 Ta	0,80		0,40	0,60 Mn
Legierung 1896	60,23	14	9,5	1,55	3,8	0,10		2,8 Ta	3,0	4,9		0,035 Zr 0,005 B
501S S		7,0		0,55		92,33	0,12					
SS316 -GD	11,65	16,33	2,2		66,65						0,1	0,4G d 1,7M n

**[0097]** Typische Formen von Gussstücken aus Superlegierungen, die durch das in der vorliegenden Erfindung beschriebene Verfahren hergestellt werden können, sind die folgenden:

- (1) Ringe und hohle Rohre und dergleichen mit folgenden typischen Dimensionen: 4 bis 80 Zoll Durchmesser  $\times$  0,25 bis 4 Zoll Wanddicke  $\times$  1 bis 120 Zoll Länge.
- (2) Die Formen können maschinell bearbeitet werden, um konturierte Profile am äußeren Durchmesser der zentrifugal gegossenen rohrförmigen Produkte und Ringe aus Superlegierung zu erzeugen.
- (3) Die Formen können mit einer gewünschten Verjüngung maschinell bearbeitet werden, so dass die Gussstücke mit der gewünschten Verjüngung direkt gemäß den speziellen Designs gegossen werden.

**[0098]** Es sollte ersichtlich sein, dass zusätzlich zu den voran stehend beschriebenen Ausführungsformen andere Ausführungsformen ebenso vom Umfang der vorliegenden Erfindung umfasst sind, der durch die beige-fügten Ansprüche definiert wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Gussformteilen (**70**) wie zum Beispiel Ringen, Rohren und Röhren mit glatten oder konturierten Profilen am äußeren Umfang aus metallischen Legierungen, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Superlegierungen auf Nickel-Basis, Superlegierungen auf Nickel-Eisen- Basis und Superlegierungen auf Kobalt-Basis, **dadurch ge kennzeichnet**, dass es die folgenden Stufen umfasst:
  - Erschmelzen der metallischen Legierung unter Vakuum oder Partialdruck eines inerten Gases,
  - Gießen der geschmolzenen metallischen Legierung in eine zylindrische Form (**80, 102, 110**), die um ihre eigenen Achse rotiert und einen Formhohlraum besitzt,
  - Erstarren lassen der geschmolzenen metallischen Legierung zu einem festen Körper, der die Form des Hohlraums annimmt,
 wobei die Form (**80, 102, 110**) hergestellt ist aus maschinell bearbeitetem Graphit, und  
 wobei der Graphit isostatisch geformt oder schwinggeformt worden ist und ultrafeine isotropische Körner mit einer Größe zwischen 3 und 40 Mikrometer, eine Dichte zwischen 1,65 und 1,9 g/c<sup>3</sup>, eine Biegefestigkeit zwischen 5.500 und 20.000 psi, eine Druckfestigkeit zwischen 9.000 und 35.000 psi und eine Porosität von weniger als 15% besitzt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die metallische Legierung ausgewählt ist, aus der Gruppe bestehend aus Superlegierungen auf Nickel-Basis, Superlegierungen auf Nickel-Eisen-Basis, Superlegierungen auf Eisen-Basis und Superlegierungen auf Kobalt-Basis.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die metallische Legierung eine Superlegierung auf Nickel-Basis ist, die 10 bis 20% Cr, höchstens etwa insgesamt 8% eines oder mehrerer der Elemente, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Al und Ti, insgesamt 0,1 bis 12% eines oder mehrerer Elemente, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus B, C oder Zr, und insgesamt 0,1 bis 12% eines oder mehrerer Legierungselemente, wie zum Beispiel Mo, Nb, W, Ta, Co, Re, Hf und Fe, sowie erschmelzungsbedingte verunreinigende Elemente enthält, wobei die Menge der verunreinigenden Elemente weniger als 0,05% und insgesamt weniger als 0,15% beträgt.
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die metallische Legierung geschmolzen wird durch ein Verfahren, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Vakuuminduktionsschmelzen und Plasmabogenschmelzen.
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Form (**80, 102, 110**) isotaktisch geformt worden ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Graphit der Form (**80, 102, 110**) isotrope Körner mit einer Korngröße zwischen 3 und 10 Mikrometer enthält und die Form eine Biegefestigkeit von mehr als 7.000 psi, eine Druckfestigkeit zwischen 12.000 und 35.000 psi und eine Porosität von weniger als 13% besitzt.
7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Form (**80, 102, 110**) eine Dichte zwischen 1,77 und 1,9 g/c<sup>3</sup> und eine Druckfestigkeit zwischen 17.000 psi und 35.000 psi besitzt.
8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Form (**80, 102, 110**) schwinggeformt worden ist.
9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Form (**80, 102, 110**) entweder horizontal oder vertikal oder in schiefer Winkel um ihre eigene Achse gedreht wird, und zwar unter Vakuum oder Partialdruck eines inerten Gases, während die metallische geschmolzene Legierung in die Form (**80, 102, 110**) gegossen wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Form (**80, 102, 110**) eine zylindrische Form besitzt und der Hohlraum maschinell in die innere Oberfläche der zylindrischen Form eingearbeitet ist, um die Herstellung von Gussformteilen mit konturiertem Profil am äußeren Umfang zu gestatten.
11. Zentrifugalgussvorrichtung zum Gießen von Metallerzeugnissen (**70, 112**), umfassend eine isotrope Graphitform (**80, 102, 110**) und Mittel (**120, 122**) zum Rotieren der isotropen Graphitform (**80, 102, 110**).
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die isotrope Graphitform (**102**) mindestens zwei isotrope Graphitteile (**102A, 102B**) umfasst, die trennbar miteinander verbunden sind, so dass ein innerhalb der Form erstarrtes Metallerzeugnis aus der Form (**80, 102, 110**) entnommen werden kann.
13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die gegossenen Formen (**70**) ausgewählt sind aus der Gruppe, be-

