



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 154 217 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.11.2001 Patentblatt 2001/46

(51) Int Cl.7: **F28D 15/04**

(21) Anmeldenummer: **01109643.5**

(22) Anmeldetag: **19.04.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• **Thaler, Heiko**
71067 Sindelfingen (DE)
• **Henne, Rudolf**
71034 Böblingen (DE)

(30) Priorität: **09.05.2000 DE 10022325**

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

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

(54) **Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften und Verfahren zur Herstellung einer Kapillarstrukturenschicht für eine solche Anordnung**

(57) Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften, die einen rohrförmigen Querschnitt (1) und einen inneren und/oder äußeren, sich in Längsrichtung des rohrförmigen Querschnitts erstreckenden Kapillarstruktur (3), die durch eine offenporige, durch thermisches Spritzen von Pulver-

partikeln aufgebaute Schicht gebildet ist, aufweist, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Kapillarstruktur (3) als Bauteil durch thermisches Spritzen gebildet ist, das mindestens eine Fügestelle aufweist, wobei die Fügestelle als Kanal (5) ausgebildet ist, indem mindestens eine der beiden Fügekanten der Fügestelle eine Fase aufweist.

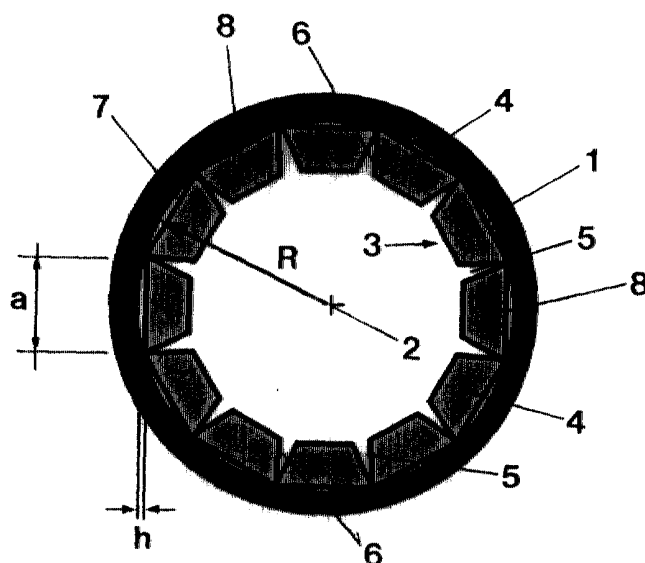


FIG. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften, die einen rohrförmigen Querschnitt und eine innere und/oder äußere, sich in Längsrichtung des rohrförmigen Querschnitts erstreckende Kapillarstruktur, die durch eine offenporige, durch thermisches Spritzen von Pulverpartikeln aufgebaute Schicht gebildet ist, aufweist.

[0002] Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Kapillarstrukturschicht für die Anordnung, wie sie vorstehend angegeben ist.

[0003] Anordnungen zum Transport von Flüssigkeiten, unter Ausnutzung von Kapillarkräften, sind allgemein bekannt. Solche Kapillarstrukturschichten können mit unterschiedlichen Verfahren aufgebaut werden, beispielsweise durch bekannte Sintertechniken oder durch Plasmaspritzen von Pulverpartikeln.

[0004] Ein Wärmerohr, und ein Verfahren zu dessen Herstellung, zum Transport von Wärme von einem Verdampfungsbereich zu einem Kondensationsbereich, mit einer Kapillarstruktur innerhalb des Wärmerohrs, ist aus der DE-A1 197 17 235 bekannt. Die dort beschriebene Kapillarstruktur wird durch ein thermisches Plasmaspritzen von Pulverpartikeln hergestellt und besitzt eine offenporige Kapillarstrukturschicht. Hierzu werden Pulverpartikel mit einer mittleren Partikelgröße im Bereich von ungefähr 30 µm bis ungefähr 300 µm eingesetzt.

[0005] Grundsätzlich ist eine Anordnung, wie sie aus der DE-A1 197 17 235 bekannt ist, für Wärmerohre gut geeignet, insbesondere hinsichtlich deren Porosität, wie sie durch das dort verwendete Plasmaspritzen von Pulverpartikeln erzeugt wird. Um ein Wärmerohr mit Innenbeschichtung aufzubauen, ist in der DE-A1 197 17 235 auch vorgeschlagen, zwei Halbschalen auf der Innenseite mit einer Kapillarschicht zu versehen. Anschließend werden die beiden Halbschalen bzw. die zwei Zylinderhälften mit ihren Kanten flächig gefügt, so daß sich ein auf der Innenseite beschichtetes Rohr ergibt.

[0006] Ausgehend von dem vorstehend beschriebenen Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften der eingangs angegebenen Art so weiterzubilden, daß Wärme mit einer höheren Transportleistung damit transportiert werden kann, sowie ein entsprechendes Verfahren zum Aufbauen einer entsprechenden Kapillarstrukturschicht für eine derartige Anordnung anzugeben.

[0007] Gelöst wird diese Aufgabe, ausgehend von einer Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarstrukturschichten der eingangs genannten Art dadurch, daß die Kapillarstruktur als Bauteil durch thermisches Spritzen gebildet ist, das mindestens eine Fügestelle aufweist, wobei die Fügestelle als Kanal ausgebildet ist, indem mindestens eine der beiden Fügekanten der Fügestelle eine Fase aufweist.

[0008] Verfahrensgemäß ist die Herstellung einer Kapillarstrukturschicht für eine solche Anordnung dadurch gekennzeichnet, daß ein Formkörper bereitgestellt wird, auf dem Stege gebildet sind, die in ihrer Querschnittsform und Positionierung den zu erzeugenden Kanälen in der Kapillarstrukturschicht angepaßt sind, daß der Formkörper mit einer durch Plasmaspritzen von Pulverpartikeln aufgebauten Schicht beschichtet wird unter Erzeugung einer Porenstruktur, wobei die Pulverpartikel zur Erzeugung der Porenstruktur während der schichtweisen Beschichtung oberflächlich angeschmolzen werden und durch den Grad des Anschmelzens eine offene oder teilweise geschlossene Porenstruktur gebildet wird.

