

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 341/95

(22) Anmeldetag: 24. 2.1995

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 9.1996

(45) Ausgabetag: 26. 5.1997

(51) Int.Cl.⁶ : C22C 1/09
B32B 15/04

(56) Entgegenhaltungen:

EP 0416432A2 US 4731298A JP 58213844A

(73) Patentinhaber:

ÖSTERREICHISCHES FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF
GESELLSCHAFT M.B.H.
A-1010 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

KORB GEORG DIPL.ING. DR.
BADEN, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON HOHLKÖRPERN AUF BASIS EINES METALL-FASER-VERBUNDS

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Metall-Faser-Verbundkörpern, dessen wesentliche Merkmale darin bestehen, daß ein Wickelkern mit einer zumindest einlagigen ersten, innersten Schicht einer Folie aus mindestens einem Metall belegt bzw. umschlossen wird, auf welche eine zumindest einlagige Schicht von mit dem jeweiligen oder einem kompatiblen Metall beschichteten von mit dem jeweiligen Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlofasern, mit im Vergleich zum Metall der Folie geringerem Wärmeausdehnungskoeffizienten oder aber eine jeweils gewünschte Folge von zumindest einlagigen Schichten von mit einem jeweiligen oder einem damit kompatiblen Metall beschichteten solchen Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlofasern, und von mit Folien des jeweils gewünschten bzw. vorgesehenen Metalls gebildeten, zumindest einlagigen Schichten auf die erste Metallfolien-Schicht aufgebracht bzw. gewickelt wird, wobei die auf die erste Schicht aufgebrachte Schicht mit den metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlofasern, und die letzte bzw. äußerste Schicht mit einer Metallfolie gebildet wird und daß schließlich der so erhaltene Mehrschichtkörper unter Ausbildung eines Diffusionsverbundes durch Einwirkung von erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck kompaktiert, insbesondere einem gegebenenfalls mehrstufigen HIP- und Sinterprozeß unterworfen wird.

Die Erfindung betrifft allgemein neue Hohlkörper bzw. neue rohrartige Körper, bevorzugt Rohre, auf Basis eines Metall-Faser-, insbesondere Metall-Kohlefaser-Verbundes und im besonderen deren Herstellung. Metall-Kohlefaser-Verbindungen können beispielsweise als Kühlrohre in physikalisch-chemischen Großforschungsanlagen, z.B. in der Plasmaforschung, in Fusionsreaktoren u.dgl., Einsatz finden, wobei 5 Grafitblöcke auf die Kühlrohre aufgebracht werden müssen, und das Rohr radial den gleichen Ausdehnungskoeffizienten haben soll wie der Grafit. Ein weiteres Beispiel ist ihre Verwendung als Kühlplatten (zur Senkung der Wärme), wobei das Ausdehnungsverhalten dem des Leistungshalbleiters angepaßt sein muß ("Electronic Packaging").

Es sind solche Hohlkörper und Rohre, welche auf verschiedenen Wegen herstellbar sind, schon 10 bekannt geworden, wobei an dieselben die Forderung gestellt ist, daß sie bei ausgezeichneter Wärmeleitfähigkeit hohe mechanische Festigkeit mit zumindest in einer Richtung oder allgemein geringen bzw. sehr geringen Wärmeausdehnungs-Koeffizienten verbinden und dies bei Metallen, die an sich und allein relativ geringe mechanische Festigkeit, relativ hohe Duktilität und hohe Wärmeausdehnung aufweisen.

