(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 997 549 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.12.2004 Patentblatt 2004/53

(51) Int Cl.[7]: **C22C 47/14**, B22F 3/15

(21) Anmeldenummer: **99118781.6**

(22) Anmeldetag: **23.09.1999**

(54) **Verfahren zum Herstellen eines langfaserverstärkten Bauteils**

Method for producing components reinforced by long fibres

Procédé pour produire des composants renforcés par des fibres longues

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **31.10.1998 DE 19850252**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.05.2000 Patentblatt 2000/18

(73) Patentinhaber: **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V**
53127 Bonn (DE)

(72) Erfinder: **Weber, Klaus**
53721 Siegburg (DE)

(74) Vertreter: **Hilleringmann, Jochen, Dipl.-Ing. et al**
Patentanwälte
von Kreisler-Selting-Werner,
Bahnhofsvorplatz 1 (Deichmannhaus)
50667 Köln (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 648 593
DE-A- 2 915 412
DE-A- 4 021 547
DE-C- 4 335 557
US-A- 4 132 828

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).

EP 0 997 549 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines langfaserverstärkten Bauteils, das ein Matrixmaterial mit mindestens einer darin eingebetteten Gruppe von mit Matrixmaterial beschichteten im wesentlichen parallelen Langfasern aufweist.

[0002] Um Bauteilen bei geringerem Gewicht größere Stabilität zu verleihen, ist es grundsätzlich bekannt, in die Bauteile Fasern einzubetten. Je nach Wahl des Materials für die Faser werden auch die Temperaturausdehnung verringert und die Temperaturfestigkeit des derart faserverstärkten Bauteils erhöht. Das Faserverstärkungsmaterial besteht zweckmäßigerweise aus mit einem Matrixmaterial beschichteten Fasern; dies hat den Vorteil, daß sich benachbarte Fasern nicht berühren sondern vielmehr von einem Material, dem Matrixmaterial umgeben sind. Vorzugsweise werden als Matrixmaterial Titanbasis-Legierungen verwendet, während die Faser selbst aus Siliziumcarbid (SiC) besteht. Im Rahmen dieser Erfindung ist mit dem Begriff "Faser" eine Monofaser gemeint, die im Innern aus Fasermaterial besteht und außen eine Beschichtung aus Matrixmaterial aufweist.

[0003] Aus DE 43 35 557 C1 ist ein Verfahren zum Herstellen von langfaserverstärkten Bauteilen bekannt, bei dem in ein Werkstück aus insbesondere Matrixmaterial ein Hohlraum eingebracht wird, der dann von einzelnen nebeneinanderliegenden und im wesentlichen zueinander parallel verlaufenden Langfasern ausgefüllt wird. Nach Kapselung des derart präparierten Werkstücks bzw. nach Verschluß des bzw. der Zugänge zum Hohlraum erfolgt ein heißisostatischer Preßvorgang, bei dem das Werkstück extrem hohen Temperaturen und Drücken ausgesetzt ist. Dabei verformt sich das Bauteil bzw. Werkstück, da die Zwischenräume zwischen den einzelnen Fasern geschlossen werden. Damit ist in jedem Fall eine Nachbearbeitung des Werkstücks erforderlich, um letztendlich dann das Bauteil mit der gewünschten Außenkontur herstellen zu können. Diese Nachbearbeitung ist in der Regel sehr schwierig und kostenintensiv.

[0004] Aus DE 29 15 412 C2 ist ein Verfahren zum Herstellen eines Formkörpers aus faserverstärktem Metallwerkstoff bekannt, bei dem in einen Hohlraum ein vorgefertigtes Röhrchen eingesetzt wird, das mit zueinander parallelen einzelnen Fasern gefüllt ist. Aber auch bei diesem bekannten Verfahren besteht der Nachteil darin, daß der mit den fasergefüllten Röhrchen versehene Formkörper beim heißisostatischen Preßvorgang relativ starken Schrumpfungen ausgesetzt ist.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen eines langfaserverstärkten Bauteils zu schaffen, mit dem sich das Bauteil ohne nennenswerte Nachbehandlungen konturnah und formstabil fertigen läßt.

