



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 198 58 197 B4** 2005.05.04

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **198 58 197.1**
(22) Anmeldetag: **17.12.1998**
(43) Offenlegungstag: **29.06.2000**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.05.2005**

(51) Int Cl.7: **F02C 7/12**
F02K 9/97, F23R 3/42

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

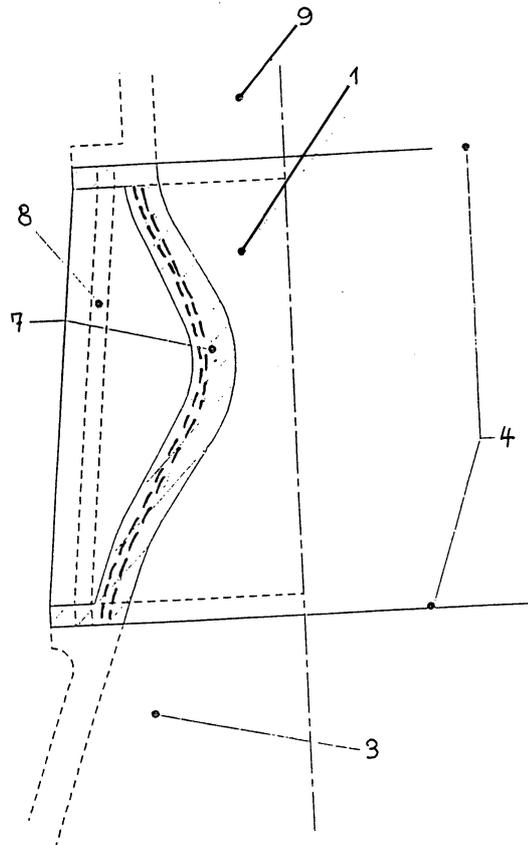
(71) Patentinhaber:
**EADS Space Transportation GmbH, 28199
Bremen, DE;
Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH,
85521 Ottobrunn, DE**

(72) Erfinder:
**Papenburg, Ulrich, 85658 Egming, DE;
Blenninger, Ernst, 81735 München, DE; Herbig,
Henning, 83607 Holzkirchen, DE; Langel, Günter,
81827 München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 31 18 123 C2
EP 08 25 163 A1

(54) Bezeichnung: **Triebwerk**

(57) Hauptanspruch: Triebwerk mit einer Brennkammer (1) und einer daran anschließenden Düse (3), dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (1) und die Düse (3) aus Kohlenstofffaser-verstärkten Siliziumcarbid (C/SiC) bestehen und in eine metallische Tragstruktur (7) eingebaut sind, wobei zwischen Tragstruktur (7) und Brennkammer (1) bzw. Düse (3) eine Isolierung (2) angebracht ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Triebwerk mit einer Brennkammer und einer daran anschließenden Düse.

[0002] Bei einer bekannten Ausführungsform eines derartigen Triebwerks ist die Brennkammer und die Düse zwischen dem Einspritzkopf und der Entspannungsdüse angeordnet. Dabei sind die Brennkammer und die Düse die thermomechanisch am höchsten belasteten Bauteile des Triebwerks. Während der Einspritzkopf zum Einspritzen der Treibstoffe (z. B. H₂/O₂ oder Kerosin/Salpetersäure-MMH und Oxidator) dient, erfolgt in der Brennkammer mit dem engsten Düsenquerschnitt die Verbrennung der Treibstoffe bei sehr hohen Temperaturen und bei sehr hohen Drucken. Dabei treten bei bestimmten Betriebsbereichen, wie der Zündung und dem Abschalten erhebliche Druckstöße auf, die deutlich über dem normalen Betriebszustand liegen. Hinzu kommt eine hohe Gasgeschwindigkeit im Entspannungsteil der Brennkammer. In der Entspannungsdüse werden die Verbrennungsgase auf den Düsenenddruck des Triebwerks entspannt.

