



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 996 848 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**01.08.2001 Patentblatt 2001/31**

(21) Anmeldenummer: **98921490.3**

(22) Anmeldetag: **25.04.1998**

(51) Int Cl.7: **F28F 21/04, F28F 1/32**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP98/02472**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 99/04213 (28.01.1999 Gazette 1999/04)**

(54) **WÄRMETAUSCHER**  
HEAT EXCHANGER  
ECHANGEUR DE CHALEUR

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB**

(30) Priorität: **16.07.1997 DE 19730389**

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

(73) Patentinhaber: **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
**53175 Bonn (DE)**

(72) Erfinder:  
• **KRENKEL, Walter**  
**D-71272 Renningen (DE)**

• **NEDELE, Martin**  
**D-72768 Reutlingen (DE)**

(74) Vertreter: **Grimm, Ekkehard, Dipl.-Phys.**  
**Edith-Stein-Strasse 22**  
**63075 Offenbach/Main (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 176 074**                      **EP-A- 0 274 695**  
**EP-A- 0 410 247**                      **EP-A- 0 479 657**  
**DE-A- 3 831 812**                      **DE-B- 2 758 998**  
**DE-U- 8 600 544**                      **US-A- 4 768 586**

**EP 0 996 848 B1**

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).

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Wärmetauscher, der mindestens ein erstes Rohr zum Hindurchleiten eines zu kühlenden, Wärme abgebenden ersten Fluids und mindestens ein zweites Rohr zum Hindurchleiten eines Wärme aufnehmenden zweiten Fluids aufweist, wobei zumindest das erste Rohr, aus einem fluiddichten, korrosions- und oxidationsbeständigen Werkstoff gebildet, in einer aus mehreren einzelnen Teilelementen gebildeten Tragstruktur aus SiC-haltigem Werkstoff in einer Bohrung der Teilelemente gehalten ist.

**[0002]** Ein derartiger Wärmetauscher ist aus der EP-A1 0 479 657 bekannt. Dieser Wärmetauscher ist aus einem Bündel erster Rohre, die auf Abstand zueinander mittels einer Tragstruktur gehalten werden, aufgebaut. Die Tragstruktur besteht aus einzelnen Platten. Durch die ersten Rohre wird ein erstes Fluid hindurchgeführt, das gekühlt werden soll. Die gesamte Tragstruktur ist von einem zweiten Rohr, d.h. einem Hüllrohr, umgeben, das einen Zu- und Ablauf aufweist, über die ein zweites Fluid an den ersten Rohren vorbeigeführt wird, um die von den ersten Rohren abgegebene Wärme abzuführen. Die ersten Rohre sowie die Tragstruktur, die die ersten Rohre fixiert, bestehen aus Siliciumcarbid. Um die Tragstruktur mit den ersten Rohren aufzubauen, werden die Trageplatten zunächst als Grünkörper hergestellt mit entsprechenden Bohrungen, in die die ersten Rohre aus Siliciumcarbid eingesteckt werden sollen. Danach erfolgt eine Sinterung bei Temperaturen zwischen 1900 bis 2500°C, um die Trageplatten mit den ersten Rohren fest, d.h. unverrückbar, zu verbinden. Dadurch, daß die einzelnen ersten Rohre mit Abstand zueinander gehalten sind, können sie gut von allen Seiten von dem zweiten Fluid umströmt werden, um die Wärme abzuführen. Eine solche Anordnung bringt Probleme insbesondere dann mit sich, daß, falls ein einzelnes der ersten Rohre defekt ist, der gesamte Wärmetauscher unbrauchbar wird, da eine Trennung seiner einzelnen Bauteile praktisch nicht möglich ist.

**[0003]** Ausgehend von dem vorstehend angegebenen Stand der Technik liegt nun der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Wärmetauscher aus einem korrosions- und oxidationsbeständigen Werkstoff zu schaffen, der eine hohe mechanische Festigkeit aufweist, der hohen Temperaturwechselzyklen standhält, der einen hohen Wirkungsgrad, d.h. einen guten Wärmeaustausch zwischen den beiden Fluiden ermöglicht, und der darüberhinaus, trotz der einzusetzenden Werkstoffe, einfach aufbaubar ist und in Bezug auf defekte Teile einen leichten Austausch solcher Teile ermöglicht.

**[0004]** Gelöst wird diese Aufgabe, ausgehend von einem Wärmetauscher mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1, dadurch, daß die Tragstruktur aus aufeinandergestapelten und über eine SiC-haltige Verbindungsschicht miteinander verbundenen platten- oder scheibenförmigen Teilelementen aus einem mit

Kohlenstoff- und/ oder Keramik-Fasern verstärkten Verbundwerkstoff aufgebaut ist, daß zumindest zwischen dem ersten Rohr und der Tragstruktur eine Dehnungsausgleichsschicht aus keramischem Werkstoff und/ oder Kohlenstoff angeordnet ist und daß das mindestens eine zweite Rohr dem mindestens einen ersten Rohr benachbart in einer in den Teilelementen eingebrachten Bohrung gehalten ist.

**[0005]** Der erfindungsgemäße Wärmetauscher ist zum einen dadurch charakterisiert, daß er aus einzelnen, platten- oder scheibenförmigen Teilelementen aufgebaut ist, die Hohlräume aufweisen und übereinandergestapelt sind und die über eine Siliciumcarbid-haltige Verbindungsschicht miteinander verbunden sind. In diese so gebildete Tragstruktur werden dann die ersten Rohre, die das erste Fluid führen, eingesteckt, derart, daß zwischen den ersten Rohren und der Tragstruktur eine Dehnungsausgleichsschicht aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff angeordnet ist. Durch diesen Aufbau sind die Tragstruktur und die Rohre, zumindest diejenigen Rohre, die das erste Fluid führen, mechanisch entkoppelt. Erst dann, wenn ein Fluid mit hoher Temperatur durch den Wärmetauscher hindurchgeführt wird, erfolgt eine Ausdehnung der ersten Rohre, so daß diese dann, im Betrieb des Wärmetauschers, fest mit der Tragstruktur verankert sind. Durch die Dehnungsausgleichsschicht ist es möglich, den Wärmetauscher bei Arbeitstemperaturen zu betreiben, die sogar höher als 1400°C liegen; außerdem kann eine Innendruckbeaufschlagung der ersten Rohre vorgesehen werden. Die hohe Arbeitstemperatur und der hohe Innendruck führen zu einem höheren Wirkungsgrad.

**[0006]** Soweit in der Beschreibung und den Ansprüchen der Begriff "Fluid" verwendet wird, fallen hierunter, im Sinne der Ausführungen, nicht nur flüssige Medien, sondern auch gasförmige Medien oder Gemische aus flüssigen und gasförmigen Medien, die durch die Rohre des Wärmetauschers hindurchgeführt werden, die auch Feststoffpartikel mitführen können.

**[0007]** Da die Tragstruktur aus einzelnen Platten oder Scheiben aufgebaut ist, können mit vorgefertigten, standardisierten Teilen beliebig lange Wärmetauscherstrukturen aus solchen einzelnen Platten oder Scheiben aufgebaut werden mit den entsprechenden Hohlräumen bzw. Bohrungen, in die die Rohre, die die Fluide führen, eingesteckt werden. Aufgrund der Dehnungsausgleichsschicht aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff wird erreicht, daß die Rohre, die im Betriebszustand des Wärmetauschers fest in der Tragstruktur fixiert sind, jeweils freigegeben werden, wenn der Wärmetauscher außer Betrieb ist, so daß keine Spannungen an den Übergängen gespeichert werden und es auch möglich ist, einzelne, eventuell defekte Rohre dem Wärmetauscher, ohne besondere Maßnahmen, zu entnehmen und durch andere Rohre zu ersetzen. Durch die erfindungsgemäße Ausbildung der Tragstruktur und der Rohre werden auch bei Innendruckbelastungen der Rohre diese nur gering auf Zug bean-

spricht, was für einen sicheren und störungsfreien Betrieb eines Wärmetauschers von wesentlichem Vorteil ist.

