

(19)



(11)

EP 3 088 556 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
27.11.2019 Patentblatt 2019/48

(51) Int Cl.:

C22C 47/04 (2006.01)	C22C 47/06 (2006.01)
C22C 47/08 (2006.01)	C22C 47/12 (2006.01)
B22D 19/04 (2006.01)	B22D 17/00 (2006.01)
B22D 19/02 (2006.01)	C22C 49/02 (2006.01)
C22C 49/04 (2006.01)	C22C 49/06 (2006.01)
C22C 49/14 (2006.01)	

(21) Anmeldenummer: **16166975.9**

(22) Anmeldetag: **26.04.2016**

(54) **KOHLEFASER-METALL-VERBUNDWERKSTOFF**

CARBON FIBRE METAL COMPOSITE MATERIAL

MATIERE COMPOSITE METAL/FIBRES DE CARBONE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **28.04.2015 DE 102015207815**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.11.2016 Patentblatt 2016/44

(73) Patentinhaber: **Technische Universität Dresden
01069 Dresden (DE)**

(72) Erfinder:

- **Jäger, Hubert**
86637 Zusamaltheim (DE)
- **Wolf, Michel**
01099 Dresden (DE)

(74) Vertreter: **Kailuweit & Uhlemann Patentanwälte
Partnerschaft mbB
Bamberger Straße 49
01187 Dresden (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A1- 2 695 687	DE-A1-102007 023 836
DE-A1-102009 048 709	DE-A1-102010 050 970

EP 3 088 556 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff, der sich dadurch auszeichnet, dass er in einem Gießverfahren hergestellt wurde, jedoch keine nachteiligen Grenzflächenreaktionen zwischen Kohlefasern und Metall aufweist.

[0002] Es sind verschiedene Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Metallen bekannt. Dabei werden häufig die trockenen Fasern mittels einer Metallschmelze unter Druck infiltriert. Andere Verfahren sehen vor, Fasern als Kurzfasern in eine Metallschmelze einzubringen und dort zu dispergieren. Auch Vorgehensweisen, bei denen die Fasern von einer Vorratsrolle abgewickelt und in die Schmelze eingezogen werden, sind bekannt.

[0003] Die US 3,970,136 A schlägt ein Verfahren vor, bei dem in einer Form parallel angeordnete Fasern bereitgestellt werden. Dabei ist auch der Einsatz von gestapelten oder gerollten Fasermatten vorgesehen. Diese werden anschließend mit der flüssigen Metallschmelze infiltriert, wobei die Schmelze die Fasern einschließt.

[0004] Nachteilig bei diesem Verfahren ist, dass beim Einsatz von Kohlefasern an der Grenzfläche der Kohlefasern mit der Bildung von Metallkarbiden zu rechnen ist. Dies ist nachteilig für die Festigkeit der Verbindung zwischen den Fasern und dem Matrixmetall.

[0005] Gegenstand der EP 0 634 494 A2 ist ein Verfahren, Kupfer mit einer Kohlefaserverstärkung auszurüsten. Bei diesem Verfahren wird die Kohlefaserverstärkung in eine Harzmatrix eingeschlossen und danach carbonisiert, bei Bedarf sogar graphitisiert. Anschließend wird in einem CVI-Prozess weiterer Kohlenstoff abgeschieden, um eine in eine vorgegebene Richtung variierende Dichte des Kohlenstoffmaterials zu erreichen. Danach wird der Kohlenstoff in SiC umgewandelt und anschließend mit der Kupferschmelze getränkt.

[0006] Dieses Verfahren umgeht die Probleme der in der US 3,970,136 A beschriebenen Vorgehensweise, indem der Kohlenstoff zumindest an der Grenzfläche gezielt in SiC umgesetzt wird und so in weit geringerem Maße Verbindungen mit dem Matrixmetall ausbilden kann.

[0007] Die bisher diskutierten Druckschriften behandeln die Verbindung von Fasern mit einer Metallmatrix. Soll ein bereits faserverstärkter Kunststoff ohne Degradation der Kunststoffmatrix mit Metall verbunden werden, kommen meist Klebverfahren oder ähnliches zum Einsatz.

[0008] Die EP 0 938 969 B1 verbindet einen faserverstärkten Kunststoff mit einem Metallbauteil mittels einer Haftvermittlerschicht auf Epoxidharzbasis.

[0009] Derartige Klebeverbindungen sind jedoch gegen eine Vielzahl von Stoffen, insbesondere gegenüber Lösungsmitteln, unbeständig. Darüber hinaus unterliegen sie einer Alterung, die nach einer gewissen Zeit zu einem Versagen der Verbindung führen kann.

[0010] Die EP 2 695 687 A1 beschreibt ein Verfahren,

Verbundstrukturen aus einem Faserverbundwerkstoff und einem metallischen Werkstoff herzustellen. Bei diesem Verfahren wird das Formteil aus Faserverbundwerkstoff in einer Gießform mit metallischem Werkstoff umgossen. Kennzeichnend ist, dass das Formteil vor dem Gießprozess mit einer elektrisch isolierenden Umhüllung versehen wird, die den direkten Kontakt zwischen Faserverbundwerkstoff und Formteil verhindert.

[0011] Die DE 10 2010 050970 A1 beschreibt ein Kraftfahrzeugbauteil, bei dem ein Abschnitt eines faserverstärkten Kunststoff-Halbzeugs von einem Leichtmetall-Gussteil umgeben ist. Mindestens der Abschnitt des faserverstärkten Kunststoff-Halbzeugs, der von dem Leichtmetall-Gussteil umgeben ist, weist dabei eine thermisch isolierende Schicht auf.

[0012] Die DE 10 2009 048709 A1 beschreibt ein Verbundbauteil bestehend aus einem Metall, einem Faserverbundwerkstoff und einer Verbindungszone, wobei die stoffschlüssige Verbindung des Metalls mit dem Faserverbundwerkstoff in der Verbindungszone durch das Gießen mit anschließendem Erstarren des Metalls entstanden ist.