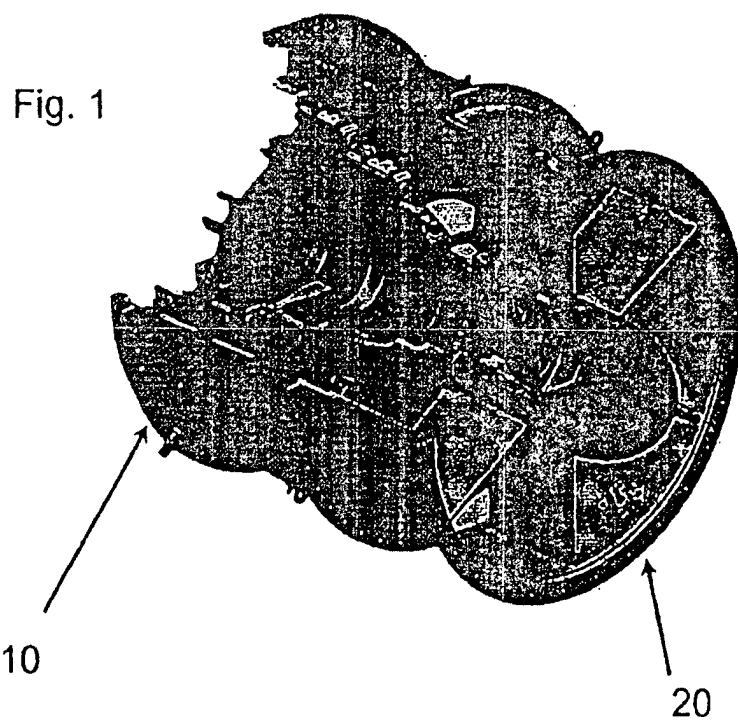
stehend aus Ringen, Rohren und Röhren.

14. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die zylindrische Form (**80**, **102**, **110**) um ihre eigene Achse gedreht wird, während die metallische geschmolzene Legierung in die zylindrische Form (**80**, **102**, **110**) gegossen wird.

15. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, wobei die Rotationsgeschwindigkeit der zylindrischen Form (**80**, **102**, **110**) und die Gießgeschwindigkeit des geschmolzenen Metalls in Abhängigkeit von der Legierung und der Größe und Form, die gegossen wird, variiert werden kann.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen





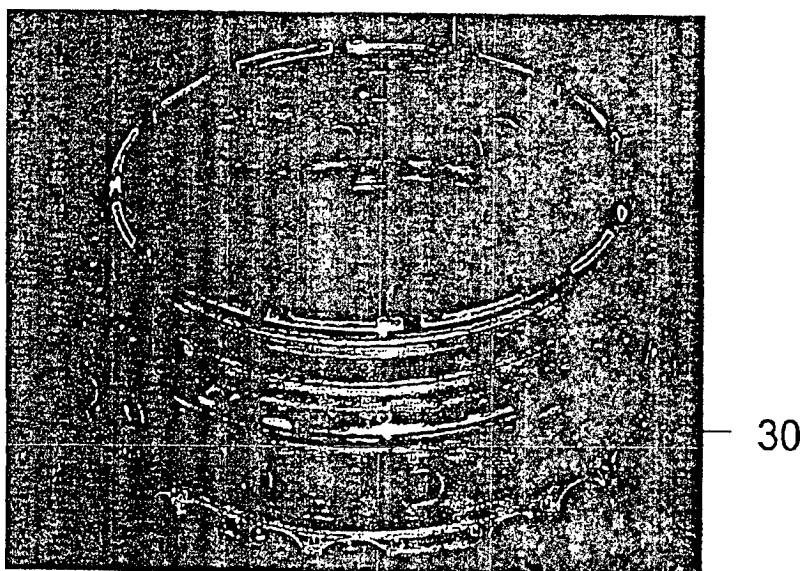


Fig. 2

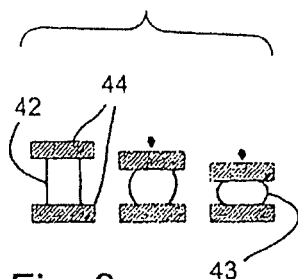


Fig. 3a

