



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 30 748 T2** 2006.11.02

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 099 774 B1**

(51) Int Cl.⁸: **C22C 49/02** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 30 748.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 830 693.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **04.11.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **05.04.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.11.2006**

(73) Patentinhaber:

AVIO S.p.A., Torino, IT

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(74) Vertreter:

Andrejewski, Honke & Sozien, 45127 Essen

(72) Erfinder:

Podesta, Emanuele, 72100 Brindisi, IT

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Bauteiles aus Verbundwerkstoff**

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] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Elementen aus Verbundwerkstoff, insbesondere von Elementen mit kreisförmiger Geometrie wie etwa Vorgelegewellen, Turbinen- und Verdichterscheiben für Turbomaschinen usw.

[0002] Wie aus der italienischen Patentanmeldung Nr. T096A000979 bekannt ist, die am 3. Dezember 1996 von FIATAVIO S.p.A. angemeldet und als EP-A-0 846 550 veröffentlicht wurde, werden Verbundwerkstoffelemente des obigen Typs hergestellt durch Formen einer Anzahl von Scheiben, von denen jede durch Wickeln einer kontinuierlichen Verstärkungsfaser um eine Achse geformt wird, so dass eine flache Spirale gebildet wird; Stapeln der Scheiben mit Anbringung jeweiliger Distanzbleche aus metallischem Werkstoff dazwischen; und axiales Verdichten des Stapels, so dass eine Metallmatrix gebildet wird, in welche die verschiedenen Spiralen aus Verstärkungsfasern eingebettet sind.

[0003] Die physikalischen Eigenschaften solcher Verbundwerkstoffelemente hängen hauptsächlich von der Verteilung der Verstärkungsfasern innerhalb der Metallmatrix ab; und der Grad, in dem die Fasern gleichmäßig verteilt sind, hängt davon ab, inwieweit die Windungen in jeder Scheibe abstandsgleich mit einem vorgegebenen Abstand voneinander sind und inwieweit die Bewegungsfreiheit der verschiedenen Windungen eingeschränkt wird, insbesondere im Stadium des Verdichtens.

[0004] Aus diesem Grunde werden die Windungen einer Verstärkungsfaser in ihrer Position zueinander fixiert, indem Drähte befestigt werden, die um jede Windung gewickelt werden und sich speichenartig bezüglich der Achse der Spirale erstrecken.

[0005] Genauer, die Windungen werden abstandsgleich mit einem vorgegebenen Abstand voneinander angeordnet, indem parallel zur Bildung der Spirale weitere zwei flache Spiralen aus Abstandsdraht gebildet werden, welche aus der Spirale der Verstärkungsfaser entfernt werden, sobald die Befestigungsdrähte um die Windungen gewickelt worden sind.

[0006] Das oben kurz beschriebene Verfahren weist mehrere Nachteile auf.

[0007] Insbesondere bedeutet die Herstellung von Verbundwerkstoffelementen unter Verwendung von Scheiben aus Verstärkungsmaterial und Distanzblechen von gegebenen Dicken, dass es unmöglich ist, irgendeine gegebene gewünschte Verteilung der Verstärkungsfasern in der Metallmatrix zu erhalten.

[0008] Außerdem umfasst das obige Verfahren verschiedene recht komplexe und daher recht kosten- aufwendige Arbeitsgänge (separates Herstellen der Spiralen aus Verstärkungsdraht und Befestigen der jeweiligen Windungen; Stapeln der Scheiben aus keramischem Werkstoff und Distanzblechen; und Anordnen der Stapel in einem endgültigen Behälter, um die Verbundwerkstoffelemente zu formen).

[0009] Im Falle einer Metallmatrix aus Titan können die Distanzbleche nicht einfach in der Form beschafft werden, die für die beschriebenen Verfahren benötigt wird, d. h. mit einer konstanten Dicke von 0,1 mm, und erfordern verschiedene spezifische Bearbeitungsvorgänge (Schneiden, Schleifen, Schweißen usw.), welche die ohnehin hohen anfallenden Kosten zusätzlich erhöhen.

[0010] Schließlich müssen die Befestigungsdrähte aus einem Werkstoff hergestellt werden, der sowohl bezüglich der Metallmatrix als auch bezüglich der Verstärkungsfasern inert ist.

[0011] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines Elements aus Verbundwerkstoff bereitzustellen, das dazu vorgesehen ist, auf eine einfache, kostengünstige Art und Weise die oben erwähnten Nachteile zu beseitigen, die mit bekannten Verfahren normalerweise verbunden sind.

[0012] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Elements aus Verbundwerkstoff nach Anspruch 1 bereitgestellt.

