

(19)



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer:

AT 408 345 B

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1946/99
(22) Anmeldetag: 17.11.1999
(42) Beginn der Patentdauer: 15.03.2001
(45) Ausgabetag: 25.10.2001

(51) Int. Cl.⁷: **C04B 37/02**

C04B 41/88, B23K 35/38, H05K 3/00

(56) Entgegenhaltungen:
EP 85914A2 EP 49007A1 EP 115158A2

(73) Patentinhaber:
ELECTROVAC, FABRIKATION
ELEKTROTECHNISCHER SPEZIALARTIKEL
GESELLSCHAFT M.B.H.
A-3400 KLOSTERNEUBURG,
NIEDERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:
SCHMITT THEODORE NICOLAS DR.
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN ZUR FESTLEGUNG EINES AUS METALL-MATRIXCOMPOSITE-(MMC-) MATERIALES GEBILDETEN KÖRPERS AUF EINEM KERAMISCHEN KÖRPER

(57) Verfahren zur Verbindung eines aus einem Metall-Matrix-Composite- (MMC-) Material gebildeten Körpers (1), insbesondere eines Kühlkörpers, oder eines aus Kupfer gebildeten Körpers (1) mit einem keramischen Körper (2), insbesondere einer keramischen Leiterplatte, wobei die am MMC-Körper (1) oder Kupfer-Körper (1) anliegende Oberfläche des keramischen Körpers (2) mit einem ersten Metall (4) beschichtet wird, wobei der keramische Körper (2) auf den MMC- oder Kupfer-Körper (1) aufgelegt wird und die beiden Körper (1,2) über die eutektische Temperatur des Systems gebildet aus dem Matrix-Metall des MMC-Körpers (1) oder dem Kupfer des Kupfer-Körpers (1) und dem auf die Oberfläche des keramischen Körpers (2) aufgetragenen ersten Metall (4) erhitzt und anschließend auf Raumtemperatur abkühlen gelassen werden.

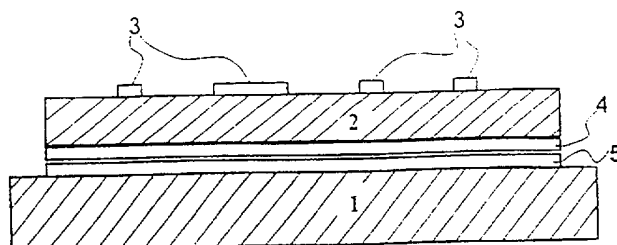


Fig.1

AT 408 345 B

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbindung eines aus einem Metall-Matrix-Composite- (MMC-) Material gebildeten Körpers, insbesondere eines Kühlkörpers, oder eines aus Kupfer gebildeten Körpers mit einem keramischen Körper, insbesondere einer keramischen Leiterplatte, wobei die am MMC-Körper oder Kupfer-Körper anliegende Oberfläche des keramischen Körpers mit einem ersten Metall beschichtet wird.

Mit dem im Stand der Technik bekannten Begriff „Metall-Matrix-Composite-(MMC-)Material“ wird ein Werkstoff bezeichnet, welcher aus zwei Komponenten besteht. Die erste Komponente ist ein Metall, auch als Matrix-Metall bezeichnet. In dieses Metall ist als zweite Komponente ein Verstärkungsmaterial eingebettet. Dieses, zumeist aus einem keramischen Material bestehende Verstärkungsmaterial kann in Gestalt einer Vielzahl von Einzelteilen (Partikeln, Fasern, größeren Teilen) oder in Gestalt eines einzigen oder einiger weniger einstückiger, aber poröser Teile vorliegen. In beiden Fällen ist das Verstärkungsmaterial von Matrix-Metall umschlossen bzw. durchdrungen, sodaß beide Komponenten gut miteinander vermischt sind.

Derartige Verbundwerkstoffe weisen besonders gute Eigenschaften, wie hohe mechanische Festigkeit, gute Temperaturleitfähigkeit, gute Temperaturwechsel-Beständigkeit, niedriger Ausdehnungskoeffizient und dgl. auf. Das Ausmaß dieser Eigenschaften, d.h. die konkreten Werte der Festigkeit, der Temperaturleitfähigkeit usw. lassen sich durch gezielte Auswahl des Verstärkungsmaterials und des Matrix-Metalls sowie des Mischungsverhältnisses dieser beiden Komponenten einstellen.

Im Stand der Technik sind mehrere Verfahren zur Herstellung derartiger MMC-Materialien bekannt, sodaß ein detailliertes Eingehen auf diese Herstellungsverfahren entbehrlich erscheint, zumal die gegenständliche Erfindung nicht auf ein solches Herstellungsverfahren abgestellt ist.

Eines der vielen Anwendungsgebiete von MMC-Körpern liegt in deren Verwendung als Kühlkörper für elektrische/elektronische Schaltungen. Dazu ist es notwendig, sie auf der Leiterplatte der zu kühlenden elektrischen/elektronischen Schaltung festzulegen.

Leiterplatten zur Aufnahme von elektrischen/elektronischen Schaltungen, insbesondere von Hochleistungsbaugruppen, wie z.B. Gleichrichterschaltungen umfassend IGBTs zur Bereitstellung von Gleichspannung für Gleichstrommaschinen, werden in zunehmendem Maß aus keramischem Material gebildet. Die auf ihnen festgelegten Leiterbahnen bestehen in der Regel aus Kupfer und werden vorzugsweise mittels eines Direct-Copper-Bonding- (DCB-)Verfahrens auf der Oberfläche festgelegt.