**[0008]** Die ersten Rohre aus einem fluiddichten, korrosions- oder oxidationsbeständigen Werkstoff können handelsübliche Rohre sein, die vorzugsweise aus monolithischer Keramik, aus Siliciumcarbid, Siliciumnitrid, Cordierit oder Mullit gebildet sind. Eine monolithische Keramik wird immer dann von Vorteil sein, wenn Gasdichtheit primär gefordert ist, während erste Rohre aus Siliciumcarbid und Siliciumnitrid dann eingesetzt werden sollten, wenn unter besonders hohen Temperaturen bei niedriger Materialausdehnung und hohen Temperaturwechselbeanspruchungen gearbeitet wird. Cordierit oder Mullit sollten dann für die ersten Rohre verwendet werden, wenn einerseits unter hohen Temperaturen gearbeitet wird, andererseits eine gute Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit gefordert ist.

**[0009]** Die vorstehend angegebenen Materialien können auch für die zweiten Rohre eingesetzt werden, die zum Hindurchleiten des zweiten Fluids, über das die Wärme des ersten Fluids im Austausch abgeführt wird, dienen. Allerdings kann das zweite Fluid, das strömungsmäßig getrennt von dem ersten Fluid geführt wird, ein solches sein, das genau definiert wird und somit keine hohen Ansprüche an die zweiten Rohre stellt, im Gegensatz zu den ersten Rohren, durch die das zu kühlende Fluid hindurchgeführt wird.

**[0010]** Falls zumindest für die ersten Rohre Siliciumcarbid verwendet wird, so sollte es sich hierbei vorzugsweise um ein Silicium-infiltriertes Siliciumcarbid (SiSiC) oder ein gesintertes Siliciumcarbid (SSiC) handeln. Zur Fertigung der Rohre aus gesintertem Siliciumcarbid wird reines Siliciumcarbidpulver als Schlicker bereitgestellt und gegossen. Solche Rohre sind gasdicht und sollten dann, wenn unter sehr hohen Temperaturen gearbeitet wird, in den Wärmetauscher eingebaut werden.

**[0011]** Um die Dehnungsausgleichsschicht definiert zu bilden, darüberhinaus im Bereich dieser Schicht einen guten Wärmeübergang zu der Tragstruktur und damit zu den zweiten Rohren hin zu gewährleisten, wird diese Dehnungsausgleichsschicht bevorzugt aus einem keramischen Pulver oder aus Kohlenstoffpulver gebildet. Weiterhin eignen sich Dehnungsausgleichsschichten, die im wesentlichen aus Keramik- und/oder Kohlenstoff-Fasern gebildet sind, die darüberhinaus noch mit den jeweiligen Materialien in Pulverform gefüllt sein können. Den Fasern im Bereich der Dehnungsausgleichsschicht wird eine bevorzugte Orientierung gegeben derart, daß sie in Umfangsrichtung der Rohre orientiert sind. Solche Dehnungsausgleichsschichten können einfach und dünn hergestellt werden. Typische Außendurchmesser von Rohren, um die die Dehnungsausgleichsschicht herum gebildet wird, liegen im Bereich von 10 bis 100 mm mit einer Wandstärke in Abhängigkeit vom Durchmesser von 3 bis 15 mm. Die Dehnungsausgleichsschicht sollte thermische Spannungen im Bereich der Rohre verhindern und daher, in der Grö-

ßenordnung von 0,1 bis 0,5 mm im abgekühlten Zustand der Rohre um diese herum liegen.

**[0012]** Für das vorstehend angesprochene keramische Pulver im Bereich der Dehnungsausgleichsschicht eignen sich insbesondere Bornitrid- und/oder Aluminiumnitrid-Pulver. Bornitrid-Pulver und Aluminiumnitrid-Pulver sind dann zu bevorzugen, wenn eine hohe Wärmeleitung einerseits, eine gute mechanische Entkopplung zwischen den Rohren und der Dehnungsausgleichsschicht gefordert sind.

**[0013]** Um eine hohe Festigkeit und gute Wärmeleitung zu erreichen, wird die Faserverstärkung in den Teilelementen aus zweidimensionalen Geweben, Faser-Rovings oder Gewebe-Bändern gebildet. Um eine Tragstruktur, aufgebaut aus den einzelnen Teilelementen, zu erreichen, die sehr hohen Temperaturen standhält und eine sehr hohe Festigkeit aufweist, wird ein Kohlenstofffaserverstärkter Verbundwerkstoff eingesetzt, dessen Kohlenstoff-Fasern in Siliciumcarbid eingebettet werden. Dieses Siliciumcarbid wird durch Infiltrieren von flüssigem Silicium in eine Rißstruktur unter Wärmeeinwirkung und Reaktion mit Kohlenstoff gebildet.

**[0014]** Die Teilelemente, aus denen die Tragstruktur aufgebaut ist, sollten in dem Faserverlauf ihrer Kohlenstoff- und/oder Keramik-Fasern so orientiert werden, daß ein möglichst hoher Wärmefluß zwischen den ersten Rohren, die das erwärmte Fluid führen, zu den zweiten Rohren, die das Kühlfluid führen bzw. zu der Außenseite des Wärmetauschers hin, gewährleistet ist. Dies kann darüberhinaus sowohl durch die Wahl des Faservolumens in der Tragstruktur als auch des Fasertyps erreicht werden. Um diesen Wärmefluß über die Faserorientierung zu erreichen, sollten mindestens 50% der Fasern, vorzugsweise mindestens 90% der Fasern, in den Teilelementen parallel zur Platten- oder Scheibenebene der als Platten oder Scheiben ausgebildeten Teilelemente verlaufen, d.h. die Fasern sind mit einem hohen Anteil radial nach außen von den Rohrachsen der ersten und/oder der zweiten Rohre aus gesehen, jeweils orientiert.

**[0015]** Für einen einfachen Aufbau werden solche Faser-Rovings oder Gewebe-Bänder gewickelt, vorzugsweise derart, daß sich die einzelnen Lagen radial um die Achsen der später eingesetzten Rohre bzw. der Hohlräume, in die die Rohre eingesetzt werden, erstrecken. Hierdurch ergibt sich in Umfangsrichtung eine hohe Festigkeit der Teilelemente, aus denen die Tragstruktur aufgebaut wird.

**[0016]** Während des Aufbaus solcher gewickelten Teilelemente können definierte Zwischen Hohlräume ausgebildet werden, insbesondere dann, wenn die Bohrungen in den einzelnen Teilelementen wechselweise mit einem endlosen Band umwickelt werden. Die Zwischen Hohlräume bilden sich dann im Bereich der sich kreuzenden Fasern. In solche Zwischen Hohlräume können dann Einsatzteile mit hoher gerichteter Wärmeleitung eingesetzt werden. Solche Einsatzteile können aber auch nachträglich in die Teilelemente eingebrachte

Hohlräume eingesetzt werden. Für solche Einsatzteile eignen sich keramische oder keramisierte, kohlenstofffaserverstärkte Verbundstoffe. Besonders bevorzugt sind Einsatzteile aus Siliciumcarbid, die in den Wickelkörper eingebettet werden. Gerade Siliciumcarbid bringt den Vorteil mit sich, daß artgleiches Material zu den Rohren bzw. der Faserkeramik verwendet werden kann.

**[0017]** Solche Einsatzteile sollten aber so verteilt angeordnet und in ihrem Volumen dimensioniert werden, daß eine möglichst hohe, gerichtete Wärmeleitung radial von den einzelnen Rohren, die das Arbeitsfluid führen, zu den Rohren, die das Kühlfuid führen hin, erfolgt.

**[0018]** Wie bereits vorstehend erwähnt ist, können in die jeweiligen Bohrungen, die definiert in den Teilelementen und in der daraus gebildeten Tragstruktur eingebracht sind, die ersten und zweiten Rohre eingeführt werden, durch die das erste und das zweite Fluid geführt wird. Bevorzugt wird jeweils benachbart zu einem ersten Rohr jeweils ein zweites Rohr angeordnet. Um einen hohen Wirkungsgrad im Wärmeaustausch zu erreichen, ist allerdings ein Aufbau zu bevorzugen, bei dem ein erstes Rohr, durch das das zu kühlende erste Fluid hindurchgeführt wird, zentral in der Tragstruktur angeordnet ist, während die zweiten Rohre radial um das erste Rohr verteilt werden, durch die das Kühl-Fluid hindurchgeführt wird. Zu bevorzugen ist eine symmetrische Anordnung der zweiten Rohre um das zentrale erste Rohr herum, darüberhinaus eine Anordnung derart, daß die Achsen der jeweiligen Rohre parallel zueinander verlaufen.

