

(19)



österreichisches
patentamt

(10)

AT 501 341 A1 2006-08-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 135/2004**(22) Anmeldetag: **30.01.2004**(43) Veröffentlicht am: **15.08.2006**(51) Int. Cl.⁸: **F02K 9/64** (2006.01),**F02K 9/97** (2006.01),**F23R 3/00** (2006.01),**F28F 3/12** (2006.01)

(30) Priorität:

30.01.2003 FR 0301040 beansprucht.

(73) Patentanmelder:

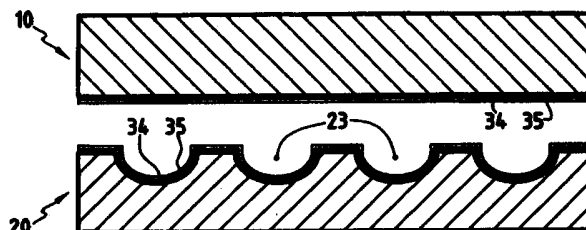
SNECMA PROPULSION SOLIDE
F-33187 LE HAILLAN CEDEX (FR)

(72) Erfinder:

LARRIEU JEAN-MICHEL
MACAU (FR)
UHRIG GILLES
PYLA SUR MER (FR)
THEBAULT JACQUES
BORDEAUX (FR)
BOUQUET CLEMENT
BORDEAUX (FR)

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER KÜHLTADEL AUS THERMOSTRUKTUR-KOMPOSITWERKSTOFF**

(57) Zur Herstellung einer aktiven Kühltafel aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff wird auf der Innenseite eines ersten Teils (20) aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, wobei das Teil Hohlreliefs aufweist, die Kanäle (23) bilden, und auf der Innenseite eines zweiten Teils (10) aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, die dazu bestimmt ist, gegen die Innenseite des ersten Teils gelegt zu werden, eine metallische Beschichtung (34, 35) gebildet. Das erste und das zweite Teil werden durch Verbinden der Innenseiten untereinander durch Warmpressen, insbesondere heißisostatisches Pressen zusammengefügt, so dass eine Kühltafel aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff mit eingebauten Zirkulationskanälen entsteht. Die Erfindung kann auch auf die Herstellung von Wärmeaustauscherwänden angewandt werden, wie zum Beispiel Verbrennungskammerwände von Luftfahrtmotoren oder Expansionsdüsen von Raketentriebwerken oder Plasmaeinschlusskammern in Kernfusionsreaktoren.



AT 501 341 A1 2006-08-15

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Herstellung einer aktiven Kühltafel aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff wird auf der Innenseite eines ersten Teils (20) aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, wobei das Teil Hohlreliefs aufweist, die Kanäle (23) bilden, und auf der Innenseite eines zweiten Teils (10) aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, die dazu bestimmt ist, gegen die Innenseite des ersten Teils gelegt zu werden, eine metallische Beschichtung (34, 35) gebildet. Das erste und das zweite Teil werden durch Verbinden der Innenseiten untereinander durch Warmpressen, insbesondere heißisostatisches Pressen zusammengefügt, so dass eine Kühltafel aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff mit eingebauten Zirkulationskanälen entsteht.

Die Erfindung kann auch auf die Herstellung von Wärmeaustauscherwänden angewandt werden, wie zum Beispiel Verbrennungskammerwände von Luftfahrtmotoren oder Expansionsdüsen von Raketentriebwerken oder Plasmaeinschlusskammern in Kernfusionsreaktoren.

(Figur 4)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer aktiven Kühltafel aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff.

Unter "aktiver Kühltafel" wird hier eine Tafel verstanden, die von einem Kühlmittel durchlaufen wird, das die Wärme, die von der Tafel aufgenommen wird, wenn sie großer Hitze oder hohen Wärmeströmungen ausgesetzt wird, zumindest partiell ableiten kann.

Unter Thermostruktur-Kompositwerkstoff versteht man hier einen Kompositwerkstoff, der mechanische Eigenschaften hat, die ihn befähigen, Strukturelemente zu bilden, und der die Fähigkeit aufweist, diese mechanischen Eigenschaften bei hoher Temperatur zu wahren. Die Thermostruktur-Kompositwerkstoffe sind üblicherweise Kompositwerkstoffe des Typs Kohlenstoff/Kohlenstoff (C/C), die eine Verstärkungsstruktur aus Kohlenstofffaser umfassen, die durch eine Kohlenstoffmatrix verdichtet wird. Die Kompositwerkstoffe mit Keramikmatrix (CMC) umfassen eine Verstärkungsstruktur aus feuerfesten Fasern (insbesondere Kohlenstoff- oder Keramikfasern), die durch eine Keramikmatrix verdichtet werden.

Die Erfindung findet insbesondere Anwendung für Verbrennungskammerwände von Luftfahrtmotoren, die von einem Kühlmittel durchlaufen werden, das der in die Kammer eingespritzte Kraftstoff sein kann, oder für Wände von Expansionsdüsen von Raketentriebwerken, die von Flüssigkeit gekühlt werden, die ein Ergol sein kann, das in die Verbrennungskammer von Raketentriebwerken eingespritzt wird, oder auch für Plasmaeinschlusskammerwände in Kernfusionsreaktoren.

Bei den genannten Anwendungen funktioniert die Tafel zwischen ihren hohen Temperaturen oder Wärmeströmungen ausgesetzten Seite und der Flüssigkeit, von der sie durchflossen wird, wie ein Wärmetauscher.

Die Verwendung aktiver Kühltafeln aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff für solche Wärmeaustauscherwände erlaubt es, den Betrieb der Systeme, die diese Wärmeaustauscher enthalten, auf höhere Temperaturen zu erweitern und/oder die Dauerhaftigkeit dieser Systeme zu steigern. Nun kann die Steigerung der Betriebstemperatur eine Steigerung der Leistungen erlauben, insbesondere der Leistung für Verbrennungskammern oder der Düsen von Luft- oder Raumfahrtmotoren sowie eine Reduzierung der verunreinigenden Emissionen bei Luftfahrtmotoren.

Die Herstellung eines Teils aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff umfasst im Allgemeinen die Erzeugung einer faserigen porigen Vorform mit einer Form, die der Form des herzustellenden Teils ähnelt, und die Verdichtung dieser Vorform.

Die Verdichtung kann mittels des sog. "Flüssigverfahrens" oder mittels des sog. "Gasverfahrens" erfolgen.

Die Verdichtung mittels des Flüssigverfahrens besteht im Imprägnieren der Vorform durch eine Vorläuferflüssigkeit des Werkstoffs der Matrix, wobei der Vorläufer im Allgemeinen ein Harz ist, und im Umformen des Vorläufers, gewöhnlich durch Wärmebehandlung.

Das Gasverfahren, auch "chemische Infiltration in Dampfphase" genannt, besteht darin, die Vorform in eine Einschließung zu geben und in diese Einschließung eine reaktive Gasphase einzulassen, die sich unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen innerhalb der Porosität der Vorform verteilt und dort eine feste Ablagerung durch Zerfall eines oder mehrerer Bestandteile der Gasphase oder Reaktion zwischen mehreren Bestandteilen bildet.

Beide Verfahren, das Flüssigverfahren und die chemische Infiltration in Dampfphase, sind bekannt und können vereint werden, zum Beispiel durch Durchführen einer Vorverdichtung oder Konsolidierung der Vorform durch das Flüssigverfahren, gefolgt von einer chemischen Infiltration in Dampfphase.

Ungeachtet des verwendeten Verdichtungsverfahrens weisen Thermostruktur-Kompositwerkstoffe eine Restporosität auf, so dass sie nicht allein zum Bilden von Kühltafeln mit inneren Durchgängen, durch die eine Flüssigkeit fließt, verwendet werden können, denn die Wände solcher Durchgänge sind nicht dicht.