[0006] Zur Lösung dieser Aufgabe wird mit der Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines langfaserverstärkten Bauteils vorgeschlagen, das ein Matrixmaterial mit mindestens einer darin eingebetteten Gruppe von mit Matrixmaterial beschichteten im wesentlichen parallelen Langfasern aufweist, wobei bei dem Verfahren

- das Bauteil mit im wesentlichen der gewünschten Außenkontur aus Matrixmaterial hergestellt wird,
- in dem so hergestellten Bauteil mindestens ein eine vorgebbare Form aufweisender Hohlraum ausgebildet wird, der von außerhalb des Bauteils zugänglich ist,
- in dem mindestens einen Hohlraum mindestens ein vorgefertigtes langfaserverstärktes Verstärkungselement eingebracht wird, das mehrere in Matrixmaterial eingebettete Langfasern aufweist, wobei die Zwischenräume zwischen den Langfasem mit Matrixmaterial ausgefüllt sind, und
- das Bauteil mitsamt dem mindestens einen Verstärkungselement einem heißisostatischen Preßvorgang ausgesetzt wird.

[0007] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das faserzuverstärkende Bauteil zunächst mit der gewünschten Außenkontur aus einem insbesondere Metallwerkstoff, bei dem es sich vorzugsweise um das Matrixmaterial handelt, hergestellt. Anschließend wird in dieses bereits konturennah hergestellte und noch ohne Faserverstärkung versehene Bauteil mindestens ein Hohlraum eingebracht. Dieser Hohlraum ist von außerhalb des Bauteils zugänglich, um nämlich in ihn ein langfaserverstärktes Verstärkungselement einzubringen. Dieses Verstärkungselement ist erfindungsgemäß vorgefertigt und besteht aus dem Matrixmaterial der Langfaserbeschichtung, in das die Langfasern eingebettet sind. Dieses vorgefertigte Verstärkungselement wird dann mit dem Bauteil heißisostatisch verpreßt. Da sich nun die vor dem heißisostatischen Preßvorgang eventuell noch verbleibenden Hohlräume einzig und allein auf den sehr geringen Zwischenraum zwischen dem Verstärkungselement und dem Bauteil reduzieren, ist bei dem erfindungsgemäß hergestellten Bauteil nach dem heißisostatischen Preßvorgang kaum noch eine Formveränderung bzw. Schrumpfung des Bauteils zu beobachten. Damit bedarf es also insbesondere keiner Nachbearbeitung des Bauteils, um diesem die gewünschte Außenkontur zu verleihen. Eine Bearbeitung des Bauteils ist lediglich noch in den Bereichen des bzw. der Zugänge zu dem mindestens einen Hohlraum erforderlich. Denn bei dem heißisostatischen Preßvorgang muß das Bauteil bzw. die in ihm noch verbleibenden Frei- oder Zwischenräume evakuiert sein, damit diese Frei- bzw. Zwischenräume nach dem heißisostatischen Preßvorgang von Matrixmaterial bzw. Fasern ausgefüllt sind.

[0008] Durch die Verwendung vorgefertigter langfaserverstärkter Verstärkungselemente aus Matrixmaterial ist es also erfindungsgemäß möglich, dem Bauteil bereits vor dem heißisostatischen Preßvorgang seine ge-

wünschte Außenkontur zu verleihen. Damit kann auf Nachbarbeitungsschritte verzichtet werden. Der Vorteil besteht darin, daß nun Herstellungstechniken, wie beispielsweise Guß, Formfräsen oder Schalentechnik verwendet werden können, die wesentlich weniger aufwendig sind als in dem Fall, in dem das Bauteil erst nach dem heißisostatischen Preßvorgang bearbeitet wird. Der erfindungsgemäß zu erzielende Vorteil des extrem geringen Schrumpfens des heißisostatisch verpreßten Bauteils macht es also möglich, dem Bauteil bereits vor dem Einbringen der Faserverstärkung die gewünschte Außenkontur zu verleihen, womit Herstellungstechniken zur Erstellung des Bauteils mit der gewünschten Außenkontur eingesetzt werden können, die wesentlich preiswerter sind als die Bearbeitung eines faserverstärkten Werkstücks, um diesem eine gewünschte Außenkontur zu verleihen.