Die Verbindung eines aus MMC-Material gebildeten Kühlkörpers auf dieser keramischen Leiterplatte erfolgt nach bisher bekanntem Stand der Technik durch Verlöten der keramischen Leiterplatte mit diesem Kühlkörper. Dazu wird die am MMC-Körper anliegende Oberfläche des keramischen Körpers mit einem Metall beschichtet, das mit dem Matrix-Metall des Kühlkörpers verlötbar ist. Diese Metall ist in der Regel Kupfer. Anschließend werden der MMC-Kühlkörper und die metallbeschichtete keramische Leiterplatte unter Zuhilfenahme eines Lotes miteinander verlötet.

Die Verwendung dieses Lotes hat einige wesentliche Nachteile: Zum einen stellt die Verwendung eines Lotes einen zusätzlichen Materialaufwand dar, zum anderen muß das Lot zwischen die beiden zu verlötenden Körper eingebracht werden, was einen entsprechenden zusätzlichen produktionstechnischen Schritt erfordert. Desweiteren besitzt das Lot eine relativ schlechte Wärmeleitfähigkeit, verhindert also ein ungestörtes Fließen der Wärme zu dem Kühlkörper ($\text{Au80Sn20} = 58\text{W/mK}$; $\text{Au88Ge12} = 44\text{W/mK}$; $\text{Sn66Pb36Ag2} = 54\text{W/mK}$). Schließlich sind die zur Herstellung der im gegenständlichen Fall benötigten Lötverbindungen geeigneten Lote bleihaltig, womit bei deren Verarbeitung für Mensch und Umwelt giftige Dämpfe entstehen.

Neben der eben erörterten Problematik der Verbindung eines MMC-Körpers mit einer Keramik wurde im Stand der Technik bisher die Festlegung eines Kupferkörpers bzw. einer Kupferschicht auf einer Keramik, insbesondere auf Aluminiumnitrid, nicht zufriedenstellend gelöst.

Es ist Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, ein Verfahren der eingangs angeführten Art anzugeben, bei welchem die erörterten Probleme vermieden werden, welches also die Verbindung eines aus einem Metall-Matrix-Composite- (MMC-)Material oder aus Kupfer gebildeten Körpers mit einem keramischen Körper in technisch einfacher und umweltfreundlicher Weise ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß der keramische Körper auf den MMC- oder Kupfer-Körper aufgelegt wird und daß die beiden Körper über die eutektische Temperatur des

Systems gebildet aus dem Matrix-Metall des MMC-Körpers oder dem Kupfer des Kupfer-Körpers und dem auf die Oberfläche des keramischen Körpers aufgetragenen ersten Metall erhitzt und anschließend auf Raumtemperatur abkühlen gelassen werden.

Diese Vorgangsweise kommt völlig ohne einen Lötvorgang aus, womit sämtliche mit dieser Verbindungstechnik verbundenen Schwierigkeiten und Nachteile von vornherein vermieden sind. Darüberhinaus weist eine erfindungsgemäß entstehende eutektische Verbindung eine weitaus höhere Festigkeit und einen höheren Schmelzpunkt auf, als eine Lötstelle, womit der entstehende Verbund aus MMC-Körper oder Kupfer-Körper und keramischem Körper in einem weiteren Bereich, insbesondere bei höheren Temperaturen, als die bisher durch Verlöten hergestellten Verbünde eingesetzt werden kann.

Die mittels diesem Verfahren hergestellte Verbindung zwischen einem Kupfer-Körper und einem keramischen, insbesondere aus AlN gebildeten Körper, ist wesentlich besser, als die mit den bisher bekannten Verfahren erzielten Ergebnissen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsweise der Erfindung kann vorgesehen sein, daß vor dem Auflegen des keramischen Körpers auf den MMC-Körper auf die am keramischen Körper anliegende Oberfläche des MMC-Körpers ein zweites Metall aufgebracht wird und daß die beiden Körper über die eutektische Temperatur des Systems gebildet aus dem Matrix-Metall des MMC-Körpers, dem auf die Oberfläche des keramischen Körpers aufgetragenen ersten Metall und dem auf die Oberfläche des MMC-Körpers aufgetragenen zweiten Metall erhitzt und anschließend auf Raumtemperatur abkühlen gelassen werden.

Bei richtiger Abstimmung der drei Metalle (erstes Metall am keramischen Körper, zweites Metall am MMC-Körper und Matrix-Metall des MMC-Körpers) aufeinander können diese ein ternäres Eutektikum bilden, welches eine besonders innige Verbindung von keramischem Körper und MMC-Körper herstellt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß das Matrix-Metall des MMC-Körpers durch Aluminium oder eine Aluminiumlegierung gebildet wird.

Derartige Verbünde weisen eine besonders gute thermische Leitfähigkeit auf, weshalb sie sich sehr gut zur Bildung von Kühlkörpern eignen.

Weiters kann vorgesehen sein, daß das Verstärkungsmaterial des MMC-Körpers durch eine Keramik, insbesondere durch SiC gebildet wird.

Ein MMC-Körper mit diesem Verstärkungsmaterial weist sehr hohe mechanische Festigkeitswerte auf. Insbesondere in Kombination mit einem aluminiumhaltigen Matrix-Metall ergibt sich daneben eine gute thermische Leitfähigkeit, welche den MMC-Körper zur Bildung eines Kühlkörpers geeignet macht.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die am MMC-Körper anliegende Oberfläche des keramischen Körpers mit Kupfer beschichtet wird.

Weiters kann vorgesehen sein, daß auf die am keramischen Körper anliegende Oberfläche des MMC-Körpers Kupfer aufgebracht wird.