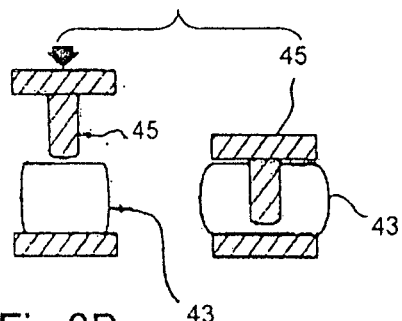


Fig 3B

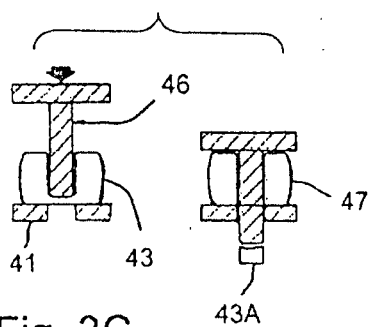


Fig. 3C



Fig. 3D

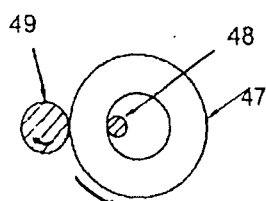


Fig. 3E

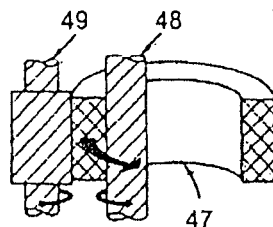


Fig. 3F

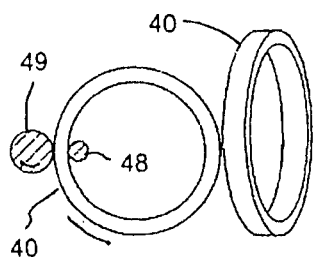


Fig. 3G

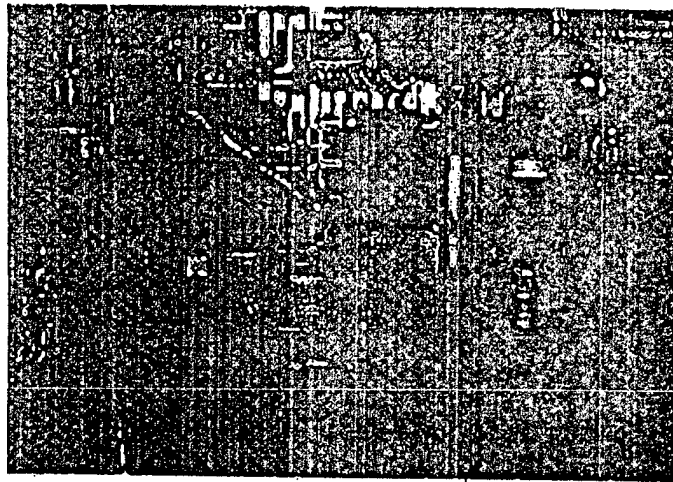


Fig. 4

40

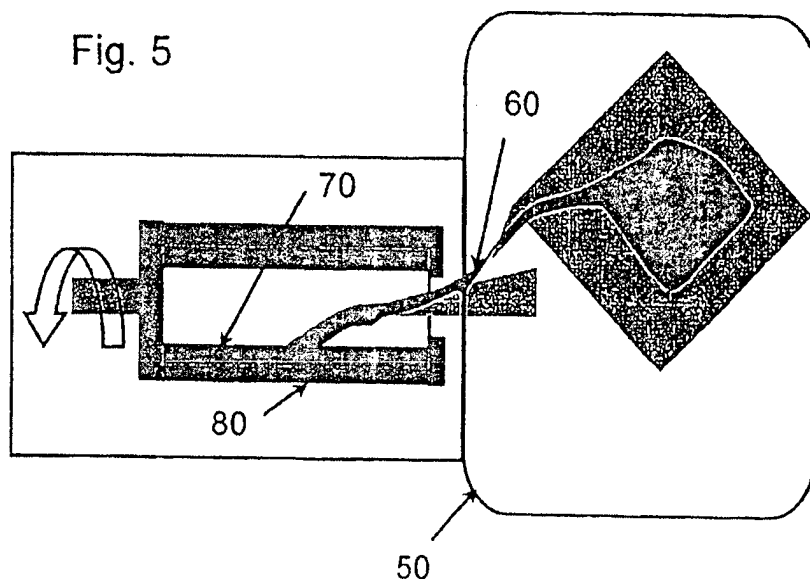


Fig. 6

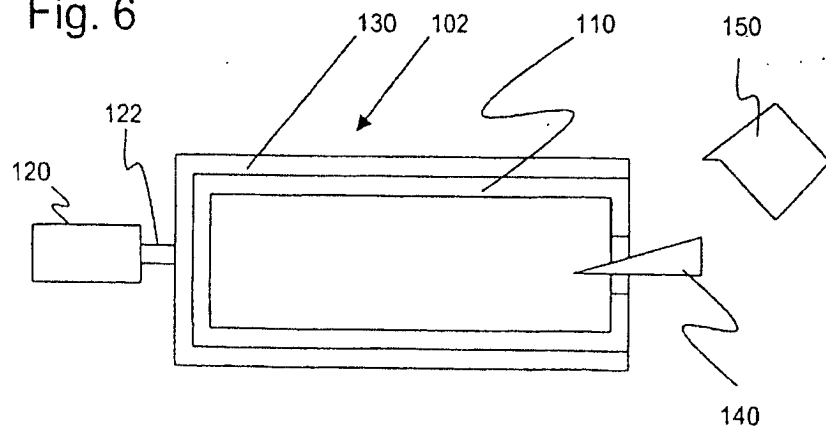


Fig. 7

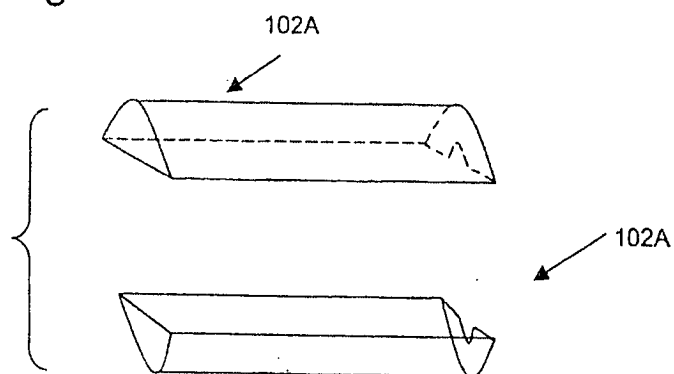


Fig. 8