Um diese Schwierigkeit zu überwinden und eine aktive Kühlung durch Flüssigkeitszirkulation mit der Verwendung poriger feuerfester Werkstoffe kombinieren zu können, wurden mehrere Lösungen vorgeschlagen.

Eine erste Lösung besteht darin, eine Tafel herzustellen, die eine vordere Platte aus Graphit auf der den hohen Temperaturen exponierten Seite hat, und eine hintere Metallplatte herzustellen, insbesondere aus Stahl, in der Kühlmittelzirkulationskanäle ausgebildet werden. Die beiden Platten werden durch Löten mit Einfügen von Metallschichten zusammengefügt, die eine Anpassung zwischen den unterschiedlichen Wärmedehnungskoeffizienten von Stahl und Graphit erlauben.

Allerdings ist die Gegenwart von Massivmetall hinsichtlich des Gewichts der Kühltafel nachteilig. Außerdem beschränkt die Länge des Wärmeverlaufs durch die Graphitplatte und die Metallplatte die Kühlkapazität auf der Ebene der exponierten Oberfläche.

Eine weitere Lösung besteht darin, Durchgänge innerhalb eines Thermostruktur-Kompositwerkstoffblocks auszubilden und die Wände dieser Durchgänge durch Löten eines Metallfutters, zum Beispiel aus Kupfer, abzudichten.

Eine weitere Lösung besteht darin, zwei Platten aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff herzustellen, von welchen eine Kanäle aufweist, die in ihre Fläche gearbeitet und dazu bestimmt sind, mit einer Seite gegenüber der anderen Platte zusammengefügt zu werden, wobei das Zusammenfügen durch Löten erfolgt.

Die beiden letztgenannten Lösungen sind zwar hinsichtlich des Gewichts und der Verringerung des Wärmeverlaufs zufriedenstellend, es können jedoch Probleme durch Rissbildung des Metallfutters oder der Lötstelle infolge wiederholter Expositionen mit sehr hohen Temperaturen auftreten.

GEGENSTAND UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Gemäß einem ihrer Aspekte hat die Erfindung die Aufgabe, ein Verfahren zur Herstellung einer aktiven Kühltafel aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff zu liefern, die eine effiziente und dauerhafte Abdichtung gegen ein Fluid aufweist, das in den inneren Durchgängen der Tafel zirkuliert.

Diese Aufgabe wird von einem Verfahren mit den folgenden Schritten gelöst:

- Bereitstellen eines ersten Teils aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, das eine Innenseite hat, die Hohlreliefs aufweist, die Kanäle bilden,
- Bilden einer metallischen Beschichtung auf der Fläche des ersten Teils,
- Bereitstellen eines zweiten Teils aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, das eine Innenseite hat, die dazu bestimmt ist, auf die Innenseite des ersten Teils gelegt zu werden,
- Bilden einer metallischen Beschichtung auf der Innenseite des zweiten Teils,
- Zusammenfügen des ersten und des zweiten Teils durch Verbinden der Innenseiten untereinander derart, dass eine Kühltafel

aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff mit eingebauten Zirkulationskanälen gebildet wird, wobei das

- Verbinden der Teile durch Verbinden der Innenseiten durch Warmpressen erfolgt.

Die Verbindung kann durch heißisostatisches Pressen oder Pressen der Teile mit der Warmpresse erfolgen.

Ein solches Verbindungsverfahren weist den Vorteil auf, dass die Anwendung eines Flüssigverfahrens vermieden wird, wie das beim Löten der Fall ist, wobei die erforderliche Temperatur weniger hoch ist als beim Löten. Die Kontinuität der metallischen Beschichtung wird dadurch besser gewahrt.

Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens verwendet man für das Verbinden durch Warmpressen mindestens einen Teil der metallischen Beschichtungen, die auf den Innenseiten des ersten und des zweiten Teils geformt sind, wobei die metallischen Beschichtungen gleichzeitig eine Abdicht- und eine Verbindungsfunktion erfüllen können.

Als Variante oder Ergänzung für die Verbindung durch Warmpressen kann zwischen die Innenseiten der Teile, die mit einer metallischen Beschichtung versehen sind, eine Metallfolie eingefügt werden, um gegebenenfalls auf der Seite mindestens einer der Innenseiten der zusammengefügt Teile eine noch bessere Abdichtung garantieren zu können.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform des Verfahrens kann das Ausbilden der metallischen Beschichtungen auf den Innenseiten der Teile das Bilden einer ersten und einer zweiten übereinander liegenden Ablagerung umfassen, wobei die erste Ablagerung eine Funktion als Reaktionsbarriere zwischen den Bestandteilen des Thermostruktur-Kompositwerkstoffs und der zweiten Ablagerung und/oder eine Anpassungsfunktion erfüllen kann, und wobei die

zweite Ablagerung an der Verbindung zwischen den Teilen durch Warmpressen beteiligt sein kann.

Vorzugsweise besteht die erste Ablagerung aus Rhenium, Molybdän, Wolfram, Niob oder Tantal. Wenn die zusammenzufügenden Teile aus einem Thermostruktur-Kompositwerkstoff bestehen, der Silizium enthält, besteht die erste Ablagerung vorzugsweise aus Rhenium.

Das Metall der metallischen Schicht, die die Verbindung durch Warmpressen erlaubt, kann aus Nickel, Kupfer, Eisen oder einer Legierung mindestens eines oder mehrerer dieser Metalle bestehen. Vorzugsweise wird Nickel oder eine Nickellegierung verwendet.

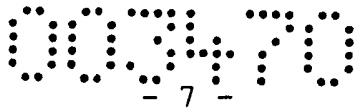
Die metallische Abdichtungsbeschichtung wird vorteilhafterweise durch Abscheiden aus der Dampfphase oder durch Plasmazerstäuben gebildet.

Gemäß einer weiteren besonderen Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Innenseiten der Teile durch heißisostatisches Pressen mit einer Metallfolie mit einer metallischen Beschichtung versehen.

Das erste Teil kann mit einer Metallfolie zusammengefügt werden, die zuvor so geformt wurde, daß sie sich an die Hohlreliefs der Innenseite des ersten Teils anschmiegt bzw. anpasst.

Die Folie, die die metallische Beschichtung bildet, besteht vorzugsweise aus Niob, Molybdän, Wolfram oder Tantal.

In vorteilhafter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vor dem Bilden der metallischen Beschichtung auf den Innenseiten der zusammenzufügenden Teile eine Behandlung zur Verringerung der Porosität der Oberfläche des Thermostruktur-



Kompositwerkstoffs auf der Ebene mindestens einer der Innenseiten vorgenommen.

Eine solche Verringerung der Porosität kann durch Auftragen einer Suspension, die ein keramisches Pulver und einen Vorläufer aus keramischem Werkstoff in Lösung enthält, auf die Fläche mindestens einer der Innenseiten der Teile und anschließendes Umwandeln des Vorläufers in keramischen Werkstoff erfolgen.

Der Vorläufer des keramischen Werkstoffs kann ein Polymer sein, das vor dem Umwandeln in Keramik durch Wärmebehandlung vernetzt wird.

Nach dem Umwandeln des Vorläufers in keramischen Werkstoff und vor dem Ausbilden der metallischen Beschichtung, kann man eine keramische Ablagerung durch Abscheiden oder chemische Infiltration in Dampfphase auf der Ebene der Innenseiten der zusammenzufügenden Teile ausführen, um auf der Oberfläche eine dünne und kontinuierliche Schicht Keramik zu bilden.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden rein beispielhaften und nicht beschränkenden Beschreibung in Verbindung mit der Zeichnung.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 zeigt perspektivisch zwei Teile, die zum Bilden einer aktiven Kühltafel bestimmt sind.