[0009] In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß der Hohlraum durch insbesondere Funkenerrosion oder durch Bohren von außerhalb des Bauteils eingebracht wird. Beim Bohren kann auf chemische oder mechanische Techniken zurückgegriffen werden. Insbesondere erstrecken sich die Hohlräume entlang gerader Linien und treten dabei an einer Seite (Sackloch-Ausbildung) oder an zwei einander gegenüberliegenden Seiten des Bauteils (durchgehende Bohrung) aus diesem heraus. Bei geradlinig ausgerichteten Hohlräumen sind die Verstärkungselemente, deren Querschnitt gleich dem Querschnitt der Hohlräume ist, stabförmig. Hier sind runde, aber auch polygonale Stäbe denkbar.

[0010] Während bei einem sich durch das Bauteil hindurch ersteckenden Hohlraum dessen Zugang über die stirnseitigen Enden erfolgt, kann bei einem allseitig abgeschlossenen Hohlraum auf diesen dadurch zugegriffen werden; daß das Bauteil zweiteilig ist, also beispielsweise zwei Hälften aufweist. Das aus Matrixmaterial ohne Faserverstärkung hergestellte Bauteil wird beispielsweise in zwei Teile unterteilt oder aber diese beiden Teile werden getrennt gefertigt, um dann zum Bauteil zusammengesetzt zu werden. Der Hohlraum wird entweder in einem der beiden oder aber in beiden Teilen eingebracht. Im zuletzt genannten Fall erstreckt sich der Hohlraum also dann durch beide Bauteilhälften hindurch.

[0011] Der "Zugang" zu einem solchen Hohlraum kann beispielsweise als sich entlang der aneinanderliegenden Grenzflächen der Bauteilhälften erstreckend betrachtet werden. Durch Verschweißung der beiden Bauteilhälften bzw. der beiden Teile des Bauteils kann der Hohlraum bzw. der sich zwischen dem Verstärkungselement und den Bauteilhälften ergebende Frei- oder Zwischenraum verschlossen werden.

[0012] Die gasdichte Verschließung des Zugangs erfolgt insbesondere durch Elektronenstrahlverschweißen. Diese Verschweißungstechnik kann lediglich im Vakuum durchgeführt werden. Exakt ein Vakuum wird aber benötigt, um die noch verbleibenden Freiräume zwischen dem Verstärkungselement und dem übrigen Teil des Bauteils zu evakuieren.

[0013] Nachfolgend wird anhand der Figuren ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert. Im einzelnen zeigen:

Fig. 1	eine Darstellung einer Fanschaufel eines Düsentriebwerks mit in die Schaufel eingebrachten stabförmigen faserverstärkten Verstärkungselementen als Beispiel eines erfindungsgemäß herzustellenden Bauteils,
Fig. 2	einen Schnitt entlang der Linie II-II der Fig. 1 durch die Fanschaufel im Bereich eines in diese eingebrachten Verstärkungsstabes,
Fign. 3 bis 6	graphische Darstellungen zur Erläuterung der einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung der einzelnen Aufnahmebohrungen für die Verstärkungsstäbe der Fanschaufel,
Fig. 7	einen Schnitt entlang der Linie VII-VII der Fig. 6 vor dem heißisostatischen Preßvorgang und
Fig. 8	die Situation gemäß Fig. 7 nach dem heißisostatischen Preßvorgang.

[0014] Fig. 1 zeigt als Beispiel eines langfaserverstärkten Bauteils eine Fanschaufel 10, die mit einer Vielzahl von stabförmigen langfaserverstärkten Verstärkungselementen 12 (nachfolgend faserverstärkte Stäbe genannt) versehen ist. Die faserverstärkten Stäbe 12 erstrecken sich von der Schaufelspitze 14 bis zum Schaufelfuß 16 geradlinig durch die Fanschaufel 10 hindurch. Die faserverstärkten Stäbe 12 sind als vorgefertigte Verstärkungselemente in in die Fanschaufel eingebrachte Hohlräume 18 eingebracht worden und füllen diese im fertig hergestellten Zustand der Fanschaufel 10 gänzlich aus. Wie beispielsweise in Fig. 7 zu erkennen ist, sind in das Material 20 der faserverstärkten Stäbe 12 zueinander parallele Langfasern 22 eingebettet (s. auch Fig. 2). Die Herstellung dieser Verstärkungselemente 12 erfolgt beispielsweise dadurch, daß die mit einem Matrixmaterial beschichteten Langfasern 22 in ein Rohr bzw. Röhrchen aus Matrixmaterial eingebracht werden. Anschließend wird das derart mit Langfasern 22 gefüllte Rohr nach Evakuierung und gasdichtem Verschluß an seinen Stirnseiten einem heißisostatischen Preßvorgang für mehrere Stunden bei Temperaturen von 1000 °C bis 1300 °C und Drücken von 150 MPa bis 230 Mpa ausgesetzt. Bei diesem heißisostatischen Preßvorgang kommt es zu einem Verschmelzen des Matrixmaterials der Langfasern 22 untereinander und des Matrixmaterials des Röhrchens. Nach dem heißisostatischen