[0009] Mit der erfindungsgemäßen Anordnung wird die Fügestelle dazu genutzt, einen Kanal in der Kapillarstruktur auszubilden. Hierzu ist es nur notwendig, im Bereich der Fügestelle eine Fase bzw. Abschrägung auszubilden, derart, daß diese Fase nach dem Fügen des Bauteils eine nutartige Vertiefung beläßt. Auf diese Art und Weise ist es möglich, spritztechnisch eine poröse Kapillarstruktur mit Kanälen, auch als Arterien bezeichnet, herzustellen. Diese Kombination ist besonders vorteilhaft, da Bereiche hoher Kapillarität mit solchen niedriger Druckverluste effizient verknüpfbar sind. Bisher wurden bei der Herstellung von Wärmerohren mittels thermischer Beschichtung keine Kanäle oder Arterien ausgebildet oder diese nur mit komplexen und deshalb teureren Verfahren nachträglich eingearbeitet. Die Möglichkeit, poröse Funktionsschichten herzustellen, in die unmittelbar mit dem Aufbau der Kapillarstrukturschicht Kanäle eingearbeitet sind, d.h. bei denen die Fügestelle oder die Fügestellen dazu ausgenutzt wird bzw. ausgenutzt werden, solche Kanäle zu erzeugen, führt dazu, daß die thermische Herstellung von Wärmerohren mit hohen Wärmetransportleistungen sehr kostengünstig vorgenommen werden kann. Je nach Aufbau und Lage der Fügekanten der jeweiligen Fügestellen können die Kanäle eingearbeitet werden. Es ist ersichtlich, daß ein solches Wärmerohr mit Kapillarstrukturschicht aus mehreren Segmenten zusammengesetzt werden kann mit einer entsprechenden Anzahl von Fügestellen, so daß jede Fügestelle dazu ausgenutzt werden kann, einen der vorstehend erwähnten Kanäle auszubilden. Wie vorstehend erwähnt ist, wird eine solche Kapillarstruktur als gesondertes Bauteil ausgeführt, das anschließend in ein entsprechendes Außenhüllrohr eingesetzt wird. Demzufolge werden in einer solchen Anordnung zum einen Kapillarstrukturen und zum anderen Kanäle verwirklicht, ohne daß dazu gesonderte Arbeitsschritte zum Aufbauen der Kanäle erforderlich sind, indem rein spritztechnisch mit dem Bilden der Kapillarstrukturschicht im wesentlichen die Kanäle geformt werden. Es hat sich auch gezeigt, daß die Fasen gerade beim Fügen der Teile der Kapillarstruktur zu einem Bauteil von Vorteil sind.

[0010] Bevorzugt wird das Bauteil, das die Kapillarstruktur bildet, aus mindestens zwei halbschalenförmigen

gen Segmentteilen zusammengesetzt, wobei dann bevorzugt entlang jeder der beiden Fügestellen jeweils ein Kanal durch mindestens eine Fase an einer der Fügekanten ausgebildet wird. Eine solche Fase ist eine einfache Abschrägung der Fügekanten, so daß eine der Fügekanten dann, wenn die beiden Fügekanten aneinander gestoßen werden, eine entsprechende Nut erzeugt, die dann vorzugsweise V-förmig ist.

[0011] In einer weiteren Ausführungsform können die mindestens zwei halbschalenförmigen Segmentteile unmittelbar auf entsprechende Halbschalen oder Zylinderhälften aufgespritzt werden, wobei die Beschichtung jeweils mit einer entsprechenden Fase, wie dies vorstehend erläutert ist, ausgebildet wird. Die beiden Teile, d. h. die jeweilige Halbschale oder die Zylinderhälfte, werden dann unmittelbar über die Halbschalen oder Zylinderhälften gefügt (beispielsweise verschweißt), während im Bereich der darauf aufgetragenen Kapillarstrukturschichten an der Fügestelle eine entsprechende V-förmige Nut aufgrund der mit Fase versehenen Kante (n) entsteht.

[0012] In Verbindung mit solchen Halbschalen oder Zylinderhälften, auf die die halbschalenförmigen Segmentteile aufgesetzt oder aufgespritzt sind, können die jeweiligen Fasen, die später nach dem Fügen der Bauteile die Kanäle bilden, an den Stirnflächen der Halbschalen oder Zylinderhälften ausgebildet sein, auch zusätzlich zu entsprechenden Fasen an den Kanten bzw. Stirnseiten der gespritzten Segmentteile. Es ist ersichtlich, daß eine solche Anordnung aus mehr als zwei schalenförmigen Teilen zusammengesetzt werden kann, dann unter jeweiliger Bildung von Fasen an den zu fügenden Stirnseiten, um die Kanäle zu erzeugen.

[0013] Um den Kanal im Querschnitt symmetrisch auszugestalten, kann entlang der Fügestelle jede der beiden Fügekanten mit jeweils einer Fase versehen werden; diese beiden Fügekanten ergänzen sich dann zu einem Kanal.

[0014] Die vorstehend angegebenen Maßnahmen können wiederholt um den Umfang der Kapillarstrukturschicht verteilt angewandt werden, indem weitere Zwischenkanäle in Form von Nuten, in Haupttransportrichtung der Flüssigkeit verlaufend, ausgebildet werden.

[0015] Je nach Anzahl der Einzelteile, aus denen die Kapillarstrukturschicht zusammengesetzt wird, können sämtliche Fügestellen dazu ausgenutzt werden, jeweils einen Kanal zu bilden; es ist aber auch möglich, einige der Fügekanten stumpf aneinanderzustoßen.