[0013] Die EP 0 416 432 A2 beschreibt ein Verfahren, in dem eine Schicht Kohlefaser auf eine Metallschicht aufgebracht wird. Die Metallschicht wurde vorher oder wird hinterher in die gewünschte Form gebracht (bspw. gerollt, um einen Wellenschaft zu erhalten) und die Kohlefaserschicht wird dann mit dem Matrixmaterial getränkt und ausgehärtet. Verschiedene Verfahrensvarianten sehen den Einsatz von Prepregs oder Kohlefasergeflechten vor. Auch Haftvermittler zwischen den Schichten können genutzt werden. Dieses Vorgehen ist nur für wenige technische Aufgaben geeignet. Insbesondere muss die Umformbarkeit des Metalls im kalten Zustand gegeben sein, was nur bei dünnen Metallschichten zutreffend ist.

[0014] Es stellt sich somit die Aufgabe, eine Kohlefaserverstärkung für Metallbauteile vorzuschlagen, die neben einer belastbaren kraftschlüssigen Verbindung zwischen Faserverstärkung und Metall, insbesondere unerwünschte Grenzflächenreaktionen zwischen Metall und Kohlefaserverstärkung, vermeidet.

[0015] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einer Anordnung nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den rückbezogenen Unteransprüchen offenbart.

[0016] Die erfindungsgemäße Lösung sieht eine Kohlefaserverstärkung in einer Thermodurmatrix, bevorzugt einer Phenolharzmatrix, - ein Composit - vor, die vollständig oder teilweise mit Metall umschlossen ist. Unter dem Begriff "Thermodur" werden im Folgenden neben Phenolharzen auch Resolharze und Mischungen von Phenol- und Resolharzen, sowie Polymere aus der Gruppe der Carbosilane, wie Bor-Carbosilane und Bor-Carbosilazane, subsummiert.

[0017] Die innige Verbindung zwischen kohlefaserverstärkter Matrix und Metall wird erzielt, indem die kohlefaserverstärkte Matrix (das Composit) vollständig oder zumindest teilweise mit Metallschmelze oder Metall in

teilflüssigem, bspw. thixotropem, Schmelzzustand umgeben wird. Die zumindest teilweise Umhüllung mit dem Metall im geschmolzenen bzw. teilflüssigen Zustand führt beim Abkühlen zu einem Zusammenziehen des Metalls. Da dieses thermische Zusammenziehen des Metalls deutlich stärker als das der kohlefaserverstärkten Matrix erfolgt, wird diese stabil eingeschlossen. Bei der Abkühlung vom Schmelzpunkt des Metalls bis zur Umgebungstemperatur (ca. 20 °C) wird der einschließende Effekt, der aus dem Zusammenziehen aufgrund des thermischen Schrumpfens resultiert, maximal ausgenutzt.

[0018] Der Fachmann erkennt, dass die kohlefaserverstärkte Matrix dazu wenigstens in einer Umfangslinie vollständig von Metall umschlossen sein muss, damit die kohlefaserverstärkte Matrix beim Zusammenziehen des Metalls sicher umfasst und eingeschlossen wird.

[0019] Durch diese Herstellungsweise dringt das Metall im fließfähigen Zustand in alle natürlich vorhandenen Oberflächenunebenheiten ein, und stellt so neben dem Kraftschluss einen oberflächigen Formschluss her. Da die hier eingesetzten Thermodule vergleichsweise hohe Zersetzungstemperaturen haben, findet nur eine geringe Beeinträchtigung der Matrixoberfläche statt, die sich in erhöhter Rauigkeit äußert, die ebenfalls zu einer besseren Verbindung des Metalls mit der kohlefaserverstärkten Matrix beiträgt.

[0020] Das Thermodur verhindert den direkten Kontakt zwischen Kohlefaserverstärkung und Metall, wodurch keine oder nur eine sehr geringe Metallkarbidbildung stattfinden kann.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Composit auf der mit dem Metall in Verbindung tretenden Oberflächen eine Strukturierung auf. Dies können vorzugsweise Wellungen oder sonstige Erhebungen bzw. Vertiefungen sein, die geeignet sind, den Formschluss im Metall zu verbessern.

[0022] Wie dargestellt ist es wünschenswert, ein Thermodur mit hoher Zersetzungstemperatur anzuwenden. Diese Phenolharze zeichnen sich durch einen besonders hohen Kohlenstoffanteil aus. Die Kohlenstoffausbeute beim Carbonisieren der eingesetzten Thermodule beträgt daher bevorzugt mehr als 50 %, besonders bevorzugt mehr als 70 % und ganz besonders bevorzugt mehr als 85 %.

[0023] Bei den Thermoduren handelt es sich um bekannte Stoffe aus dem Stand der Technik bzw. um Kombinationen derartiger bekannter Thermodule.

[0024] Für die Faserverstärkung ist prinzipiell jede Kohlefaserart geeignet, die auch in faserverstärkten Bauteilen mit Thermodurmatrix eingesetzt werden kann. Bei den Kohlefasern kann es sich um unidirektionale, überwiegend parallel verlaufende Faserbündel, um Rovings, Gelege oder Geflechte handeln. Auch andere textile Formen und filzartige Anhäufungen sind bevorzugt.

[0025] In einer ersten bevorzugten Ausführungsform bestehen alle Kohlefasern aus ein und derselben Faserart mit identischen Durchmessern. Weitere bevorzugte Ausführungsformen sehen mehrere unterschiedliche

Kohlefaserarten mit unterschiedlichen Steifigkeiten, unterschiedlichen Durchmessern oder in sonstiger Weise untereinander variierenden Eigenschaften vor.