[0003] Aufgrund der genannten hohen Temperaturen und der hohen Drucke muss bei der heutigen Auslegung der Brennkammer eine hochhitzebeständige Stahllegierung mit hoher mechanischer Festigkeit und hoher Temperaturbeständigkeit verwendet werden. Diese Stahllegierungen (z. B. die unter der Bezeichnung Inconel bekannte Stahllegierung) weisen jedoch noch den Nachteil auf, dass Sie ab etwa 800°C einen gewissen Festigkeitsverlust erleiden, so dass zusätzlich aktiv gekühlt werden muss. Diese Kühlung erfolgt über entsprechende Kanäle, die in die Brennkammerwand eingefräst werden und anschließend mittels chemisch aufgetragenen Materials wieder verschlossen werden. Dies bedeutet eine schwierige und kostenintensive Herstellung.

[0004] EP 0 825 163 A1 offenbart keramische Bauteile zur Verwendung in Gasturbinen, bei der beschichtete keramische Fasern in einer Keramikmatrix eingebettet sind.

[0005] Derartige Materialien weisen sich zwar durch eine höhere Temperaturbeständigkeit und eine hohe Festigkeit über ein weites Temperaturintervall aus, doch ist die Herstellung von Brennkammern und Düsen allein aus diesem Material aufgrund der komplizierten Herstellverfahren und Verarbeitungsmöglichkeiten ebenso schwierig und kostenintensiv.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Triebwerk bestehend aus einer Brennkammer und einer Düse zu schaffen, das eine hohe Temperatur-, Druck- und Abriebfestigkeit aufweist bei niedriger Dichte, hoher Wärmeleitfähigkeit, niedriger Wärmeausdehnung

und nahezu unbegrenzter Geometrie- und Formenvielfalt der dafür verwendeten Materialkombinationen.

[0007] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit den im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen; vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0008] Erfindungsgemäß bestehen also die Brennkammer und die Düse aus kohlenstofffaserverstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) d. h. einem keramischen Material und sind in eine metallische Tragstruktur eingebaut. Zur thermischen Isolierung zwischen beiden Materialien ist eine Isolierung angebracht.

[0009] Die Brennkammer aus C/SiC besitzt eine äußere metallische Tragstruktur, die die statischen und dynamischen Fluglasten überträgt und die mechanischen Verbindungen zu dem Einspritzkopf und der Entspannungsdüse bereitstellt. Außerdem bildet die Tragstruktur die Verbindung der Kühlungssysteme zwischen dem Einspritzkopf und der Entspannungsdüse.

[0010] Es wurde gefunden, dass C/SiC über hervorragende Festigkeitseigenschaften bis zu sehr hohen Temperaturen verfügt, die einen Einsatz auch unter schwierigen Bedingungen ermöglichen. Hinzu kommt neben einer geringen Dichte eine hohe Verschleißfestigkeit, eine große Oxidationsbeständigkeit sowie neben der ausgezeichneten Temperaturbeständigkeit eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit bei absoluter Gas- und Flüssigkeitsdichtigkeit.

[0011] Besonders hervorzuheben ist die große Geometrie- und Formenvielfalt, die durch das erfindungsgemäße Material realisierbar ist sowie die hervorragende Temperaturfestigkeit und die hohe bzw. einstellbare Wärmeleitfähigkeit, die entsprechende niedrige Kühlleistungen ermöglichen. Bei bestimmten Triebwerken kann aufgrund der hohen Temperaturfestigkeit vollständig auf eine Kühlung verzichtet werden. Aufgrund der Gas- und Flüssigkeitsdichtigkeit der C/SiC-Materialien können in die metallische Tragstruktur aber auch offene Kühlkanäle eingearbeitet werden, die beim Einsetzen der C/SiC-Teile geschlossen werden.

[0012] Man unterscheidet C/SiC mit kontinuierlicher Faserverstärkung sowie kurzfaserverstärktes C/SiC. Das erstgenannte Material, das laminiert, gepresst oder gewickelt werden kann, zeichnet sich durch besonders hohe Festigkeit und besonders niedrige Dichte aus. Zur Erhöhung der Oxidationsbeständigkeit kann das C/SiC mit einer Oberflächenversiegelung versehen sein. Letztere ist bei kurzfaserverstärktem C/SiC überflüssig, da das Material besonders Oxidations- und korrosionsbeständig ist. Ferner verfügt es über eine extrem gute Wärmeleitfähigkeit

und zeichnet sich durch besonders hohe Thermochockfestigkeit aus. Es eignet sich vor allen Dingen für eine mechanische Bearbeitung im Rohzustand. Dabei können aus C/SiC-Rohlingen Brennkammer- und Düsenquerschnitte beliebiger Geometrie aus einem Stück oder aber aus verschiedenen Einzelsegmenten zum Auskleiden der Brennkammer und Düse durch mechanische Bearbeitung leicht geformt werden.