[0016] Eine weitere Variationsmöglichkeit, in eine Kapillarstrukturschicht definiert Kanäle zum Transport von Flüssigkeit einzubringen, ist diejenige, die Kapillarstrukturschicht durch ein als Platte vorgefertigtes Teil mit Nuten auszubilden. Hierzu wird ein plattenförmiger oder aber bereits zylindersegmentförmiger Grundkörper oder Träger bereitgestellt, der Stege auf seiner Beschichtungsfläche besitzt. Diese Stege sind mit einem Querschnitt ausgebildet, der dem Querschnitt der späteren, zu bildenden Kanäle entspricht bzw. angepaßt ist.

Die auf dem Formkörper aufgetragene Schicht wird nach der Beschichtung abgelöst, wobei die Nuten bzw. Kanäle dann, wenn es sich um ein plattenförmiges Bauteil handelt, als Sollbiegestellen verwendet werden können, um das plattenförmige Teil zu einem Zylindersegment oder einem Zylinder zu formen.

[0017] Ein solches Zylindersegment oder ein entsprechender Zylinder werden so dimensioniert, daß sie in ein formstabiles, dichtes Außenhüllrohr eingesetzt werden können und somit die Kapillarstrukturschicht mit dem entsprechenden, in Haupttransportrichtungen der Flüssigkeit verlaufenden Kanäle bilden. Hierbei kann die Kapillarstrukturschicht so dimensioniert werden, daß sie sich gegen die Innenwand des Außenhüllrohrs verspannend anlegt.

[0018] Mit einem Einsatzteil, das aus einem plattenförmigen Grundelement entlang der Sollbiegestellen gebogen wird, kann weiterhin erreicht werden, daß die Kapillarstrukturschicht linienförmig im Bereich der Sollbiegestellen an der Innenwand des Außenhüllrohrs anliegt. Demzufolge werden zwischen den radial außenliegenden Seiten der Flächenabschnitte dieser Kapillarstrukturschicht und der gekrümmten Innenfläche des Außenhüllrohrs weitere Hohlräume gebildet, die in Achsrichtung des Außenhüllrohrs verlaufen, die als zusätzliche Kapillare bzw. Kanäle, je nach der Dimensionierung, wirken. Auch mit diesen zusätzlichen Hohlräumen kann die Transportleistung erhöht werden.

[0019] V-förmige Querschnitte der Kanäle sind bevorzugt, da durch diese Querschnittsform die Kapillarwirkung unterstützt wird.

[0020] Um die angegebene Kapillarstrukturschicht mit Porenstruktur zu erzeugen, werden vorzugsweise Pulverpartikel eingesetzt, die während des Beschichtungsvorgangs oberflächlich angeschmolzen werden. Durch den Grad des Anschmelzens kann dann eine offene und/oder teilweise geschlossene Porenstruktur eingestellt werden. Weiterhin kann durch den Grad des Anschmelzens die Porenstruktur mit einem Gradienten versehen werden, in dem über die Dicke der Schicht gesehen eine offenere oder geschlossenere Porenstruktur erzeugt wird. Dies kann dadurch erfolgen, daß der Grad des Anschmelzens der Oberfläche der Pulverpartikel, die schichtweise zur Erzeugung der Kapillarstrukturschicht aufgebracht werden, mit einem höheren oder geringeren Grad in der Oberfläche angeschmolzen werden. Bevorzugt wird hierbei eine Schicht erzeugt, deren Poren zur radial innenliegenden Seite hin geschlossener sind als zur radial außenliegenden Seite hin, die an dem Außenhüllrohr, falls ein solches eingesetzt wird, zur Anlage kommt.

[0021] Es hat sich gezeigt, daß die Kapillarstrukturschicht vorteilhaft mit einem Hochfrequenzplasmaspritzverfahren erzeugt werden kann, wobei dies noch bevorzugter im Vakuum vorgenommen wird. Mit dem Hochfrequenzplasmaspritzverfahren kann ein definiertes Anschmelzen der Oberflächenschicht der einzelnen Pulverpartikel erfolgen. Die Verfahrenspara-

ter können einfach im Hinblick auf Leistung, Druck in der Beschichtungskammer, Flammabstand zu der Schicht, geändert werden, um dadurch den Anschmelzgrad der Oberfläche und damit die hervorgerufene Porenstruktur zu ändern. Auch stellt die Wahl der Partikelgröße einen die Porenstruktur beeinflussenden Faktor dar. Die Partikelgrößen sollten im Bereich von 10 µm bis 800 µm liegen, wobei eine Partikelgröße zwischen 100 µm und 250 µm zu bevorzugen ist. Der Porenradius der einzelnen Poren, der zwischen den aneinandergeschmolzenen Pulverpartikeln gebildet wird, sollte im Bereich von 20 µm bis 500 µm liegen.

[0022] Sofern Abstände zwischen Flamme/Plasma und Substrat angegeben sind, beziehen sich diese auf das Ende des jeweiligen Brenners.

[0023] Es ist ersichtlich, daß der erzielbare Porenradius auch durch die maximalen Partikelgrößendurchmesser stark beeinflusst wird, da gerade bei großen Partikeln, die im Bereich von bis zu 800 µm liegen, ein definiertes Anschmelzen der Oberfläche erfolgt.

[0024] Durch den Anteil an Partikeln mit geringem Durchmesser, die hierbei vollständig aufschmelzen können, kann die Verbindung zwischen den einzelnen Partikeln beeinflusst werden; außerdem kann durch eine entsprechende Zugabe von feinpulvrigeren Partikeln der Anteil an geschlossenen Poren erhöht werden.

[0025] Mit der angegebenen Verfahrensweise können Dicken der Kapillarstrukturschicht im Bereich von 10 µm bis 10 mm erzeugt werden. Weiterhin ist es möglich, die Kapillarstrukturschicht mit Pulvern aus Metallen und/oder Metallegierungen zu bilden; es können aber auch Pulver aus Keramikmaterialien eingesetzt werden.