[0013] Eine bevorzugte, nicht einschränkende Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird beispielhaft unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei:

[0014] [Fig. 1](#) eine Vorderansicht eines Elements aus Verbundwerkstoff zeigt, das gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde;

[0015] [Fig. 2](#) einen axialen Schnitt eines Stützkörpers mit einem Ring aus Verbundwerkstoff zeigt, aus dem das Element von [Fig. 1](#) unter Anwendung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wird;

[0016] [Fig. 3](#) eine Ansicht eines Details des Ringes von [Fig. 2](#) in einem größeren Maßstab zeigt;

[0017] [Fig. 4](#) bis [Fig. 9](#) teilweise axiale Schnittansichten aufeinanderfolgender Arbeitsschritte bei der Herstellung des Elements von [Fig. 1](#) gemäß dem Verfahren der vorliegenden Erfindung zeigen;

[0018] [Fig. 10](#) das Detail von [Fig. 3](#) nach Anwendung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfin-

dung zeigt.

[0019] Das Bezugszeichen **1** in [Fig. 1](#) bezeichnet ein Element aus Verbundwerkstoff, das mit Hilfe des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde – im dargestellten Beispiel ein Rotationsstück wie etwa eine Verdichterscheibe für Turbomaschinen, auf das in der nachfolgenden Beschreibung lediglich beispielhaft Bezug genommen wird.

[0020] Das Element **1** hat eine kreisringförmige Gestalt mit einer Symmetrieachse **A** und umfasst einen zentralen Abschnitt **2** in Form einer flachen Scheibe, der eine Durchgangsbohrung **3** mit der Achse **A** definiert, und einen im Wesentlichen zylindrischen Umfangsabschnitt **4**, der axial in beide Richtungen bezüglich des zentralen Abschnitts **2** vorsteht und außen eine Anzahl von vorstehenden radialen Schaukeln **5** trägt.

[0021] Genauer, der zentrale Abschnitt **2** ist aus einem Verbundwerkstoff hergestellt, der durch eine Matrix aus metallischem Werkstoff – im dargestellten Beispiel einer Titanlegierung – und durch eine Verstärkungsstruktur aus keramischem Werkstoff – im dargestellten Beispiel Siliciumcarbid – definiert ist und außen mit einer dünnen Schicht aus Metall oder einer so genannten „Haut“, vorzugsweise aus Titanlegierung, überzogen ist.

[0022] Der Umfangsabschnitt **4** ist dagegen vollständig aus metallischem Werkstoff hergestellt, vorteilhafterweise aus demselben Werkstoff wie die Matrix des zentralen Abschnitts **2**.

[0023] Das Element **1** wird geformt, indem eine torische Grundkonstruktion **6** ([Fig. 6](#)) mit der Achse **A** hergestellt und anschließend verdichtet wird.

[0024] Die Konstruktion **6** wird von einem im Wesentlichen ringförmigen Hauptkörper **7** ([Fig. 2](#), [Fig. 4–Fig. 9](#)) gebildet, der eine Durchgangsbohrung **8** mit der Achse **A**, welche die Bohrung **3** von Element **1** definiert, und einen scheibenförmigen Abschnitt **9** umfasst, und von einer ebenen, zur Achse **A** senkrechten Stirnfläche **10**, von welcher ein zylindrischer rohrförmiger Abschnitt **11** axial vorsteht, der einen Außendurchmesser aufweist, welcher kleiner als der Außendurchmesser des scheibenförmigen Abschnitts **9** ist.

[0025] Die Bohrung **8** ist an den Abschnitten **9** und **11** durch jeweilige zylindrische Flächen **12**, **13** definiert, die unterschiedliche Durchmesser aufweisen und miteinander durch eine ebene Zwischenfläche **14** verbunden sind, die zur Achse **A** senkrecht ist und sich entlang einer Verlängerung der Stirnfläche **10** erstreckt. Genauer, die zylindrische Fläche **13** besitzt einen größeren Durchmesser als die zylindrische Fläche **12**.

[0026] Der Hauptkörper **7** umfasst außerdem einen ringförmigen Vorsprung **15** mit der Achse **A**, der innerhalb der Bohrung **8** von der Zwischenfläche **14** aus vorspringt und einen Querschnitt von der Form eines rechtwinkligen Dreiecks aufweist, dessen Hypotenuse der zylindrischen Fläche **13** zugewandt ist.

[0027] Die Grundkonstruktion **6** wird wie folgt hergestellt.

[0028] Zuerst werden eine erste Verteilung von Metalldrähten **20**, welche die Metallmatrix von Element **1** definieren, und eine zweite Verteilung von Fasern **21** aus keramischem Werkstoff, welche die Verstärkungsstruktur von Element **1** definieren, koaxial auf dem Hauptkörper **7** angeordnet.