[0026] Die Faservolumengehalte des Composites liegen bevorzugt oberhalb von 20 %, besonders bevorzugt oberhalb von 50 % und ganz besonders bevorzugt oberhalb von 65 %, jedoch stets unterhalb von 100 %.

[0027] Besonders bevorzugt sind Kohlefasern, die als Einzelfasern ausgeführt und mit einem Thermodur beschichtet sind. Auch einige wenige Kohlefasern können so zu einem dünnen Faserbündel zusammengefasst und gemeinsam mit Thermodur umhüllt sein. Besonders bevorzugt bleibt dabei die Biegsamkeit der Kohlefasern bzw. -faserbündel erhalten. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind diese beschichteten Kohlefasern bzw. Kohlefaserbündel als Bund angeordnet, das optional im Metallinneren aufgefächert ist und so eine besonders gute Durchdringung des zu verstärkenden Metalls erreicht.

[0028] Weiterhin bevorzugt sind langgestreckte Kohlefaserstränge mit im Wesentlichen unidirektional, parallel zur Längsachse der Stränge verlaufenden Fasern, in einer Thermodurmatrix, wobei das so entstandene Composit einen kreisförmigen, ovalen, dreieckigen, rechteckigen oder in sonstiger Weise polygonalen Querschnitt aufweist. Auch bandförmige Ausführungen sind bevorzugt, in denen das Composit einen ausgeprägt rechteckigen Querschnitt bei einer großen Längserstreckung aufweist.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform liegt das Composit als Hohlprofil oder in sonstiger Weise Höhlungen und Hinterschnitte aufweisenden Geometrie vor. Hier ist ein besonderer Vorteil zu sehen, da so Compositgeometrien verarbeitet werden können, die bekannten Vorgehensweisen nicht zugänglich sind und der erfindungsgemäße Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nahezu beliebige Composit-Verstärkungskörper aufweisen kann und nicht auf einfache Kohlefaserstränge oder unidirektionale Formen limitiert ist.

[0030] Dem Fachmann ist bekannt, dass beim Einsatz stabförmiger Composite Kohlefasern an der im Metall liegenden Stirnfläche enden können und so dem Metall direkt zugänglich sind. Dies ist als unkritisch anzusehen, da die im Metall liegende Mantelfläche die Haltekraft aufbringt und daher Metallkarbidbildungen an der Stirnfläche unkritisch sind. Bevorzugte Ausführungsformen decken auch die Stirnfläche mit Thermodurmatrix ab.

[0031] Als Metall kann in der erfindungsgemäßen Anordnung prinzipiell jegliches Metall bzw. jegliche Metalllegierung eingesetzt werden. Begrenzt wird dies lediglich dadurch, dass bei der Herstellung die eindringende Schmelze die Kohlefasern nicht erreichen soll. Eine teilweise oder vollständige Carbonisierung des Matrixmaterials des Composites ist zulässig. Besonders bevorzugt findet diese Carbonisierung jedoch nur oberflächlich statt.

[0032] Besonders bevorzugt werden Aluminium, Magnesium bzw. deren Legierungen eingesetzt. Weiterhin

bevorzugt sind Kupfer, Zink, aber auch Eisen oder Stahl oder ein anderes Metall oder eine andere metallische Legierung, die eine Schmelztemperatur oberhalb von 250 °C aufweist. Der Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff kann als Strukturelement und/oder als Funktions- oder Lasteinleitungselement ausgebildet sein. Je nach Anwendungszweck kann das Metall an den Enden des Composites oder aber mittig bzw. zwischen den Enden angeordnet sein. Es ist auch eine vollständige Bedeckung des Composites mit Metall möglich. Der Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff kann dabei mehrere Composit-einlagen in unterschiedlichen Ausformungen aufweisen. Neben stabförmigen sind auch flächige (bspw. textile) oder dreidimensionale Formen möglich.

[0033] In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Composit an der Grenzfläche zwischen Compositoberfläche und Metall eine metallische oder keramische Beschichtung des Composites auf. Dies dient vorteilhaft zur Erzielung eines Stoffschlusses zwischen Metall und Composit bzw. zur Verhinderung eines chemischen Angriffs des Metalls auf das Matrixmaterial oder die Kohlefasern des Composites. Die Aufbringung dieser Schichten erfolgt mit Verfahren aus dem Stand der Technik. Bevorzugt sind chemische oder physikalische Gasphasenabscheidungen. Weitere bekannte Verfahren sind hier geeignet.

[0034] Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Anordnung wird bevorzugt das Composit unter Druck, mittels Spritzguss oder Gießen, zumindest teilweise mit dem flüssigen Metall umhüllt. Es wird eine schnellstmögliche Abkühlung vorgenommen (vorzugsweise wenige Sekunden vom Gießen bis zum Erstarren, besonders bevorzugt 1 bis 2 Sekunden). Der Faservolumengehalt im Metall-Compound-Verbund beträgt bevorzugt mindestens 20 %, besonders bevorzugt mindestens 50 %, ist jedoch stets kleiner 100 %.

[0035] Das Composit kann auch an verschiedenen Stellen mit verschiedenen Metallen umhüllt sein. So können bspw. an unterschiedlichen Enden eines Compositstranges Anschluss- oder Lasteinleitungselemente angeordnet sein, die aus unterschiedlichen Metallen bestehen.

[0036] Die erfindungsgemäße Anordnung wird bevorzugt als Leichtbauelement zur weiteren Gewichtsreduktion eingesetzt. Es kann insbesondere im Fahrzeugbau, in der Flugzeugindustrie oder sonstigen Industriezweigen Anwendung finden, in denen hohe Steifigkeit und Festigkeit mit geringem Gewicht zu kombinieren ist. Die erfindungsgemäße Anordnung stellt vorteilhaft einer Vielzahl von Anwendungsgebieten leistungsfähige kohlefaserverstärkte Metallbauteile zur Verfügung.