Zwischen MMC-Körper und keramischem Körper befinden sich insgesamt drei Metalle (Matrixmetall des MMC-Körpers, erstes Metall auf der Oberfläche des keramischen Körpers und zweites Metall auf der Oberfläche des MMC-Körpers). Hier können nun das zusätzlich auf den MMC-Körper aufgetragene Metall und das Metall auf der Keramik miteinander reagieren und ein Eutektikum bilden. Gleichzeitig reagiert aber auch das zusätzlich auf den MMC-Körper aufgetragene Metall mit dem Matrix-Metall des MMC-Körpers, wobei ebenfalls ein Eutektikum gebildet wird. Diese Verbindungen können dann wieder untereinander reagieren. Im günstigsten Fall bildet sich ein ternäres Eutektikum aus. Kupfer ist besonders gut geeignet, eine Vielzahl von Materialkombinationen zu einem solchen ternären System zu ergänzen, womit die Verwendung einer Kupferschicht eine universelle Anwendbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens erlaubt.

In diesem Zusammenhang hat es sich als vorteilhaft erwiesen, daß die Beschichtung der am MMC-Körper anliegenden Oberfläche des keramischen Körpers mittels eines Direct-Copper-Bonding- (DCB-)Verfahrens durchgeführt wird.

Mit einem solchen Verfahren kann eine besonders innige Verbindung der Kupferschicht am keramischen Körper erreicht werden.

Wenn mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein Kupfer-Körper mit einem keramischem Körper verbunden wird, kann vorgesehen sein, daß die am Kupfer-Körper anliegende Oberfläche

des keramischen Körpers mit Aluminium beschichtet wird, wobei in diesem Zusammenhang weiters vorgesehen sein kann, daß auf die Aluminiumschicht eine Kupferschicht aufgebracht wird, beispielsweise mittels elektrochemischen Methoden, wie insbesondere mittels eines galvanischen Verfahrens.

5 Aluminium und Kupfer bilden bei 548°C ein Eutektikum, sodaß mittels einer Aluminiumbeschichtung der Keramik die Voraussetzungen für den korrekten Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens geschaffen werden können.

Nach einer anderen Ausgestaltungsweise der Erfindung kann vorgesehen sein, daß auf die am keramischen Körper anliegende Oberfläche des MMC-Körpers Zink, Zinn, Germanium od. dgl.
10 aufgebracht wird.

Diese Materialien sind insbesondere geeignet, ein aluminiumhaltiges Matrix-Metall und eine Kupferbeschichtung des MMC-Körpers zu einem einen eutektischen Punkt aufweisenden ternären System zu ergänzen.

Dabei kann vorgesehen sein, daß das Aufbringen des zweiten Metalles auf die am keramischen Körper anliegende Oberfläche des MMC-Körpers mittels eines galvanischen Verfahrens durchgeführt wird.
15

Dieses Beschichtungsverfahren ist gut bekannt, weshalb die damit erzielbaren Ergebnisse besonders gut gesteuert werden können.

Alternativ dazu kann vorgesehen sein, daß das Aufbringen des zweiten Metalles auf die am keramischen Körper anliegende Oberfläche des MMC-Körpers mittels eines stromlosen Verfahrens, wie z.B. mit dem Tampon-Verfahren, durchgeführt wird.
20

In diesem Fall kann die Oberfläche des MMC-Körpers gezielt und selektiv mit Metall beschichtet werden.

Daneben kann aber auch vorgesehen sein, daß das Aufbringen des zweiten Metalles auf die am keramischen Körper anliegende Oberfläche des MMC-Körpers durch Auflegen einer aus dem zweiten Metall gebildeten Folie erfolgt.
25

Diese Vorgangsweise ist technisch ganz besonders einfach, weil sie - außer einem Werkzeug zum Zuschneiden der Metallfolie - keine weiteren Einrichtungen (Galvanikbad, Ofen od. dgl.) erfordert.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß der MMC-Körper oder der Kupfer-Körper und der keramische Körper unter Normalluft-Atmosphäre erhitzt werden.
30

Das erfindungsgemäße Verfahren ist so mit besonders geringem Aufwand verbunden durchführbar, insbesondere braucht die Atmosphäre des Ofens, in welchem die Erhitzung der beiden Körper durchgeführt wird, - abgesehen natürlich von der Erhitzung - in keiner weiteren Weise konditioniert werden.
35

Alternativ dazu kann aber auch vorgesehen sein, daß der MMC-Körper oder der Kupfer-Körper und der keramische Körper unter Schutzgas-Atmosphäre erhitzt werden, in welchem Zusammenhang es sich als besonders günstig erwiesen hat, daß die Schutzgas-Atmosphäre durch Stickstoff gebildet wird. Weiters kann vorgesehen sein, daß der MMC-Körper oder der Kupfer-Körper und der keramische Körper im Vakuum erhitzt werden.
40

Damit ist während des Erhitzens nahezu kein Sauerstoff in der Umgebung der beiden Körper vorhanden, sodaß sich weder auf diesen noch in der entstehenden Verbindungsschicht zwischen diesen beiden Körpern Oxide bilden können.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsweise der Erfindung kann vorgesehen sein, daß zumindest der MMC-Körper oder der Kupfer-Körper, vorzugsweise auch der keramische Körper, während des Erhitzens von aus Graphit bestehenden Halterungen gehalten wird.
45

Graphit reagiert mit in seiner Umgebung befindlichen Materialien erst bei sehr hohen, beim Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens gar nicht erreichten Temperaturen, sodaß die Eigenschaften des entstehenden Verbundes aus MMC-Körper und Keramik-Körper negativ beeinträchtigende Verbindungen nicht entstehen können.
50

Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die beigeschlossenen Zeichnungen näher beschrieben. Dabei zeigt:

Fig.1 einen vertikal geführten Schnitt durch einen mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellten Verbundes umfassend einen MMC-Körper 1 und einen keramischen Körper 2 und
55

Fig.2 einen vertikal geführten Schnitt durch einen mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens

hergestellten Verbundes umfassend einen Kupfer-Körper 1 und einen keramischen Körper 2.