[0013] Insgesamt erhöht sich die Temperaturbeständigkeit des Triebwerks bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung der Brennkammer und der Düse. Durch die Isolierung wird die Wärme, die von dem C/SiC-Strukturmaterial der Brennkammer und der Düse ausgeht, gezielt weitergeleitet und dementsprechend von der metallischen Struktur ferngehalten. Dadurch kommt es an der metallischen Tragstruktur zu einer Minimierung der Temperatur- und Druckbelastung sowie zu einer geringeren Verformung des Brennkammermaterials, insbesondere im Düsenquerschnitt. Durch die geringere Belastung kann die metallische Tragstruktur wesentlich vereinfacht werden. Es kommt zu einer wesentlichen Fertigungsvereinfachung, da die bisher notwendigen und aufwendigen chemischen Materialaufträge zum Verschießen der eingefrästen Kühlkanäle nicht mehr notwendig sind.

[0014] Vorteilhafterweise sind die Brennkammern und die Düse aus Segmenten aufgebaut und dann zusammensiliziert, d. h. mittels einer Siliciumschicht miteinander verbunden, um so die gewünschte Struktur zu erhalten. Diese Konstruktion eignet sich insbesondere für kurzfaserverstärktes C/SiC, wobei die Brennkammersegmente vor dem Zusammensilizieren bzw. Infiltrieren mechanisch bearbeitet werden. Eine derartige Brennkammer kann ohne weiteres auch mit einem Flansch, vorzugsweise ebenfalls aus C/SiC verbunden werden. Außerdem können in die Brennkammer und in die Düse durch mechanische Bearbeitung im Rohzustand Kühlkanäle mit runden, rechteckigen oder schlitzförmigen Querschnitten eingearbeitet werden.

[0015] Es ist auch möglich, die Brennkammer einstückig vorzugsweise durch Bearbeitung eines C/SiC-Rohlings herzustellen. Die C/SiC-Teile können ggf. auch mit Kühlkanälen versehen werden, um die Wärme noch besser abzutransportieren. An der Verbindungsfläche von C/SiC-Teilen und metallischer Tragstruktur wird die Isolierung aufgebracht. Der C/SiC-Körper und die Tragstruktur sind mit geeigneten Verbindungselementen miteinander zu verbinden.

[0016] Das Isolationsmaterial ist im Hinblick auf eine Reduzierung der Temperatur- und Druckbelastung der metallischen Tragstruktur vorzugsweise aus C/SiC oder aus Kohlenstofffaser-Filzen bzw. -Vliesen

oder Graphitfolie oder aus einer Kombination dieser Materialien. Die Isolationswerkstoffe können auch unter Zwischenschaltung von Abstandhaltern vorzugsweise aus C/SiC mit der C/SiC-Brennkammer und der C/SiC-Düse miteinander verbunden werden, um die gewünschte Struktur zu erhalten.

[0017] Vorteilhafterweise wird die Dichte und die Porosität des C/SiC-Materials während der Silizierung durch die Zugabemenge an Silicium oder Siliciumcarbid eingestellt, so dass z. B. das C/SiC mit hoher Dichte und geringer Porosität als thermomechanische Struktur und/oder Auskleidung und das C/SiC mit niedriger Dichte und hoher Porosität als Wärmeisolierung eingesetzt wird.

[0018] Die Erfindung wird im folgenden anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele im Zusammenhang mit den beigefügten Zeichnungen näher erläutert; es zeigen

[0019] [Fig. 1](#) schematisch den Aufbau eines herkömmlichen Triebwerks; und

[0020] [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) schematisch den Aufbau zweier bevorzugter Ausführungsbeispiele von erfindungsgemäßen Triebwerken.