Figuren

[0037]

Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Anordnung. Der kohlenstofffaserverstärkte Phenol-

harzstab 2 ist in einem Metallzylinder 1 angeordnet. Der kohlenstofffaserverstärkte Phenolharzstab (Composit) 2 weist unidirektionale Kohlefasern 4 auf, die in einer Phenolharzmatrix 3 angeordnet sind.

Fig. 2 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Anordnung, bei der an beiden Enden des kohlefaserverstärkten Phenolharzstabes 2 Metallelemente 1 angeordnet sind. Die entgegengesetzte Schraffur deutet unterschiedliche Metalle an.

Fig. 3 zeigt schematisch die Anordnung eines Bündels von Kohlefasern 4, die jeweils einzeln mit Phenolharz 3 überzogen sind. Das Bündel fächert innerhalb des Metalls 1 auf, um eine bessere Verteilung im Metall und so einen besseren Halt zu erzielen.

Fig. 4 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Anordnung, bei welcher der kohlefaserverstärkte Phenolharzstab 2 vollständig von Metall 1 umschlossen ist.

Fig. 5 zeigt schematisch eine Anordnung, bei der mehrere Verstärkungen aus kohlefaserverstärkten Phenolharzstäben 2 in einem Metallkörper 1 angeordnet sind.

Fig. 6 zeigt schematisch in der oberen Figur einen Schnitt (B-B) durch eine erfindungsgemäße Anordnung entlang der Längsachse des Kohlefaser-Metall-Verbundes. Dieser weist einen kreisförmigen Querschnitt auf. Als Verstärkung enthält der Kohlefaser-Metall-Verbund einen hohlen, rohrartigen kohlefaserverstärkten Phenolharzstab 2. Zur Verdeutlichung ist in der unteren Figur ein Schnitt senkrecht zur Längsachse entlang der Linie A-A dargestellt. Die Kohlefasern 4 verlaufen im Inneren des Composites 2 unidirektional, parallel zur Längsachse des Kohlefaser-Metall-Verbundes.

Ausführungsbeispiel

[0038] Das folgende Ausführungsbeispiel zeigt eine Möglichkeit, die Erfindung auszuführen, ohne diese auf die gezeigte Ausführungsform zu beschränken.

[0039] Der Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff liegt als stabförmiges Bauteil mit kreisrundem Querschnitt vor. Dabei ist ein Phenolharzstab mit einem Durchmesser von 6 mm und einer Länge von 350 mm an einem Ende mit einem Abstand zu diesem Ende von 20 mm über eine Länge von 150 mm mit einer Aluminiumlegierung umgeben. Die Mantelstärke dieser Aluminiumschicht beträgt 4,5 mm. Als Aluminiumlegierung wurde AlSi10 eingesetzt. Bei dem Phenolharzstab handelt es sich um ein handelsübliches Phenolharz mit einer Carbonisierungs-Kohlenstoffausbeute von 55 %. Der Faservolumengehalt im Compositstab beträgt 60 % unidirektional angeordneter Kohlefasern.

[0040] Der Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff wurde mittels drucklosen Schwerkraftgusses in eine Graphit/Kupfer-Gusskokille hergestellt. Die Gusstemperatur lag bei 670 °C.

Bezugszeichenliste

[0041]

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Metall | 10 |
| 2 | kohlenstofffaserverstärkter Phenolharzstab | |
| 3 | Phenolharz | |
| 4 | Kohlenstofffaserverstärkung | |

Patentansprüche

1. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff, aufweisend mindestens einen kohlefaserverstärkten Thermodur-Verbund der zumindest teilweise von einem Metall im festen Aggregatzustand umschlossen wird, wobei Thermodule Verbindungen aus der Gruppe umfasst, die aus Phenolharzen, Resolharzen, Mischungen von Phenolharzen und Resolharzen, Polymeren aus der Gruppe der Carbosilane besteht, und wobei das Metall aus der Gruppe entnommen ist, die aus Aluminium, Magnesium, Kupfer, Zink, Eisen oder Stahl oder deren Legierungen besteht, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - a. der kohlefaserverstärkte Thermodur-Verbund in dem Metall aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten beim Abkühlen des Metalls vom Schmelzpunkt bis zur Umgebungstemperatur kraftschlüssig eingeschlossen ist, und
 - b. das Metall in die natürlich vorhandenen Oberflächenunebenheiten des Thermodur-Verbundes eingedrungen ist und dieser so formschlüssig gehalten wird,
 - c. der Thermodur den direkten Kontakt zwischen Kohlefaserverstärkung und Metall verhindert, und
 - d. eine Verbindung des Metalls mit der kohlefaserverstärkten Matrix erfolgt.
2. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Metall Kupfer Zink, Stahl oder ein anderes Metall oder eine andere metallische Legierung ist, die eine Schmelztemperatur oberhalb von 250 °C aufweist.
3. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der kohlefaserverstärkte Thermodur-Verbund stabförmig, mit rundem, dreieckigem, rechteckigem oder polygonalem Querschnitt, als

Hohlprofil oder dreidimensionale Geometrie mit hinterschnittiger Form im Verbundwerkstoff vorliegt.

4. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Composit auf den mit dem Metall in Verbindung tretenden Oberflächen eine Strukturierung, vorzugsweise Wellungen, oder sonstige Erhebungen bzw. Vertiefungen aufweist.
5. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der kohlefaserverstärkte Thermodur-Verbund als flächiges oder dreidimensionales Composit vorliegt.
6. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der kohlefaserverstärkte Thermodur-Verbund als Bund einzelner Kohlefasern vorliegt, die mit Thermodur umgeben sind.
7. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Bund im Inneren des Metalls aufgefächert ist.
8. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Faservolumengehalt im kohlefaserverstärkten Thermodur-Verbund mindestens 20 % beträgt.
9. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Thermodur bei der Carbonisierung eine Kohlenstoffausbeute von mehr als 50 % erreicht.
10. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Faservolumengehalt im Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff mindestens 20 % erreicht.
11. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grenzfläche des Thermodurs zum Metall carbonisiert ist.
12. Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoff nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Thermodur carbonisiert ist, aber das flüssige Metall die Kohlefasern des Kohlefaser-Metall-Verbundwerkstoffs nicht erreicht hat.