**[0019]** Der Wärmetauscher, wie er vorstehend in seinen verschiedenen Ausführungsformen beschrieben ist, kann als Moduleinheit dienen, wobei dann die Querschnittsform der Tragstruktur (die dann die Moduleinheit bildet), so ausgeführt ist, daß aufeinandergrenzende Moduleinheiten flächig aneinanderliegen. Hierzu ist eine Querschnittsform der Tragstruktur als Polygon, vorzugsweise als Hexagon, zu bevorzugen, so daß an die jeweiligen Seitenkanten einer solchen Tragstruktur jeweils eine weitere Moduleinheit angelegt wird. Falls die polygonförmige Querschnittsform eine gleiche Seitenlänge aufweist, darüberhinaus das Polygon ein sechseitiges Polygon (Hexagon) ist, können um eine zentrale Moduleinheit sechs weitere Moduleinheiten angelegt werden, so daß sich eine größere Wärmeaustauschereinheit ergibt. Weitere solcher Moduleinheiten können dann beliebig um diese Einheit herum an der Außenseite angefügt werden. Für die Verbindung der einzelnen Moduleinheiten sind vorzugsweise in den Außenoberflächen Fixiernuten vorgesehen, in die Fixierteile wie Stäbe, eingelegt werden können. Solche Fixierteile sollten ein mit der Tragstruktur artgleiches Material sein, um keine unterschiedlichen Wärmedehnungen hervorzurufen.

**[0020]** Um den Wärmetauscher gegen Oxidation oder Korrosion zu schützen, kann die Außenoberfläche der Tragstruktur mit einer entsprechenden Schutzschicht

versehen werden, vorzugsweise einer solchen, die aus Siliciumcarbid und/oder Siliciumdioxid und/oder Molybdändisilizid gebildet ist.

**[0021]** Wie eingangs beschrieben ist, wird die Tragstruktur aus einzelnen Teilelementen aufgebaut. Jedes Teilelement wiederum kann aus mehreren Einzelplatten bestehen. Um in Richtung der Längsachse des Wärmetauschers gesehen die Wärmeverteilung im Bereich der Tragstruktur zu homogenisieren und eventuelle Wärmegradienten abzubauen, werden Teilelemente oder Gruppen aus Teilelementen mit zueinander unterschiedlichen, allerdings dennoch definierten Faserorientierungen bereitgestellt, die dann in einer definierten Reihenfolge zu der gesamten Tragstruktur zusammengesetzt und mittels der Siliciumcarbid-haltigen Verbindungsschicht verbunden werden.

**[0022]** Weitere Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. In den Zeichnungen zeigen

20 Figuren 1 bis 4 den schrittweisen Aufbau eines erfindungsgemäßen Wärmetauschers entsprechend einer ersten Ausführungsform,

25 Figur 5 einen Schnitt durch einen weiteren Wärmetauscher, der eine hexagonale Querschnittsstruktur aufweist,

30 Figur 6 einen Querschnitt durch einen weiteren Wärmetauscher, der aus mehreren Wärmetauscher-Modulen entsprechend Figur 5 aufgebaut ist,

35 Figuren 7 bis 9 den Wärmetauscher, wie er im Schnitt in Figur 5 dargestellt ist, in perspektivischer Darstellung in drei Verfahrensschritten seiner Herstellung, und

40 Figur 10 eine Tragestruktur vergleichbar mit derjenigen, die in Figur 8 dargestellt ist, die aus Faser-Rovings oder Gewebebändern gefertigt ist, wobei die einzelnen Faserstrukturen im vorderen Bereich angedeutet dargestellt sind.

45 **[0023]** Der Wärmetauscher, wie er in der perspektivischen Darstellung der Figur 4 zu sehen ist, umfaßt eine aus mehreren plattenförmigen Teilelementen 1 und 2 aufgebaute Tragstruktur 3. In dieser Tragstruktur 3 sind ein zentrales erstes Rohr 4 und um den Umfang des zentralen Rohrs 4 verteilt weitere zweite Rohre 5 eingebettet. Während das zentrale, erste Rohr 4 dazu dient, ein zu kühlendes Fluid hindurchzuführen, wird durch

das zweite Rohr 5 ein zweites Fluid, das als Kühlfluid dient, geleitet.

**[0024]** Um einen solchen Wärmetauscher, wie er in Figur 4 dargestellt ist, herzustellen, werden zunächst die verschiedenen Teilelemente 1 und 2, wie in Figur 1 gezeigt ist, hergestellt. Jedes Teilelement 1, 2 wird aus einem mit Kohlenstoff- und Keramik-Fasern verstärkten Verbundwerkstoff aufgebaut. Die Teilelemente 1 und 2, wie sie in Figur 1 zu sehen sind, unterscheiden sich hierbei jeweils durch eine unterschiedliche Faserorientierung, wie durch den Faserverlauf in der oberen, linken Ecke jedes Teilelements 1, 2 angedeutet ist. Während in den Teilelementen 1 die Fasern im wesentlichen in der Ebene des jeweiligen Teilelements 1 und parallel zu den Seitenkanten des Teilelements ausgerichtet sind, sind die Fasern in den Teilelementen 2, die ebenfalls im wesentlichen in der Ebene des Teilelements liegen, 45° zu der Orientierung der Fasern in den ersten Teilelementen bzw. 45° zu den Seitenkanten des Teilelements 2 ausgerichtet. Wie anhand der Teilelemente 1 angedeutet ist, kann jedes Teilelement aus einzelnen Platten mit geringer Dicke aufgebaut werden.

**[0025]** Die Herstellung eines Plattenteils bzw. eines Teilelements 1, 2 erfolgt aus einem porösen, kohlenstoff-faserverstärkten Kohlenstoffmaterial (C/C) mit sogenannten Langfasern, oder Fasern, die endlos sind, in orthotroper bzw. quasi-isotroper Orientierung zur Plattenebene. Solche Faserplatten werden dann zunächst zu einem Teilelement 1 zusammengefügt, beispielsweise durch Verkleben mit einer kohlenstoff-reichen Paste. Die einzelnen Teilelemente 1, 2 werden dann ebenfalls miteinander unter Heranziehung dieser Verbindungstechnik verklebt, so daß sich ein Vorkörper ergibt, wie er in Figur 2 dargestellt ist. Danach werden, wie in Figur 3 dargestellt, Bohrungen 6 eingebracht, was mit einem relativ geringen Aufwand möglich ist, da dieser Vorkörper leicht mit herkömmlichen Bohrtechniken bearbeitbar ist. Bei diesem Vorkörper handelt es sich um ein poröses Gebilde, wobei die Poren gegebenenfalls definiert ausgebildet werden können. Hierzu wird vorzugsweise eine Technik angewandt, wobei die einzelnen Kohlenstoff-Fasern in einem kohlenstoff-reichen Polymer eingebettet sind, wobei unter Pyrolyse eine solche definierte Rißstruktur erzeugt und definiert eingestellt werden kann. Die Poren bzw. die Rißstruktur dieser Tragstruktur des C/C-Körpers wird dann mit flüssigem Silicium infiltriert, das unter Wärmeeinwirkung bei Temperaturen im Bereich von 1410°C bis 1700°C zu Siliciumcarbid umgewandelt wird. Die Querschnitte der Bohrungen 6 können definiert eingestellt werden. Gleichzeitig mit dem Infiltrieren von flüssigem Silicium in die Porenstruktur wird im Bereich der Klebeflächen der flächig miteinander verklebten Teilelemente 1, 2 eine Siliciumcarbid-Verbindungsschicht gebildet, so daß die Klebeschicht durch eine Siliciumcarbidschicht ersetzt wird und sich eine homogene, hochfeste Tragstruktur 3 auch im Bereich der Fügestelle einzelner Teilelemente 1, 2 ergibt.

