



(10) **DE 10 2012 217 543 A1** 2014.03.27

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 217 543.1**

(22) Anmeldetag: **27.09.2012**

(43) Offenlegungstag: **27.03.2014**

(51) Int Cl.: **B29C 70/68** (2006.01)

**B29C 70/08** (2006.01)

**B29C 70/02** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE**

(72) Erfinder:

**Chang, Chia-Yu, 22393, Hamburg, DE;**

**Ernstberger, Annika, 96049, Bamberg, DE; Seidel,**

**Christian, 90571, Schwaig, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 40 24 021 A1**

**DE 43 44 044 A1**

**DE 693 14 175 T2**

**US 2010 / 0 218 890 A1**

**EP 1 502 727 A1**

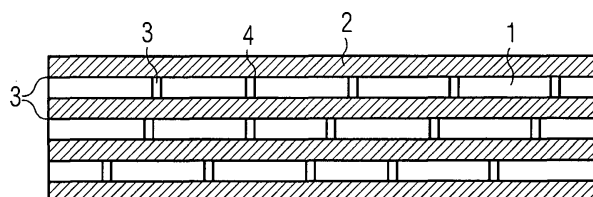
**WO 2011/ 064 707 A2**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verbundwerkstoff mit Faserverstärkung, Verwendung dazu und Elektromotor**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Verbundwerkstoff für beispielsweise den Einsatz in Elektromotorentchnik, wobei hohe Wärmeleitfähigkeit verbunden mit der großen mechanischen Belastbarkeit von Faserverbundkunststoffen gefordert wird. Ein Verbundwerkstoff nach der Erfindung vereint die beiden Materialeigenschaften, weil er erste Bereiche mit polymerem Faserverbundkunststoff und zweite Bereiche mit gut wärmeleitfähigem Material, insbesondere aus Metall, umfasst. Beispielsweise werden die beiden Bereiche als Schichten ausgebildet und der Verbundwerkstoff bildet ein Laminat.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Verbundwerkstoff für beispielsweise den Einsatz in Elektromotoren-technik, wobei hohe Wärmeleitfähigkeit verbunden mit Faserverbundkunststofftechnik gefordert wird.

**[0002]** Faserverbundbauteile finden Anwendung in klassischen statischen Konstruktionen und zunehmend auch in dynamisch belasteten Bauteilen oder Komponenten, beispielsweise in Turbinenkomponenten für die Energieerzeugung inklusive Windräder, Bauteile für (Schienen-)Fahrzeuge, Komponenten elektrotechnischer Geräte (Trafos, Generatoren, Motoren) oder in der Photovoltaik.

**[0003]** Bei der Herstellung von FVK-Bauteilen wird nicht ein vorhandener Werkstoff, das Prepreg in seine endgültige Form gebracht; vielmehr wird der Faserverbundwerkstoff selber während der Bauteilherstellung gebildet. Von entscheidender Bedeutung für die FVK-Bauteile ist daher auch die Prepreg-Herstellung.

**[0004]** Die Faserverbundtechnik konkurriert mit Leichtbauansätzen über Leichtmetalle wie Aluminium und Magnesium. Für Einsatzgebiete wie der Elektromotorenteknik ist das Wärmemanagement der Systeme ein wichtiger Aspekt. Die Wärmeleitung der eingesetzten Materialien spielt dabei eine wichtige Rolle für die Abfuhr der thermischen Energie über das Gehäuse.

**[0005]** Die bekannten polymeren Faserverbunde haben eine im Vergleich zu Leichtmetalllegierungen niedrige Wärmeleitfähigkeit. Diese ist zudem durch die Faserorientierung anisotrop. Im Falle von CFK ist die Wärmeleitung in Faserrichtung höher als senkrecht dazu.

**[0006]** Bei Faserverbundkunststoffen werden die mechanischen Eigenschaften durch Auswahl der Fasern und Matrixharze bestimmt. Die mechanischen Eigenschaften in Faserrichtung sind vor allem durch die Eigenschaften der Fasern bestimmt, während in Querschnittsrichtung die Eigenschaften der Matrix bestimmend sind. In Faserverbundanwendungen für die Leichtbautechnik soll die Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Faserrichtung verbessert werden.