Vorerst wird lediglich auf das erfindungsgemäße Verfahren zur Verbindung eines aus einem Metall-Matrix-Composite (MMC-)Materials gebildeten Körper 1 und Fig.1 Bezug genommen. Der MMC-Körper 1 ist dabei ein Kühlkörper und der keramische Körper 2 eine keramische Leiterplatte, auf dessen in Fig.1 oben liegender Oberfläche aus Kupfer gebildete Leiterbahnen 3 aufgebracht sind. Das erfindungsgemäße Verfahren wird unter Bezugnahme auf dieses bevorzugte Ausführungsbeispiel beschrieben, was aber die Anwendung des Verfahrens zur Verbindung von Körpern, welche andere Funktionen erfüllen, nicht ausschließt.

Die Leiterbahnen 3 werden vorzugsweise mittels eines im Stand der Technik an sich bekannten Direct-Copper-Bonding- (DCB-)Verfahrens am keramischen Substrat festgelegt. Bei einem solchen Direct-Copper-Bonding- (DCB-)Verfahren wird zwischen dem keramischen Substrat und einer Kupferfolie durch Aufbringen von Sauerstoff auf eine dieser beiden Komponenten und/oder beide Komponenten und nachfolgendes Erhitzen über die eutektische Temperatur von Cu und Cu₂O ein Cu/Cu₂O-Eutektikum gebildet, welches nach Abkühlen der beiden Komponenten diese miteinander verbindet. Bei der auf diese Weise erfolgenden Herstellung eines Kupfer-Keramik-Verbundes wird die physikalische Tatsache ausgenutzt, daß ein Cu/Cu₂O-Eutektikum sowohl Kupfer als auch Keramik sehr gut benetzt bzw. daß dieses Eutektikum nach dem Erkalten besonders gut an Keramik und Kupfer haftet und somit diese beiden Komponenten besonders innig miteinander verbindet.

Die in Fig.1 unten liegende und am MMC-Körper 1 anliegende Oberfläche des keramischen Körpers 2 ist mit einem ersten Metall 4 beschichtet, welches Metall 4 vorzugsweise so wie die Leiterbahnen 3 aus Kupfer gebildet ist. Damit ist es möglich, auch diese Beschichtung mittels eines DCB-Verfahrens besonders innig am keramischen Körper 2 festzulegen. Es ist aber nicht ausgeschlossen, anstelle von Kupfer andere Metalle zur Bildung der Leiterbahnen 3 und/oder der auf der Unterseite liegenden Metallschicht 4 auf den keramischen Körper 2 aufzubringen, was dann allerdings mittels anderer Verfahren, wie z.B. Aufdampfen, Galvanisieren od. dgl. erfolgen muß. Wie weiter unten noch näher erläutert wird, kann die Wahl des Metalles 4 dieser Beschichtung abgestimmt werden auf das Matrix-Metall des MMC-Körpers 1 und das auf der Oberfläche dieses MMC-Körpers 1 aufgebrachte zweite Metall 5.

Die genaue Zusammensetzung des keramischen Körpers 2 ist für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens unwesentlich, beispielsweise kann dieser Körper gebildet werden aus AlTiO₃, SiAlO_xN_y, AlN, BN, SiC, Si₃N₄ oder SiO_xN_y. Der genaue Ablauf und die Parameter des DCB-Verfahrens zur Festlegung der Leiterbahnen 3 und der Kupferschicht 4 auf dem keramischen Körper 2 müssen dem konkret verwendeten Material angepaßt werden. Die für jedes der genannten Materialien einzusetzenden Parameter bzw. die genauen Verfahrensabläufe sind ebenfalls im Stand der Technik für sich bekannt.

Die Natur eines Metall-Matrix-Composite- (MMC-)Werkstoffes ist bekannter Stand der Technik und wurde in der Einleitung der vorliegenden Beschreibung bereits näher beschrieben, sodaß von einer diesbezüglichen ausführlichen Erläuterung Abstand genommen werden kann. Festzuhalten ist aber dennoch, daß die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht auf eine bestimmte Zusammensetzung des MMC-Körpers 1 eingeschränkt ist, seine Komponenten können - unter Bedachtnahme auf die weiter unten noch erläuterte Abstimmung des Matrix-Metalles auf die anderen im Bereich der Grenzfläche zwischen MMC-Körper 1 und keramischem Körper 2 vorhandenen Metalle - grundsätzlich aus beliebigen Materialien gebildet sein. Das Verstärkungsmaterial kann beispielsweise aus SiC, AlN, AlTiO₃, SiAlO_xN_y, BN, Si₃N₄, SiO_xN_y oder Graphit gebildet sein. Das Matrix-Metall des MMC-Körpers 1 ist vorzugsweise durch Aluminium oder eine Aluminium-Legierung gebildet. Dieses Matrix-Metall wird besonders bevorzugt in Kombination mit einem aus SiC gebildeten Verstärkungsmaterial eingesetzt. Andere verwendbare Matrix-Metalle sind beispielsweise Eisen, Nickel, Magnesium, Kupfer od. dgl. sowie Metalllegierungen.