So ist z.B. aus der JP-OS 58 213844 die Herstellung von faserverstärkten Metallrohren mit hoher 15 spezifischer Festigkeit und hoher spezifischer Elastizität bekannt geworden, bei welcher ein flächiges Prepreg aus Verstärkungsfasern und Aluminium zusammen mit einer Zn-Al-Legierung als Bindemittel gewickelt wird und der erhaltene Wickelkörper einen HIP-Prozeß unterworfen und gesintert wird. Dabei wird ein superplastisches Pulver einer eutektischen Zn-Al-Legierung mit einer Teilchengröße um 50µm auf das Faserflächenelement aufgebracht, dessen einzelnen Fasern dort durch Ionenplattierung mit Al beschichtet 20 sind. Danach erfolgt Wickeln im Vakuum um einen Kern und "HIPen" bei über 2000 bar, sowie danach ein Sintern in Wasserstoffatmosphäre.

Weiters wird in der EP 416 432 A2 ein Schaftkörper beschrieben, welcher mit einer inneren Metallfolien-schicht und einer darüber angeordneten harzimpregnierten Kohlefasergewebeschiicht gebildet ist, welche 25 in zylindrischer Gestalt aneinander gebunden sind. Der dortige Schaftkörper wird hergestellt, indem zuerst eine Metallfolie zu einem Zylinder geformt wird und danach das Kohlefasergewebe um den Metallfolienzylinder gewickelt wird, wonach schließlich der so hergestellte, zylindrische Körper erhitzt wird, sodaß das Harz im Kohlefasergewebe gehärtet wird.

In der US-PS 4 731 298 sind faserverstärkte Leichtmetallverbundkörper beschrieben, welche ein 30 Leichtmetall und Kohlefasern umfassen, wobei eine dreilagige Hülle mit einer Kohlefaserschicht, mit einer Schutzschicht gegen Desintegration und einer außen aufgetragenen Benetzbarkeits-Verbesserungsschicht in der genannten Reihenfolge vorgesehen ist. Die kohlefaserverstärkten Leichtmetallverbundstoffe werden durch Verbindung der die vorher beschriebene dreilagige Beschichtung aufweisenden Kohlefasern mit dem Leichtmetall hergestellt.

Nachteil dieses und aller bisher bekannt gewordenen Verfahren auf diesem Gebiet ist, daß die nach 35 ihnen hergestellten Produkte im konkreten Gebrauch dann doch nicht die geforderte Integrität des Verbundes zwischen Faser und Metallmatrix über lange Zykluszeiten hinweg zu halten, imstande waren und weder deren Dauerfestigkeit noch Temperaturwechselbeständigkeit voll gewährleistet ist.

Die Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, Hohlkörper mit einem tatsächlich integralen und nicht mehr 40 lösbaren Verbund zwischen Faser und Metallmatrix zu schaffen, wobei eine optimale störungsfreie Einbettung der Fasern, Filamente od.dgl. in der Metallmatrix, eine störstellenfreie kontinuierliche Metallmatrix selbst mit vollkommenem inneren Zusammenhalt und weiters bevorzugt auch eine gezielte Richtungsabhängigkeit der Festigkeitswerte, Elastizität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeverteilung und der Wärmeausdehnungsdaten am fertigen Körper erreicht werden soll.

Zur Erreichung dieses Zieles haben sich zuerst zwei Vorgehensweisen angeboten, jedoch erst eine 45 dritte Herstellungsart ist, wie gefunden wurde, imstande, wesentlichen technischen Fortschritt zu bringen.

1. Schleuderguß:

Ein Netzwerk von Fasern als Inlaid-Schicht wird mit Hilfe der aus der Rohrerzeugung bekannten Schleudergußtechnik mit dem Metall infiltriert bzw. imprägniert.

Nachteile einer solchen Technik sind, daß dieser Prozeß erst mit Rohrdurchmessern ab 70 mm und 50 hin bis 300 mm technisch effektiv ist, die sterische Stabilisierung des Fasernetzwerkes in der jeweils gewünschten Tiefenlage in der Rohrwand ausgesprochen schwierig ist und an sich z.B. bei Kupfer, dessen Guß als Reinmetall an sich technisch problematisch ist, insbesondere bezüglich des Übergangs vom Schmelzein den Feststoff-Zustand infolge des dabei auftretenden Schrumpfes.