[0026] Ein effektiver Aufbau der Anordnung mit einer hohen Transportleistung kann dadurch erreicht werden, daß die Kapillarstruktur aus einzelnen, plattenförmigen Segmenten einer bestimmten Segmentbreite a zusammengesetzt wird, die eine im Querschnitt gesehen polygonförmige Struktur bilden, die ihrerseits in ein Außenhüllrohr mit dem Innenradius R eingesetzt wird, wobei in radialer Richtung gesehen zwischen den einzelnen plattenförmigen Segmenten und den jeweiligen Abschnitten des Kreisbogens des Außenhüllrohrs eine Spaltbreite h gebildet ist. Diese Spalten zwischen den plattenförmigen Segmenten und dem Kreisbogenabschnitt entlang des Innenradius des Außenhüllrohrs bilden zusätzliche Kanäle bzw. Kapillare, die sich in der Haupttransportrichtung erstrecken und zum Transport von Flüssigkeit genutzt werden. Die Spaltbreite h sollte unter Anpassung des Innenradius R eines rohrförmigen Hüllrohrs und der Segmentbreite a der einzelnen Segmente so dimensioniert werden, daß sie maximal 500 µm beträgt, wobei Innenradius R , Segmentbreite a und Spaltbreite h der Bedingung

$$a = 2 \sqrt{R^2 - (R-h)^2}$$

genügen.

[0027] Formkörper, um die Kapillarstrukturschicht(en) aufzubauen, werden vorzugsweise aus Graphit gebildet. Für ein Ablösen der Kapillarstrukturschicht, die auf solche Formkörper mittels Flammsspritzen aufgebracht ist, sollte zuvor auf den Formkörper eine Trennschicht aufgebracht werden; eine solche Trennschicht kann aus Bornitrid gebildet werden.

[0028] Das Flammsspritzen, insbesondere das Hochfrequenzflammsspritzen, sollte in Wasserstoffatmosphäre erfolgen, um Restsauerstoff zu reduzieren, eine Oxidhautbildung dadurch zu verringern, was zu einer kontrollierteren Porenbildung der oberflächlich angeschmolzenen Partikeln führt. Weiterhin ist es für ein gutes Ablösen der auf den Formkörper aufgespritzten Kapillarstrukturschicht von Vorteil, einen Formkörper aus einem Material einzusetzen, der einen größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist als das Beschichtungspulver. Ein Beispiel hierfür ist ein Beschichtungspulver aus einer Nickel-Basis-Legierung, während der Formkörper dann, um einen größeren, thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu erzielen, aus V2A oder CuNi90/10 gebildet wird.

[0029] Die in den rohrförmigen Hüllkörper eingesetzte Kapillarstruktur kann zusätzlich durch einen Lötvorgang, beispielsweise mit Hilfe von Lötfolien, an der Innenwand des Hüllrohrs befestigt werden, um einen guten Kontakt zwischen Kapillarstruktur und Behälterwandung zu erzeugen.

[0030] Weitere, bevorzugte Ausführungsformen der Anordnung ergeben sich aus den beigefügten Unteransprüchen; dies gilt sowohl für die Anordnung als auch für das angegebene Verfahren zur Herstellung der Kapillarstrukturschicht.

[0031] Weitere Einzelheiten und Merkmale der erfindungsgemäßen Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften sowie das entsprechende Verfahren zum Herstellen einer Kapillarstrukturschicht ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. In der Zeichnung zeigt

Figur 1 schematisch einen Querschnitt durch ein Wärmerohr gemäß einer ersten Ausführungsform,

Figur 2 einen Querschnitt durch ein Wärmerohr gemäß einer zweiten Ausführungsform,

Figur 3 drei Verfahrensabschnitte A, B und C zum Herstellen einer Kapillarstrukturschicht, wie sie in den Wärmerohren der Figuren 1 und 2 eingesetzt ist,

Figur 4 eine schematische Darstellung der Partikel, die auf einem Träger aufgebracht sind, im Bereich einer Fugestelle des Trägers, und

Figur 5 eine der Figur 4 entsprechende Schnittdar-

stellung, wobei im Bereich der Fügestelle auch in dem Träger eine Nut bzw. ein Kanal ausgebildet ist.

[0032] Die Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften, wie sie in Figur 1 dargestellt ist, umfaßt ein äußeres Hüllrohr 1, dessen Achse mit dem Bezugszeichen 2 bezeichnet ist, sowie eine in das Hüllrohr 1 eingesetzte Kapillarstrukturschicht 3. Die innere Kapillarstrukturschicht 3 umfaßt einzelne Segmentteile 4, die jeweils durch eine mit ihrer Öffnungsseite nach innen weisenden V-förmigen Nut 5 getrennt sind.

[0033] Die Kapillarstrukturschicht 3 bzw. die Segmentteile 4 sind offenporige, durch thermisches Spritzen von Pulverpartikeln aufgebaute Schichten. Zum Transport von Flüssigkeiten wird nicht nur die kapillare Struktur, gebildet durch die offene Porosität der einzelnen Pulverpartikel der Segmentteile 4, ausgenutzt, sondern es werden zusätzlich durch die V-förmigen Nuten Kanäle gebildet, die einen erhöhten Flüssigkeitstransport in der Haupttransportrichtung, die in der Richtung der Achse 2 verläuft, bewirken. Mit einem solchen Aufbau einer Kapillarstruktur, gebildet durch die Kapillarstrukturschicht 3, verbunden mit den V-förmigen Kanälen, ergibt sich eine Kombination von Bereichen hoher Kapillarität mit solchen niedriger Druckverluste. Die Kapillarstrukturschicht 3 mit den V-förmigen Kanälen bzw. Nuten 5 hat die Besonderheit, daß die Nuten bzw. Kanäle 5 im Bereich von Fügstellen, entlang derer die einzelnen Segmentteile 4 aneinandergefügt sind, gebildet sind. Hierzu werden fertigungstechnisch die einzelnen Segmentteile 4 mit einer mit Fase versehenen Kante 6 ausgestattet, so daß dann die jeweils aneinanderstoßenden Segmentteile 4 aufgrund der abgeschrägten oder mit Fase versehenen Kante 6 jeweils die Nut 5 belassen. Diese Segmentteile 4 mit den abgeschrägten Kanten können spritztechnisch hergestellt werden, indem diese Segmentteile auf einer entsprechenden Form gespritzt werden. Es ist auch möglich, gegebenenfalls die Segmentteile geringfügig nachzuarbeiten, um diese Fase 6 an den jeweiligen Kanten zu erzielen.