Claims

1. Carbon fibre-metal composite material comprising at least one carbon fibre-reinforced Thermodur composite which is at least partially enclosed by a metal in the solid physical state, Thermodur comprising compounds from the group consisting of phenolic resins, resol resins, mixtures of phenolic resins and resol resins, and polymers from the group of carbosilanes, and the metal being taken from the group consisting of aluminum, magnesium, copper, zinc, iron or steel or the alloys thereof, **characterised in that**

- a. the carbon fibre-reinforced Thermodur composite is contained in the metal in a non-positive manner due to different thermal expansion coefficients when the metal is cooled from the melting point to the ambient temperature, and
- b. the metal penetrates into the naturally existing surface irregularities of the Thermodur composite and said composite is thus held in a positive manner,
- c. the Thermodur prevents direct contact between the carbon fibre reinforcement and the metal, and
- d. the metal is connected to the carbon fibre-reinforced matrix.

2. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the metal is copper, zinc, steel or another metal or another metal alloy having a melting temperature above 250°C.

3. Carbon fibre-metal composite material according to either of the preceding claims, **characterised in that** the carbon fibre-reinforced Thermodur composite is present in a rod-like shape, having a round, triangular, rectangular or polygonal cross section, as a hollow profile, or having three-dimensional geometry having an undercut shape in the composite material.

4. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the composite on the surfaces in contact with the metal is structured, preferably has corrugations or other elevations and depressions.

5. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the carbon fibre-reinforced Thermodur composite is present as a flat or three-dimensional composite.

6. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the carbon fibre-reinforced Thermodur composite is present as a collar of individual carbon fibres which are surrounded by Thermodur.

7. Carbon fibre-metal composite material according to claim 6, **characterised in that** the collar is fanned out inside the metal.

8. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the fibre volume content in the carbon fibre-reinforced Thermodur composite is at least 20%.

9. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the Thermodur reaches a carbon yield of more than 50% during carbonisation.

10. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the fibre volume content in the carbon fibre-metal composite material reaches at least 20%.

11. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the interface of the Thermodur is carbonised to the metal.

12. Carbon fibre-metal composite material according to any of the preceding claims, **characterised in that** the Thermodur is carbonised, but the liquid metal has not reached the carbon fibres of the carbon fibre-metal composite material.

Revendications

1. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal, comprenant au moins un composite thermodur renforcé par des fibres de carbone qui est entouré au moins partiellement d'un métal à l'état physique solide, les thermodurs comprenant des composés choisis dans le groupe constitué de résines phénoliques, de résines résol, de mélanges de résines phénoliques et de résines résol, de polymères choisis dans le groupe constitué des carbosilanes, et le métal étant choisi dans le groupe constitué de l'aluminium, du magnésium, du cuivre, du zinc, du fer ou de l'acier, ou de leurs alliages, **caractérisé en ce**

- a. le composite thermodur renforcé par des fibres de carbone est incorporé dans le métal par adhérence en raison de différents coefficients de dilatation thermique pendant le refroidissement du métal, du point de fusion jusqu'à la température ambiante, et en ce que
- b. le métal a pénétré dans les irrégularités de surface naturelles du composite thermodur et en que celui-ci y est maintenu par liaison de forme,
- c. le thermodur empêche le contact direct entre

- le renforcement par des fibres de carbone et le métal, et en ce que
d. le métal est lié à la matrice renforcée par des fibres de carbone.
2. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le métal est du cuivre, du zinc, de l'acier ou un autre métal ou alliage métallique ayant une température de fusion supérieure à 250 °C. 5
 3. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite thermosur renforcé par des fibres de carbone est présent dans le matériau composite sous la forme d'une tige, comportant une section transversale ronde, triangulaire, rectangulaire ou polygonale, sous forme de profilé creux ou de géométrie tridimensionnelle à contre-dépouille. 10
 4. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le matériau composite comporte une structure, de préférence des ondulations, ou d'autres protubérances ou dépressions sur les surfaces qui entrent en contact avec le métal. 15
 5. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite thermosur renforcé par des fibres de carbone est présent sous la forme d'un composite plat ou tridimensionnel. 20
 6. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le composite thermosur renforcé par des fibres de carbone est présent sous la forme d'un collet de fibres de carbone individuelles entourées de thermosur. 25
 7. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le collet est étalé dans le métal. 30
 8. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la teneur en fibres dans le composite thermosur renforcé par des fibres de carbone est d'au moins 20 %. 35
 9. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le thermosur atteint un rendement en carbone de plus de 50 % pendant la carbonisation. 40
 10. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la teneur en fibres dans le matériau composite à base de fibres de carbone et de métal atteint au moins 20 %. 45
 11. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'interface du thermosur est carbonisée au métal. 50
 12. Matériau composite à base de fibres de carbone et de métal selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le thermosur est carbonisé, mais le métal liquide n'a pas atteint les fibres de carbone du matériau composite à base de fibres de carbone et de métal. 55