2. Vakuum-Druck-Imprägnierung:

Ein Skelett von Kohlefasern wird mit flüssigem Metall, z.B. Kupfer, in einer Inertgasatmosphäre 55 infiltriert. Diese im Labormaßstab bekannt und bewährte Methode wird im Autoklaven durchgeführt und man erhält heute damit tatsächlich kleindimensionierte Stäbe oder Rohre.

3. Wickelverfahren und damit erfindungsgemäßes Verfahren:

Daher war die Aufgabe gestellt, ein Wickelverfahren unter Einsatz von mit Metall vorbeschichteten Fasern zu entwickeln.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein neues Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern bzw. 5 rohrartigen Körpern, insbesondere Rohren, auf Basis mindestens eines zumindest im erhitzten Zustand duktilen, gut wärmeleitfähigen Metalls mit mindestens einer in dieses gebetteten Lage von anorganischen Fasern, mit hoher Festigkeit, wobei mit dem jeweiligen Metall beschichtete Fasern zusammen mit dem Metall in fester Form um einen Kern gewickelt werden und der erhaltene Rohling unter Einwirkung von erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur, insbesondere durch Heiß-Isostat-Pressen (HIP), kompaktiert 10 wird, das dadurch gekennzeichnet ist, daß ein Wickelkern mit einer zumindest einlagigen ersten, innersten Schicht einer Folie aus mindestens einem Metall, beispielsweise aus der Gruppe Cu, Ni, Fe, Co, Al, Zn, Pb, Sn oder der Legierungen mindestens zweier der genannten Metalle einschließlich üblicher Nebenbestandteile, belegt bzw. umschlossen wird, auf welche eine zumindest einlagige Schicht von mit dem jeweiligen oder einem kompatiblen Metall beschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, mit im Vergleich 15 zum Metall der Folie geringerem Wärmeausdehnungskoeffizienten, oder aber eine jeweils gewünschte Folge von zumindest einlagigen Schichten von mit einem jeweiligen oder einem damit kompatiblen Metall beschichteten solchen Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, und von mit Folien des jeweils gewünschten bzw. vorgesehenen Metalls gebildeten, zumindest einlagigen Schichten auf die erste Metallfolien-Schicht aufgebracht bzw. gewickelt wird, wobei die auf die erste Schicht aufgebrachte Schicht mit den 20 metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, und die letzte bzw. äußerste Schicht mit einer Metallfolie gebildet wird und daß schließlich der so erhaltene Mehrschicht-Körper unter Ausbildung eines Diffusionsverbundes durch Einwirkung von erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck kompaktiert, insbesondere einem gegebenenfalls mehrstufigen HIP- und Sinterprozeß, unterworfen wird.

Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist unter anderem, daß es sich der absolut bewährten 25 Wickeltechnik bedient und, wie sich zeigte, einen tatsächlich integralen Verbund der Metallmatrix in sich und mit den Fasern, also z.B. zwischen Kupfer und Kohlenstoffendlosfasern herbeiführt, der selbst unter extremen Last- und Temperatur-Wechselbedingungen nicht im geringsten zu Desintegrationerscheinungen neigt.

Es hat sich weiters gezeigt, daß bei Rohren auf Basis eines Kupfer-Kohlenfaser-Verbundes mit 30 konzentrischen Faserlegen abwechselnd mit Kupfereinlagen bei konzentrischer und/oder diagonal schräger und/oder sequentiell einander kreuzend diagonaler Faser-Wickelweise infolge dieser Wickeltechnik und der dabei erfolgenden Vorspannung der Komponenten ein in weiten Grenzen feinabgestimmt steuer- und variierbarer, von der Temperatur abhängig ein-, zwei- oder dreidimensionaler (x,y,z) innerer Spannungszustand im fertigen Wickelkörper erzielt werden kann. Dieser versetzt die erfindungsgemäß erhältlichen neuen 35 Verbundkörper bei jeglicher Temperaturbeaufschlagung in die Lage, für bestimmte Einsatzbereiche einen in die verschiedenen Richtungen (x,y,z) gleichen und/oder verschiedenen, steuerbaren bzw. kontrollierbaren Ausdehnungskoeffizienten aufzuweisen.