**[0007]** Aus der DE 10 2012 203410.2 ist ein Faserverbundkunststoff bekannt, bei dem die Wärmeleitfähigkeit in Querrichtung gegenüber dem Stand der Technik durch homogene und isotrope Verteilung von Nano- und/oder Mikropartikel im Faserverbundkunststoff verbessert ist.

**[0008]** Trotz der dadurch gewonnenen Steigerung der Wärmeleitfähigkeit besteht weiterhin der Bedarf, einen Kunststoff und/oder Verbundwerkstoff zu

schaffen, der trotz Eignung zur Leichtbauweise verbesserte Wärmeleitfähigkeit aufweist.

**[0009]** Dies insbesondere deshalb, weil Leichtbau über Faserverbundtechnik mit Leichtbauansätzen über Leichtmetalle wie Aluminium oder Magnesium konkurriert. Für Einsatzgebiete wie die Elektromotorenteknik ist das Wärmemanagement der Systeme ein wichtiger Aspekt. Die Wärmeleitung der eingesetzten Materialien spielt dabei eine wichtige Rolle für die Abfuhr der thermischen Energie über das Gehäuse.

**[0010]** Polymere Faserverbunde haben eine im Vergleich zu Leichtmetalllegierungen niedrige Wärmeleitung, auch wenn Partikelzwischenstreuung, wie in der DE 10 2012 203410.2 offenbart, diese in Querrichtung schon deutlich erhöht, bleibt die Wärmeleitfähigkeit im Großen und Ganzen nach dem Stand der Technik doch anisotrop. Im Fall von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) ist die Wärmeleitung in Faserrichtung höher als senkrecht dazu.

**[0011]** Deshalb werden bislang in der Regel, wenn höhere Anforderungen an die Entwärmung gestellt werden, immer noch keine polymeren Faserverbunde sondern Leichtmetalllegierungen wie Aluminium, etc. eingesetzt.

**[0012]** Dies hat jedoch entscheidende Nachteile, wie Preis, Verarbeitbarkeit, Verformbarkeit, Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen und vieles mehr.

**[0013]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher, einen Verbundwerkstoff zu schaffen, der die guten Verarbeitungseigenschaften und preislichen Vorteile der polymeren Faserverbundkunststoffe mit der hohen Wärmeleitfähigkeit von Metallen verbindet.

**[0014]** Die Lösung der Aufgabe und der Gegenstand der Erfindung werden durch die vorliegende Beschreibung und die Ansprüche offenbart.

**[0015]** Dementsprechend ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein Verbundwerkstoff, der zumindest zwei Bereiche hat, wobei ein erster Bereich einen polymeren Faserverbundkunststoff und ein zweiter Bereich ein gut wärmeleitfähiges Material umfasst.

**[0016]** Nach einer vorteilhaften Ausführungsform ist das gut wärmeleitfähige Material zur Leichtbauweise geeignet. Insbesondere geeignet sind deshalb alle leichten Metalle, Metallmischungen und Legierungen wie Aluminium-, Titan-, Kupfer-, Nickel-, Silber-, Silizium-, Beryllium-, Vanadium- und/oder Magnesiummetall oder Metallmischungen oder Metalllegierungen.

**[0017]** Weiterhin kann das gut wärmeleitende Material ausgewählt sein aus der Gruppe folgender Ma-

terialien: kohlenstoffbasierte Materialien wie Graphit, gemahlene Kohlenstofffasern auf Basis von Polyacrylnitril- und/oder Pechfasern, metallisches Material, wie z.B. Aluminium, Kupfer, Silber, Titan, Magnesium, beliebige Mischungen und Legierungen daraus und/oder ein Material, das eine Metallverbindung mit Sauerstoff, Kohlenstoff und/oder Stickstoff umfasst, und/oder ein keramisches wärmeleitfähiges Material und/oder ein Metalloxid.