[0029] Ein wichtiges Merkmal der vorliegenden Erfindung ist, dass die erste Verteilung gebildet wird, indem jeder Faser **21** eine geordnete Verteilung von Metalldrähten **20** zugeordnet wird. Die Drähte **20** und die Fasern **21** definieren zusammen einen Verbundwerkstoffring **16** ([Fig. 2](#)), der auf einer bekannten, nicht dargestellten Wickelmaschine gewoben wird. Im dargestellten Beispiel sind die Drähte **20** und Fasern **21** ringförmig mit einem kreisförmigen Querschnitt ([Fig. 3](#)) und aus Titanlegierung bzw. Siliciumcarbid hergestellt.

[0030] Genauer, der Ring **16** ist koaxial um den rohrförmigen Abschnitt **11** des Hauptkörpers **7** herum angeordnet und ruht auf der Stirnfläche **10** des scheibenförmigen Abschnitts **9**.

[0031] Die Drähte **9** und die Fasern **21** sind vorteilhafterweise in einem Webmuster ([Fig. 3](#)) kombiniert, in welchem zwei Drähte **20** zwischen jedem Paar von Fasern **21** angeordnet sind. Genauer, im Webmuster ist jede Faser **21** von sechs Drähten **20** umgeben, welche die Ecken eines Sechsecks bilden, und nimmt den Schwerpunkt des Sechsecks ein.

[0032] Der Ring **16** ist außen durch eine radial äußere und eine radial innere zylindrische Seitenfläche **22a**, **22b** und durch zwei einander gegenüberliegende ebene ringförmige Stirnflächen **22c**, **22d** definiert; wobei diese Flächen **22a**, **22b**, **22c**, **22d** ausschließlich aus Metalldrähten **20** bestehen, um nach dem Schritt des Verdichtens die Kontinuität der Struktur des Ringes **16**, des Hauptkörpers **7** und der anderen Metallteile der Konstruktion **6**, die weiter unten ausführlich beschrieben werden, sicherzustellen.

[0033] Die Drähte **20** und Fasern **21** haben denselben Durchmesser und definieren zusammen eine Anzahl von sechseckigen Basiszellen **18** (in [Fig. 3](#) durch die gestrichelten Linien dargestellt); und jede Basiszelle **18** ist durch eine zentrale Faser **21** und durch jeweilige, einen Winkel von 120° aufweisende Teile der sechs Drähte **20**, welche die zentrale Faser

21 umgeben, definiert, so dass das Volumen der Verstärkungsstruktur 33% von dem der Matrix beträgt.

[0034] Die Konstruktion 6 wird vervollständigt, indem der Hauptkörper 7 koaxial mit zwei ringförmigen Verschlusselementen 23, 24 (Fig. 4 und Fig. 5) und einer Abdeckung 25 (Fig. 6) ausgestattet wird, welche zusammen mit dem Hauptkörper 7 einen geschlossenen Sitz für den Ring 16 definieren.

[0035] Es wird speziell auf Fig. 4–Fig. 9 Bezug genommen; das Verschlusselement 23 hat dieselbe axiale Höhe wie der rohrförmige Abschnitt 11 des Hauptkörpers 7, während die axiale Höhe des Verschlusselements (oder Kolbenringes) 24 gleich der Differenz zwischen den axialen Höhen des rohrförmigen Abschnitts 11 und des Ringes 16 ist.

[0036] Das Verschlusselement 23 wird auf der radial äußeren Fläche 22a des Ringes 16 angebracht, so dass es auf der Stirnfläche 10 des scheibenförmigen Abschnitts 9 des Hauptkörpers 7 ruht; und ähnlich wird das Verschlusselement 24 zwischen dem rohrförmigen Abschnitt 11 des Hauptkörpers 7 und dem Verschlusselement 23 eingefügt, so dass es auf der Stirnfläche 22d des Ringes 16 auf der dem scheibenförmigen Abschnitt 9 gegenüberliegenden Seite ruht.

[0037] Die Abdeckung 25 umfasst eine kreisförmige, ringförmige, scheibenförmige Wand 28, von deren radial innerem bzw. äußerem Umfangsrand aus eine innere und eine äußere zylindrische Wand 29, 30, welche konzentrisch sind, vorstehen.

[0038] Die Abdeckung 25 wird angebracht, indem die scheibenförmige Wand 28 in eine Position gebracht wird, in der sie den jeweiligen freien axialen Enden der Verschlusselemente 23, 24 und des rohrförmigen Abschnitts 11 des Hauptkörpers 7 zugewandt ist, und indem die zylindrische Wand 29 in die Bohrung 8 eingeführt wird, so dass das Ende auf dem Vorsprung 15 ruht, und indem die zylindrische Wand 30 auf der Außenseite des Verschlusselements 23 angebracht wird, so dass das Ende auf einem umlaufenden ringförmigen Absatz 31 des scheibenförmigen Abschnitts 9 des Hauptkörpers 7 ruht (Fig. 6).

[0039] Die Abdeckung 25 wird anschließend am Hauptkörper 7 durch Punktschweißen der Abschnitte befestigt, welche den Vorsprung 15 und den Absatz 31 berühren.