Als Fasern kommen solche aus verschiedenen Materialien wie natürliche mineralische oder synthetische Fasern in Frage. Als Beispiele seien Whiskers und Fasern bzw. Filamente aus Metalloxiden, wie z.B. 40 Boroxid, Aluminiumoxid, Titanoxid, Zirkonoxid, Keramik, Silikaten, Gläsern, aber auch aus Carbiden, Nitriden, Boriden, Siliciden od.dgl. genannt. Wie schon betont, sind Kohlenstoff-Fasern wegen ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit, ihrer Metallkompatibilität und ihrer hohen Festigkeit besonders bevorzugt.

Als Folienmetalle kommen - wie schon oben erwähnt - hauptsächlich reines Cu, Al, Zn, Sn, Pb, Ni, Fe und/oder Co in Frage oder technisch reine Metalle mit verschiedensten Nebenbestandteilen, wie z.B. Si, Sb, 45 Mg, Ti, Zr, eventuell Alkalimetalle in Mengen, die deren Eigenschaften nicht nachteilig beeinflussen, dann aber auch Folien aus verschiedenen, gezielt eingesetzten Legierungen. Dabei kann auch eine "in situ"-Legierungsbildung durch thermoinduzierte, gegenseitige Diffusion der Teilchen von übereinander gewickelten Lagen aus verschiedenen Metallen oder auch zwischen dem Faserbeschichtungs-Metall und dem Folienmetall während des Heiß-Kompaktiervorganges und/oder eines oder mehrerer diesem vor- oder 50 nachgeschalteten Temperierungs und/oder Vor- bzw. Nachkompaktierungsvorgängen oder -prozessen.

Wegen hervorragender Wärmeleit- und -verteilungseigenschaften besonders bevorzugt ist die Herstellung eines Rohrmaterials mit einem auf Basis von Kupfer-Kohlenstoff-Endlosfaser aufgebauten Verbund gemäß **Anspruch 2**, wobei der Kohlenstoff infolge seines metallähnlichen Charakters die Wärmeleit-Charakteristiken nicht wesentlich beeinträchtigt, infolge der Wicklung als Endlosfaser aber hohe bis höchste 55 Festigkeit und reduzierte Wärmedehnungen in zumindest einer Richtung einbringt.

Bevorzugte Techniken der Beschichtung der Fasern, insbesondere der Kohlenstoff-Fasern, in welcher Form sie auch immer sie letztlich zum Einsatz vorliegen, z.B. als Faserverbände, Bündel, Vliese, Bänder od.dgl., sind im **Anspruch 3** angeführt. Wenn, wie gemäß diesem Anspruch bevorzugt, jede Faser für sich,

also integral, jeweils ihre gesamte Oberfläche metallbeschichtet ist, kann ein besonders effektiver Faser-Metallmatrix-Verbund mit einem Minimum an Störstellen, welche sonst erst durch intensive Heißbehandlung "geschlossen" werden können, erzielt werden.

5 Soll ein Faserverband, z.B. in Bündel- oder Gewebeform, für den Wickelprozeß eingesetzt werden, ist es vorteilhaft, diesen "Verband" erst nach der Beschichtung mit Metall herzustellen, wobei eventuell noch eine Nachmetallisierung des erhaltenen Faser-Verbandes vorgenommen werden kann.

Der jeweils erreichten Integrität und Stabilität des Metall-Faserverbundes besonders zuträglich ist es, die Oberflächen der Folien und eventuell auch der metallisierten Fasern vor deren Einsatz zu reinigen, zu entfetten od.dgl., z.B. durch Tenside, Beizen, Ionenätzen od.dgl., bevorzugt natürlich in einer inerten Gas-
10 Atmosphäre und/oder im Vakuum, wie gemäß **Anspruch 4** vorgesehen.