Preßvorgang liegt also ein Verstärkungselement 12 vor, das keinerlei Hohlräume mehr aufweist; wird ein derartiges Verstärkungselement 12 zu einem späteren Zeitpunkt nochmals einem heißisostatischen Preßvorgang ausgesetzt, so ist keinerlei Schrumpfung bzw. Formveränderung zu verzeichnen.

[0015] Die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung der Fanschaufel 10 gemäß Fig. 1 werden nachfolgend anhand der Fign. 3 bis 6 erläutert.

[0016] In einem ersten Verfahrensschritt wird aus einem geeigneten Material, beispielsweise dem Matrixmaterial der Beschichtung der Langfasern 22 bzw. einem damit verträglichen Material die Fanschaufel 10 in der gewünschten Form hergestellt. Hier kann man sich beispielsweise Techniken wie z.B. dem Gießen, dem Formfräsen oder der Schalentechnik bedienen. Am Ende dieses Herstellungsprozesses liegt also die Fanschaufel 10 mit ihrer endgültigen Außenkontur vor, wobei allerdings noch die Faserverstärkung fehlt (s. Fig. 3).

[0017] In einem nächsten Arbeitsschritt werden nun die Hohlräume 18 in die Fanschaufel 10 eingebracht. Dabei bedient man sich beispielsweise der Funkenerrosionstechnik oder einer mechanischen bzw. chemischen Bohrtechnik; das in Fig. 4 bei 23 dargestellte Teil soll das für die jeweilige Technik erforderliche Werkstück symbolisieren. Nach dem Einbringen sämtlicher Hohlräume 18 liegt also eine Fanschaufel 10 vor, die von einer Vielzahl von Bohrungen ausgehend von der Schaufelspitze 14 bis zum Schaufelfuß 16 durchzogen ist.

[0018] In einem nächsten Verfahrensschritt werden nun in die Hohlräume 18 die vorgefertigten faserverstärkten Stäbe 12 eingeführt. Dabei ist der Außendurchmesser der faserverstärkten Stäbe 12 derart auf den Innendurchmesser der Hohlräume 18 abgestellt, daß sich die faserverstärkten Stäbe 12 in die Hohlräume 18 einschieben lassen. Hierbei läßt es sich nicht vermeiden, daß sich zwischen den faserverstärkten Stäben 12 und der Fanschaufel 10 kleinste Zwischenräume 24 (s. Fig. 7) bilden.

[0019] Zur innigen Verbindung der faserverstärkten Stäbe 12 mit der Fanschaufel 10 wird diese einem heißisostatischen Preßvorgang beispielsweise bei den oben angegebenen Bedingungen ausgesetzt. Dazu ist es erforderlich, die Zwischenräume 24 wischen den faserverstärkten Stäben 12 und der Fanschaufel 10 zu evakuieren und alsdann diese Zwischenräume 24 gegenüber der Umgebung der Fanschaufel 10 gasdicht zu verschließen. Dies geschieht bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel dadurch, daß auf die Schaufelspitze 14 und auf den Schaufelfuß 16 folienartige Abdeckplatten 26 aus dem Material der Fanschaufel 10 aufgeschweißt werden (s. Fig. 6). Wird als Schweißtechnik die Elektronenstrahlschweißung eingesetzt, so hat dies den Vorteil, daß beim Verschweißen automatisch auch die Evakuierung der Fanschaufel 10 erfolgt, da das Elektronenstrahlschweißen lediglich im Vakuum möglich ist.