Fig. 2 - 7 zeigen rein schematische Schnittansichten, die aufeinander folgende Schritte einer ersten Durchführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens ausgehend von den Teilen gemäß Fig. 1 erläutern.

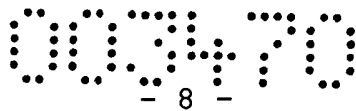


Fig. 8 -10 zeigen rein schematische Schnittansichten sind, die aufeinander folgende Schritte einer weiteren Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erläutern.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VERSCHIEDENER AUSFÜHRUNGSFORMEN

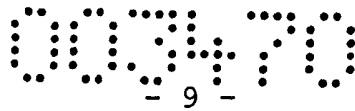
Ein erster Schritt des Verfahrens besteht darin, zwei Teile aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff bereitzustellen, von denen mindestens eines eine Seite hat, in der Hohlreliefs geformt sind, die Kanäle bilden, um durch Zusammenfügen der beiden Teile eine Kühltafel zu bilden.

Figur 1 zeigt zwei solche Teile 10 und 20 in Plattenform. Die Teile 10 und 20 besitzen Innenseiten 11, 21, über welche sie zusammengefügt werden sollen, und Außenflächen 12, 22, die den Innenseiten gegenüberliegen.

Im dargestellten Beispiel werden in der Innenseite 21 des Teils 20 Hohlreliefs geformt, die Kanäle 23 mit in etwa halbkreisförmigem Querschnitt bilden, wobei die Innenseite 11 des Teils 10 keine solchen Reliefs aufweist.

Als Variante könnten die Hohlreliefs in beiden Innenseiten 11 und 21 in Zonen geformt werden, die einander derart gegenüberliegen, daß jeder Kanal durch Vereinen zweier einander gegenüberliegender Hohlreliefs gebildet werden kann.

Wenn die Kanäle nur in einem Teil geformt werden, wählt man vorzugsweise das Teil aus, dessen Außenfläche dazu bestimmt ist, bei der Verwendung der Kühltafel dem Wärmefluss exponiert zu sein, um so den Wärmeweg zwischen dieser exponierten Seite und einem Kühlmittel, das in den Kanälen zirkuliert, zu verringern.



Im dargestellten Beispiel erstrecken sich die Kanäle auf dem größten Teil der Länge des Teils 20 und münden an ihren Enden in Sammler, die von Hohlreliefs 14, 15 gebildet werden, die in der Innenseite 11 des Teils 10 angelegt sind. Bohrungen 16, 17, die sich in die Sammler und an der Außenfläche 12 des Teils 10 öffnen, verbinden die Sammler mit Zu- und Ableitungen des Kühlmittels oder mit Anschlüssen weiterer Kühltafeln.

Das Teil 10 kann auf der Ebene der Reliefs 14, 15 erhöhte Dicken aufweisen, um eine zu starke lokale Reduzierung der Dicke des Teils zu vermeiden.

Die Sammler können auch durch Kombinieren von Reliefs gebildet werden, die in den Innenseiten 11 und 21 der Teile 10 und 20 geformt werden.

Als Variante können die Kanäle 23 mindestens ein Ende haben, das an einem seitlichen Ende des Teils 20 mündet. Nach dem Bilden der Kühltafel können diese mündenden Enden der Kanäle dann über Anschlüsse entweder mit einem Sammler außerhalb der Tafel oder mit ähnlichen Kanälen einer daneben liegenden Tafel verbunden werden.

Wenngleich in der der Zeichnung nur vier Kanäle 23 dargestellt sind, kann ihre Anzahl natürlich auch (viel) größer sein.

Die Teile 10 und 20 können je nach erwünschter Endform der Kühltafel eine allgemeine Parallelepipipedform haben oder gebogen sein.

Die Teile bestehen aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff C/C oder CMC. Für Anwendungen bei sehr hoher Temperatur, insbesondere in oxidierendem Milieu, wird die Verwendung von CMC bevorzugt, üblicherweise Kompositwerkstoffe mit Verstärkung aus Siliziumkarbidfasern (SiC) oder Kohlenstoff und mit SiC-Matrix oder

mit einer Matrix, die mindestens eine externe Phase aus SiC umfasst. Die Kanäle und Sammler können durch Bearbeiten geformt werden.

Ungeachtet des verwendeten Thermostruktur-Kompositwerkstoffs, weist dieser eine Restporosität auf, insbesondere eine Oberflächenporosität wie in Figur 2 rein schematisch dargestellt. Vor dem Zusammenfügen der Teile ist es daher von Nutzen, eine Abdichtung der Innenseiten herzustellen.

Vor dem Herstellen dieser Abdichtung kann man vorteilhafterweise eine Verringerung der Oberflächenporosität der Innenseiten der zusammenzufügenden Teile vornehmen. Diese Porositätsverringerung kann, wenn die Abdichtungsanforderung bei einer anderen Innenseite weniger hoch ist, auf nur einer der Innenseiten durchgeführt werden. Das kann bei einer aktiven Kühltafel für Verbrennungskammerwand der Fall sein, wenn das verwendete Kühlmittel ein Kraftstoff ist und ein Leck auf der Seite der Verbrennungskammer in einem gewissen Ausmaß zulässig ist.

Die Verringerung der Porosität kann durch Auftragen einer Suspension, die solide Füllstoffe in Form keramischen Pulvers und eines Keramikvorläufers in Lösung umfasst, auf der Innenseite eines oder jedes betroffenen Teils und anschließendes Umwandeln des Vorläufers in keramischen Werkstoff erfolgen. Der Vorläufer kann ein Polymer sein, das vernetzt und dann durch Wärmebehandlung in Keramik umgewandelt wird. Beispielsweise kann man als Vorläufer ein Polycarbosilan (PCS) oder Polytitanocarbosilan (PTCS) Vorläufer des SiC verwenden, das in einem Lösemittel, zum Beispiel Xylen in Lösung gegeben wird. Das keramische Pulver trägt dazu bei, ein effizientes Füllen der Oberflächenporosität sicherzustellen. Man kann zum Beispiel ein SiC-Pulver verwenden.

Die flüssige Zusammensetzung kann mit der Bürste oder Pistole aufgetragen werden, wobei die Menge Lösemittel ausgewählt wird,

um ein leichtes Auftragen zu erlauben und das Eindringen der flüssigen Zusammensetzung in die Oberflächenporosität zu begünstigen.

Nach dem Auftragen der flüssigen Zusammensetzung und Trocknen durch Eliminieren des Lösemittels, nimmt man das Vernetzen des Vorläuferpolymers und dann die Umwandlung in Keramik vor. Im Fall des PCS kann das Vernetzen zum Beispiel durch Anheben der Temperatur bis auf etwa 350 °C und das Keramisieren durch Anheben der Temperatur bis auf etwa 900 °C durchgeführt werden.

Nach dem Keramisieren kann man eventuell ein Nachschneiden der Oberfläche des Teils vornehmen, um zu seiner ursprünglichen Geometrie zurückzukehren.

Das Detail der Figur 3 zeigt sehr schematisch das Füllen der Porosität erzielt durch den Werkstoff 31, der den Keramisierungssrest und das keramische Pulver umfasst.

Vorteilhafterweise kann das Füllen der Porosität auch durch Bilden einer keramischen Ablagerung, zum Beispiel SiC, durch chemische Infiltration in Dampfphase ergänzt werden, was es erlaubt, eine gleichförmige und kontinuierliche Beschichtung 32 zu erzielen, die auf dem Kompositwerkstoff verankert ist (Figur 3).

Eine solche kontinuierliche Beschichtung trägt nicht nur zur Verringerung der Oberflächenporosität bei, sie kann auch eine Reaktionsbarriere bilden, die eine Wechselwirkung zwischen einer metallischen Ablagerung, die anschließend gebildet wird, und Bestandteilen des Kompositwerkstoffs, insbesondere der Fasern zur Verstärkung, wenn diese Fasern aus Kohlenstoff sind, vermeiden kann.