[0040] Zu diesem Zeitpunkt wird die Luft im Inneren der Konstruktion 6 mit Hilfe einer bekannten Molekulpumpe (nicht dargestellt) und eines bekannten Muffelofens (nicht dargestellt) zum Erwärmen der Konstruktion 6 auf eine Temperatur von etwa 600°C abgesaugt.

[0041] Die resultierende Konstruktion 6 wird in ei-

nem herkömmlichen Autoklaven (nicht dargestellt) zur Bearbeitung durch isostatisches Heißpressen (Hot Isostatic Pressing, HIP) mit automatischer Temperatur- und Druckregelung verdichtet.

[0042] In der der ersten Etappe, die etwa zwei Stunden dauert, wird die Temperatur des Autoklaven, die zunächst den Umgebungsbedingungen entspricht, auf die Temperatur der Superplastizität der Titanlegierung erhöht – im beschriebenen Beispiel auf etwa 900°C.

[0043] Die Temperatur im Autoklaven wird danach ausreichend lange konstant gehalten, um zu ermöglichen, dass die gesamte Masse, welche die Konstruktion 6 definiert, eine einheitliche Temperatur erreicht. Dieses Zeitintervall – im Durchschnitt zwei Stunden – wird unter Beachtung dessen berechnet, dass die Wärmeübertragung zu diesem Zeitpunkt durch das Nichtvorhandensein von Luft innerhalb der Konstruktion 6 und durch die Tatsache, dass die Kontaktfläche zwischen den Drähten 20 der Oberflächen 22a, 22b, 22c, 22d des Ringes 16 und dem Hauptkörper 7 äußerst klein ist und daher eine sehr geringe Erwärmung durch Wärmeleitung der Drähte 20 ermöglicht, verlangsamt wird. Gleichzeitig wird der Druck in der Umgebung, welche die Konstruktion 6 enthält und durch den Autoklaven definiert ist, auf einen solchen Schwellwert erhöht – im beschriebenen Beispiel 900 kg/cm² –, dass die scheibenförmige Wand 28 der Abdeckung 25 in einer Richtung parallel zur Achse A (Fig. 7) bleibend verformt wird. Genauer, die scheibenförmige Wand 28 der Abdeckung 25 biegt sich, so dass sie am Verschlusselement 24 zur Anlage kommt, welches wiederum gegen den Verbundwerkstoffring 16 drückt, so dass dieser als Druckausgleicher und Drucktransmitter wirkt. Sobald die scheibenförmige Wand 28 der Abdeckung 25 so verformt ist, dass sie dem Verschlusselement 24 ermöglicht, den Verbundwerkstoffring 16 axial zu belasten, werden die Metalldrähte 20 so verformt, dass sie die zuvor vorhandenen Zwischenräume zwischen den Drähten 20 und den Fasern 21 ausfüllen. Zu diesem Zeitpunkt zieht sich der Verbundwerkstoffring 16 entlang der Achse A zusammen, während die Position der Fasern 21 bezüglich der Achse A konstant bleibt, so dass eine Gleichverteilung der Verstärkungsstruktur innerhalb der Metallmatrix sichergestellt wird.

[0044] Zu diesem Zeitpunkt wird der Druck innerhalb des Autoklaven weiter erhöht, bis zu einem Schwellwert – im dargestellten Beispiel etwa 1300 kg/cm² –, bei dem die gesamte Konstruktion 6, welche auch quer zur Achse A verdichtet wird, zusammenbricht (Fig. 9). Genauer, die zylindrischen Wände 29, 30 der Abdeckung 25 haften an einer radial äußeren Fläche des Verschlusselements 24 bzw. an der die Bohrung 8 definierenden Fläche 13, während der Verbundwerkstoffring 16 entlang der metalli-

schem Umfangsflächen **22a**, **22b**, **22c**, **22d** an dem scheibenförmigen und dem rohrförmigen Abschnitt **9**, **11** des Hauptkörpers **7** und an den Verschlusselementen **23** und **24** haftet.

[0045] Die verdichtete Konstruktion **6** wird anschließend abgekühlt, indem die Temperatur und der Druck so verringert werden, dass die Restspannung, die in dem aus dem Verbundwerkstoffring **16** hervorgegangenen Abschnitt durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Metallmatrix und der Verstärkungsfasern **21** erzeugt wird, auf ein Minimum begrenzt wird.

[0046] Der aus dem Ring **16** hervorgegangene Abschnitt des Elements **1** nimmt eine Gestalt mit der in [Fig. 10](#) dargestellten Anordnung an, bei welcher die Fasern **21** gleichmäßig innerhalb der Metallmatrix verteilt sind, in einer zur Achse A senkrechten Richtung gleiche Abstände aufweisen und in einer zur Achse A parallelen Richtung durch unterschiedliche Abstände getrennt sind.