[0020] Die Situation nach dem Einführen der Verstärkungselemente 12 in die Fanschaufel 10 und vor dem heißisostatischen Preßvorgang ist in Fig. 7 dargestellt. Die Zwischenräume 24 sind in Fig. 7 zur Verdeutlichung größer als technologisch erforderlich dargestellt.

[0021] Fig. 8 zeigt die Situation nach dem heißisostatischen Preßvorgang. Durch diesen Preßvorgang sind die Zwischenräume 24 mit Matrixmaterial 20 bzw. dem Material der Fanschaufel 10 ausgefüllt, wobei sich dieses Matrixmaterial 20 mit dem Material der Fanschaufel 10 innig verbindet. Da die Zwischenräume 24 extrem gering sind, kommt es also beim heißisostatischen Pressen der mit den Verstärkungselementen 12 versehenen Fanschaufel 10 zu keinen nennenswerten Schrumpfungen bzw. Formveränderungen der Fanschaufel 10, so daß diese ihre vor dem heißisostatischen Preßvorgang verliehene Außenkontur beibehält. Das hat den entscheidenden Vorteil, daß nach dem heißisostatischen Preßvorgang es keiner weiteren Bearbeitung der Fanschaufel bedarf, um dieser ihre Außenkontur zu verleihen. Umgekehrt heißt das, daß die Außenkontur des faserverstärkten Bauteils bereits im wesentlichen zu einem Zeitpunkt vor dem heißisostatischen Preßvorgang feststeht. Damit können unabhängig von der Faserverstärkung andere Herstellungstechniken für die Fanschaufel eingesetzt werden als diejenigen, bei der erst nach dem heißisostatischen Preßvorgang das Bauteil seine endgültige Außenkontur erhält. So ist es beispielsweise möglich, die Fanschaufel mit ihrer gewünschten Außenkontur in Guß-Technik, Schalen-Technik oder durch Formfräsen herzustellen. In jedem Fall hier auf eine preisgünstigere Technik zurückgegriffen werden, als wenn der Fanschaufel die endgültige Form erst nach dem heißisostatischen Preßvorgang verliehen wird, da dann nur noch aufwendige Werkstück- und Oberflächenbearbeitungstechniken eingesetzt werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines langfaserverstärkten Bauteils, das ein Matrixmaterial mit mindestens einer darin eingebetteten Gruppe von mit Matrixmaterial beschichteten im wesentlichen parallelen Langfasern aufweist, bei dem

   - das Bauteil (10) mit im wesentlichen der gewünschten Außenkontur aus Matrixmaterial hergestellt wird,
   - in dem so hergestellten Bauteil (10) mindestens ein eine vorgebbare Form aufweisender Hohlraum (18) ausgebildet wird, der von außerhalb des Bauteils zugänglich ist,
   - in dem mindestens einen Hohlraum (18) mindestens ein vorgefertigtes langfaserverstärktes Verstärkungselement (12) eingebracht wird, das mehrere in Matrixmaterial eingebettete

Langfasern aufweist, wobei die Zwischenräume zwischen den Langfasem mit Matrixmaterial ausgefüllt sind, und

- das Bauteil (10) mitsamt dem mindestens einen Verstärkungselement (12) einem heißisostatischen Preßvorgang ausgesetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der mindestens eine Hohlraum (18) durch Erodieren oder chemisches oder mechanisches Bohren von außen in das Bauteil (10) eingebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Bauteil (10) zweiteilig ist und daß der Hohlraum (18) sich durch beide Teile des Bauteils (10) erstreckt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Bauteil (10) vor dem heißisostatischen Preßvorgang evakuiert und der Zugang zu dem mindestens einen Hohlraum (18) gasdicht verschlossen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** das mindestens eine Verstärkungselement (12) stabförmig ist.

Claims

1. A method for producing a structural member reinforced by long fibers, the structural member comprising a matrix material having embedded therein at least one group of substantially parallel long fibers coated with matrix material, comprising the steps of

- producing the structural member (10) from matrix material to have at least substantially the desired outer contour,
- in the thus produced structural member (10), forming at least one hollow space (18) whose shape can be predetermined and which is accessible from outside the structural member,
- inserting into said at least one hollow space (18) at least one prefabricated reinforcement element (12) reinforced by long fibers, said reinforcement element (12) comprising a plurality of long fibers embedded in matrix material, and the spaces between the long fibers being filled with matrix material, and
- subjecting the structural member (10) together with said at least one reinforcement element (12) to a hot isostatic pressing process.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** said at least one hollow space (18) is generated by erosion or by chemical or mechanical drilling from outside into the structural member (10).