Es sei angemerkt, dass der Füllprozess der Porosität durch Ablagern einer Suspension, die ein keramisches Pulver und ein Polymer, Vorläufer von Keramik enthält, Umwandeln des Vorläufers in

Keramik, Nachschneiden und dann Bilden einer keramischen Beschichtung durch chemische Infiltration in Dampfphase in der französischen Patentanmeldung auf den Namen der Anmelderin dieser Patentanmeldung mit der Bezeichnung "Verfahren zur Behandlung einer Oberfläche eines Teiles aus Thermostruktur-Komposit-Material und dessen Anwendung beim Löten von Teilen aus Thermostruktur-Komposit-Material" beschrieben ist.

Nach dem eventuellen Füllen der Oberflächenporosität wie oben beschrieben, wird eine metallische Beschichtung auf den Innenseiten der Teile geformt.

Die metallische Beschichtung hat insbesondere eine Abdichtfunktion. Sie trägt vorteilhafterweise auch zur Verbindung zwischen den Teilen bei.

Gemäß einer ersten Ausführungsform des Verfahrens umfasst die metallische Beschichtung eine erste Schicht 34 eines Metalls, das vorteilhafterweise eine Funktion der chemischen Reaktionsbarriere gegenüber dem darunter liegenden Werkstoff und/oder eine Funktion des Anpassens hat, und eine zweite metallische Schicht 35, die eine Fähigkeit zum Verbinden durch Warmpressen hat (Figur 4).

Die zweite Schicht kann aus einem Metall bestehen, das aus Nickel, Kupfer, Eisen oder einer Legierung mindestens einer dieser ausgewählt wird. Nickel (Ni) oder eine Nickellegierung weisen die Vorteile einer guten Wärmeleitfähigkeit, einer guten Verbindungsfähigkeit durch Warmpressen und einer hohen Schmelztemperatur auf, die beim Verbinden durch Warmpressen ein Übergehen in den flüssigen Zustand vermeidet.

Die erste Schicht kann aus einem Metall bestehen, das aus Rhenium, Molybdän, Wolfram und Tantal ausgewählt wird. Bei einem Thermostruktur-Kompositwerkstoff mit SiC-Matrix und faseriger

Verstärkung aus Kohlenstoff oder SiC und/oder wenn zuvor eine SiC-Beschichtung ausgebildet wurde, weist Rhenium den Vorteil auf, dass es mit SiC nicht reagiert. Es weist außerdem eine gute Leitfähigkeit auf und hat eine hohe Schmelztemperatur, die bei der späteren Verbindung durch Warmpressen vermeidet, dass ein Übergehen in den flüssigen Zustand auftritt. Rhenium hat außerdem einen Dehnungskoeffizienten, der zwischen demjenigen von SiC und Ni liegt, und bildet daher außerdem eine Schicht zur mechanischen Anpassung, wenn die zweite metallische Schicht zumindest teils aus Ni besteht.

Die Ablagerungen der ersten und der zweiten metallischen Schicht erfolgen nacheinander. Es können bekannte Ablagerungsverfahren des Typs Abscheiden aus der Dampfphase oder Plasmazerstäuben verwendet werden.

Vor dem Verbinden der Teile durch Warmpressen kann eine Metallfolie 36 (Figur 5) zwischen den Innenseiten gegenüber den Teilen eingefügt werden. Die Metallfolie legt sich im dargestellten Beispiel an die Innenseite des Teils 10, die mit der metallischen Abdichtbeschichtung versehen ist. Die Folie 36 besteht vorzugsweise aus dem gleichen Werkstoff wie die zweite metallische Schicht der metallischen Abdichtbeschichtung, also zum Beispiel aus Ni.

Die Gegenwart der Folie 36, deren Stärke zum Beispiel zwischen 0,05 mm und 0,2 mm liegt, garantiert eine gute Abdichtung auf der Ebene der Innenseite 11 des Teils 10, wenn eine absolute Dichtigkeit erforderlich ist. Das kann dann der Fall sein, wenn die Kühltafel eine Verbrennungskammerwand ist, die von einem Kraftstoff durchströmt wird, der als Kühlmittel wirkt, und wenn das Teil 10 der hintere Teil der Tafel ist, das heißt der am weitesten von der Verbrennungskammer entfernte Teil.

Die Verbindung der Teile untereinander, nach eventuellem Einfügen der Folie 36, wird durch Warmpressen ausgeführt. Dazu können bekannte Verfahren verwendet werden, wie zum Beispiel das Fügeverfahren durch heißisostatisches Pressen (auch als HIP - "Hot Isostatic Pressing" bekannt) oder ein Pressverfahren mit einer Warmpresse.

Die Verbindung durch heißisostatisches Pressen erfolgt dadurch, dass die zusammenzufügenden Elemente gegeneinander in eine Umschließung gegeben werden, wobei die Teile in einem dichten Mantel 37 (Figur 6) verkapselt werden. Die Temperatur und der Druck werden anschließend in der Umschließung im wesentlichen gleichförmig angehoben. Die Verbindung erfolgt durch gegenseitige Ausbreitung des Metalls zwischen den zwei metallischen Schichten der metallischen Beschichtungen oder zwischen diesen und der Metallfolie, wenn eine solche Folie eingefügt wurde. Der dichte Mantel, der die Teile einkapselt, besteht zum Beispiel aus einer Metallfolie 37, wie zum Beispiel einem Film aus Niob oder auch Nickel, aus Eisen oder einer Legierung dieser. Die Abdichtung des Mantels kann in an sich bekannter Weise durch Schweißen der Folie erfolgen, wobei diese aus mehreren untereinander verschweißten Teilen bestehen kann. Werkzeugelemente, wie zum Beispiel Graphitplatten 38, 39, können zwischen der Folie 37 und den Außenflächen der Teile 10, 20 eingefügt werden, um das Einprägen des Metalls der Folie 37 in diese Oberflächen infolge des heißisostatischen Pressens zu vermeiden, wenn die Gegenwart dieses Metalls auf diesen Oberflächen für die Kühltafel unerwünscht ist.

Die Verbindung durch Pressen mit der Presse erfolgt durch Anheben der Temperatur der zusammenzufügenden Teile und durch Pressen der Teile gegeneinander unter Druck auf ihre Außenseiten in einer Presse.

Der für das Verbinden durch Warmpressen verwendete Druck liegt zum Beispiel zwischen 80 MPa und 120 MPa. Die Temperatur hängt von der Beschaffenheit der metallischen Schicht ab, die als Verbindung zwischen den Teilen dient. Sie ist deutlich geringer als die Schmelztemperatur des Metalls dieser metallischen Schicht, typischerweise zwischen 60 % und 80 % dieser Schmelztemperatur.

Falls die einander berührenden metallischen Schichten aus Nickel bestehen, wird die Temperatur sowohl für die Verbindung durch heißisostatisches Pressen als auch für die Verbindung durch Pressen der Teile mit der Warmpresse insbesondere zwischen 900 °C und 1200 °C gewählt.

Figur 7 zeigt die erhaltene Kühltafel 40. Zu bemerken ist, dass sich die Folie 36 als nützlich erweist, um die totale Abdichtung der Seite der Innenseite des Teils 10 in den nicht durch das Warmpressen verbundenen Zonen zu garantieren.

Das Fehlen des Übergangs in den flüssigen Zustand der metallischen Beschichtungen bei der Verbindung durch Warmpressen erlaubt es den Beschichtungen, ihre Kontinuität zu wahren, und zwar auch auf den Wänden der Kanäle 23.

Bei einer zweiten Ausführungsform des Verfahrens sind die Innenseiten der Teile 10 und 20 mit einer metallischen Beschichtung durch heißisostatisches Pressen nach eventuellem Füllen der Oberflächenporosität wie weiter oben beschrieben versehen.