**[0026]** Entsprechend den Bohrungsquerschnitten

werden die einzusetzenden ersten und zweiten Rohre 4 und 5 dimensioniert, allerdings derart, daß deren Durchmesser geringfügig kleiner ist als der freie Bohrungsdurchmesser, so daß ein Zwischenraum bei eingelegtem Rohr entsteht. Diese Zwischenräume dienen als Dehnungsausgleichsbereich, der mit einer Dehnungsausgleichsschicht 8 aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff gefüllt wird. Die Dehnungsausgleichsschicht 8 kann dadurch gebildet werden, daß, vor Einlegen der Rohre in die Bohrungen, eine Schicht aus Keramik- und/oder Kohlenstoff-Fasern oder -Folien eingefügt wird. Anschließend werden die Rohre eingesteckt, so daß diese unter Einhaltung eines definierten Spalts den verbleibenden Freiraum ausfüllen. Alternativ werden zunächst in die Bohrungen die ersten und zweiten Rohre eingelegt und der Zwischenraum mit einem keramischem Pulvermaterial weitgehendst aufgefüllt. In der Anordnung, wie sie in Figur 4 zu sehen ist, sind die ersten und zweiten Rohre 4, 5 in der Tragstruktur 3 zwar fixiert, allerdings nicht kraft- und formschlüssig so eingebettet, daß sie unverrückbar wären.

**[0027]** Während in Figur 4 ein Wärmetauscher schematisch dargestellt ist, der quer zur Längserstreckung der ersten und zweiten Rohre 4, 5 eine quadratische Struktur aufweist, ist in Figur 5 bzw. in Figur 9 ein Wärmetauscher-Modul gezeigt, das einen hexagonalen Querschnitt mit einer gleichen Seitenlänge aufweist. Prinzipiell ist ein solcher Wärmetauscher so aufgebaut, wie dies vorstehend anhand der Figuren 1 bis 4 erläutert ist, wobei die Figur 7 wiederum ein einzelnes Teilelement 1, 2 einer solchen Tragstruktur 3 zeigt. Mehrere solcher Teilelemente 1, 2 werden dann aufeinander verklebt, wie in Figur 8 mit den Klebe- bzw. Verbindungsschichten 7 angedeutet ist. Nach Keramisieren dieses Vorkörpers entsprechend der Figur 8 werden dann die Rohre 4, 5 in die Bohrungen eingesteckt, wiederum mit einer keramischen Zwischenschicht, die als Dehnungsschicht 8 dient, wie in Figur 5 angedeutet ist.

**[0028]** Wie zu erkennen ist, können aus dem modulartigen Aufbau des Wärmetauschers mit einzelnen Teilelementen 1, 2 Wärmetauscher beliebiger Längen hergestellt werden, wozu standardisierte Teile herangezogen werden. Mit einer polygonalen Querschnittsform der Tragstruktur 3, wie sie vorstehend beschrieben ist, insbesondere mit einer hexagonalen Querschnittsform, die Seiten mit gleicher Länge besitzt, können Wärmetauscherstrukturen aufgebaut werden, wie sie beispielsweise in Figur 6 zu sehen ist. Hierbei werden einer zentralen Wärmetauschereinheit weitere Moduleinheiten einer entsprechenden Querschnittsform jeder Seitenfläche zugeordnet, so daß die mittlere, zentrale Wärmetauscher-Moduleinheit vollständig von äußeren Moduleinheiten umgeben wird. In den Seitenflächen der Moduleinheiten sind, in Längsrichtung der Rohre 4, 5 gesehen, Fixierungsnuten 9 ausgebildet, beispielsweise mit einem halbkreisförmigen Querschnitt, die sich dann beim Aufbau des Wärmetauschers entsprechend der Figur 6 mit den Nuten angrenzender Wärmetauscher-

Module zu einer Bohrung ergänzen, in die beispielsweise Fixierstifte oder Fixierstäbe 10 eingesetzt werden können. Die einzelnen Moduleinheiten entsprechend der Figur 6 können mit geeigneten Verbindungstechniken verbunden werden, wozu sich beispielsweise Siliciumcarbidschichten eignen. Die jeweiligen Rohre 4, 5 der Moduleinheiten der Figur 6 können in geeigneter Weise strömungsmäßig miteinander verbunden werden, so daß sich zwei Strömungssysteme ergeben, wobei das erste Strömungssystem die ersten Rohre 4 (heller Querschnitt in Figur 6) umfaßt, während das zweite Rohrsystem (zweite Rohre 5 - dunkel angedeutet in Figur 6) das zweite Rohrsystem bildet. Durch das erste Rohrsystem wird das zu kühlende Fluid geführt, während das zweite Rohrsystem das Kühlfluid aufnimmt.

**[0029]** Wie weiterhin anhand der Figur 6 zu erkennen ist, können mit Moduleinheiten, wie sie in Figur 5 dargestellt sind, andere geometrische Gebilde hergestellt werden, beispielsweise Wärmetauscher, die einen relativ großen, mittleren Hohlraum aufweisen oder komplexe Wärmetauscherstrukturen, wie beispielsweise Wandflächen, die in ihrer Länge und Höhe variabel sind, um sie den Anforderungen jeweils anzupassen.

**[0030]** In Figur 10 ist eine Tragestruktur 3 gezeigt, die aus Faser-Rovings oder Gewebebändern gewickelt ist. Wie aus dem angedeuteten Faserverlauf im Bereich der vorderen Stirnflächen der Wickelstruktur zu erkennen ist, ist diese Tragestruktur in Z-Richtung sich aufbauend gewickelt, indem die einzelnen Faserlagen wechselweise um die einzelnen Bohrungen 6, für die zunächst nicht dargestellte Platzhalter während des Wickelvorgangs eingesetzt werden können, gewickelt. Durch den kreuzweisen Verlauf im wesentlichen jeweils um den entsprechenden Platzhalter für das einzusetzende innere Rohr 4 herum ergibt sich eine hochfeste Struktur. Wie weiterhin zu sehen ist, werden die Fasern oder Faserbänder so gelegt, daß sie jeweils zu gegenüberliegenden Platzhaltern verlaufen und dann zu dem jeweils benachbarten Platzhalter geführt werden. Während dieses Wickelvorgangs entstehen an das innere Rohr 4 bzw. die Bohrung 6 für das innere Rohr 4 angrenzend dreieckförmige Hohlräume, in die dann ein entsprechendes Einsatzteil 11 aus einem gut wärmeleitenden Material, beispielsweise einer Faserkeramik, eingesetzt werden kann. Die Dehnungsausgleichsschicht kann bei einem Aufbau, wie er in Figur 10 dargestellt ist, zunächst um Platzhalter-Formkörper herum angeordnet werden, bevor der eigentlichen Wickelvorgang erfolgt. Die Dehnungsausgleichsschicht kann aber auch während des Wickelns durch Aufbringen von Fasern radial um einen entsprechenden Kern oder Bereich die jeweiligen vorgefertigten ersten und zweiten Rohre 4, 5, die allerdings nicht näher in Figur 10 dargestellt sind, aufgebaut werden.

#### Patentansprüche

1. Wärmetauscher, der mindestens ein erstes Rohr (4)

zum Hindurchleiten eines zu kühlenden, Wärme abgebenden ersten Fluids und mindestens ein zweites Rohr (5) zum Hindurchleiten eines Wärme aufnehmenden zweiten Fluids aufweist, wobei zumindest das erste Rohr (4), aus einem fluiddichten, korrosions- und oxidationsbeständigen Werkstoff gebildet, in einer aus mehreren einzelnen Teilelementen (1, 2) gebildeten Tragstruktur (3) aus SiC-haltigem Werkstoff in einer Bohrung (6) der Teilelemente (1, 2) gehalten ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Tragstruktur (3) aus aufeinandergestapelten und über eine SiC-haltige Verbindungsschicht (7) miteinander verbundenen platten- oder scheibenförmigen Teilelementen (1, 2) aus einem mit Kohlenstoff- und/oder Keramik-Fasern verstärkten Verbundwerkstoff aufgebaut ist, daß zumindest zwischen dem ersten Rohr (4) und der Tragstruktur (3) eine Dehnungsausgleichsschicht (8) aus keramischem Werkstoff und/oder Kohlenstoff angeordnet ist und daß das mindestens eine zweite Rohr (5) dem mindestens einen ersten Rohr (4) benachbart in einer in den Teilelementen (1, 2) eingebrachten Bohrung (6) gehalten ist.

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß zumindest das erste Rohr (4) aus monolithischer Keramik gebildet ist.

3. Wärmetauscher nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest das erste Rohr (4) aus Siliciumcarbid, Siliciumnitrid, Cordierit oder Mullit gebildet ist.

4. Wärmetauscher nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Siliciumcarbid ein Siliciuminfiltriertes Siliciumcarbid (SiSiC) oder gesintertes Siliciumcarbid (SSiC) verwendet wird.

5. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnungsausgleichsschicht (8) im wesentlichen aus keramischem Pulver oder Kohlenstoffpulver gebildet ist.

6. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnungsausgleichsschicht (8) im wesentlichen aus Keramik- und/oder Kohlenstoff-Fasern gebildet ist.

7. Wärmetauscher nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Fasern bevorzugt in Umfangsrichtung der Rohre (4, 5) orientiert sind.

8. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnungsausgleichsschicht (8) aus einem folienförmigen Werkstoff, insbesondere Graphit-Folie, gebildet ist.

9. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch ge-

kennzeichnet, daß die Dehnungsausgleichsschicht (8) aus einer Mischung aus faser- und pulverförmigem Werkstoff gebildet ist.

10. Wärmetauscher nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnungsausgleichsschicht (8) aus Bornitrid- und/oder Aluminiumnitrid-Pulver gebildet ist.

11. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens 50% der Fasern in den Teilelementen (1, 2) parallel zur Platten- oder Scheibenebene der als Platten oder Scheiben ausgebildeten Teilelemente (1, 2) verlaufen.

12. Wärmetauscher nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens 90% der Fasern in den Teilelementen parallel zur Platten- oder Scheibenebene der als Platten oder Scheiben ausgebildeten Teilelemente verlaufen.

13. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilelemente (1, 2) aus einem kohlenstoff-faserverstärkten Verbundwerkstoff gebildet sind, wobei die Kohlenstoff-Fasern in Siliciumcarbid eingebettet sind, das durch Infiltrieren von flüssigem Silicium und unter Wärmeeinwirkung mit Kohlenstoff zu Siliciumcarbid umgewandelt ist.

14. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Faserverstärkung in den Teilelementen (1, 2) aus zweidimensionalen Geweben, Faser-Rovings oder Gewebe-Bändern gebildet ist.

15. Wärmetauscher nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Faserverstärkung der Teilelemente (1, 2) aus gewickelten Faser-Rovings oder Gewebe-Bändern oder gestrickten Faser-Rovings gebildet ist (Figur 10).

16. Wärmetauscher nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß in durch die Faserwicklung erzeugte Zwischenhohlräume diese ausfüllende Einsatzteile mit hoher, gerichteter Wärmeleitung eingesetzt oder in diesen gebildet sind.

17. Wärmetauscher nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Einsatzteile aus keramischem oder keramisiertem, kohlenstoff-faserverstärktem Verbundwerkstoff gebildet sind.

18. Wärmetauscher nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Einsatzteile aus SiC gebildet sind.

19. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch ge-

kennzeichnet, daß um ein zentrales, erstes Rohr (4) mehrere zweite Rohre (5) angeordnet sind.

20. Wärmetauscher nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Rohre symmetrisch um das zentrale erste Rohr angeordnet sind.

21. Wärmetauscher nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Achsen der ersten und der zweiten Rohre (4, 5) parallel zueinander verlaufen.

22. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß als Wärmetauscher-Moduleinheit mehrere Moduleinheiten zu einer Wärmetauschereinheit zusammengeführt sind, wobei die Querschnittsform der Moduleinheit so ausgeführt ist, daß aneinandergrenzende Moduleinheiten flächig aneinander liegen.

23. Wärmetauscher nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnittsform der Moduleinheiten als Polygon, vorzugsweise als Hexagon, ausgeführt ist.

24. Wärmetauscher nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Polygon gleiche Seitenlängen aufweist.

25. Wärmetauscher nach Anspruch 24 dadurch gekennzeichnet, daß an jeder Seite einer zentralen Moduleinheit eine weitere Moduleinheit anliegt.

26. Wärmetauscher nach Anspruch 1 oder Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß in dessen Außenoberfläche Fixiernuten (9) vorgesehen sind.

27. Wärmetauscher nach Anspruch 1 oder Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Außenoberfläche der Tragstruktur (3) mit einer Schutzschicht gegen Oxidation oder Korrosion versehen ist.

28. Wärmetauscher nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Schutzschicht aus Siliciumcarbid und/oder Siliciumdioxid und/oder Molybdändisilicid gebildet ist.

29. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Tragstruktur (3) mehrere Teilelemente (1, 2) jeweils zu Gruppen zusammengefaßt sind und benachbarte Gruppen eine unterschiedliche Faserorientierung aufweisen.

## Claims

1. A heat exchanger comprising at least one first pipe (4) for passing a first heatemitting fluid to be cooled

- therethrough and at least one second pipe (5) for passing a second heat-absorbing fluid there-through, at least the first pipe (4), which is formed from a fluid-tight, corrosion- and oxidation-resistant material, being held in a support structure (3) formed of several individual partial elements (1, 2) and consisting of SiC-containing material, in a bore (6) of said partial elements (1, 2), characterized in that the support structure (3) is composed of plate- or disk-shaped partial elements (1, 2) which are stacked one upon the other and interconnected via a SiC-containing connection layer (7) and are made from a composite material reinforced with carbon and/or ceramic fibers, that an expansion compensating layer (8) consisting of a ceramic material and/or carbon is arranged at least between the first pipe (4) and the support structure (3), and that the at least one second pipe (5) is held adjacent to the at least one first pipe (4) in a bore (6) formed in the partial elements (1, 2).
2. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that at least the first pipe (4) is formed from a monolithic ceramic material.
  3. The heat exchanger according to claim 2, characterized in that at least the first pipe (4) is formed from silicon carbide, silicon nitride, cordierite or mullite.
  4. The heat exchanger according to claim 3, characterized in that a silicon-infiltrated silicon carbide (Si-SiC) or sintered silicon carbide (SSiC) is used as the silicon carbide.
  5. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that the expansion compensating layer (8) is substantially formed from ceramic powder or carbon powder.
  6. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that the expansion compensating layer (8) is substantially formed from ceramic and/or carbon fibers.
  7. The heat exchanger according to claim 6, characterized in that the fibers are preferably oriented in the circumferential direction of the pipes (4, 5).
  8. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that the expansion compensating layer (8) is formed from a foil-like material, in particular graphite foil.
  9. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that the expansion compensating layer (8) is formed from a mixture of fiber- and powder-like material.
  10. The heat exchanger according to claim 5, characterized in that the expansion compensating layer (8) is formed from boron-nitride and/or aluminum-nitride powder.
  11. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that at least 50% of the fibers extend in the partial elements (1, 2) in parallel with the plate or disk plane of the partial elements (1, 2) which are formed as plates or disks.
  12. The heat exchanger according to claim 11, characterized in that at least 90% of the fibers extend in the partial elements in parallel with the plate or disk plane of the partial elements which are formed as plates or disks.
  13. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that the partial elements (1, 2) are formed from carbon fiber-reinforced composite material, the carbon fibers being embedded in silicon carbide which by infiltration of liquid silicon and under thermal action with carbon is converted into silicon carbide.
  14. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that the fiber reinforcement in the partial elements (1, 2) is formed from two-dimensional fabrics, fiber rovings or fabric bands.
  15. The heat exchanger according to claim 14, characterized in that the fiber reinforcement of the partial elements (1, 2) is formed from wound fiber rovings or fabric bands or knitted fiber rovings (Fig. 10).
  16. The heat exchanger according to claim 15, characterized in that intermediate cavities produced by the fiber winding have inserted therewith or formed therein cavity-filling insertion members with a high directed heat conduction.
  17. The heat exchanger according to claim 16, characterized in that the insertion members are formed from ceramic or ceramized carbon fiber-reinforced composite material.
  18. The heat exchanger according to claim 17, characterized in that the insertion members are formed from SiC.
  19. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that several second pipes (5) are arranged around a central first pipe (4).
  20. The heat exchanger according to claim 19, characterized in that the second pipes are symmetrically arranged around the central first pipe.