3. The method according to claim 1 or 2, **characterized in that** the structural member (10) is of a two-part configuration and that said hollow space (18) extends through both parts of the structural member (10).

4. The method according to any one of claims 1 to 3, **characterized in that** the structural member (10) is evacuated prior to the hot isostatic pressing process and the access to said at least one hollow space (18) is sealed in a gas-tight manner.

5. The method according to any one of claims 1 to 4, **characterized in that** said at least one reinforcement element (12) is rod-shaped.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un composant renforcé par des fibres longues, qui comprend un matériau de matrice dans lequel est noyé au moins un groupe de fibres longues sensiblement parallèles, revêtues de matériau de matrice,
procédé selon lequel

- on fabrique le composant (10) avec sensiblement le contour extérieur souhaité, en matériau de matrice,
- dans le composant (10) ainsi fabriqué, on réalise au moins une cavité (18) qui présente une forme pouvant être prédéterminée et qui est accessible à partir de l'extérieur du composant,
- on insère dans ladite au moins une cavité (18), au moins un élément de renfort (12) préfabriqué et renforcé de fibres longues, qui présente plusieurs fibres longues noyées dans du matériau de matrice, les espaces intermédiaires entre les fibres longues étant comblés avec du matériau de matrice, et
- on soumet le composant (10), y compris ledit au moins un élément de renfort (12), à une compression isostatique à chaud.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite au moins une cavité (18) est réalisée dans le composant (10) à partir de l'extérieur, par érosion ou par perçage chimique ou mécanique.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le composant (10) est en deux parties et **en ce que** la cavité (18) s'étend à travers les deux parties du composant (10).

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **ca-**

ractérisé en ce que le composant (10), avant l'opération de compression isostatique à chaud, est soumis à un vide et l'accès à ladite au moins une cavité (18) est fermé de manière étanche aux gaz.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** ledit au moins un élément de renfort (12) présente une forme de tige.