Dazu werden die Teile 10 und 20, wie in Figur 8 gezeigt, in dichten metallischen Mänteln 42, 44 verkapselt, die aus dem Metall gebildet sind, das ausgewählt wurde, um die metallischen Beschichtungen auf den Innenseiten 11, 12 zu bilden. Man verwendet ein Metall, das in Form von Folien in geringer Dicke, üblicherweise zwischen 0,1 und 0,5 mm, vorliegt. Das Metall muss auch schweißbar sein, um das dichte Kapseln der Teile zu er-

lauben, und zäh, um sich zum Verbinden durch heißisostatisches Pressen zu eignen.

Da die Kühltafel normalerweise für Anwendungen mit hoher Temperatur bestimmt ist, wählt man vorzugsweise ein feuerfestes Metall aus, zum Beispiel Niob, Molybdän, Wolfram, Tantal oder Rhenium.

Um, falls erwünscht, das Bilden der metallischen Beschichtungen auf die Innenseiten 11, 21 zu beschränken, können die anderen Außenflächen der Teile 10, 20 mit Werkzeugelementen, wie zum Beispiel Graphitplatten 45, 46 und 47, 48 versehen werden, die zwischen diese anderen Außenflächen und die Mäntel 42, 44 eingefügt werden.

Die damit gekapselten Teile 10, 20 werden in einer Umschließung aufgenommen, in der der Druck und die Temperatur allmählich so angehoben werden, dass die Verbindung durch heißisostatisches Pressen zwischen den Innenseiten 11, 22 und den Teilen Metallfolie, die sich gegenüber befinden, erfolgt. Wie weiter oben angegeben, liegt der verwendete Druck zum Beispiel zwischen 80 MPa und 120 MPa, und die Temperatur zum Beispiel zwischen 60 % und 80 % der Schmelztemperatur des Metalls der Mäntel 42, 44.

Beim isostatischen Warmpressen verformt sich die Folie des Mantels 44, um sich an die Form der Kanäle 23 zu schmiegen. Dadurch ergibt sich eine Verringerung der Stärke der Folie in den an den Wänden der Kanäle 23 zusammengefügt Zonen.

Um diese Verringerung der Stärke und das Auftreten eventueller Spannungen an den von den Kanten der Kanäle 23 geformten Winkeln zu vermeiden, kann man für den Teil des Mantels 44, der sich gegenüber der Innenseite 21 des Teils 20 befindet, eine Folie verwenden, die so vorgeformt ist, dass sie sich an die Hohlreliefs der Kanäle 23 schmiegt.

Die so auf ihren Innenseiten mit metallischen Beschichtungen 50, 52 versehenen Teile 10, 20 werden durch Verbinden zwischen ihren Innenseiten zusammengefügt.

Die Verbindung kann durch heißisostatisches Pressen erfolgen. Man kann wie weiter oben beschrieben unter Bezugnahme auf Figur 6 vorgehen, indem man die gegeneinander gesetzten Teile in einem metallischen Mantel 54 (Figur 9), zum Beispiel aus Niob, Nickel oder Eisen oder aus einer Folie aus einer Legierung dieser Metalle, verkapselt. Werkzeugelemente, wie zum Beispiel Graphitplatten 55, 56, können zwischen die Außenseiten der Teile 10, 20 und den Mantel 54 eingefügt werden.

Eine Metallfolie, zum Beispiel aus Niob, kann zwischen die metallischen Beschichtungen 50, 52 wie im Fall der Figur 6 eingefügt werden.

Als Variante kann die Verbindung durch Warmpressen der Teile gegeneinander in einer Presse erfolgen. Der Druck und Temperatur, die für das heißisostatische Pressen oder Pressen mit der Warmpresse verwendet werden, können wie weiter oben festgelegt sein.

Figur 10 zeigt die erzielte Kühltafel 60, wobei die metallischen Beschichtungen 50, 52 zur Abdichtung der Kanäle und Verbindung zwischen den Teilen beitragen.

Beispiel

Teile 10 und 20, die mit denen in der Figur 1 dargestellten vergleichbar sind, werden aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff C/SiC hergestellt, wobei die Kanäle und Sammler durch Bearbeiten gebildet werden.

Eine Verringerung der Porosität der inneren Oberflächen der Teile wird durch Auftragen einer Zusammensetzung auf die Oberfläche mit einer Bürste erreicht, wobei die Zusammensetzung ein SiC-Pulver mit mittlerer Granulometrie von etwa 9 Mikrometer in einer Lösung von Polycarbosilan (PCS) in Xylen enthält.

Nach dem Lufttrocknen werden ein Vernetzungsschritt des PCS bei etwa 350 °C und dann seine Umwandlung in SiC durch Anheben der Temperatur bis auf etwa 900 °C vorgenommen.

Eine dünne SiC-Beschichtung mit einer Stärke von etwa gleich 100 Mikrometer wird danach durch chemische Infiltration in Dampfphase aufgebracht, wobei diese Beschichtung auf der gesamten Außenoberfläche der Teile 10, 20 und nicht nur auf der Ebene der Innenseiten der Teile ausgebildet wird. Kombiniert mit dem Keramisierungsrest des PCS verbunden mit den SiC-Pulvern, trägt die SiC-Beschichtung dazu bei, eine effiziente Verringerung der Porosität zu gewährleisten.

Metallische Ablagerungen von Rhenium und dann Nickel werden nacheinander durch Abscheiden aus der Dampfphase auf den inneren Oberflächen der Teile gebildet, wobei die metallischen Ablagerungen jeweils eine Stärke von etwa 50 Mikrometer haben.

Die Verbindung der Teile wird durch heißisostatisches Pressen ausgeführt. Dazu werden die Teile mit ihren Innenseiten aneinander gelegt und in einer Niobfolie mit einer Stärke gleich 0,5 mm mit Einfügen von Graphitplatten zwischen den Außenflächen der

Teile und der Niobiumfolie verkapselt. Das heißisostatische Pressen erfolgt unter einem Druck von etwa 90 MPa und bei einer Temperatur von etwa 1 000 °C.