21. The heat exchanger according to claim 19 or 20, characterized in that the axes of the first and second pipes (4, 5) extend in parallel with each other.
22. The heat exchanger according to any one of claims 1 to 21, characterized in that as the heat-exchanger modular unit a plurality of modular units are combined to form a heat exchanger unit, the cross-sectional shape of the modular unit being designed such that adjoining modular units are in planar contact with one another.
23. The heat exchanger according to claim 22, characterized in that the cross-sectional shape of the modular units is designed as a polygon, preferably as a hexagon.
24. The heat exchanger according to claim 23, characterized in that the polygon has identical side lengths.
25. The heat exchanger according to claim 24, characterized in that a further modular unit rests on each side of a central modular unit.
26. The heat exchanger according to claim 1 or claim 22, characterized in that fixing grooves (9) are provided in the outer surface thereof.
27. The heat exchanger according to claim 1 or claim 22, characterized in that the outer surface of the support structure (3) is provided with a protective layer against oxidation or corrosion.
28. The heat exchanger according to claim 27, characterized in that the protective layer is formed from silicon carbide and/or silicon dioxide and/or molybdenum disilicide.
29. The heat exchanger according to claim 1, characterized in that several partial elements (1, 2) are combined in the support structure (3) to form respective groups, and neighboring groups have a different fiber orientation

### Revendications

1. Echangeur de chaleur qui présente au moins un premier tuyau (4) pour faire passer un premier fluide à refroidir, cédant de la chaleur et au moins un deuxième tuyau (5) pour faire passer un deuxième fluide absorbant de la chaleur, au moins le premier tuyau (4) formé d'un matériau étanche aux fluides, résistant à la corrosion et à l'oxydation, étant maintenu dans une structure support (3) formée de plusieurs éléments partiels individuels (1,2) en matériau contenant SiC, dans un trou (6) des éléments

partiels (1,2), caractérisé en ce que la structure support (3) est constituée d'éléments partiels (1,2) en matériau composite renforcé par les fibres de carbone et/ou de céramique, en forme de plaques ou de rondelles empilées les unes sur les autres et liées les unes avec les autres par une couche de liaison (7) contenant SiC, qu'au moins entre le premier tuyau (4) et la structure support (3) est placée une couche de compensation de dilatation (8) en matériau céramique et/ou en carbone et que le moins un deuxième tuyau (5) est maintenu dans un trou (6) effectué dans les éléments partiels (1,2) au voisinage du au moins un premier tuyau (4),

2. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins le premier tuyau (4) est constitué de céramique monolithique.
3. Echangeur de chaleur selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins le premier tuyau (4) est constitué de carbure de silicium, de nitrure de silicium, de cordiérite ou de mullite.
4. Echangeur de chaleur selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on utilise comme carbure de silicium du carbure de silicium avec silicium infiltré (SiSiC) ou du carbure de silicium fritté (SSiC).
5. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de compensation de dilatation (8) est constituée essentiellement de poudre de céramique ou de poudre de carbone.
6. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de compensation de dilatation (8) est constituée essentiellement de fibres de céramique et/ou de carbone.
7. Echangeur de chaleur selon la revendication 6, caractérisé en ce que les fibres sont orientées de préférence en direction périphérique des tuyaux (4,5).
8. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de compensation de dilatation (8) est constituée d'un matériau en forme de feuille, en particulier une feuille de graphite.
9. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche de compensation de dilatation (8) est constituée d'un mélange de matériau en forme de fibres et de poudre.
10. Echangeur de chaleur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la couche de dilatation (8) est constituée de poudre de nitrure de bore et/ou de nitrure d'aluminium.
11. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, ca-

- ractérisé en ce qu'au moins 50% des fibres dans les éléments partiels (1,2) sont placées parallèlement aux plans des plaques ou des rondelles qui se développent en tant que plaques ou rondelles des éléments partiels (1,2) formés. 5
- 12.** Echangeur de chaleur selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'au moins 90% des fibres dans les éléments partiels (1,2) sont placées parallèlement aux plans des plaques ou des rondelles qui se développent en tant que plaques ou rondelles des éléments partiels (1,2) formés. 10
- 13.** Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les éléments partiels (1,2) sont constitués d'un composite renforcé par des fibres de carbone, les fibres de carbone étant enrobées dans du carbure de silicium, qui est transformé en carbure de silicium par infiltration de silicium liquide et par action de la chaleur avec du carbone. 15
- 14.** Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le renforcement par des fibres dans les éléments partiels (1,2) est formé à partir de tissus, de tissus de fibres de verre ou de bandes de tissus à deux dimensions. 25
- 15.** Echangeur de chaleur selon la revendication 14, caractérisé en ce que le renforcement par des fibres dans les éléments partiels (1,2) est formé à partir de tissus de fibres de verre ou de bandes de tissus bobinés ou de tissus de fibres de verre tricotés (figure 10). 30
- 16.** Echangeur de chaleur selon la revendication 15, caractérisé en ce que dans les espaces intermédiaires vides obtenus par le bobinage de fibres sont placées, ou sont formées dans ceux-ci, des garnitures de remplissage avec une conductibilité thermique orientée élevée. 35
- 17.** Echangeur de chaleur selon la revendication 16, caractérisé en ce que les garnitures de remplissage sont constituées de composite renforcé par les fibres de céramique ou de carbone avec céramique. 45
- 18.** Echangeur de chaleur selon la revendication 17, caractérisé en ce que les garnitures de remplissage sont constituées de SiC. 50
- 19.** Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'autour d'un premier tuyau central (4) sont placés plusieurs deuxièmes tuyaux (5). 55
- 20.** Echangeur de chaleur selon la revendication 19, caractérisé en ce que les deuxièmes tuyaux sont placés symétriquement autour du premier tuyau central.
- 21.** Echangeur de chaleur selon la revendication 19 ou 20, caractérisé en ce que les axes du premier et des deuxièmes tuyaux (4,5) sont parallèles les uns aux autres.
- 22.** Echangeur de chaleur selon l'une des revendications 1 à 21, caractérisé en ce qu'en tant qu'unités modulaires, plusieurs unités modulaires sont rassemblées en une unité d'échangeur de chaleur, la forme en coupe transversale de l'unité modulaire étant telle que les unités modulaires contiguës sont placées en nappes les unes sur les autres.
- 23.** Echangeur de chaleur selon la revendication 22, caractérisé en ce que la forme en coupe transversale des unités modulaires est un polygone, de préférence un hexagone.
- 24.** Echangeur de chaleur selon la revendication 23, caractérisé en ce que le polygone présente des longueurs de côtés identiques.
- 25.** Échangeur de chaleur selon la revendication 24, caractérisé en ce que de chaque côté d'une unité modulaire centrale se trouve une autre unité modulaire.
- 26.** Echangeur de chaleur selon la revendication 1 ou la revendication 22, caractérisé en ce que des encoches de fixation (9) sont prévues dans leur surface externe.
- 27.** Echangeur de chaleur selon la revendication 1 ou la revendication 22, caractérisé en ce que la surface externe de la structure support (3) est prévue avec une couche de protection contre l'oxydation ou la corrosion.
- 28.** Echangeur de chaleur selon la revendication 27, caractérisé en ce que la couche de protection est constituée de carbure de silicium et/ou de dioxyde de silicium et/ou de disiliciure de molybdène.
- 29.** Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que dans la structure support (3) plusieurs éléments partiels (1,2) sont rassemblés chaque fois en groupes et que des groupes voisins présentent une orientation différente de fibres.