Besonders bevorzugte Schichtdicken der eingesetzten Metallfolien sind im **Anspruch 5** angeführt, wobei es wichtig ist, daß von Metall zu Metall verschieden jedenfalls die mechanische Stabilität der daraus gefertigten Folie beim Wickelprozeß selbst gegeben sein muß.

15 Anisotrope Eigenschaftsbilder der erhaltenen Rohrkörper mit gezielter Anisotropie lassen sich gegebenenfalls durch Einsatz selbst anisotroper Folien erzielen oder auch korrigieren, wenn gemäß **Anspruch 6** vorgegangen wird.

Wie schon oben angedeutet, können Körper mit Legierungs-Matrix durch direkten Einsatz von Folien und/oder Faserbeschichtungen aus Legierungen erhalten werden, eine weitere Möglichkeit besteht darin, zwei oder mehr Folien-Schichten der verschiedenen, zu legierenden Metalle übereinander zu wickeln oder
20 aber gleich eine Mehrschichtfolie aus zumindest zwei flächig aneinander gebundenen Lagen voneinander verschiedener, zur Legierung vorgesehener Metalle einzusetzen, wie gemäß **Anspruch 7** vorgesehen.

Vorteil ist dabei, daß dort gleich vom Beginn der Heißkompaktierung an die gegenseitige Eindiffusion unter Legierungsbildung ohne jede Hemmung erfolgen kann.

Bevorzugte Dimensionen der einzusetzenden Einzelfilamente sind im **Anspruch 8** angegeben.

25 Die Angaben des **Anspruches 9** betreffen vorteilhafte Dicken der Metallaufgaben auf den einzusetzenden Fasern, welche sich als für den innigen Verbund als besonders günstig erwiesen haben.

Im Sinne der schon oben ausgeführten Technik der Legierungsbildung "in situ", also erst während des erfindungsgemäßen Prozesses, kann es auch - wie das **Anspruch 10** vorsieht - vorteilhaft sein, Fasern mit Zwei- oder Mehrlagen-Metallbeschichtung für den Wickelvorgang einzusetzen.

30 Zur Steuerung von Festigkeit, innerer Anisotropie und Dicke der faserhaltigen Schichten, aber auch von deren Textur und Struktur ist der Einsatz von Ausbildungsformen verschiedener Faser-, Filament- oder Faden Verbände bzw. "Ensembles" gemäß **Anspruch 11** von Bedeutung.

In ähnlicher Weise können die ben genannten Charakteristika auch bei einer weiteren, vorteilhaften Verfahrensvariante gemäß **Anspruch 12** beeinflusst und gesteuert werden.

35 Eine feinabgestimmte Beeinflussung der Homogenität oder Richtungsabhängigkeit, Isotropie und Anisotropie verschiedener physikalischer, mechanischer und thermochemischer Daten und Eigenschaften der schließlich gemäß der Erfindung erhältlichen Hohlkörper läßt sich durch gezielte Winklereinstellung und Spannung bei der Wickelführung und/oder gezielte Aufeinanderfolge der Wickelführungsrichtungen innerhalb der einzelnen Lagen einer Faserschicht und/oder innerhalb verschiedener Faserschichten innerhalb
40 des gesamten Faser-Metall-Verbandes erzielen, wie dies in allgemeiner Form im **Anspruch 13** angegeben ist.

So kann in einfachen Fällen z.B. Radial-, Diagonal- und/oder Kreuzwicklung in jeder lagenabhängig aufeinanderfolgenden Kombination erfolgen.

45 Verschiedene bevorzugte Arten der Ablage der Fasern bzw. der Ausrichtung derselben beim Wickelvorgang gibt der **Anspruch 14** wieder. Damit kann eine präzise Steuerung von Wärmeleitungs-, Wärmeverteilungs-, Wärmeausdehnungs- innerer Spannungs- und/oder Festigkeits-Anisotropie der erhaltenen Rohrkörper erreicht werden.