[0034] Eine weitere Besonderheit der Ausführungsform, wie sie in Figur 1 dargestellt ist, ist diejenige, daß die jeweiligen Segmentteile 4 der Kapillarstrukturschicht 3 jeweils nur linienförmig an dem Außenhüllrohr 1, in Richtung der Achse 2 gesehen, anliegen, während zwischen der Basisfläche 7 mit der Segmentbreite a und dem Innenradius des Hüllrohrs 1, der mit R bezeichnet ist, ein Spalt mit der Breite, in radialer Richtung gesehen, h verbleibt. Dieser Spalt kann zusätzlich zum Transport von Flüssigkeit ausgenutzt werden. Allerdings sollte hierbei unter Berücksichtigung des eingesetzten Fluids und seines Benetzungswinkels zum Wandmaterial eine Spaltbreite $h < 500 \mu\text{m}$, vorzugsweise $< 250 \mu\text{m}$, betragen, so daß die kapillare Wirkung eines solchen Spalts ausgenutzt werden kann. Folglich sollte zwischen der Stegbreite a, dem Radius R und der

Spaltbreite h, der Bedingung

$$a = 2 \sqrt{R^2 - (R-h)^2}$$

mit der vorstehend angegebenen Einhaltung der maximal zulässigen Spaltbreite h gefolgt werden. Beispielsweise ergeben sich für eine maximale Spaltbreite von h von $100 \mu\text{m}$ für den Radius R und die Stegbreite a folgende Werte:

R [mm]	10	25	50	100
a [mm]	2,82	4,46	6,32	8,94

[0035] Falls kleine Schichtdicken der Kapillarstrukturschicht bzw. der Segmente 4 und relativ große Radien gewählt werden, so kann die Kapillarstrukturschicht 3 unter geringer Vorspannung in das Hüllrohr eingesetzt werden, so daß sich die einzelnen Segmentteile 4 gegeneinander verspannen.

[0036] Figur 2 zeigt eine Ausführungsform, bei der die Kapillarstrukturschicht 3 in ein Hüllrohr, ebenfalls mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet, eingesetzt ist, das eine im Querschnitt gesehene, Polygonform zeigt, wobei die einzelnen Flächenabschnitte des Hüllrohrs 1 der Außenfläche 7 der Segmentteile 4 zugeordnet sind. Die einzelnen Segmentteile 4 liegen entsprechend flächig an dem Außenhüllrohr an, so daß in dieser Ausführungsform keine Spalte 8 zwischen der Außenfläche 7 der Segmentteile 4 und der Innenfläche des Außenhüllrohrs 1 gebildet werden.

[0037] Die Kapillarstrukturschicht 3 in Figur 2 kann an dem Außenhüllrohr 1 mittels Lot oder einer Lotfolie fest verbunden werden, falls dies erforderlich ist.

[0038] Figur 3 zeigt in drei Phasen, mit A, B und C bezeichnet, die spritztechnische Herstellung der Kapillarstrukturschicht 3, wie sie in den Figuren 1 und 2 zu sehen ist. Zunächst wird, wie die Phase A zeigt, ein Formkörper 9, beispielsweise aus Graphit, einem Metall oder einer Keramik, bereitgestellt, und zwar als Negativform. Dieser Formkörper 9 weist im Querschnitt dreieckförmige Stege 10 auf, die in ihrem Querschnitt etwa den V-förmigen Nuten oder Kanälen 5 der Figuren 1 und 2 entsprechen. Anschließend wird eine Pulverfraktion mit definierter Partikelgröße, die vorzugsweise im Bereich von $100 \mu\text{m}$ bis $250 \mu\text{m}$ liegt, in Flamspritztechnik aufgebracht, in einer bevorzugten Form mittels einem Hochfrequenzplasmaspritzverfahren. Hierbei werden die Oberflächen der einzelnen Pulverpartikel angeschmolzen und durch den jeweiligen Grad des Anschmelzens wird die Porosität der Kapillarstrukturschicht 3 bestimmt. Insbesondere läßt sich letztlich durch den Grad des Anschmelzens und die Partikelgröße die offene Porosität dieser Kapillarstrukturschicht einstellen. Nachdem die Kapillarstrukturschicht 3 auf dem Formkörper 10 hergestellt ist, wird sie abgelöst, wie die Phase B zeigt. Hierbei ist, aufgrund des Formkör-

pers 10, auch an den beiden Enden bzw. Stirnseiten eine Schräge bzw. Fase 11 ausgebildet. Die einzelnen V-förmigen Nuten 5 der Kapillarstrukturschicht 3 bilden Sollbiegestellen, entlang derer dann die Kapillarstrukturschicht 3 zu einer Polygonform, wie sie in der Phase C dargestellt ist, gebogen wird. Die beiden mit Fase versehenen Stirnseiten 11 der Kapillarstrukturschicht, wie sie in der Phase B dargestellt ist, ergänzen sich dann im Bereich einer Fügestelle zu einem entsprechenden Kanal 5 der Kapillarstrukturschicht 3, die in Figur 3C gezeigt ist.