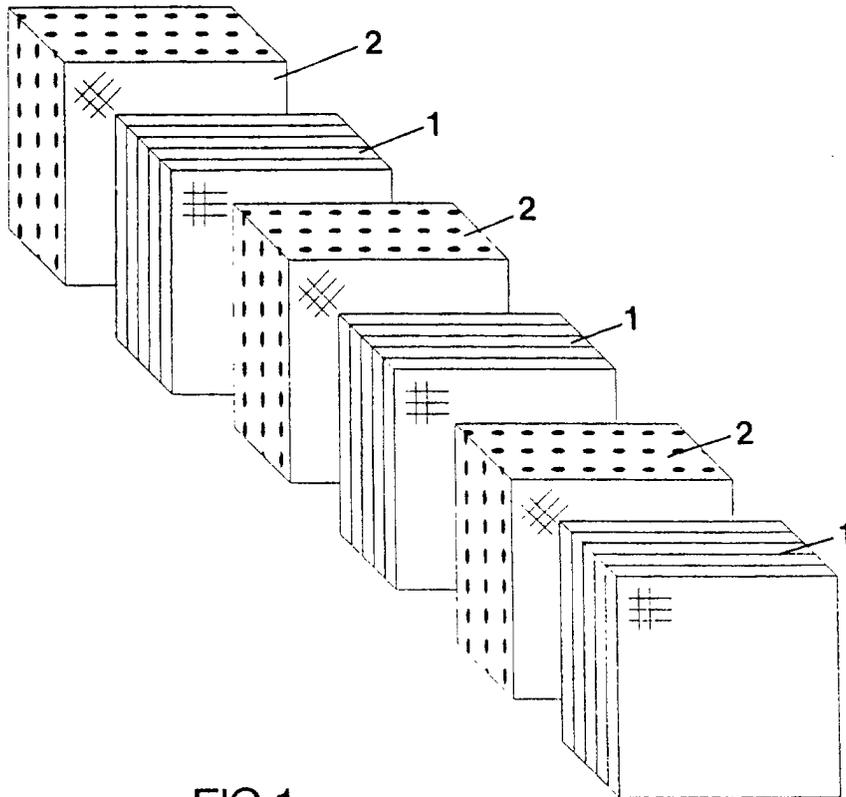


FIG. 1

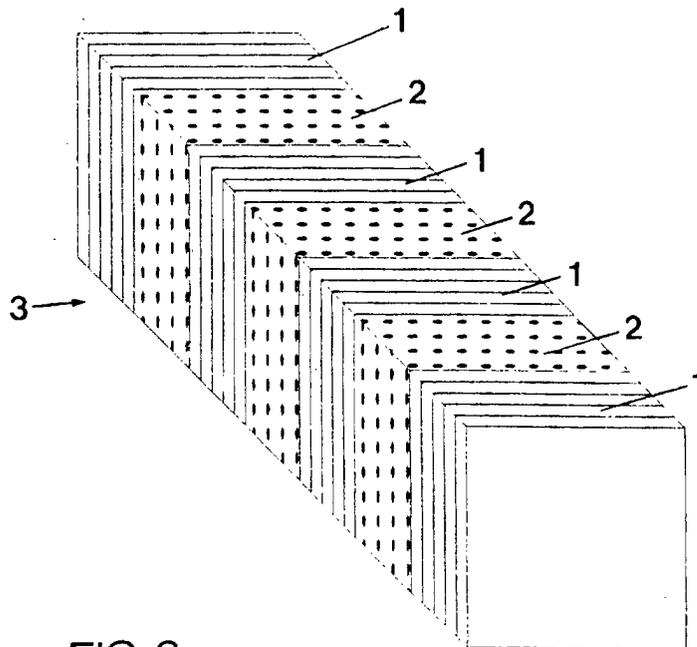


FIG. 2

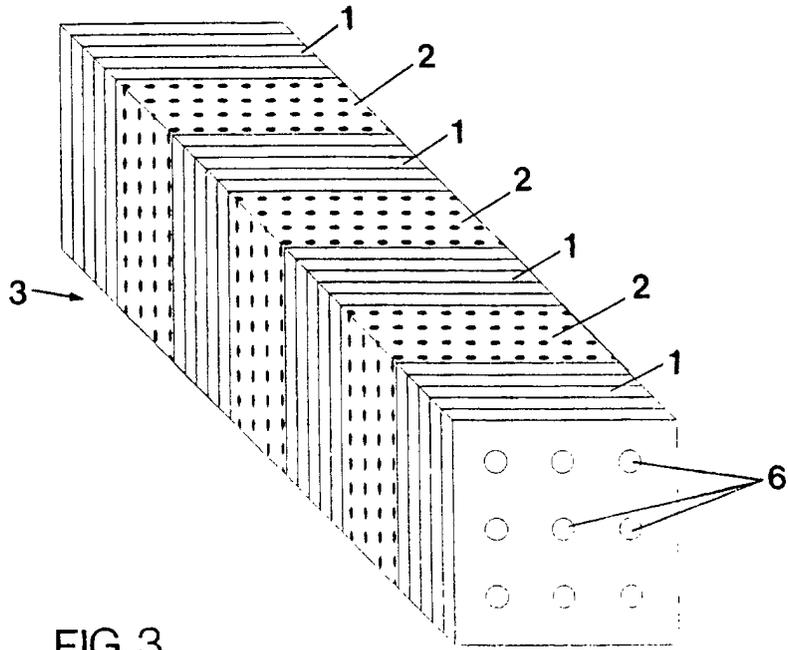


FIG. 3

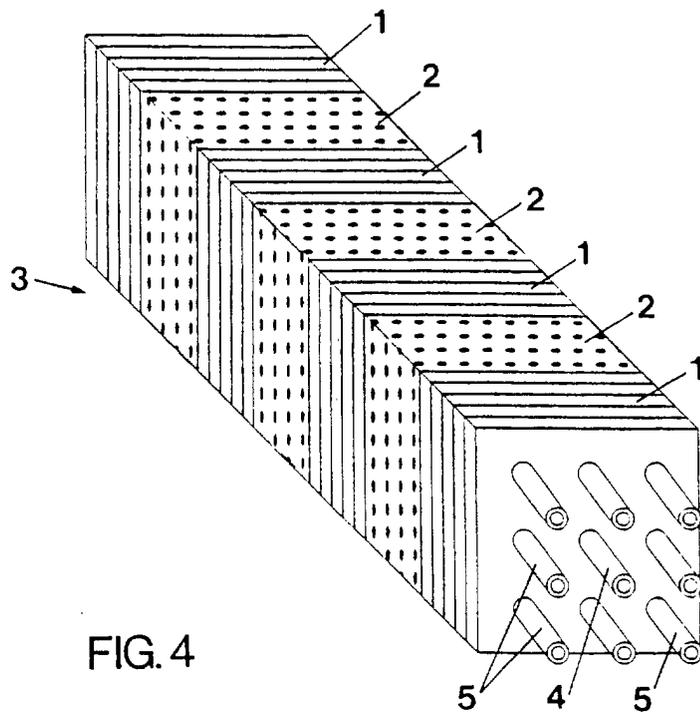


FIG. 4

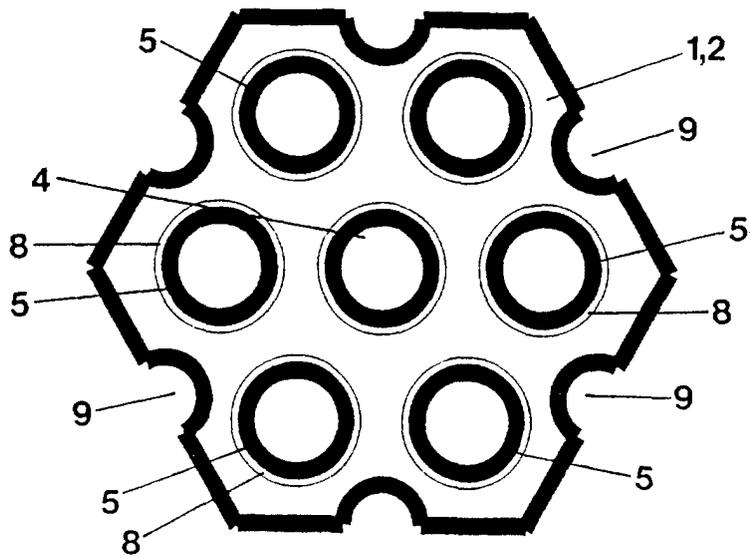


FIG. 5