Die **Ansprüche 15 bis 18** betreffen in der Praxis bewährte Wickelfolgen und -bedingungen, welche reproduzierbar zu einwandfreien Metall-Faser-Verbundkörpern führen.

50 Je nach Beanspruchung kann es günstig sein, eine Konzentrierung der Faserwickellagen bzw. -schichten, wie es **Anspruch 19** vorsieht, innerhalb des innersten Drittels und/oder, wie es **Anspruch 20** vorsieht, innerhalb des äußersten Drittels der Wandstärke des fertigen Rohrkörpers vorzusehen.

Was die Fasermenge in Relation zur Menge an Metallmatrix im erfindungsgemäß herzustellenden Formkörper betrifft, können die im **Anspruch 21** dargelegten Bereiche als besonders vorteilhaft gelten.
55 Dies trifft im besonderen auf einen Kupfer- bzw. Kupferlegierungs-Kohlenstofffaser-Verbund zu.

Allgemein die Produktion der neuen Körper betreffend, sind bevorzugterweise die vom **Anspruch 22** umfaßten Bedingungen einzuhalten.

Im einzelnen sind vorteilhafterweise zu befolgende Produktionsparameter im **Anspruch 23** zusammengefaßt.

Die entsprechenden, günstigerweise einzuhaltenden Prozeßdaten für die bevorzugterweise herzustellenden Hohlkörper und Rohre auf Basis eines Kupfer-Kohlenstoff-Faser-Verbunds geben schließlich die **Ansprüche 24 und 25** wieder.

Beispiel:

Auf einer für Wickelzwecke adaptierten Drehbank wurden jeweils auf einem Kern von 15 mm Durchmesser bei unterschiedlichen Drehzahlen im Bereich von 5 bis 50 min⁻¹ unter Vorspannung im Bereich von 450 N/mm² Kohlenstoff-Fasern einer mittleren Filamentdicke von 4 bis 5 mm mit einer Kupferbeschichtung einer mittleren Dicke von 0,3 bis 0,5 mm abwechselnd positiv und negativ diagonal im Winkel von ± 80° (± 10°) jeweils in einer Folge von 6 Schichten aufgebracht, danach wurde unter Vorspannung von etwa 50 bis 80 N/mm² eine Dreifachschicht einer Cu-Folie mit einer mittleren Schichtdicke von 0,4 bis 0,5 µm aufgebracht, danach wieder eine Folge von 6 Faserschichten, drei Cu-Folienschichten, usw., bis jeweils ein rohrförmiger "roher" Grafitfaser-Kupferverbund-Rohrkörper mit 5,5 mm Wandstärke erhalten wurde.

Die Grünlinge wurden demnach einem HIP-Prozeß bei den folgenden Bedingungen: Temperatur: langsam ansteigend bis 650 °C. Druck: ansteigend bis 950 bar, Halten bei diesen Maximalwert-Bedingungen 30 min, Abkühlung unter Aufrechterhaltung des genannten Druckes auf 300 °C, danach Druckentlastung und Kühlung auf Raumtemperatur. Es wurden blanke, kupferfarbige Rohrkörper mit etwas "rauher" Oberfläche und einer Wandstärke von 4,7 mm erhalten, deren Ausdehnung radial jeweils im Bereich zwischen 3.10⁶ und 7.10⁶ mK⁻¹ lag und deren Wärmeleitfähigkeit 100 bis 280 Wm⁻¹ betrug.