Die vorliegende Erfindung basiert auf der Idee, die im Stand der Technik bekannte Verlötung des keramischen Körpers 2 mit dem MMC-Körper 1 durch einen eutektischen Prozeß zu ersetzen. Das bedeutet, daß zwischen dem MMC-Körper 1 und dem keramischen Körper 2 durch Erhitzen dieser beiden Körper 1,2 ein Eutektikum gebildet wird, das sehr gut einerseits am MMC-Körper 1 und andererseits sehr gut auf der Metallschicht 4, die am keramischen Körper 2 festgelegt ist, haftet und damit zu einer innigen Verbindung dieser beiden Körper 1,2 führt.

Ein solches Eutektikum kann gebildet werden durch jene Metalle, welche zwischen dem MMC-Körper 1 und dem keramischen Körper 2 anwesend sind. Es sind dies zunächst das Matrix-Metall des MMC-Körpers 1 sowie das an der Unterseite des keramischen Körpers 2 aufgebrachte Metall 4.

Diese beiden Metalle können bei richtiger Abstimmung aufeinander besagtes Eutektikum bilden, welches zu einer innigen Verbindung der beiden Körper 1,2 untereinander führt. Insbesondere wenn das Matrix-Metall des MMC-Körpers 1 durch Aluminium gebildet wird und das auf den keramischen Körper 2 aufgebrachte Metall 4 Kupfer ist, kann die erörterte Verbindung ohne Aufbringung eines zweiten Metalles 5 auf den MMC-Körper 1 erfolgen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird auf die am keramischen Körper 2 anliegende Oberfläche des MMC-Körpers 1 ein zweites Metall 5 aufgebracht, sodaß zwischen dem MMC-Körper 1 und dem keramischen Körper 2 insgesamt drei Metalle anwesend sind, nämlich neben dem schon erörterten Matrix-Metall des MMC-Körpers 1 und dem auf den keramischen Körper 2 aufgebrachten ersten Metall 4 auch das auf den MMC-Körper 1 aufgebrachte zweite Metall 5. Die Dicke des auf den MMC-Körper 1 aufgebrachten zweiten Metalles 5 ist dabei relativ dünn zu wählen, worunter in konkreten Zahlen ausgedrückt Schichtstärken im Bereich zwischen 1 und 10 µm zu verstehen sind.

Die Art und Weise der Aufbringung des zweiten Metalles 5 auf den MMC-Körper 1 ist nicht erfindungswesentlich und kann daher beliebig durchgeführt werden. Als Beispiele für solche Aufbringungsmöglichkeiten können galvanische Abscheidung des Metalles 5 mittels eines entsprechenden galvanischen Verfahrens sowie stromlose Verfahren, wie z.B. das Tampon-Verfahren, mechanisches Aufpressen oder Aufreiben des Metalles angeführt werden. Diese Verfahren führen zu einer Beschichtung des MMC-Körpers 1 mit dem zweiten Metall 5, d.h. dieses wird mit der Oberfläche des MMC-Körpers 1 verbunden. Daneben ist es aber auch möglich, das zweite Metall 5 in Gestalt einer aus diesem Metall 5 gebildeten Folie vorzusehen und diese Folie auf den MMC-Körper 1 aufzulegen.

Bei dieser Erfindungsvariante liegen nun zwischen dem MMC-Körper 1 und dem keramischen Körper 2 drei Metalle, nämlich das Matrix-Metall des MMC-Körpers 1, das auf den keramischen Körper 2 aufgebrachte erste Metall 4 und das auf den MMC-Körper 1 aufgebrachte zweite Metall 5.

Hier können nun das zweite Metall 5 am MMC-Körper 1 und das erste Metall 4 am keramischen Körper 2 miteinander reagieren und ein Eutektikum bilden. Gleichzeitig reagiert aber auch das zweite Metall 5 mit dem Matrix-Metall des MMC-Körpers 1, wobei ebenfalls ein Eutektikum gebildet wird. Diese Verbindungen können dann untereinander reagieren. Im günstigsten Fall bildet sich ein ternäres Eutektikum aus, welches eine sehr innige Verbindung der beiden Körper 1,2 ergibt.

Beispiele für Metallkombinationen, die miteinander ein Eutektikum bilden und deshalb zur Bildung der drei zwischen MMC-Körper 1 und keramischem Körper 2 liegenden Metalle geeignet sind, sind in nachstehender Tabelle angeführt:

Varianten	Al-Cu	Al-Ge	Al-Zn	Al-Sn	Al-Au	Al-Ag	Cu-Ag	Cu-Ge	Cu-Au	Cu-Zn	Cu-Sn
eutekt. Temp. (°C)	548	424	382	232	524 545	566	779	640	880	419	232

Nachdem das zweite Metall 5 auf den MMC-Körper 1 aufgebracht wurde, wird der keramische Körper 2 auf den MMC-Körper 1 aufgelegt und die beiden Körper 1,2 über die eutektische Temperatur des Systems gebildet aus den erörterten drei Metallen erhitzt und anschließend auf Raumtemperatur abkühlen gelassen.

Wurden die drei Metalle so gewählt, daß sie ein ternäres System mit einem gemeinsamen eutektischen Punkt bilden, ist bei der Erhitzung zwischen dem MMC-Körper 1 und dem keramischen Körper 2 ein ternäres Eutektikum entstanden, das nach Abkühlung diese beiden Körper 1,2 innig aneinander festlegt.

Können nur zwei der drei Metalle ein Eutektikum bilden, so ist dieses aus zwei Metallen

bestehende Eutektikum während des Erhitzens entstanden und hat sich dieses Eutektikum innig mit dem dritten Metall verbunden.