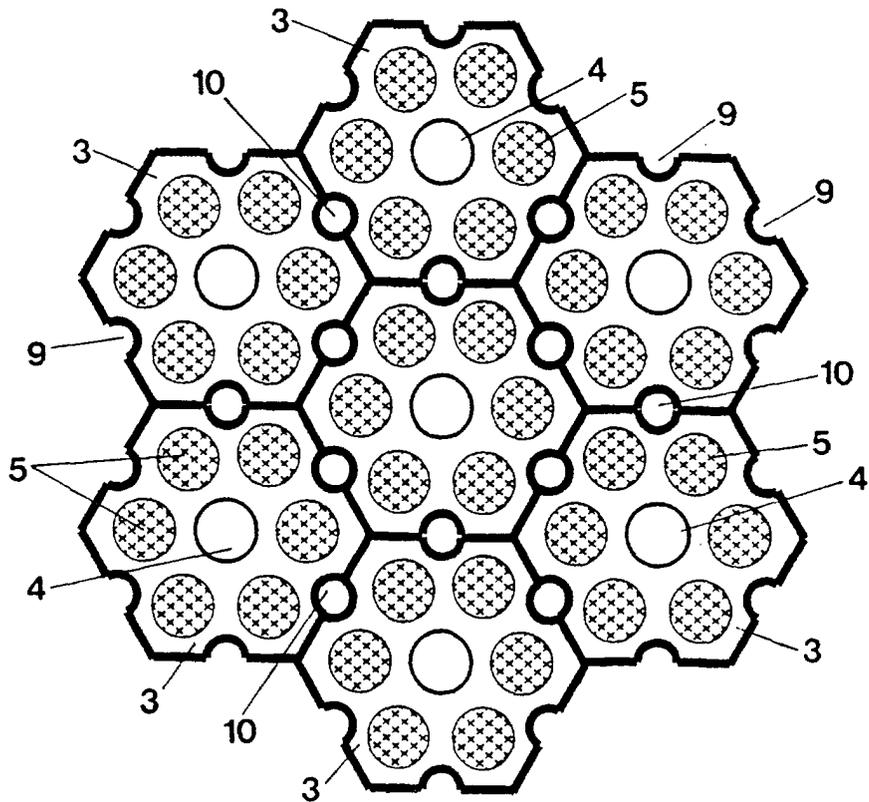


FIG. 6

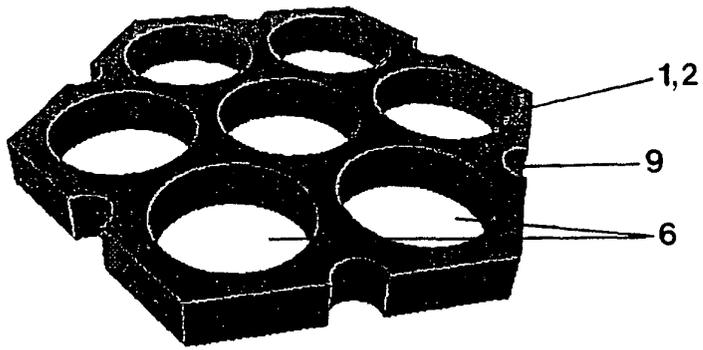


FIG. 7

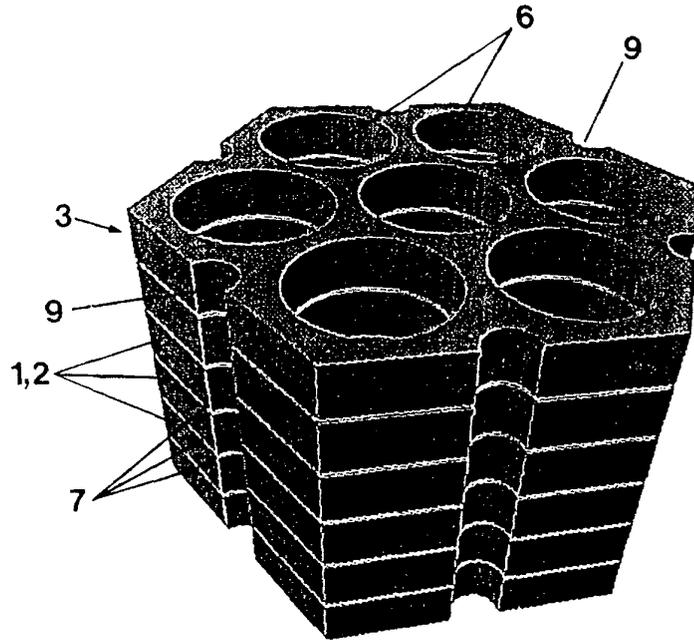


FIG. 8

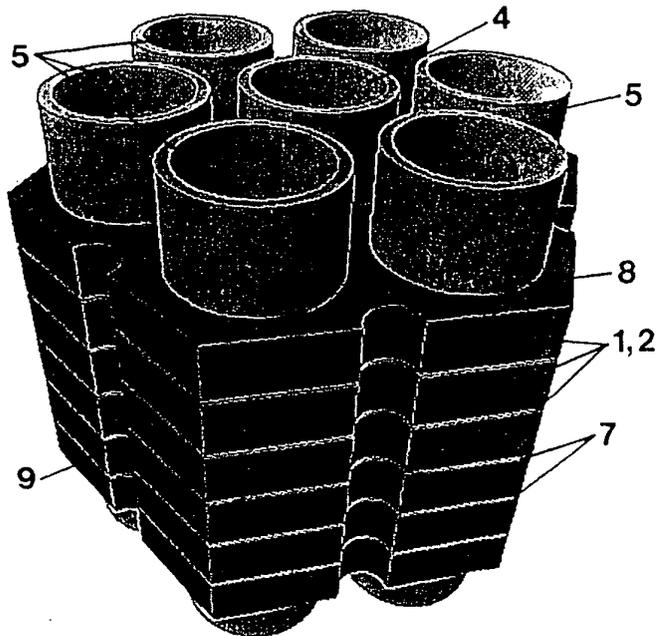


FIG. 9

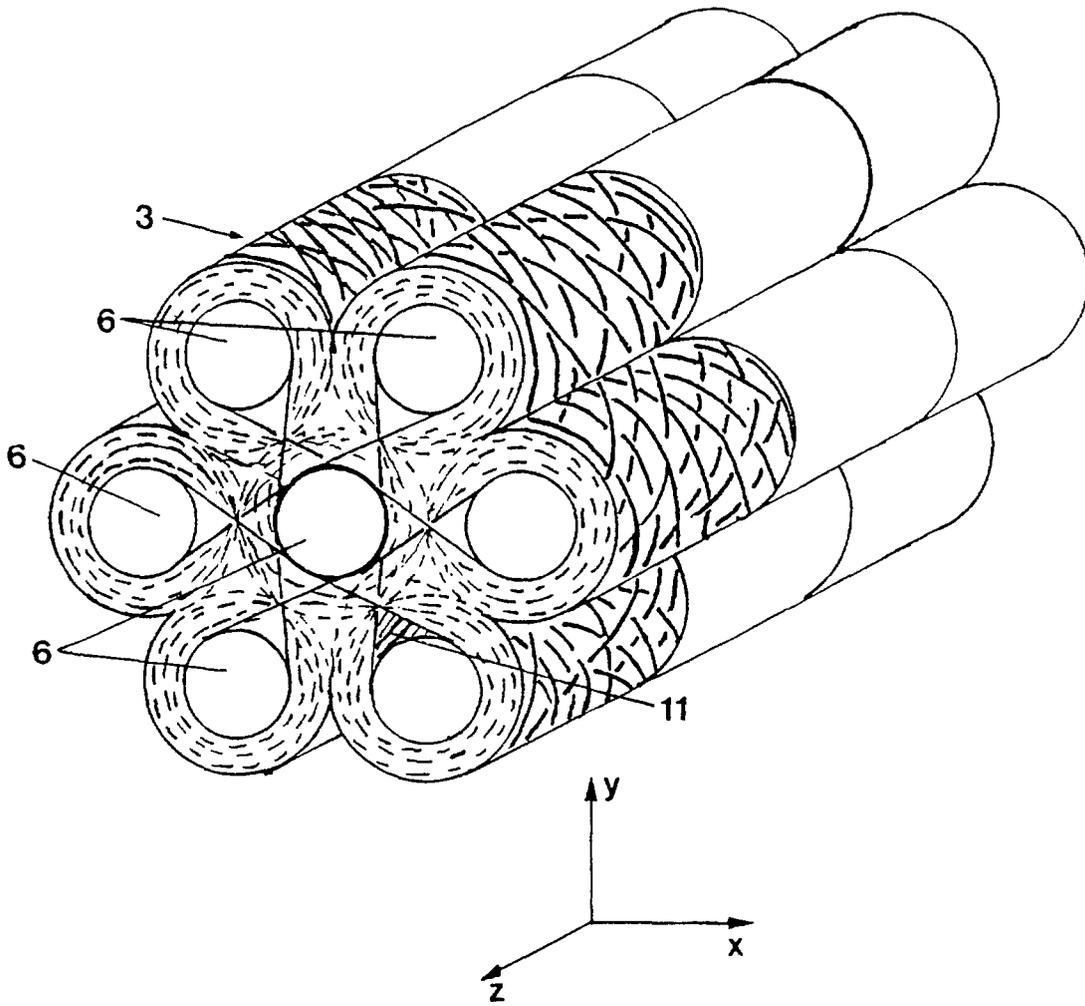


FIG. 10