[0047] Schließlich kann die verdichtete Konstruktion **6** einer mechanischen Bearbeitung oder Ähnlichem unterzogen werden, um den fertigen Umriss des Elements **1** zu erhalten. Insbesondere werden aus dem Teil der verdichteten Konstruktion **6**, der aus dem scheibenförmigen Abschnitt **9** des Hauptkörpers **7** hervorgegangen ist, Schaufeln **5** geformt.

[0048] Die Verwendung von Metalldrähten **20** zur Herstellung der Matrix des Verbundwerkstoffelements **1** gewährleistet daher, dass durch geeignete Wahl des Durchmessers der Drähte **20** und Fasern **21** eine beliebige gewünschte Verteilung der Verstärkungsstruktur innerhalb der Metallmatrix erhalten werden kann.

[0049] Insbesondere kann durch geeignete Wahl der Art der Verteilung der Metalldrähte **20** bezüglich der einzelnen Verstärkungsfasern **21**, z.B. durch Wahl der zuvor beschriebenen sechseckigen Verteilung, die Bewegungsfreiheit der Fasern **21** während der Verdichtung so begrenzt werden, dass die Positionen der Fasern **21** bezüglich der Achse A beibehalten werden.

[0050] Außerdem sieht das beschriebene Verfahren im Unterschied zu bekannten Verfahren vor, dass das Verbundwerkstoffelement **1** hergestellt wird, indem die Drähte **20** und Fasern **21** direkt mit Teilen (Hauptkörper **7**) verwoben werden, die letzten Endes Bestandteil der Metallmatrix von Element **1** sind, wodurch die Notwendigkeit entfällt, separate Scheiben aus Verstärkungsdraht herzustellen, die Windungen jeder Scheibe zu befestigen, den langen, komplizierten Prozess des Stapelns der Scheiben mit jeweiligen Distanzblechen dazwischen durchzuführen und die Stapel in Behältern anzuordnen, um Elemente **1**

herzustellen.

[0051] Die Distanzbleche, welche besonders teuer sind, wenn sie auf Titan basieren, und die mit der Vorbereitung der Bleche verbundene Arbeit können daher entfallen, was zu erheblichen Kosteneinsparungen führt.

[0052] Schließlich ist die Kontraktion der Konstruktion **6** in der Verdichtungsetappe geringer als die von Stapeln aus keramischen Scheiben und Distanzblechen bei Anwendung der zuvor beschriebenen bekannten Verfahren.

[0053] Offensichtlich können an dem hier beschriebenen und dargestellten Verfahren Änderungen vorgenommen werden, ohne dadurch jedoch den Schutzbereich zu verlassen, der durch die beigefügten unabhängigen Patentansprüche definiert ist.

[0054] Insbesondere können die Verstärkungsfasern **21** aus anderen Werkstoffen hergestellt sein, einschließlich von Metall.

[0055] Der Hauptkörper **7**, die Verschlusselemente **23**, **24** und die Abdeckung **25** können aus metallischen Werkstoffen hergestellt sein, die voneinander und vom Werkstoff der Drähte **20** verschieden sind.

[0056] Schließlich kann der Verbundwerkstoffring **16** sogar aus der Konstruktion **6** herausgelöst und verwendet werden, um andere Verbundwerkstoffelemente herzustellen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Elements aus Verbundwerkstoff (**1**), das eine Metallmatrix und eine Verstärkungsstruktur umfasst, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- Herstellen einer ersten Verteilung von Metalldrähten (**20**), welche die Matrix definieren, und einer zweiten Verteilung von Verstärkungsfasern (**21**), welche die Verstärkungsstruktur definieren; wobei der Schritt des Herstellens der ersten Verteilung den Schritt des Zuordnens einer geordneten Verteilung der Metalldrähte (**20**) zu jeder Verstärkungsfasern (**21**) umfasst; wobei der Schritt des Zuordnens den Schritt des Vorbereitens eines gewobenen Elements (**16**) durch das Anbringen wenigstens eines Metalldrahtes (**20**) längs jeder Verstärkungsfasern (**21**) umfasst; wobei die Metalldrähte (**20**) und die Verstärkungsfasern (**21**) ringförmig sind; wobei der Schritt des Vorbereitens des gewobenen Elements (**16**) ausgeführt wird, indem die Metalldrähte (**20**) und die Verstärkungsfasern (**21**) um einen torischen Hauptkörper (**7**) herum angeordnet werden, der aus metallischem Werkstoff hergestellt ist;
- Herstellen einer Grundkonstruktion (**6**) durch Anbringen von Abdeckmitteln (**23**, **24**, **25**) aus metalli-

schem Werkstoff am Hauptkörper (7), um das gewobene Element (16) zwischen dem Hauptkörper (7) und den Abdeckmitteln (23, 24, 25) einzuschließen; und

– Verdichten der Metalldrähte (20) und der Verstärkungsfasern (21), um eine Verteilung der Verstärkungsstruktur innerhalb der Matrix zu erhalten; wobei der Schritt des Verdichtens umfasst:

– eine erste Verdichtungsetappe, um das gewobene Element (16) axial zu verdichten, so dass die Metalldrähte (20) so verformt werden, dass sie die Zwischenräume ausfüllen, die zuvor zwischen den Metalldrähten (20) und den Verstärkungsfasern (21) vorhanden waren; und

– eine nachfolgende zweite Verdichtungsetappe, um die Grundkonstruktion (6) als Ganzes in allen Richtungen so zu verdichten, dass das axial verdichtete gewobene Element (16), der Hauptkörper (7) und die Abdeckmittel (23, 24, 25) innig miteinander verbunden werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Verdichtungsetappe ausgeführt wird, während das gewobene Element (16) zwischen dem Hauptkörper (7) und den Abdeckmitteln (23, 24, 25) eingeschlossen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Verdichtens die Schritte umfasst:

– Anordnen der Grundkonstruktion (6) in einer Umgebung mit steuerbaren Temperatur- und Druckbedingungen; und

– Verändern der Temperatur der Umgebung, so dass die Metalldrähte (20), der Hauptkörper (7) und die Abdeckmittel (23, 24, 25) einheitlich auf eine Temperatur der Superplastizität gebracht werden; wobei die zweite Verdichtungsetappe durchgeführt wird, indem der Druck in der Umgebung bezüglich des Druckes der ersten Verdichtungsetappe erhöht wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Druck der ersten Verdichtungsetappe einen solchen Wert hat, dass nur ein Teil der Abdeckmittel (25) in einer zur Achse (A) des Hauptkörpers (7) parallelen Richtung bleibend verformt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Vorbereitens des gewobenen Elements (16) den Schritt des Anbringens von wenigstens zwei Metalldrähten (20) zwischen jedem Paar von benachbarten Verstärkungsfasern (21) umfasst.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Vorbereitens des gewobenen Elements (16) den Schritt des Umgebens jeder Verstärkungsfa-

ser (21) mit sechs Metalldrähten (20) umfasst, welche die Ecken eines Sechsecks bilden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Vorbereitens des gewobenen Elements (16) den Schritt des Anordnens jeder Verstärkungsfasers (21) im Schwerpunkt des durch die Metalldrähte (20) definierten Sechsecks um die Verstärkungsfasers (21) umfasst.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Vorbereitens des gewobenen Elements (16) den Schritt des Herstellens jeweiliger Grenzflächen (22a, 22b, 22c, 22d) des gewobenen Elements (16) unter Verwendung ausschließlich der Metalldrähte (20) umfasst.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptkörper (7) und die Abdeckmittel (23, 24, 25) am Ende des Schrittes des Verdichtens jeweilige Umfangsabschnitte des Elements aus Verbundwerkstoff (1) definieren; und dadurch, dass das gewobene Element (16) am Ende des Schrittes des Verdichtens einen Kern des Elements aus Verbundwerkstoff (1) definiert.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Metalldrähte aus einem Werkstoff auf der Basis einer Titanlegierung hergestellt sind.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkungsfasern aus keramischem Werkstoff hergestellt sind.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkungsfasern aus einem Werkstoff auf der Basis von Siliciumcarbid hergestellt sind.

13. Rotationsteil (1), das gemäß dem Verfahren von Anspruch 8 aus Verbundwerkstoff hergestellt ist, wobei das Rotationsteil eine Konstruktion aus metallischem Werkstoff (4) und ein Verstärkungselement (2, 16) aus Verbundwerkstoff umfasst; dadurch gekennzeichnet, dass das Verstärkungselement (2, 16) aus einer geordneten Verteilung von Metalldrähten (20) und Verstärkungsfasern (21) erhalten wird und jeweilige Grenzflächen (22a, 22b, 22c, 22d) aufweist, die ausschließlich aus den Metalldrähten (20) bestehen und durch Verdichtung der Konstruktion aus metallischem Werkstoff (4) vollständig verbunden sind; wobei die Verstärkungsfasern (21) in Abständen voneinander angeordnet sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