Patentansprüche

25

1. Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern bzw. rohrartigen Körpern, insbesondere Rohren, auf Basis mindestens eines zumindest im erhitzten Zustand duktilen, gut wärmeleitfähigen Metalls mit mindestens einer in dieses gebetteten Lage von anorganischen Fasern mit hoher Festigkeit, wobei mit dem jeweiligen Metall beschichtete Fasern zusammen mit dem Metall in fester Form um einen Kern gewickelt werden und der erhaltene Rohling unter Einwirkung von erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur, insbesondere durch Heiß-Isostat-Pressen (HIP), kompaktiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Wickelkern mit einer zumindest einlagigen ersten, innersten Schicht einer Folie aus mindestens einem Metall, beispielsweise aus der Gruppe Cu, Ni, Fe, Co, Al, Zn, Pb, Sn oder der Legierungen mindestens zweier der genannten Metalle einschließlich üblicher Nebenbestandteile, belegt bzw. umschlossen wird, auf welche eine zumindest einlagige Schicht von mit dem jeweiligen oder einem kompatiblen Metall beschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, mit im Vergleich zum Metall der Folie geringerem Wärmeausdehnungskoeffizienten oder aber eine jeweils gewünschte Folge von zumindest einlagigen Schichten von mit einem jeweiligen oder einem damit kompatiblen Metall beschichteten solchen Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, und mit Folien des jeweils gewünschten bzw. vorgesehenen Metalls gebildeten, zumindest einlagigen Schichten auf die erste Metallfolien-Schicht aufgebracht bzw. gewickelt wird, wobei die auf die erste Schicht aufgebrachte Schicht mit den metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, und die letzte bzw. äußerste Schicht mit einer Metallfolie gebildet wird und daß schließlich der so erhaltene Mehrschichtkörper unter Ausbildung eines Diffusionsverbundes durch Einwirkung von erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck kompaktiert, insbesondere einem gegebenenfalls mehrstufigen HIP- und Sinterprozeß unterworfen wird.

50

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Folienmaterial und als Faser-Beschichtungsmaterial Kupfer oder eine Kupfer-basierte Legierung eingesetzt wird.

55

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fasern, vorzugsweise Kohlenstoff-Endlosfasern, bevorzugt jede der einzelnen Fasern für sich und vollständig mit einer durch CVD und/oder PVD, durch Sputtern, Plasmaspritzen, Ionenplattierung, Galvanik, Pulver- oder Schmelztauchen aufgetragenen Metallbeschichtung eingesetzt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß Metallfolien mit beidseitig von Haftungs- und Bindungsfähigkeit herabsetzenden Schichten bzw. Belägen auf chemischem und/oder physikalischem Weg befreiten, gegebenenfalls definiert geraushten, Oberflächen einge-