Das zur Bildung des Eutektikums notwendige Erhitzen der beiden Körper 1,2 kann unter Normalluft-Atmosphäre, unter Schutzgas-Atmosphäre (das Schutzgas kann beispielsweise durch N_2 oder Ar gebildet sein) oder in Vakuum erfolgen.

Ohne die Erfindung einzuschränken, kann folgendes konkretes Ausführungsbeispiel angegeben werden:

Der MMC-Körper 1 ist hierbei ein sog. AlSiC-Verbund, dessen Matrix-Metall aus Aluminium und dessen Verstärkungsmaterial aus SiC gebildet ist. Die am MMC-Körper 1 anliegende Oberfläche des aus Al_2O_3 gebildeten keramischen Körpers 2 wird unter Anwendung eines DCB-Verfahrens mit Kupfer beschichtet. Auf der am keramischen Körper 1 anliegenden Oberfläche des MMC-Körpers 1 wird ebenfalls eine aus Kupfer gebildete Metall-Schicht 5 festgelegt, was mittels eines galvanischen Verfahrens durchgeführt wird. Zwischen dem MMC-Körper 1 und dem keramischen Körper 2 liegen somit folgende Metalle vor: Aluminium, Kupfer (festgelegt am keramischen Körper 2) und Kupfer (festgelegt am MMC-Körper 1). Aluminium und Kupfer (festgelegt am MMC-Körper 1) bilden bei $548^\circ C$ ein Eutektikum, das mit dem am keramischen Körper 2 festgelegten Kupfer reagiert, sich innig mit diesem verbindet und damit den MMC-Körper 1 mit dem keramischen Körper 2 verbindet. Da hier das am keramischen Körper 2 festgelegte Metall ebenfalls Kupfer ist, kann dieses die eutektische Temperatur nicht unter $548^\circ C$ herabsetzen.

Die beiden Körper 1,2 werden so wie in Fig.1 dargestellt aufeinandergelegt und in einem Ofen auf die eutektische Temperatur von $548^\circ C$ aufgeheizt und anschließend abkühlen gelassen. Besagtes Aufheizen erfolgt unter Schutzgas-Atmosphäre, welches Schutzgas durch Stickstoff gebildet wird. Der MMC-Körper 1 wird während des Verfahrens von aus Graphit bestehenden Halterungen gehalten. In ähnliche Weise kann auch der keramische Körper 2 mittels derartiger Halterungen gehalten werden.

Es wurde in weiteren Versuchen unter Beibehaltung sämtlicher anderer Werkstoffe das am MMC-Körper 1 festgelegte zweite Metall 5 zunächst durch Zink, dann durch Zinn und letztlich durch Germanium ersetzt. Beim Einsatz dieser, von Kupfer verschiedener Materialien liegt im Bereich der Grenzfläche zwischen den Körpern 1,2 ein ternäres System vor, das einen eutektischen Punkt aufweist. Die Temperatur, bei welcher das Eutektikum auftritt, wurde durch Zink, Zinn und Germanium jeweils unter die eutektische Temperatur von Aluminium und Kupfer ($548^\circ C$) herabgesetzt (vgl. obige Tabelle), weshalb entsprechend weniger stark erhitzt werden mußte.

In Fig.2 ist ein aus Kupfer gebildeter Körper 1 sowie ein keramischer Körper 2 dargestellt, welche mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens miteinander verbunden werden. Unter dem hier verwendeten Begriff „Kupfer-Körper 1“ ist sowohl ein massiver, relativ große Dicke aufweisender Körper als auch ein relativ dünner und damit als Kupferfolie bezeichnbarer Kupfer-Körper zu verstehen.

Das Prinzip der Verbindung eines solchen Kupfer-Körpers 1 mit dem keramischen Körper 2 liegt wieder darin, zwischen diesen beiden Körpern 1,2 ein Eutektikum auszubilden, welches nach Abkühlung gut an beiden Körpern 1,2 haftet und diese innig miteinander verbindet.

Das Metall 4, das auf den keramischen Körper 2 aufgebracht wird, muß daher ein solches sein, das mit dem Kupfer des Kupfer-Körpers 1 ein Eutektikum bilden kann. Als günstig hat es sich erwiesen, dieses Metall 4 durch Aluminium zu bilden, welches - wie bereits erwähnt - beim $548^\circ C$ mit Kupfer das erfindungswesentliche Eutektikum bildet.

Das für die Aufbringung des Metalles 4 verwendete Verfahren ist nicht erfindungswesentlich und kann daher beliebig gewählt werden. Es muß allerdings ein solches Verfahren eingesetzt werden, mittels welchem eine gut auf dem keramischen Körper 2 haftende Metallschicht 4 erzeugt werden kann. Wird z.B. ein aus AlN gebildeter keramischer Körper 2 verwendet, so hat es sich als günstig erwiesen, die Aluminiumschicht mittels eines Druckgußprozesses aufzubringen.

Bevorzugterweise wird die Aluminiumschicht mittels einer Gasdruckinfiltration auf den keramischen Körper 2 aufgebracht. Unter dem Begriff „Gasdruckinfiltration“ ist im Rahmen der gegenständlichen Beschreibung ein Verfahren zu verstehen, bei welchem Aluminium durch Erhitzen über seinen Schmelzpunkt verflüssigt, auf den keramischen Körper 2 aufgegossen und durch Erhöhung des Gasdrucks der Umgebungsatmosphäre unter (Gas-)Druck gesetzt wird.