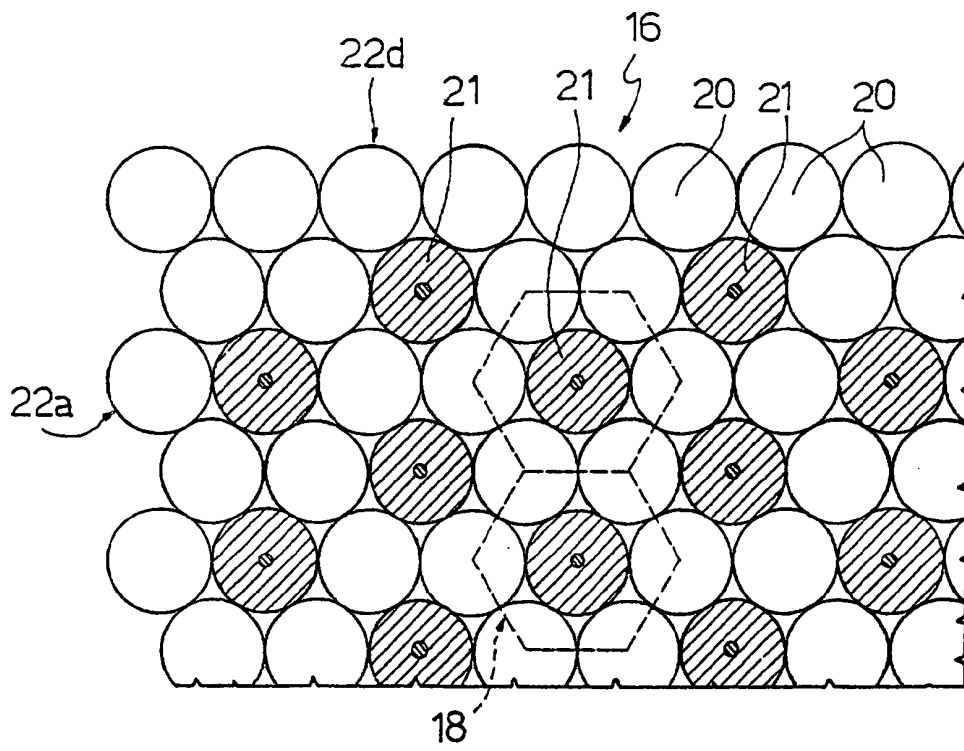


Fig.3

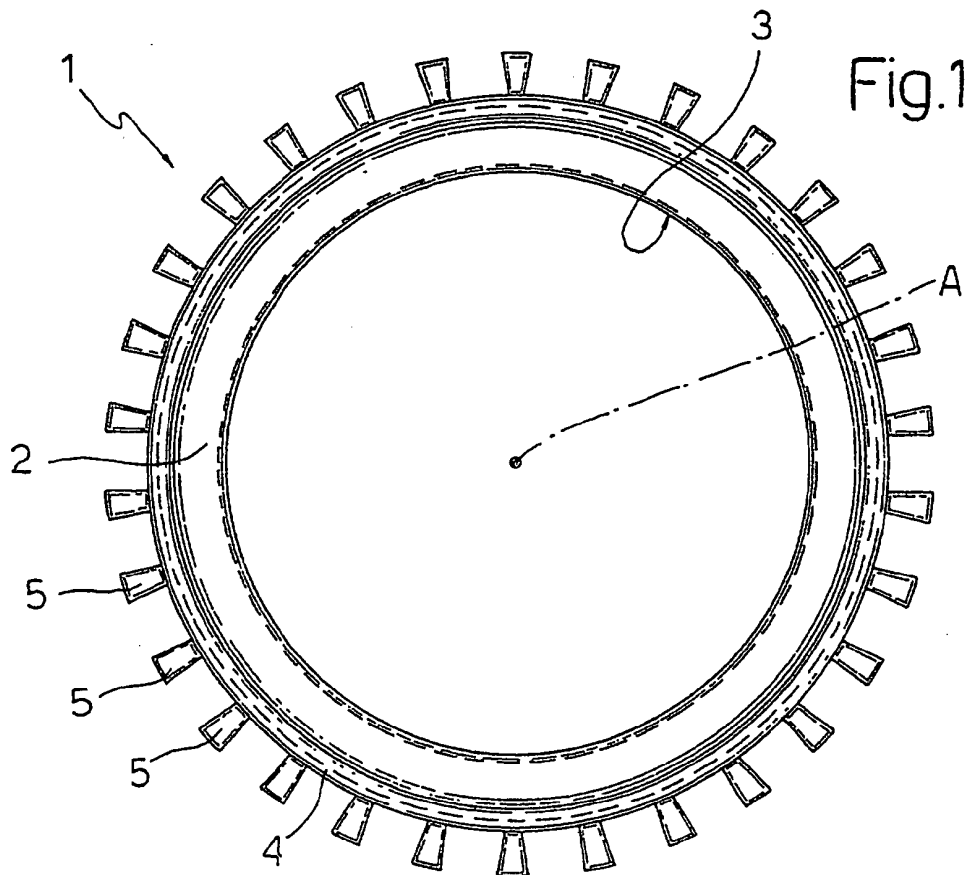


Fig.1

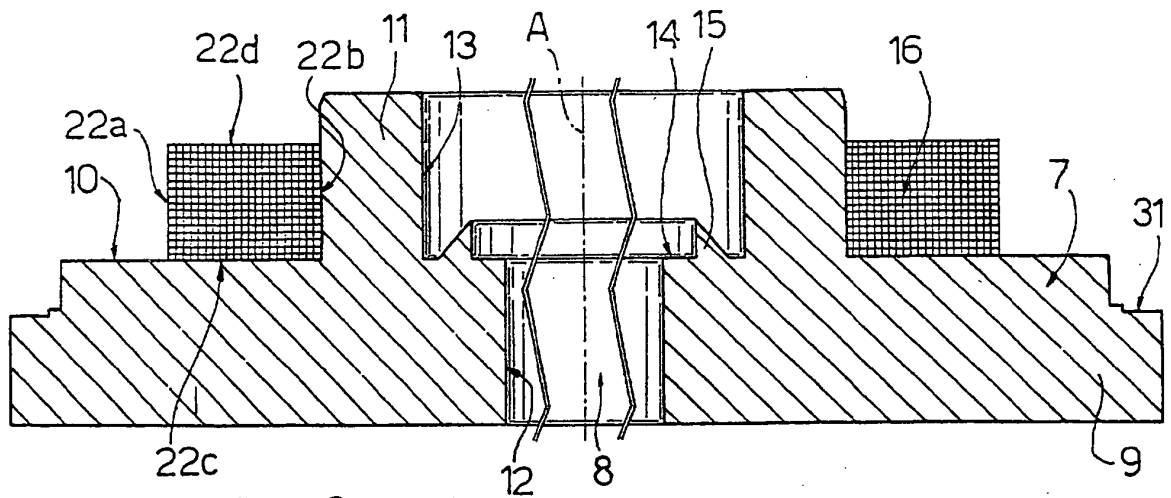