[0039] Es ist ersichtlich, daß bereits mit einer oder mit zwei Fügstellen eine oder zwei der V-förmigen Kanäle 5 gebildet werden können, ohne daß dazu besondere Bearbeitungsschritte, insbesondere Nachbearbeitungsschritte, an der Kapillarstrukturschicht 3 notwendig wären. Dies gilt auch dann, wenn die Kapillarstrukturschicht 3 aus mehr als zwei schalenförmigen Teilen aufgebaut wird, d.h. auch dann, wenn die einzelnen Segmentteile 4 jeweils als gesonderte Bauteile gespritzt werden und dann zu der Kapillarstrukturschicht 3 zusammengesetzt werden.

[0040] Figur 4 zeigt schematisch einen Schnitt durch einen Träger bzw. ein Substrat 12, bei dem es sich um ein Außenhüllrohr 1 handeln kann, wie es in den Ausführungsformen der Figuren 1 und 2 dargestellt ist, im Bereich einer Fügestelle 13. In dieser Ausführungsform wurde vor dem Fügen auf die jeweiligen Substrateile 12 zunächst eine Kapillarstrukturschicht 3 aus Pulverpartikeln, die eine definierte Partikelgrößenverteilung besitzt, flammspritztechnisch aufgebracht. Die beiden Kapillarstrukturschichten 3 wurden dabei etwa durch ein Formteil beim Spritzen so maskiert, daß an der Stirnseite eine Fase 6 gebildet wird. Beim Flammspritzen werden die Oberflächen der Pulverpartikel definiert angeschmolzen, so daß über den Grad des Anschmelzens eine offene Porosität der Kapillarstrukturschicht 3 eingestellt wird. Nachdem die jeweiligen Substrate 12 mit den darauf aufgetragenen Kapillarstrukturschichten 3 fertiggestellt sind, wird eine Fügung der beiden Substrate entlang der Fügestelle 13 vorgenommen, wobei sich dann die Fasen 6 an den jeweiligen Kapillarstrukturschichten entlang dieser Fügestelle zu einer V-förmigen Nut bzw. einem V-förmigen Kanal 5 ergänzen.

[0041] In Figur 5 ist eine mit der Figur 4 vergleichbare Ausführungsform gezeigt. In diesem Fall ist allerdings eine Fase 6 unmittelbar an der Kante der jeweiligen Substrate 12, die zu der Kapillarstrukturschicht 3 weist, ausgebildet. In diesem Ausführungsbeispiel wird folglich der Kanal 5 nicht nur durch einen Freiraum bzw. eine Abschrägung der Seitenkante der Kapillarstrukturschicht 3 gebildet, sondern auch durch die entsprechend gefaste Kante des Substrats 12. Eine zusätzliche V-Nut auf der Außenseite der Substrate 12 dient dazu, die beiden Teile miteinander, beispielsweise durch eine Schweißnaht, zu verbinden.

[0042] Mit dem dargestellten Aufbau eines Wärmerohrs ergeben sich folgende Vorteile:

[0043] Die Kapillarstrukturschicht kann spritztechnisch aufgebaut werden, mit einer definierten, einstellbaren Porosität, die insbesondere über den Grad des Anschmelzens der Oberfläche der verwendeten Pulverpartikel sowie der eingesetzten Pulverfraktion mit definierten Partikeldurchmessern erhalten werden kann; gleichzeitig können, ohne eine aufwendige, mechanische oder sonstige Nachbearbeitung, Kanäle in Haupttransportrichtung des Wärmeträgermediums gebildet werden, indem mindestens eine Fügestelle, entlang derer die Kapillarstrukturschicht gefügt wird, mit einer Fase versehen wird, um dadurch den entsprechenden Kanal zu bilden. Spritztechniken können durch Bereitstellen einer Negativform, die zu den zu bildenden Kanälen entsprechende Erhebungen besitzt, solche Kanäle nicht nur an Fügstellen integriert werden, sondern sie können auch über die Fläche der Kapillarstrukturschicht verteilt werden. Durch Bereitstellen entsprechender Formen sind nicht nur Kanäle oder Rillen ausbildbar, die in Längsrichtung des Wärmerohrs verlaufen, sondern solche Kanäle können auch spiralförmig in schalenförmigen Negativformen erzeugt werden.

25 Patentansprüche

1. Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften, die einen rohrförmigen Querschnitt und einen inneren und/oder äußeren, sich in Längsrichtung des rohrförmigen Querschnitts erstreckenden Kapillarstruktur, die durch eine offenporige, durch thermisches Spritzen von Pulverpartikeln aufgebaute Schicht gebildet ist, aufweist,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Kapillarstruktur als Bauteil durch thermisches Spritzen gebildet ist, das mindestens eine Fügestelle aufweist, wobei die Fügestelle als Kanal ausgebildet ist, indem mindestens eine der beiden Fügeanten der Fügestelle eine Fase aufweist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Bauteil aus mindestens zwei halbschalenförmigen Segmentteilen zusammengesetzt ist, wobei entlang jeder der beiden Fügstellen jeweils ein Kanal durch mindestens eine Fase an einer der Fügeanten gebildet ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** entlang der Fügestelle beide Fügeanten mit jeweils einer Fase versehen sind, die zusammen einen sich ergänzenden Kanal bilden.
4. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** um den Umfang der Kapillarstrukturschicht verteilt weitere Zwischenkanäle in Form von Nuten, in Haupttransportrichtung der Flüssigkeit verlaufend, gebildet sind.

5. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fasen nur an einem Teil der Fügekanten in Bezug auf die Kapillarstrukturschichtdicke gebildet sind.
6. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kapillarstrukturschicht durch ein als Platte vorgefertigtes Teil mit Nuten gebildet ist, wobei das plattenförmige Teil entlang Sollbiegestellen im Bereich der Nuten zu einem rohrförmigen Bauteil gebogen ist und in ein formstabiles, dichtes Außenhüllrohr eingesetzt ist.
7. Anordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kapillarstrukturschicht so dimensioniert ist, daß sie sich gegen die Innenwand des Außenhüllrohrs verspannend anlegt.
8. Anspruch nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kapillarstrukturschicht linienförmig im Bereich der Sollbiegestellen an der Innenwand des Außenhüllrohrs anliegen und daß zwischen den radial außenliegenden Seiten der Flächenabschnitte der Kapillarstrukturschicht und der gekrümmten Innenfläche des Außenhüllrohrs ein als Kapillare wirkender Hohlraum gebildet ist.
9. Anordnung nach Anspruch 1 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kanäle einen halb-V-förmigen Querschnitt aufweisen.
10. Anordnung nach Anspruch 1 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kanäle einen V-förmigen Querschnitt aufweisen.
11. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Pulverpartikel zur Erzeugung der Porenstruktur oberflächlich angeschmolzen sind und durch den Grad des Anschmelzens eine offene und/oder teilweise geschlossene Porenstruktur gebildet ist.
12. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Poren zur radial innenliegenden Seite hin geschlossener sind als zur radial außenliegenden Seite hin.
13. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kapillarstrukturschicht durch ein Hochfrequenzplasmaspritzverfahren erzeugt ist.
14. Anordnung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kapillarstrukturschicht im Vakuum erzeugt ist.
15. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Partikelgröße im Bereich von 10 µm bis 800 µm liegt.

16. Anordnung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Partikelgröße zwischen 100 µm und 250 µm liegt.
- 5 17. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Porenradius 20 µm bis 500 µm beträgt.
- 10 18. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Dicke der Kapillarstrukturschicht 10 µm bis 10 mm beträgt.
- 15 19. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Pulver aus Metallen und/oder Metallegierungen gebildet ist.
- 20 20. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Pulver aus Keramik gebildet ist.
- 25 21. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kapillarstruktur aus einzelnen plattenförmigen Segmenten einer bestimmten Segmentbreite a zusammengesetzt ist, die eine im Querschnitt gesehen polygonförmige Struktur bilden, die ihrerseits in ein Außenhüllrohr und in den Innenradius R eingesetzt ist, wobei in radialer Richtung gesehen zwischen den einzelnen plattenförmigen Segmenten und den jeweiligen Abschnitten des Kreisbogens des Außenhüllrohrs eine Spaltbreite h gebildet ist.
- 30 22. Anordnung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Spaltbreite h unter Anpassung des Innenradius R eines rohrförmigen Hüllrohrs und der Segmentbreite a der einzelnen Segmente so dimensioniert wird, daß sie maximal 500 µm unter Berücksichtigung des eingesetzten Fluids und der Transportlänge beträgt, wobei Innenradius R, Segmentbreite a und Spaltbreite h folgender Bedingung genügen
- 35
$$a = 2 \sqrt{R^2 - (R-h)^2}$$
- 40 23. Anordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die mindestens zwei halbschalenförmigen Segmentteile auf entsprechende Halbschalen oder Zylinderhälften unmittelbar aufgespritzt sind.
- 45 24. Anordnung nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** die beiden Teile nur an die Halbschalen oder Zylinderhälften verbunden sind.
- 50 25. Anordnung nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Fase an einer Kante der Halbschalen oder Zylinderhälften gebildet ist.

26. Verfahren zur Herstellung einer Kapillarstrukturschicht für die Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,

daß ein Formkörper bereitgestellt wird, auf dem Stege gebildet sind, die in ihrer Querschnittsform und Positionierung den zu erzeugenden Kanälen in der Kapillarstrukturschicht angepaßt sind,

5

daß der Formkörper mit einer durch Plasmaspritzen von Pulverpartikeln aufgebauten Schicht beschichtet wird unter Erzeugung einer Porenstruktur,

10

wobei die Pulverpartikel zur Erzeugung der Porenstruktur während der schichtweisen Beschichtung oberflächlich angeschmolzen werden und durch den Grad des Anschmelzens eine offene oder teilweise geschlossene Porenstruktur gebildet wird.

15

20

27. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Formkörper eine Platte eingesetzt wird.

25

28. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Formkörper mindestens ein Zylindermantelsegment eingesetzt wird.

30

29. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Formkörper ein spiralförmiges Zylindermantelsegment eingesetzt wird.

30. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stege im Querschnitt dreieckförmig sind, wobei durch diese Querschnittsform V-förmige Nuten in dem Formkörper gebildet werden.

35

31. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Formkörper aus Graphit gebildet ist.

40

32. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** unmittelbar auf dem Formkörper eine Trennschicht aufgebracht wird.

45

33. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Trennschicht aus Bornitrid gebildet wird.

50

34. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Spritzen unter einer Schutzgasatmosphäre erfolgt

55

35. Verfahren nach Anspruch 34, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Schutzgasatmosphäre ein Reduktionsmittel, insbesondere H_2 , zugegeben wird.

36. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Formkörper einen größeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, als das Beschichtungspulver.