Durchgeführte Tests haben eine gute Abdichtung der Wände der Kanäle und eine gute Qualität der Verbindung zwischen den Teilen aufgezeigt, wobei die Bruchfestigkeit auf der Ebene der Verbindung etwa 70 MPa unter Scher- und 30 MPa unter Zugbeanspruchung beträgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer aktiven Kühltafel, mit folgenden Schritten: - Bereitstellen eines ersten Teils (20) aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, das eine Innenseite (21) hat, die Hohlreliefs aufweist, die Kanäle (23) bilden,
 - Bilden einer metallischen Beschichtung (34-35; 52) auf der Seite (21) des ersten Teils,
 - Bereitstellen eines zweiten Teils (10) aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff, das eine Innenseite (11) hat, die dazu bestimmt ist, auf die Innenseite (21) des ersten Teils (20) gelegt zu werden,
 - Bilden einer metallischen Beschichtung (34-35; 50) auf der Innenseite (11) des zweiten Teils (10) und
 - Zusammenfügen des ersten und des zweiten Teil miteinander durch Verbinden der Innenseiten untereinander derart, dass eine Kühltafel aus Thermostruktur-Kompositwerkstoff mit eingebauten Zirkulationskanälen erhalten wird,
 - dadurch gekennzeichnet,
 - dass die Teile (10, 20) durch Verbinden zwischen den Innenseiten (11, 21) durch Warmpressen zusammengefügt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung durch heißisostatisches Pressen hergestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung durch Pressen der Teile mit der Warmpresse hergestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verbindung durch Warmpressen zumindest ein Teil der metallischen Beschichtungen verwendet wird, die auf den Innenseiten des ersten und des zweiten Teils geformt sind.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verbindung durch Warmpressen eine metallische Folie (36) zwischen die Innenseiten (11, 21) der Teile (10, 20) eingefügt wird, die mit einer metallischen Beschichtung versehen sind.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Bilden der metallischen Beschichtungen das Bilden einer ersten und einer zweiten übereinanderliegenden Ablagerung (34-35) umfasst,
- wobei die erste Ablagerung (34) eine Reaktionsbarrierefunktion zwischen den Bestandteilen des Thermostruktur-Kompositwerkstoffs und der zweiten Ablagerung und/oder eine Anpassungsfunktion hat und
 - wobei die zweite Ablagerung (35) an der Verbindung zwischen den Teilen durch Warmpressen beteiligt ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ablagerung (34) aus Rhenium, Molybdän, Wolfram, Niob oder Tantal besteht.
8. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das erste und das zweite zusammenzufügende Teil aus Kompositwerkstoff bestehen, der Silizium enthält, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ablagerung aus Rhenium besteht.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall der metallischen Schicht (35), das die Verbindung durch Warmpressen erlaubt, Nickel, Kupfer, Eisen oder eine Legierung mindestens eines dieser Metalle ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Metall, das die Verbindung durch Warmpressen erlaubt, Nickel oder eine Legierung auf Nickelbasis ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die metallische Dicht-Beschichtung (34-35) zumindest teilweise durch Abscheiden aus der Dampfphase gebildet wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die metallische Dicht-Beschichtung (34-35) zumindest teilweise durch Plasmazerstäuben gebildet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenseiten (11-21) der Teile (10, 20) durch heißisostatisches Pressen mit einer Metallfolie (42, 44) mit einer metallischen Beschichtung versehen werden.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Teil (20) mit einer Metallfolie zusammengefügt wird, die zuvor so geformt wurde, daß sie sich an die Hohlreliefs der Innenseite des ersten Teils anpasst.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie (42, 44), die die metallische Beschichtung bildet, aus Niob, Molybdän, Wolfram, Tantal oder Rhenium besteht.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Bilden der metallischen Beschichtung auf den Innenseiten (11, 21) der zusammenzufügenden Teile (10, 20) eine Behandlung zur Verringerung der Oberflächenporosität des Thermostruktur-Kompositwerkstoffs auf der Ebene mindestens einer der Innenseiten durchgeführt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Behandlung zum Verringern der Porosität die folgenden Schritte umfasst:

- Auftragen einer Suspension auf der Oberfläche mindestens einer der Innenseiten der zusammenzufügenden Teile (10, 20) wobei die Suspension ein keramisches Pulver und einen Vorläufer von keramischem Werkstoff in Lösung enthält,
- Umwandeln des Vorläufers in keramischen Werkstoff.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Vorläufer von keramischem Werkstoff ein Polymer ist, das vernetzt ist und durch Wärmebehandlung in Keramik umgewandelt wird.

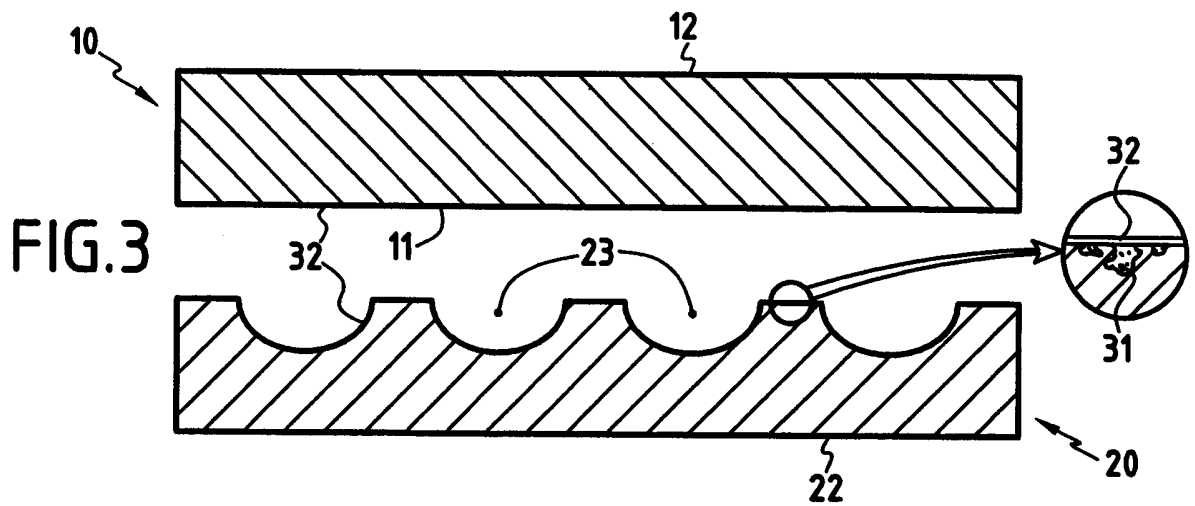
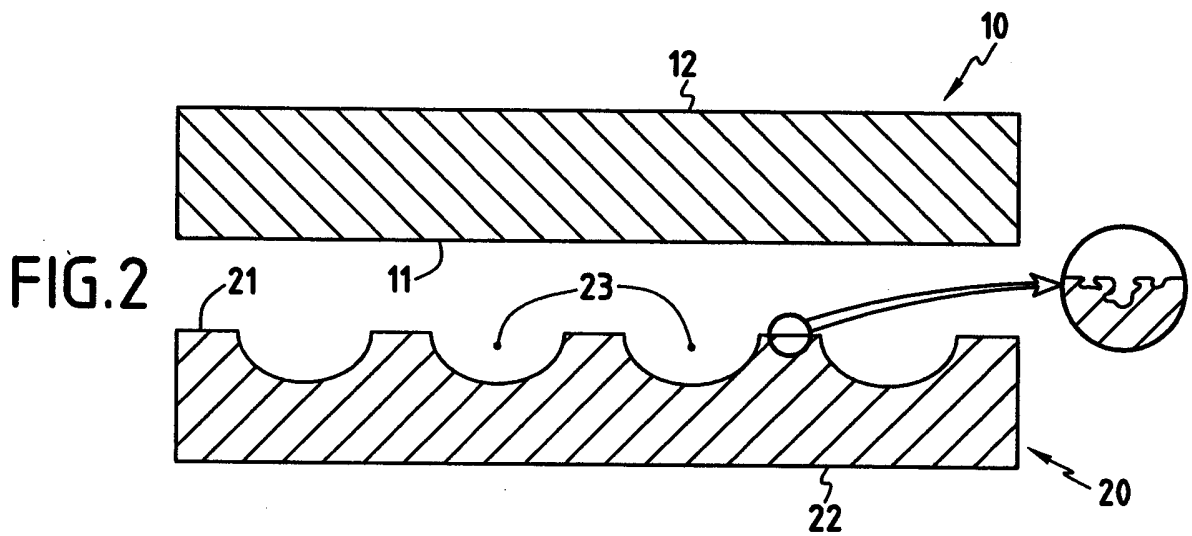
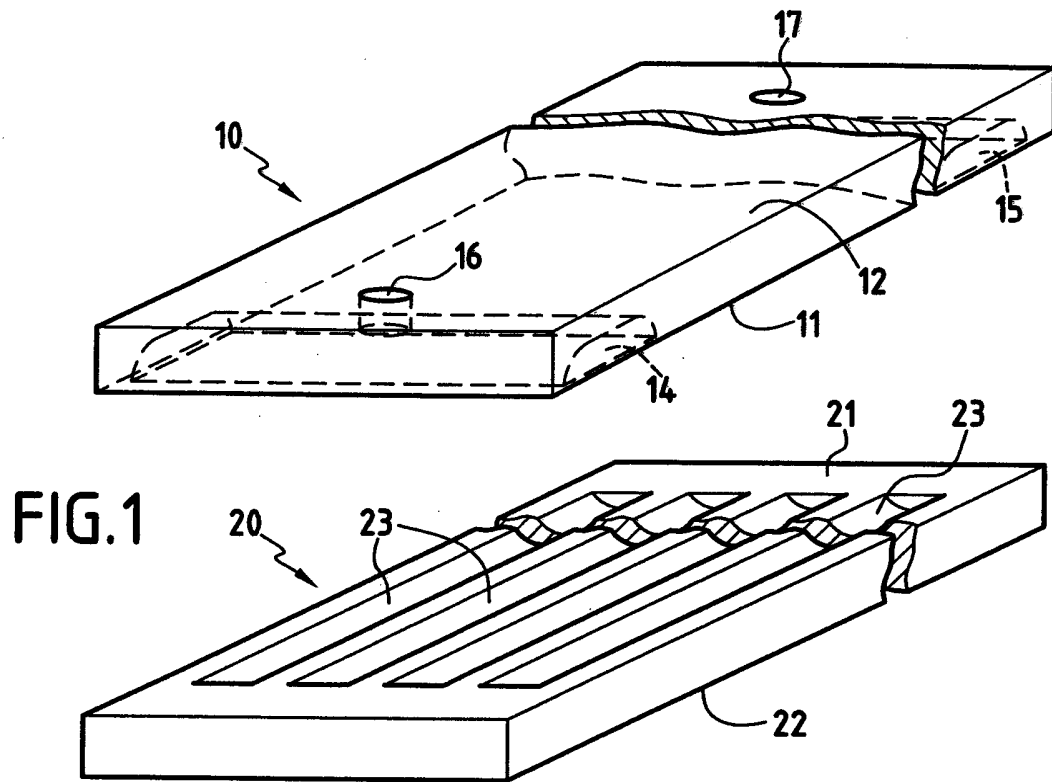
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 und 18, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Umwandeln des Vorläufers in keramischen Werkstoff und vor dem Bilden der metallischen Beschichtung eine keramische Ablagerung (32) durch Abscheiden oder chemische Infiltration in Dampfphase auf der Ebene der Innenseiten der zusammenzufügenden Teile gebildet wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die zusammenzufügenden Teile (10, 20) aus Kompositwerkstoff mit Keramikmatrix bestehen.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die zusammenzufügenden Teile (10, 20) aus keramischem Werkstoff mit einer Matrix bestehen, die zumindest teilweise aus Siliziumkarbid besteht.