Fig. 2

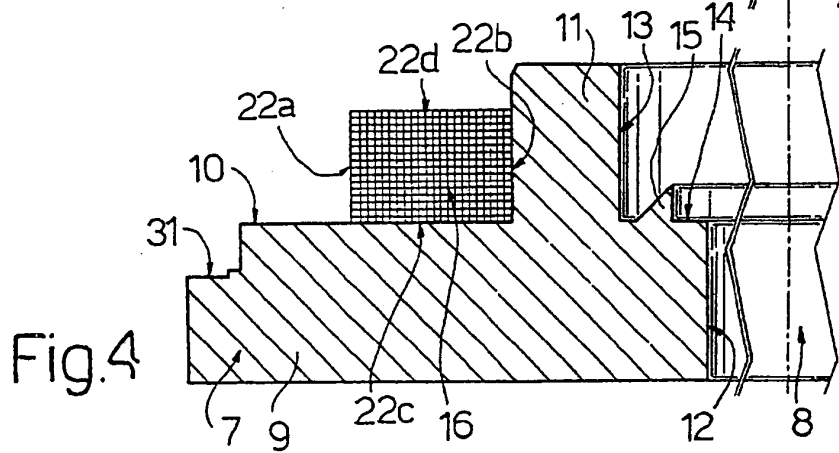
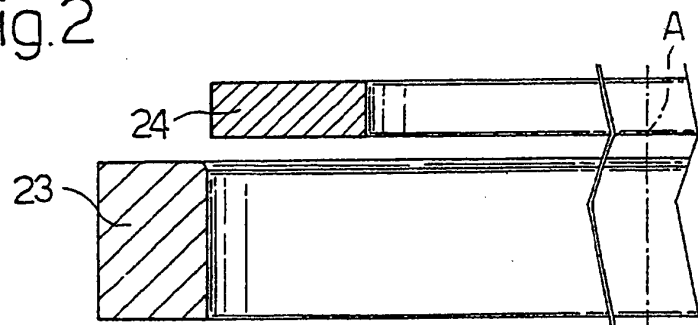


Fig. 4

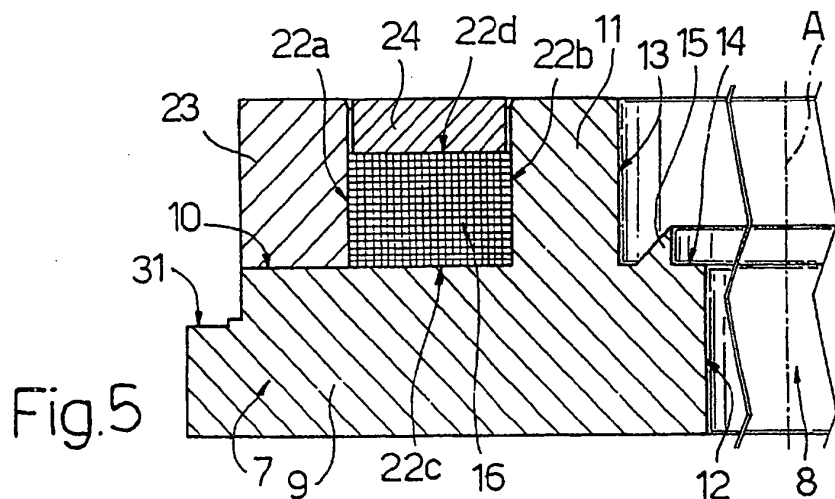


Fig. 5