Es erfolgt dabei kein Durchdringen des keramischen Körpers 2 mit Aluminium, weil dieser

dichte Konsistenz aufweist. Es wird lediglich eine oberflächliche Aluminiumschicht ausgebildet. Besagter Gasdruck kann erzeugt werden durch Kompression der Normalluft-Atmosphäre oder durch Einbringen eines von Normalluft-Atmosphäre verschiedenen Gases, insbesondere eines inerten Gase, wie beispielsweise N_2 , in das Druckgefäß, innerhalb welchem besagte Gasdruckinfiltration durchgeführt wird. Das konkrete Ausmaß des aufgetragenen Gasdruckes muß dabei so gewählt werden, daß sich eine innige Festlegung der Aluminiumschicht am keramischen Körper 2 ergibt. Lediglich beispielsweise können Drücke im Bereich zwischen 60 bar bis 140 bar, vorzugsweise von 60 bar bis 80 bar, insbesondere etwa 70 bar, angegeben werden.

Es ist weiters möglich, daß der keramische Körper 2 in ein MMC-Bauteil 7 integriert ist, so wie dies mit strichlierten Linien in Fig.2 dargestellt ist. Die Herstellung eines solchen, aus einem MMC-Bauteil 7 mit in diesen integrierten keramischen Körper 2 bestehenden Verbundes kann dadurch erfolgen, daß das poröse Verstärkungsmaterial des MMC-Bauteils 7 in eine Gußform eingelegt und der keramische Körper 2 auf dieses Verstärkungsmaterial aufgelegt wird. Anschließend wird Aluminium aufgeschmolzen und in diese Gußform eingebracht. Durch Ausübung eines entsprechend hohen Druckes (erzeugbar beispielsweise durch Herstellung eines Gas-Überdruckes in der Gußform-Atmosphäre oder mittels eines mechanischen Preßstempels) wird das Aluminium einerseits in die Poren des Verstärkungsmaterials hineingedrückt (es findet also eine Infiltration dieses Verstärkungsmaterials statt) und umgießt andererseits den keramischen Körper 2. Dadurch wird dieser Körper 2 einerseits mit dem entstehenden MMC-Bauteil 7 verbunden und erhält andererseits eine Aluminiumbeschichtung 4, welche zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens notwendig ist.

Anstelle eines Druckgußprozesses oder einer Gasdruckinfiltration kann auch ein Heißpreßverfahren angewandt werden, bei welchem eine Aluminiumfolie bei erhöhter Temperatur mittels eines Preßstempels auf die Keramik-Körper-Oberfläche aufgepreßt wird.

Eine Aluminiumschicht, die mittels eines Verfahrens aufgebracht wird, bei welchem Aluminium aufgeschmolzen und auf den keramischen Körper 2 aufgegossen wird, sollte aufgrund der starken Unterschiede in den Ausdehnungskoeffizienten zwischen Keramik und Aluminium möglichst dünn bleiben. Da das Aluminium von der schmelzflüssigen Phase in den festen Zustand übergeht und die Verbindung im oberen Temperaturbereich stattfindet, wird eine dicke Aluminiumschicht starke Spannungen auf die Übergangsschicht zwischen Keramik und Aluminium ausüben, sodaß bei größeren Flächen Risse in der Keramik auftreten können. Die Aluminiumschicht wird zur Vermeidung derartiger Probleme dünn, soll heißen im Bereich zwischen 10 und 100µm, gehalten.

Nach erfolgter Aufbringung des Metalles 4 auf den keramischen Körper 2 wird dieser auf den Kupfer-Körper 1 aufgelegt und diese beiden Körper 1,2 über die eutektische Temperatur des Systems gebildet aus dem Kupfer des Kupfer-Körpers 1 und dem auf die Oberfläche des keramischen Körpers 2 aufgetragenen Metalles 4 erhitzt und anschließend auf Raumtemperatur abkühlen gelassen. Dabei entsteht zwischen den beiden Körpern 1,2 ein Cu-Al-Eutektikum, das die beiden Körper 1,2 innig miteinander verbindet.

Bevor die beiden Körper 1,2 aufeinandergelegt und erhitzt werden, kann auf die Metallschicht 4 des keramischen Körpers 2 eine dünne Kupferschicht 6, beispielsweise mittels elektrochemischen Methoden, wie insbesondere mittels eines galvanischen Verfahrens aufgebracht werden. Es liegt dann eine ähnliche Situation vor, wie beim im Zusammenhang mit der Verbindung eines MMC-Körpers mit einem keramischen Körper gegebenen konkreten Ausführungsbeispiel: Diese Kupferschicht bildet mit der Aluminiumschicht ein Eutektikum, das mit dem Kupfer des Kupfer-Körpers 1 reagiert und sich dabei innig mit diesem verbindet.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Verbindung eines aus einem Metall-Matrix-Composite- (MMC-) Material gebildeten Körpers (1), insbesondere eines Kühlkörpers, oder eines aus Kupfer gebildeten Körpers (1) mit einem keramischen Körper (2), insbesondere einer keramischen Leiterplatte, wobei die am MMC-Körper (1) oder Kupfer-Körper (1) anliegende Oberfläche des keramischen Körpers (2) mit einem ersten Metall (4) beschichtet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der keramische Körper (2) auf den MMC- oder Kupfer-Körper (1) aufgelegt