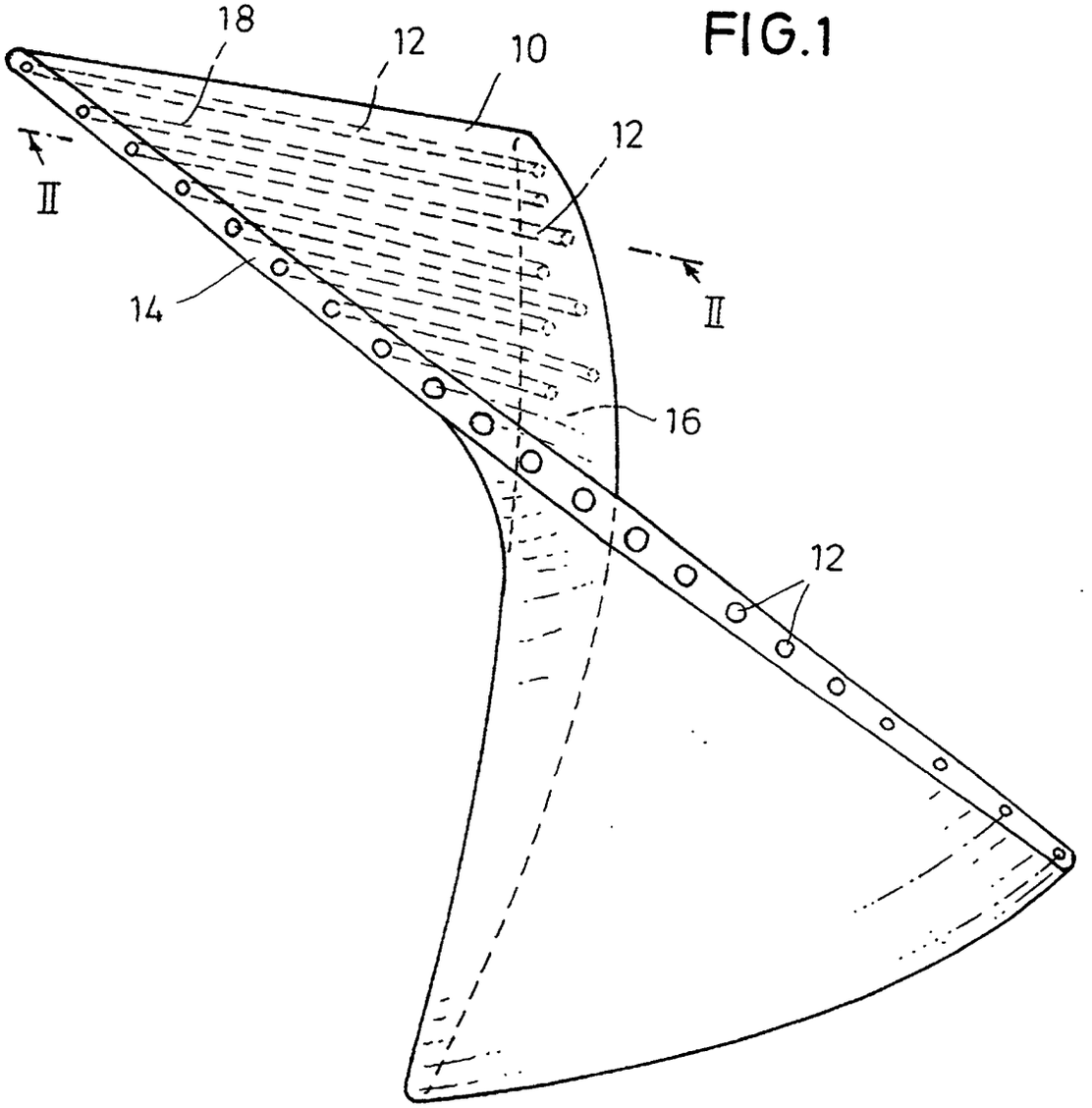


FIG.1

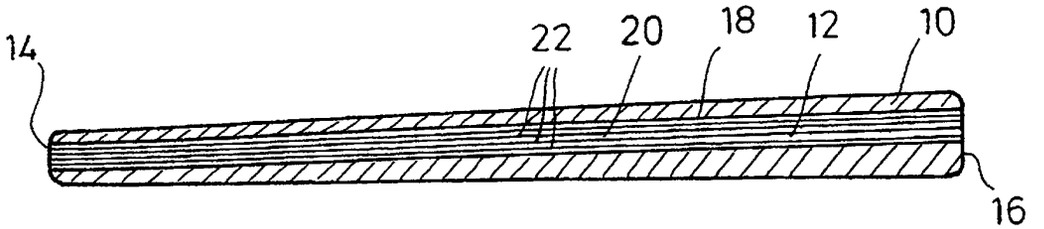


FIG.2

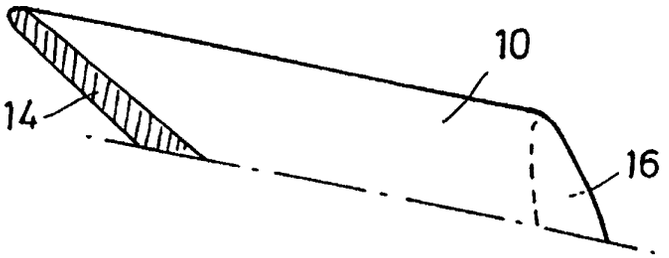


FIG.3

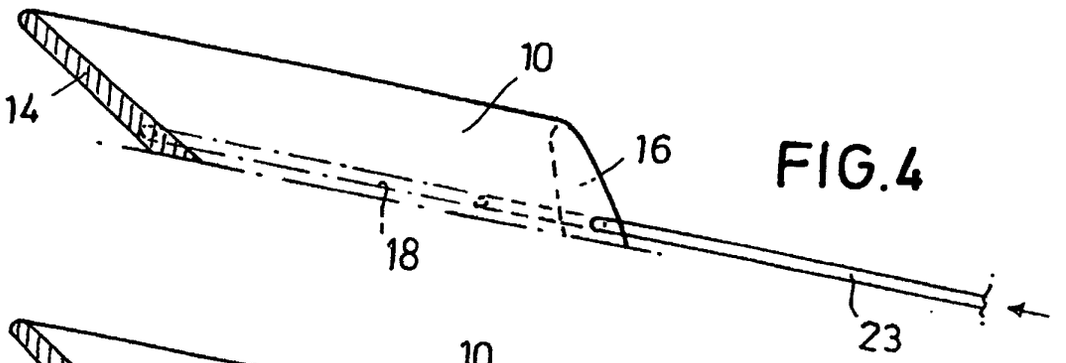


FIG.4