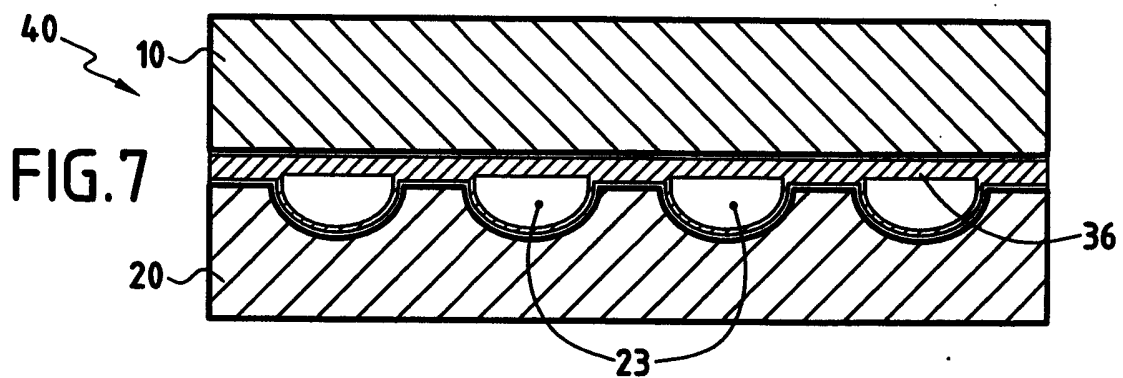
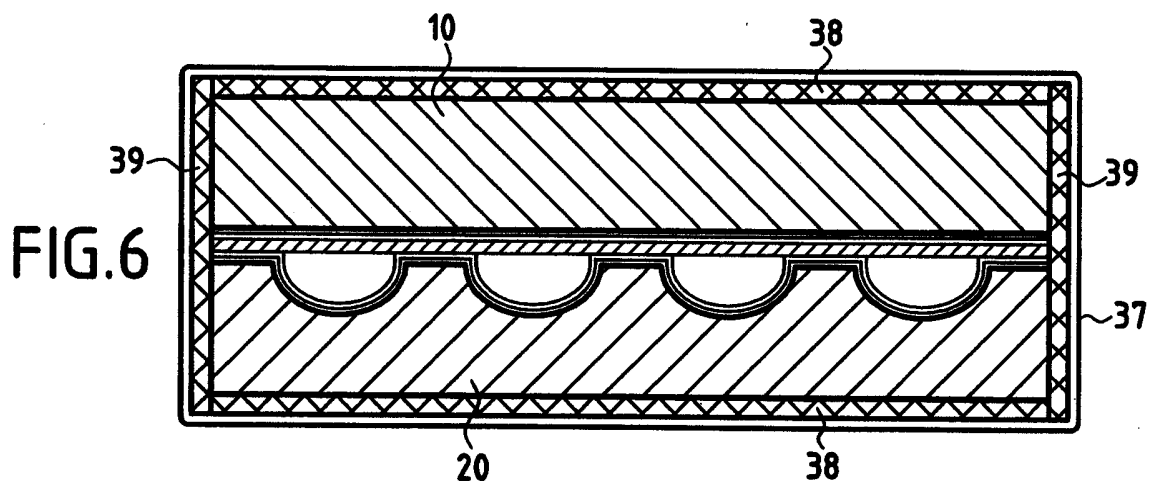
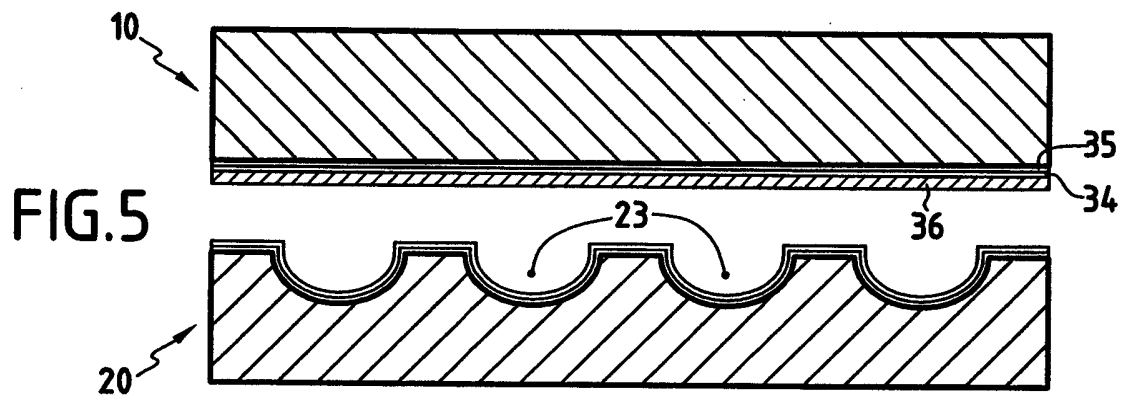
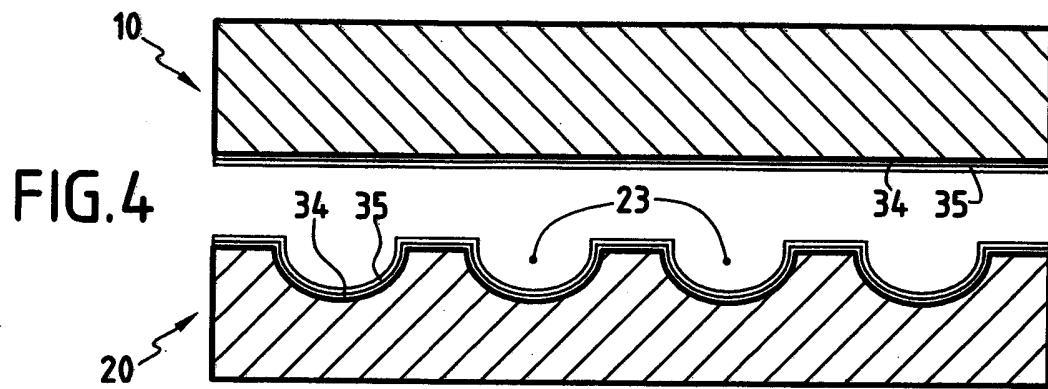
003470