- wird und daß die beiden Körper (1,2) über die eutektische Temperatur des Systems gebildet aus dem Matrix-Metall des MMC-Körpers (1) oder dem Kupfer des Kupfer-Körpers (1) und dem auf die Oberfläche des keramischen Körpers (2) aufgebrachten ersten Metall (4) erhitzt und anschließend auf Raumtemperatur abkühlen gelassen werden.
- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß vor dem Auflegen des keramischen Körpers (2) auf den MMC-Körper (1) auf die am keramischen Körper (2) anliegende Oberfläche des MMC-Körpers (1) ein zweites Metall (5) aufgebracht wird und daß die beiden Körper (1,2) über die eutektische Temperatur des Systems gebildet aus dem Matrix-Metall des MMC-Körpers (1), dem auf die Oberfläche des keramischen Körpers (2) aufgebrachten ersten Metall (4) und dem auf die Oberfläche des MMC-Körpers (1) aufgebrachten zweiten Metall (5) erhitzt und anschließend auf Raumtemperatur abkühlen gelassen werden.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Matrix-Metall des MMC-Körpers (1) durch Aluminium oder eine Aluminiumlegierung gebildet wird.
- 15 4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Verstärkungsmaterial des MMC-Körpers (1) durch eine Keramik, insbesondere durch SiC gebildet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die am MMC-Körper (1) anliegende Oberfläche des keramischen Körpers (2) mit Kupfer beschichtet wird.
- 20 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Beschichtung der am MMC-Körper (1) anliegenden Oberfläche des keramischen Körpers (2) mittels eines Direct-Copper-Bonding- (DCB-)Verfahrens durchgeführt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die am Kupfer-Körper (1) anliegende Oberfläche des keramischen Körpers (2) mit Aluminium beschichtet wird.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf die Aluminiumschicht (4) eine Kupferschicht (6) aufgebracht wird, beispielsweise mittels elektrochemischen Methoden, wie insbesondere mittels eines galvanischen Verfahrens.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf die am keramischen Körper (2) anliegende Oberfläche des MMC-Körpers (1) Kupfer aufgebracht wird.
- 30 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf die am keramischen Körper (2) anliegende Oberfläche des MMC-Körpers (1) Zink, Zinn, Germanium od. dgl. aufgebracht wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Aufbringen des zweiten Metalles (5) auf die am keramischen Körper (2) anliegende Oberfläche des MMC-Körpers (1) mittels eines galvanischen Verfahrens durchgeführt wird.
- 35 12. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Aufbringen des zweiten Metalles (5) auf die am keramischen Körper (2) anliegende Oberfläche des MMC-Körpers (1) mittels eines stromlosen Verfahrens, wie z.B. mit dem Tampon-Verfahren durchgeführt wird.
- 40 13. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Aufbringen des zweiten Metalles (5) auf die am keramischen Körper (2) anliegende Oberfläche des MMC-Körpers (1) durch Auflegen einer aus dem zweiten Metall (5) gebildeten Folie erfolgt.
14. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß der MMC-Körper (1) oder der Kupfer-Körper (1) und der keramische Körper (2) unter Normalluft-Atmosphäre erhitzt werden.
- 45 15. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß der MMC-Körper (1) oder der Kupfer-Körper (1) und der keramische Körper (2) unter Schutzgas-Atmosphäre erhitzt werden.
- 50 16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schutzgas-Atmosphäre durch Stickstoff oder Argon gebildet wird.
17. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß der MMC-Körper (1) oder der Kupfer-Körper (1) und der keramische Körper (2) in Vakuum erhitzt werden.
- 55 18. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß

zumindest der MMC-Körper (1) oder der Kupfer-Körper (1), vorzugsweise auch der keramische Körper (2), während des Erhitzens von aus Graphit bestehenden Halterungen gehalten wird.

5

HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

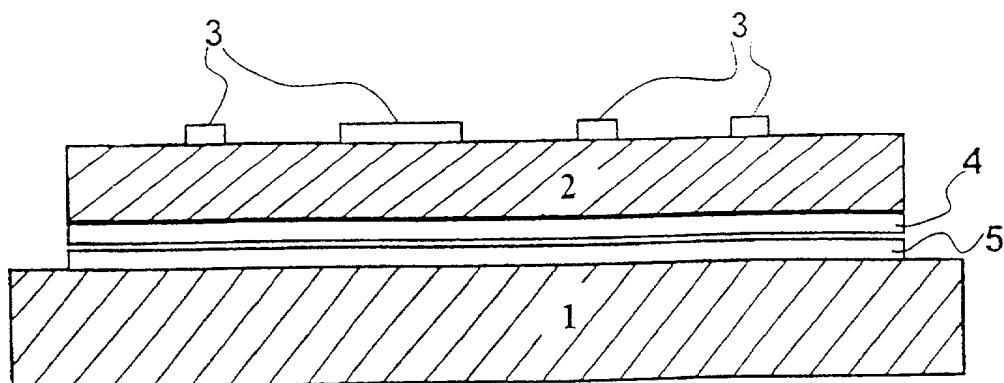


Fig.1

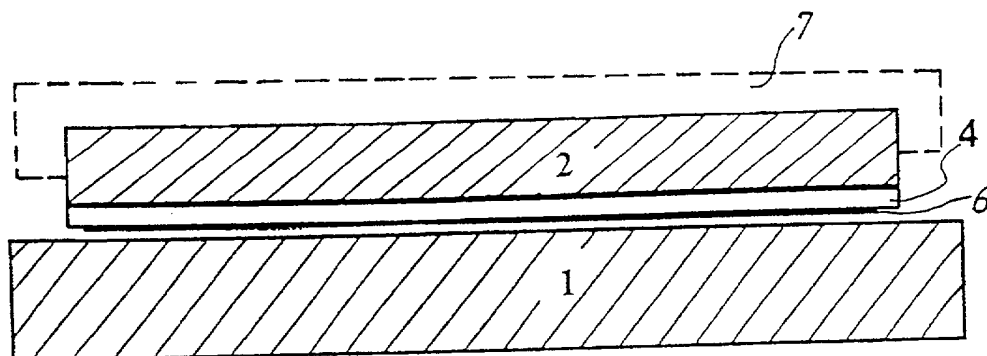


Fig.2