[0021] In den Figuren, in denen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen sind, bedeutet **1** die Brennkammer des Triebwerks, **2** die Isolierung, **3** die Düse, **4** geeignete Verschraubungen, **7** eine Tragstruktur mit eingearbeiteten Kühlkanälen **8** und **9** einen Einspritzkopf. Bei dem in [Fig. 1](#) schematisch dargestellten herkömmlichen Triebwerk müssen Werkstoffe mit hoher Temperatur- und Druckbelastung, wie z. B. Inconel verwendet werden, die aufgrund ihrer begrenzten Temperaturfestigkeit gekühlt werden müssen.

[0022] Bei dem in [Fig. 2](#) schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Brennkammer **1** und die Düse **3** aus C/SiC-Segmenten **6** aufgebaut. Die Innenwände der Brennkammer und der Düse können dabei aus C/SiC-Einzelsegmenten ausgestaltet sein, wobei die äußere metallische Tragstruktur **7** aus einem Stück besteht. Die C/SiC-Segmente sind derart zu gestalten, dass die Teilungsschlitze **5**, die unter hohem Druck und hoher Temperatur stehenden Gase nicht zur metallischen Tragstruktur durchlassen; da die C/SiC-Segmente die fertige Innenkontur der Brennkammer und der Düse aufweisen, ermöglichen sie eine geometrische Vereinfachung der Tragstruktur.

[0023] Bei dem in [Fig. 3](#) schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel ist auch die äußere metallische Tragstruktur **7** unterteilt. Hierbei werden die C/SiC-Innenwände der Brennkammer **1** und der Düse **3** einstückig hergestellt. Dieses einstückige C/SiC-Teil be-

sitzt dabei die fertige Innenkontur der Brennkammer und der Düse. Die äußere Tragstruktur **7** hingegen kann aus zwei oder mehr Einzelteilen gefertigt sein, die über Schweißnähte **10** verbunden werden und die dann mit dem einstückigen Innenteil aus C/SiC zusammengesetzt werden. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass die Tragstruktur **7** keinerlei komplizierte Konturen besitzt und dass die C/SiC-Teile keine Trennfugen aufweisen. Dies ist besonders günstig, um die hohen Drucke und Temperaturen von der metallischen Tragstruktur **7** fernzuhalten.

[0024] Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass bei der Tragstruktur **7** keine Formgebung gemäss dem erforderlichen Strömungsprofil erfolgen muss, so dass diese erhebliche größere Toleranzen aufweisen kann und demzufolge einfacher zu bearbeitende Materialien für die Tragstruktur verwendet werden können, woraus nicht zuletzt eine erhebliche Gewichtsreduzierung resultiert.

[0025] In beiden Fällen kann, falls erforderlich, neben der Isolation mit verschiedenen Materialien auch eine Kühlung über das Einarbeiten von Kühlkanälen **11** in die C/SiC-Struktur erfolgen. Die Kühlung mit Kühlkanälen kann wahlweise, je nach Anforderung, in der Tragstruktur am Übergang Metall zu C/SiC oder im C/SiC-Teil selbst erfolgen. Auch eine Kombination aus den beiden Teilen ist möglich. Die Kombination der beiden Isolierungsarten ermöglicht einen besonders optimierten Wärmeverlauf in der Brennkammerstruktur.

Patentansprüche

1. Triebwerk mit einer Brennkammer **(1)** und einer daran anschließenden Düse **(3)**, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkammer **(1)** und die Düse **(3)** aus Kohlenstofffaser-verstärkten Siliziumcarbid (C/SiC) bestehen und in eine metallische Tragstruktur **(7)** eingebaut sind, wobei zwischen Tragstruktur **(7)** und Brennkammer **(1)** bzw. Düse **(3)** eine Isolierung **(2)** angebracht ist.

2. Triebwerk nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer **(1)** und die Düse **(3)** die Tragstruktur **(7)** radial innen als Liner oder Beschichtung auskleiden.

3. Triebwerk nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer **(1)** und die Düse **(3)** aus mehreren C/SiC-Segmenten aufgebaut sind, die mittels einer Siliciumschicht miteinander verbunden sind.

4. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer **(1)**, die Isolierung **(2)** und die Düse **(3)** durch maschinelle Bearbeitung eines C/SiC-Rohlings einstückig hergestellt sind.

5. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Brennkammer **(1)** und in der Düse **(3)** durch maschinelle Bearbeitung von C/SiC-Rohlingen ausgebildete Kühlkanäle **(11)** vorgesehen sind.

6. Triebwerk nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlkanäle **(11)** einen runden oder einen rechteckigen oder einen schlitzförmigen Querschnitt aufweisen.

7. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierung **(2)** aus einem Material der Gruppe: C/SiC, Graphitfolie und Kohlenstofffilze bzw. Kohlenstoffvliese oder einer Kombination dieser Materialien besteht.

8. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer **(1)**, die Isolierung **(2)** und die Düse **(3)** aus C/SiC unterschiedlicher Dichte und Porosität bestehen.

9. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierung **(2)** aus C/SiC hoher Porosität besteht.

10. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer **(1)** und die Düse **(3)** unter Zwischenschaltung von Abstandshaltern aus C/SiC mit der Isolierung **(2)** verbunden ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

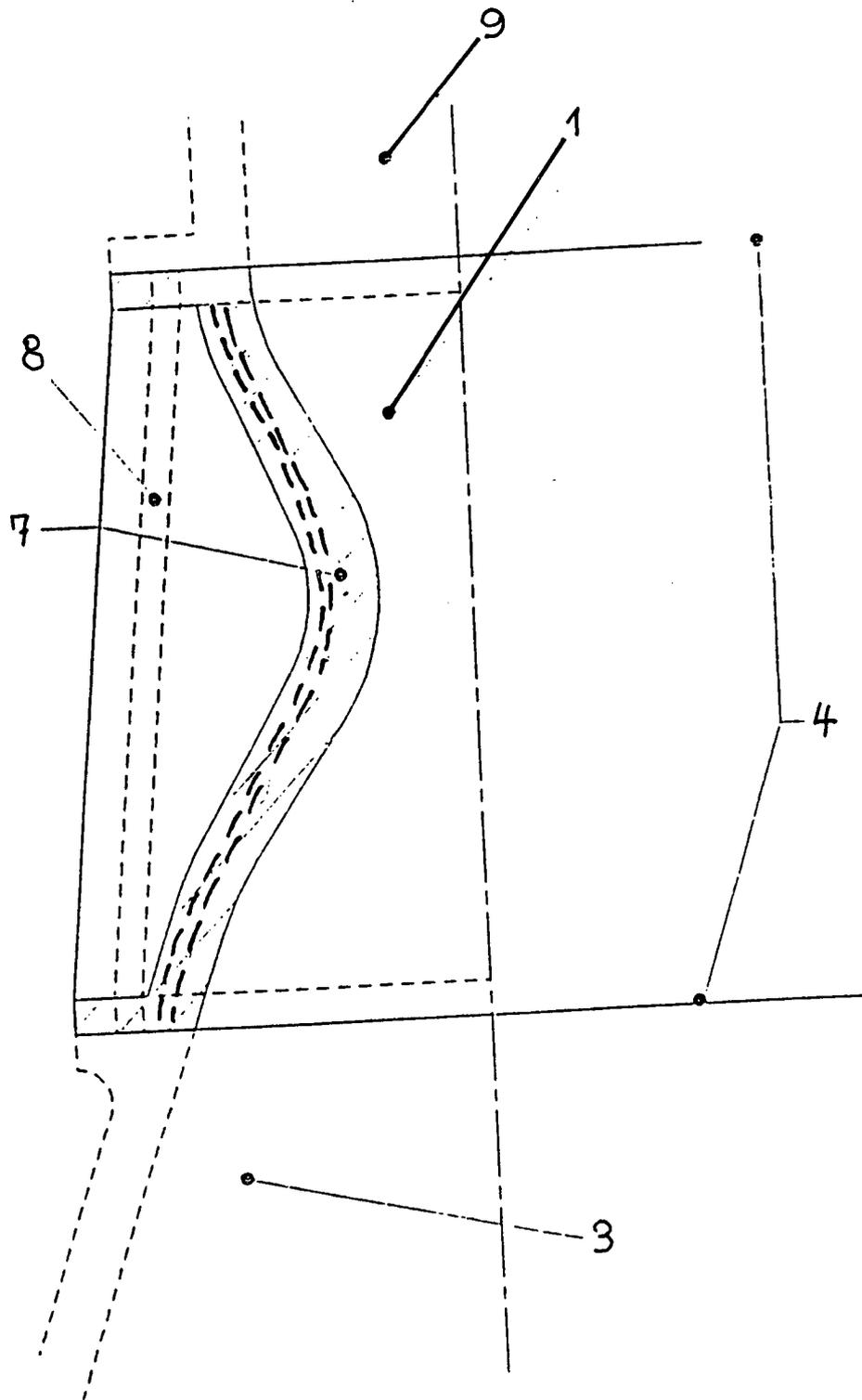


Fig. 1

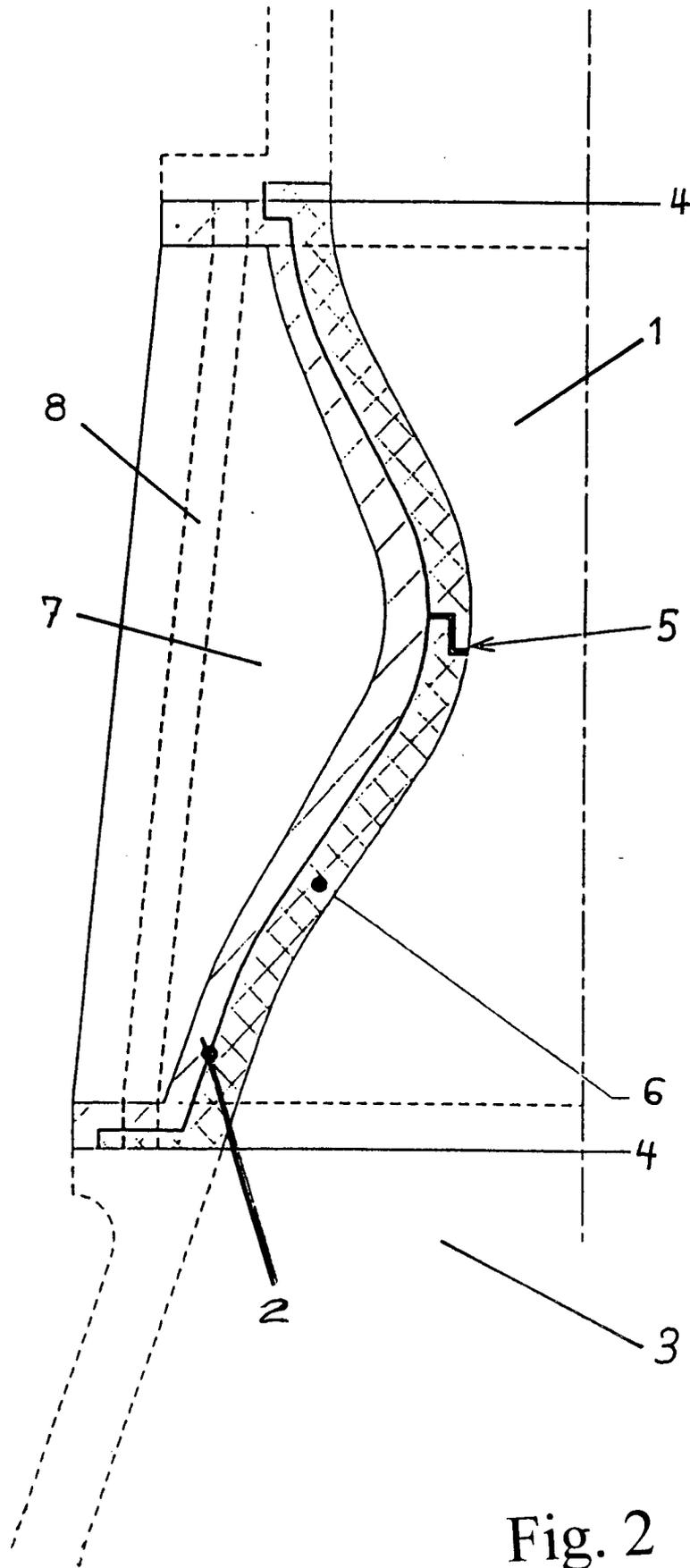


Fig. 2