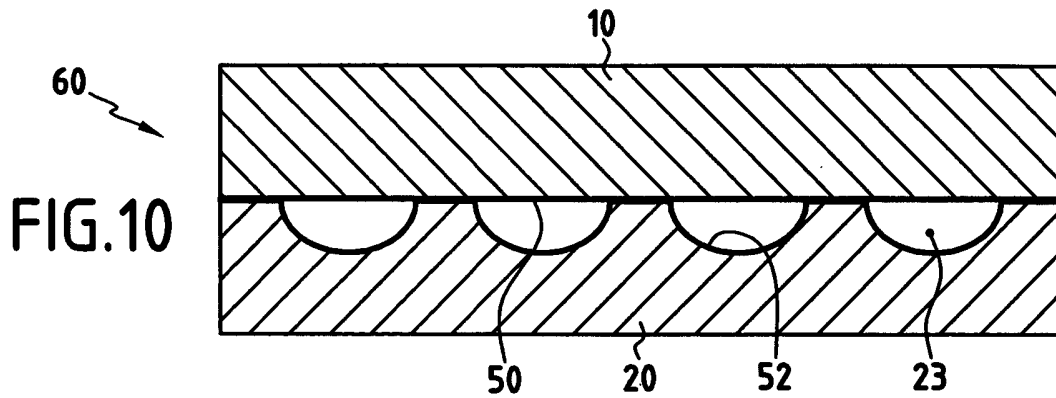
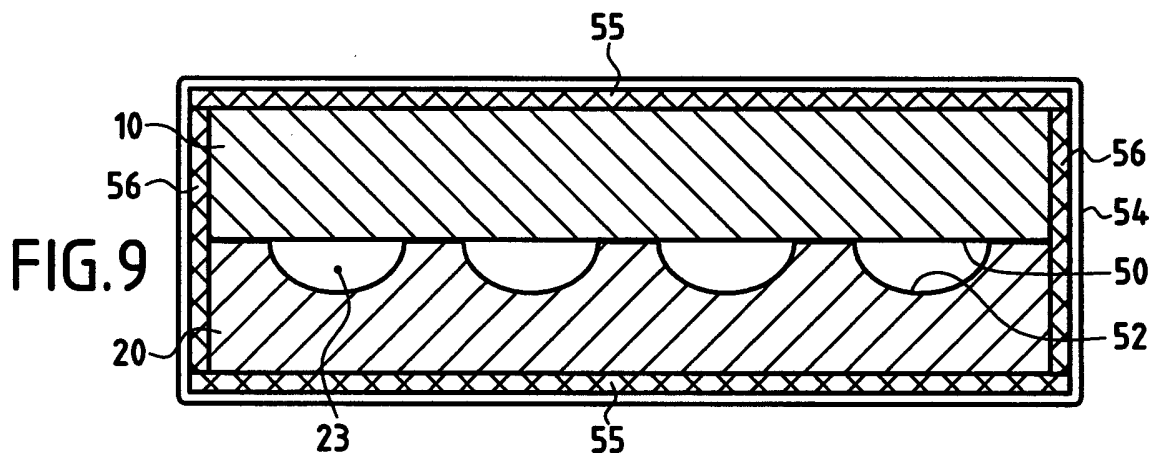
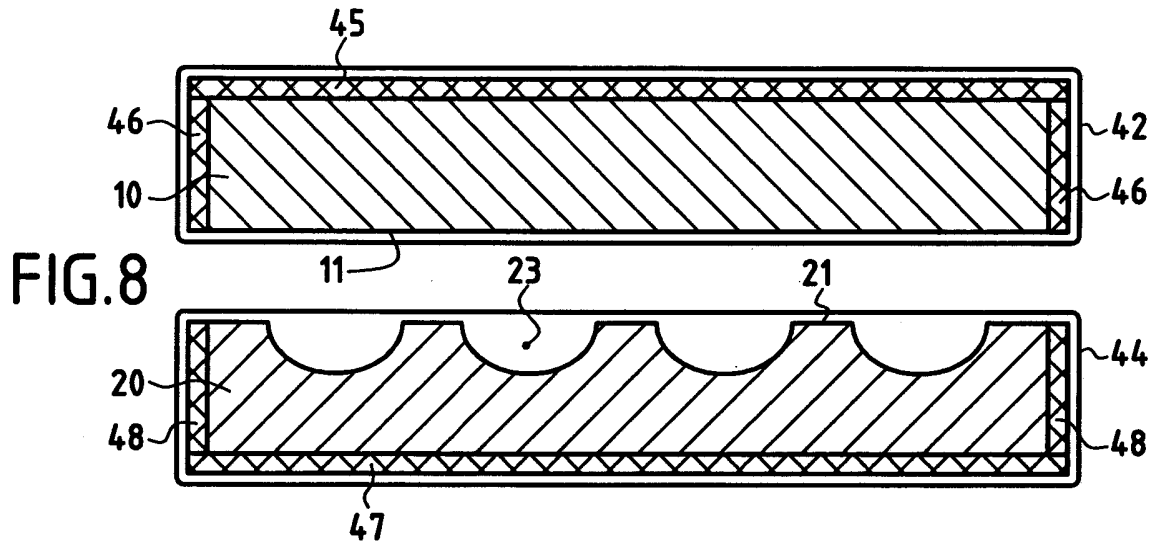
1/3



003470

2/3







Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC⁸:
F02K 9/64 (2006.01); **F02K 9/97** (2006.01); **F23R 3/00** (2006.01); **F28F 3/12** (2006.01)
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
F02K, F23R, F28F
Konsultierte Online-Datenbank:
EPODOC; deutscher Volltext;
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **30. Jänner 2004** eingereichten Ansprüchen **1 - 21** erstellt.

Kategorie ⁹	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	DE 198 04 232 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG) 19. August 1999 (19.08.1999) <i>Fig. 1,2a,2b,2c; Spalte 3, Zeile 45 - Spalte 4, Zeile 9;</i> --	1 - 21
A	EP 0 284 410 B1 (INSTITUTE OF SPACE AND ASTRONAUTICAL SCIENCE) 13. Juni 1990 (13.06.1990) <i>Fig. 1,2; Ansprüche 1 - 3;</i> --	1 - 21
A	DE 197 30 674 A1 (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- & RAUMFAHRT E.V.) 21. Jänner 1999 (21.01.1999) <i>Fig. 1,2; Spalte 9, Zeile 41 - Spalte 14, Zeile 7;</i> --	1 - 21
A	US 6 397 581 B1 (VIDAL et al.) 4. Juni 2002 (04.06.2002) <i>Fig. 1,2; Spalte 2, Zeile 66 - Spalte 4, Zeile 23;</i> --	1 - 21
A	US 6 134 785 A (WALTER et al.) 24. Oktober 2000 (24.10.2000) <i>Anspruch 1;</i> ---	1 - 21

Datum der Beendigung der Recherche:
28. Februar 2006

☐ Fortsetzung siehe Folgeblatt

Prüfer(in):
Dipl.-Ing. HUBER

⁹ Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.

- A** Veröffentlichung, die den **allgemeinen Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das **von Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem **Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein **älteres Recht** hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.