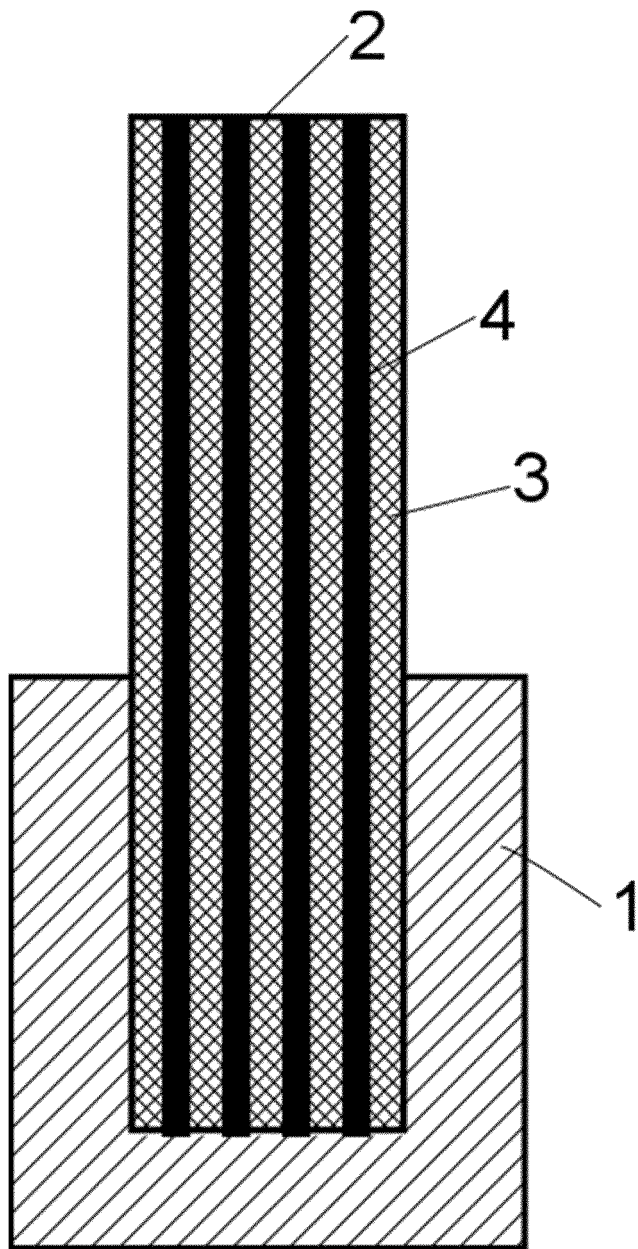


Fig. 1

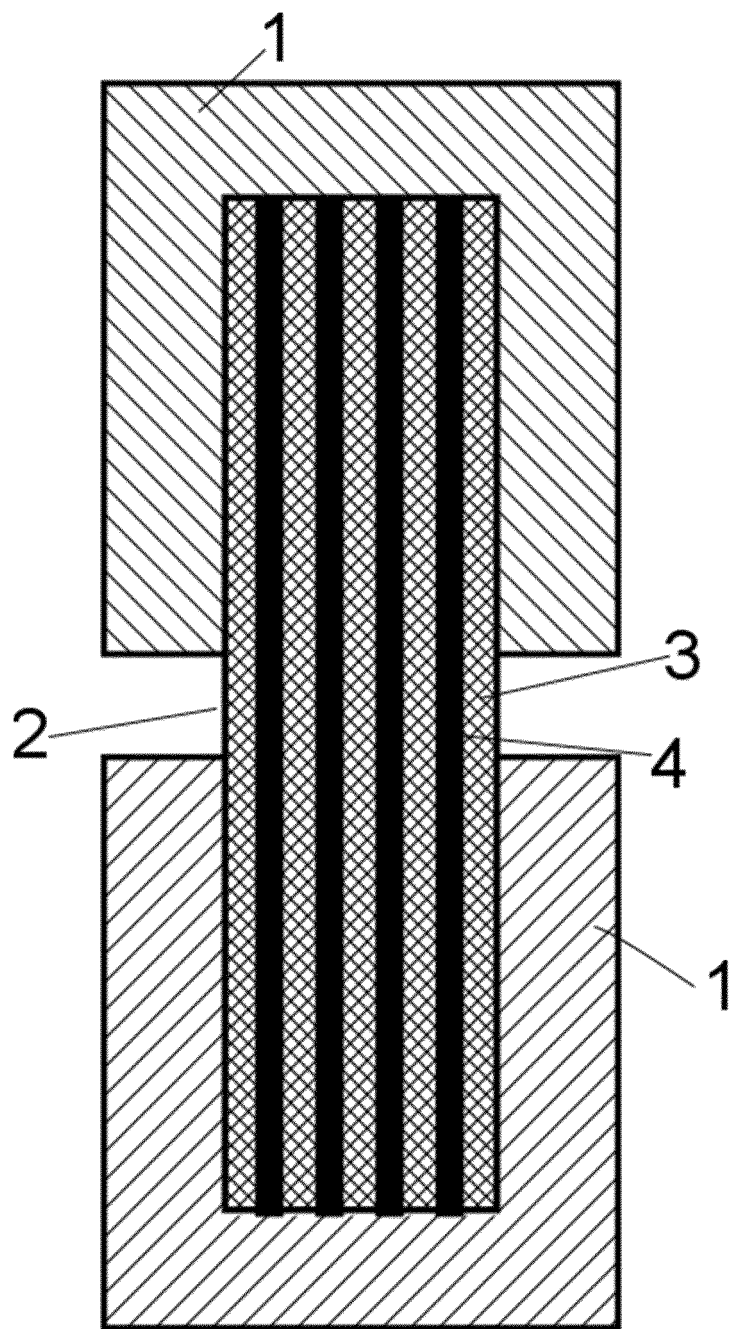


Fig. 2

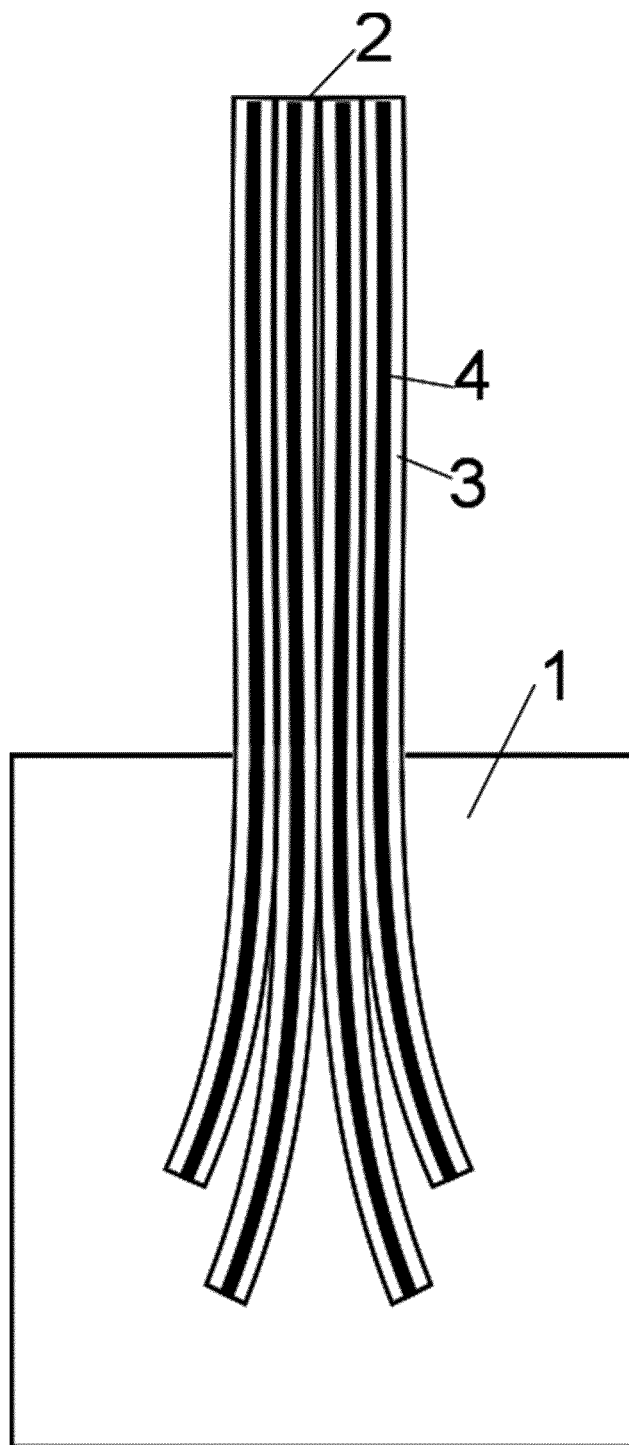


Fig. 3

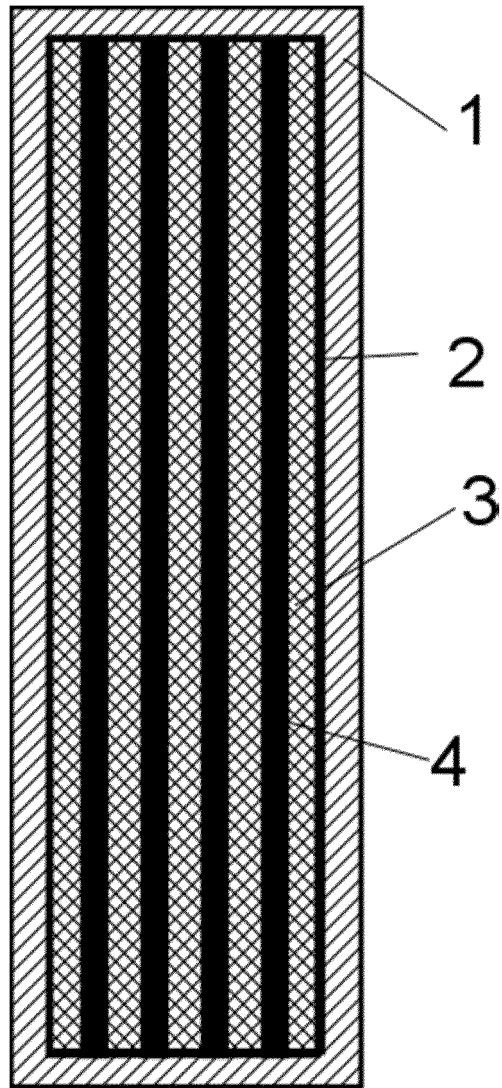