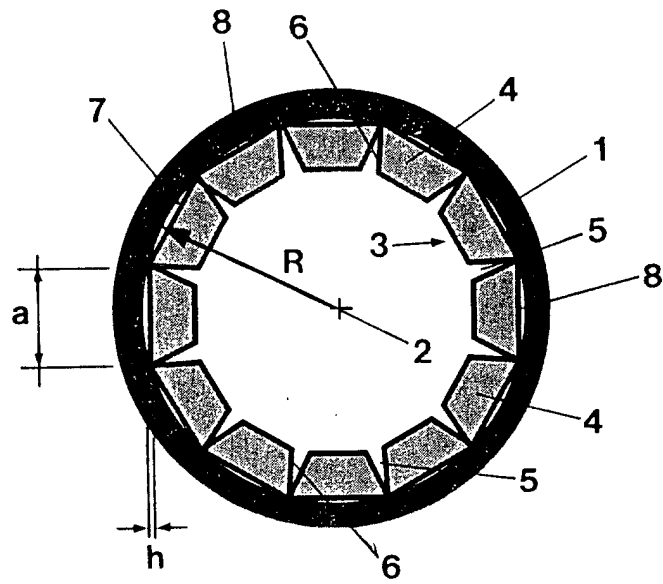


FIG. 1

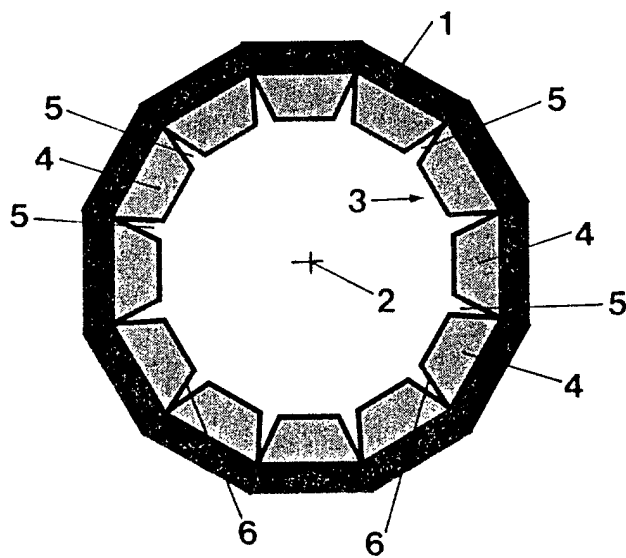


FIG. 2

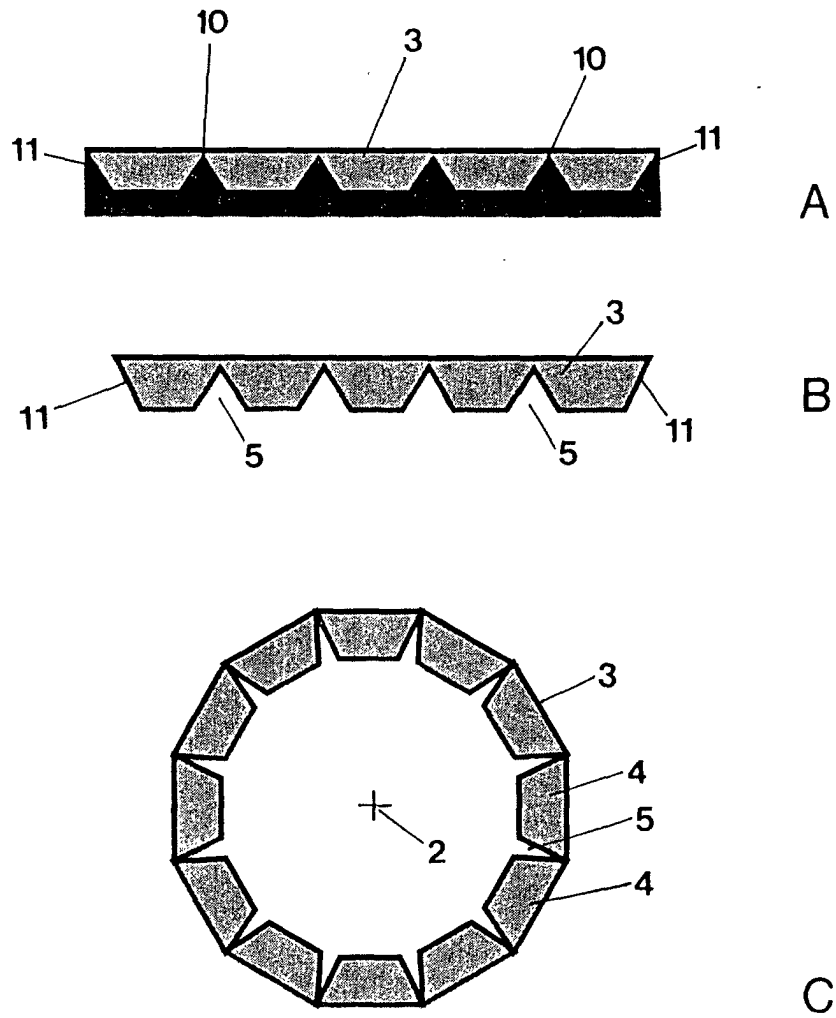


FIG. 3

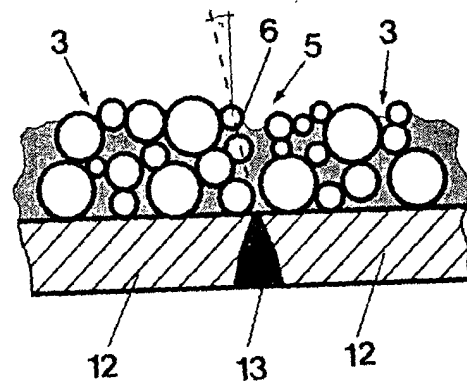


FIG. 4

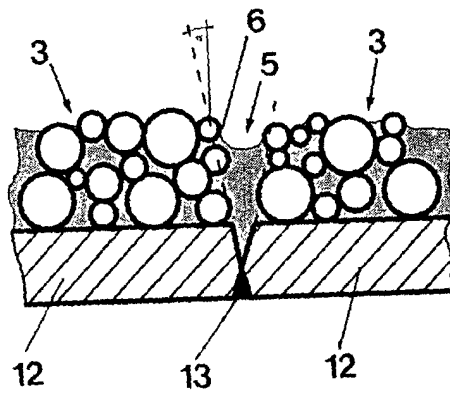


FIG. 5