setzt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß Metallfolien, insbesondere Folien auf Kupferbasis, mit Schichtdicken im Bereich von 0,1 bis 2 μm , insbesondere von 0,2 bis 1 μm , eingesetzt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß unidirektional gestreckte bzw. gereckte Metallfolien eingesetzt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß Verbundfolien aus zumindest zwei zueinander unterschiedlichen Metallen eingesetzt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß metallbeschichtete Fasern, insbesondere Kohlenstoff-Endlosfasern, mit einer mittleren Kohlenstoff-Filamentdicke von 2 bis 10 μm eingesetzt werden, gegebenenfalls als Faserbündel mit bis zu 3000, insbesondere bis zu 2000 Einzelfilamenten.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, mit einer Metallbeschichtung in einer mittleren Dicke von 0,1 bis 20 μm , insbesondere von 0,2 bis 15 μm , eingesetzt werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, mit einer zumindest zwei Lagen von untereinander verschiedenen, miteinander legierungsfähigen Metallen umfassenden Beschichtung eingesetzt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß zu Bündeln vereinigte und/oder Fäden oder Bändern verzwirnte, verwirkte und/oder verwobene, gegebenenfalls in Vliesform vorliegende, metallbeschichtete Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, eingesetzt werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, bei Bildung der sie enthaltenden Schichten, in entlang der Erzeugenden des Rohrkörpers gleichmäßiger Flächenbelegungs-Dichte abgelegt und gewickelt werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, bei der Bildung der sie enthaltenden Schicht(en) bzw. einzelnen Lagen der Schichten in rechtem Winkel (radial) und/oder in spitzem Winkel (schräg, diagonal) bis 45°, insbesondere 75 bis 85°, zu den jeweiligen Rohrkörper-Erzeugenden abgelegt und gewickelt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, bei Bildung von mehreren aneinandergrenzenden Lagen innerhalb einer Schicht oder mehreren Schichten oder von voneinander durch Metallfoliensicht(en) getrennten Schichten in untereinander bzw. zueinander verschiedenen, gegebenenfalls spiegelbildlich symmetrischen, Richtungen bzw. Winkeln zu den jeweiligen Rohrkörper-Erzeugenden abgelegt bzw. gewickelt werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Wickelvorgang eine Folge von Schichten von jeweils nur tangential abgelegten (Kohlenstoff-)Fasern und/oder nur diagonal abgelegten Fasern übereinander bzw. nacheinander abgelegt werden.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Wickelvorgang eine Folge von Schichten mit abwechselnd je einer Schicht von tangential oder diagonal abgelegten (Kohlenstoff-)Fasern und einer Metallfoliensicht nacheinander bzw. übereinander abgelegt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß jeweils nacheinander bzw. übereinander abgelegte, aufeinanderfolgende Schichten von Fasern mit abwechselnd jeweils positiv und negativ diagonal (+/-) abgelegten Fasern gebildet werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Wickeln der Fasern dieselben einer Vorspannung im Bereich von 300 bis 1000 N/mm², insbesondere von 700 bis 850 N/mm² unterworfen werden.
- 5 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Ablage der Metallfolie dieselbe einer Vorspannung von 50 bis 250 N/mm², insbesondere von 100 bis 200 N/mm², unterworfen wird.
- 10 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schichten mit den metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff- Endlosfasern, innerhalb des innersten Drittels der Wandstärke des zu produzierenden Rohrkörpers gebildet werden.
- 15 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schichten mit den metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, innerhalb des äußersten Drittels der Wandstärke des zu produzierenden Bohrkörpers gebildet werden.
- 20 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Volumsanteil des gesamten Metalls zum Volumsanteil der in dessen Matrix gebetteten Fasern auf Werte von 70:30 bis 30:70% eingestellt wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verarbeitung der metallbeschichteten Fasern, bevorzugt Kohlenstoff-Endlosfasern, und der Metallfolien, insbesondere die Wickel- und Kompaktiervorgänge, in inerter Atmosphäre und/oder Vakuum vorgenommen werden.
- 25 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Herstellung von Rohrkörpern, beispielsweise mit Außendurchmessern von bis zu 100 mm und Wandstärken bis zu 20 mm, der Wickelprozeß bei Temperaturen von zumindest 300 °C unterhalb der Schmelztemperatur des jeweils im Verbund verwendeten, niedrigst schmelzenden Metalls und der Kompaktiervorgang, insbesondere HIP-Prozeß bzw. das Sintern, bei Temperaturen von zumindest 100 °C unterhalb der Schmelztemperatur des jeweils im Verbund eingesetzten, niedrigst schmelzenden Metalls und bei Drucken im Bereich von 200 bis 4500 bar, insbesondere von 500 bis 2500 bar, vorgenommen wird.
- 30 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Falle der Produktion eines Rohrkörpers auf Basis eines Faser-Kupfer-, vorzugsweise Kohlenstoff-Faser-Kupfer-Verbundes der Wickelvorgang bei Temperaturen von bis zu 350 °C und der Kompaktier-, insbesondere HIP-Vorgang bei Temperaturen im Bereich von 500 bis 1000 °C, insbesondere von 650 bis 850 °C, und bei Drucken von 200 bis 1500 bar, insbesondere von 500 bis 1000 bar, vorgenommen wird.

40

45

50

55