Fig. 4

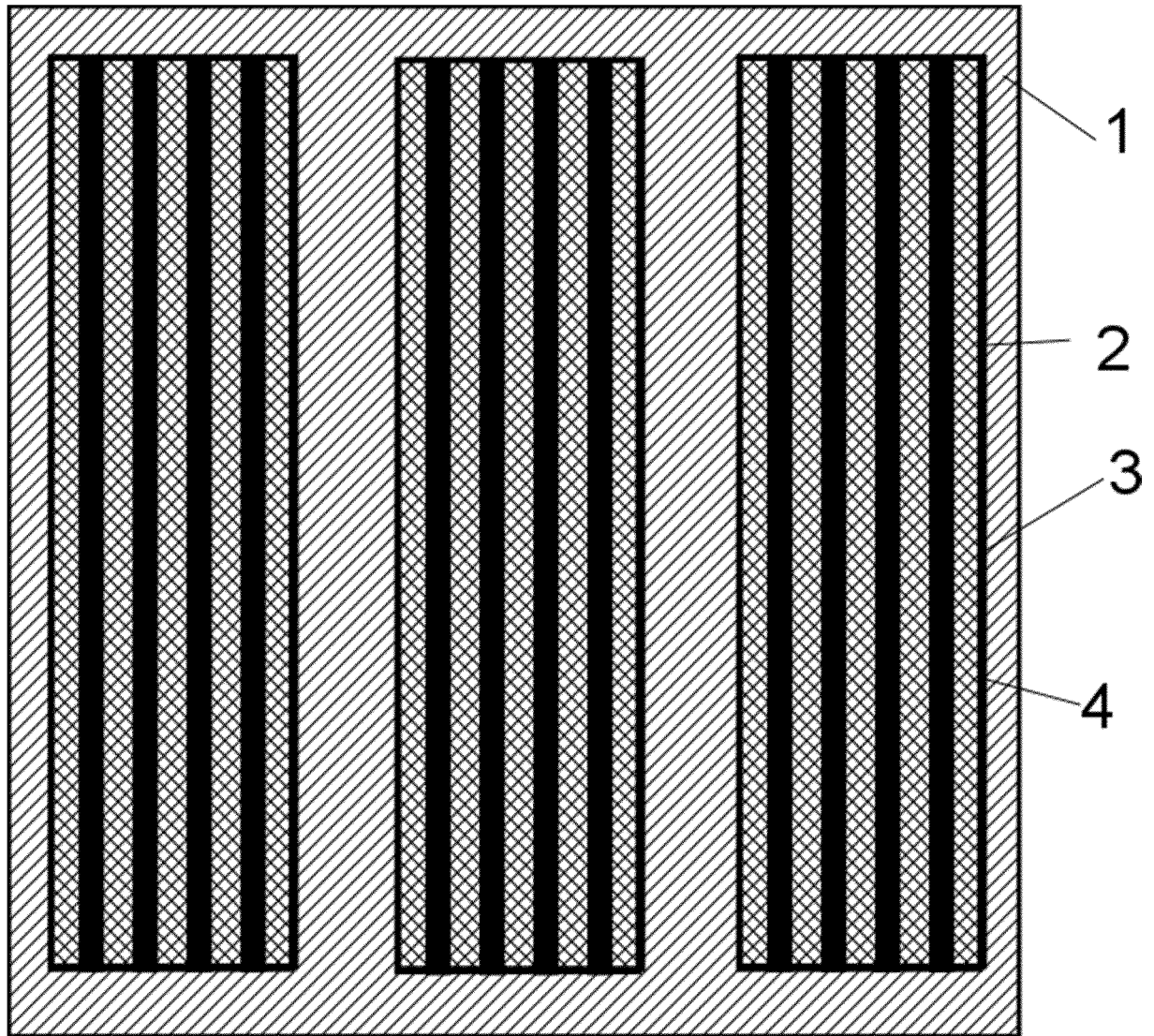


Fig. 5

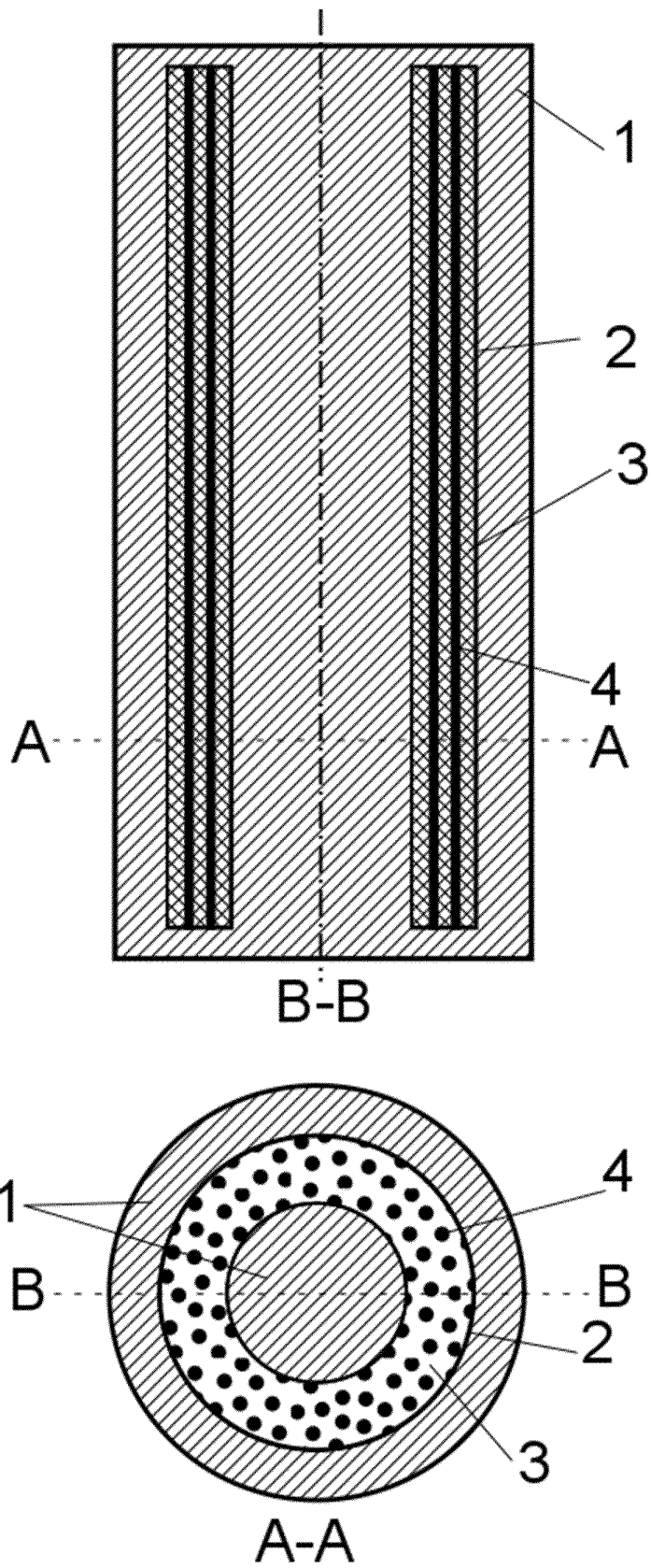


Fig.6

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 3970136 A [0003] [0006]
- EP 0634494 A2 [0005]
- EP 0938969 B1 [0008]
- EP 2695687 A1 [0010]
- DE 102010050970 A1 [0011]
- DE 102009048709 A1 [0012]
- EP 0416432 A2 [0013]