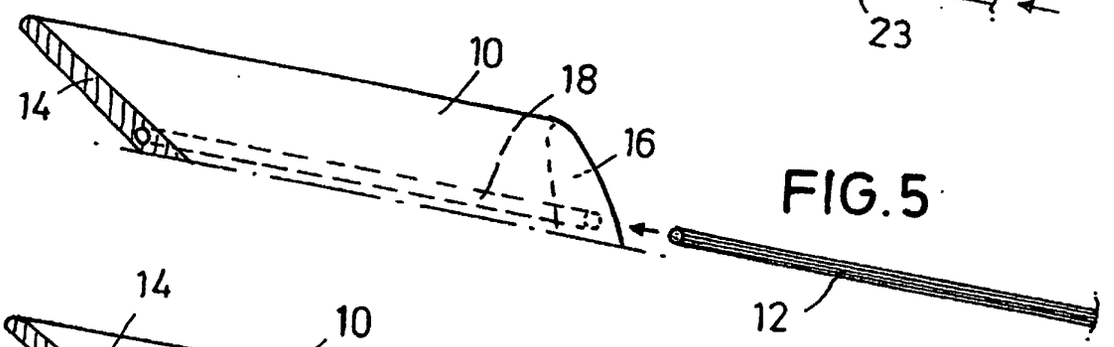


FIG.5

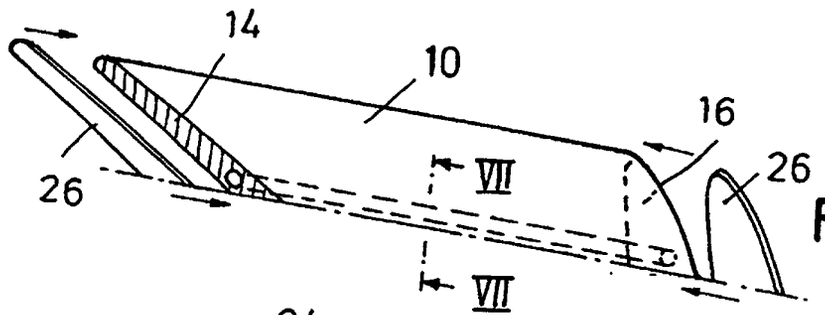


FIG.6

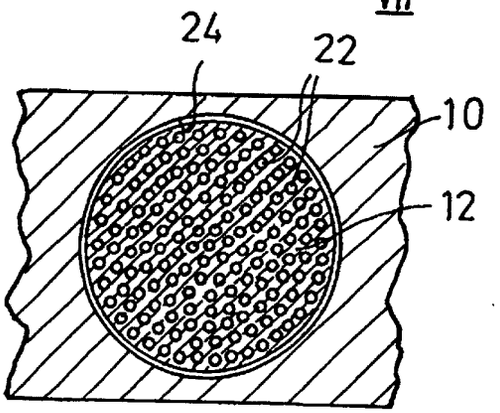


FIG.7

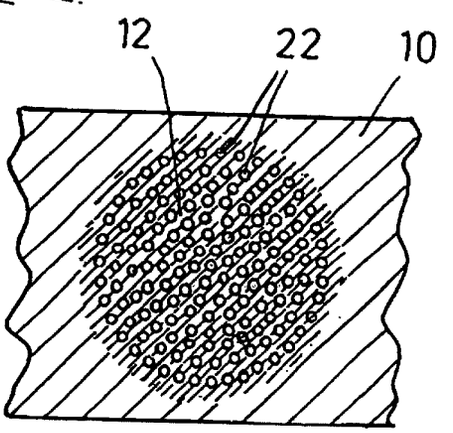


FIG.8