**[0018]** Bisher übliche Standard-Kohlenstofffaserverbundkunststoffe haben in Faserrichtung eine Wärmeleitfähigkeit von 10 bis 20 W/mK, quer dazu noch deutlich geringer. Gut wärmeleitfähige Materialien, wie beispielsweise ein Metall wie Aluminium, haben hingegen eine Wärmeleitfähigkeit von 230 W/mK oder zumindest 100 W/mK. Dabei soll gemäß der Erfindung die Definition für „gut wärmeleitfähig“ nicht numerisch festgelegt werden auf einen bestimmten absoluten Wert, vielmehr ist der Term „gut wärmeleitfähig“ in Relation zu dem polymeren Faserverbundwerkstoff zu verstehen.

**[0019]** Allgemeine Erkenntnis der Erfindung ist es, dass die beiden Komponenten Metall und polymerer Faserverbundkunststoff so kombiniert werden können, dass die metallische thermische Wärmeleitfähigkeit in einem neuen Verbund-Hybridwerkstoff mit der hohen mechanischen Belastbarkeit der polymeren Faserverbundkunststoffe zusammengeführt wird.

**[0020]** Dazu wird beispielsweise vorgeschlagen, dass eine stoffliche Kombination von Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen und Metallen, insbesondere Aluminium, in der Weise ausgeführt wird, dass der erste und der zweite Bereich jeweils eine Schicht oder Fasern oder Bänder sind und dadurch ein Schichtaufbau oder ein Gewebe eines Verbundwerkstoffes entsteht.

**[0021]** Der Verbundwerkstoff nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung umfasst daher Folien und/oder Gewebe aus metallischem Material und polymeren Faserverbundkunststoff in Lagen.

**[0022]** Beispielsweise können die Fasern, Bänder und/oder Schichten aus metallischem Material in einer Stärke von 0,001 bis 1 mm, bevorzugt von 0,01 bis 0,7 mm und insbesondere bevorzugt von 0,05 bis 0,3 mm vorliegen.

**[0023]** Beispielsweise können die Lagen aus polymerem Faserverbundwerkstoff mit einem Flächengewicht von 50 g/m<sup>2</sup> bis 1000 g/m<sup>2</sup>, insbesondere bevorzugt von 100 g/m<sup>2</sup> bis 700 g/m<sup>2</sup> und insbesondere bevorzugt von 300 g/m<sup>2</sup> bis 600 g/m<sup>2</sup>, vorliegen.

**[0024]** Nach einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der Verbundwerkstoff in Form ei-

nes Schichtaufbaus, der beispielsweise als Laminat ausgeführt wird, ausgeführt.

**[0025]** Um die Wärmeleitung in Dickenrichtung des Laminats zu verbessern und die mechanische Verankerung der Metallfolie im Faserverbundkunststoff (FVK) zu steigern, wird in einer vorteilhaften Ausführung vorgeschlagen, eine Folie aus metallischem Material, die Vertiefungen hat, einzusetzen. Insbesondere wird vorgeschlagen, eine strukturierte und/oder gelochte Metallfolie einzusetzen. Diese wird dann mit Lagen von polymeren Faserverbundkunststoff versetzt, so dass beispielsweise der noch nicht ausgehärtete Faserverbundkunststoff vor der Härtung die Vertiefungen, Löcher und/oder Maschen der Folie aus metallischem Material füllt.

**[0026]** Die polymeren Faserverbundkunststoffe können weiterhin mit Partikeln gefüllt sein, die die Wärmeleitung zusätzlich erhöhen.

**[0027]** Beispielsweise können kohlenstoffbasierte Partikel wie Graphit, gemahlene Kohlenstofffasern auf Basis von Polyacrylnitril- und/oder Pechfasern, sowie metallische Partikel, wie z.B. Partikel aus Aluminium, Kupfer, Silber, Titan, Magnesium und/oder Partikel, deren Material eine Metallverbindung mit Sauerstoff, Kohlenstoff und/oder Stickstoff umfasst, wie keramische wärmeleitfähige Partikel und/oder Metalloxidpartikel in den polymeren Faserverbundkunststoff eingearbeitet sein.

**[0028]** Beispiele dazu sind SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CNTs, Graphene und Nanographite, Bornitrid (BN), Siliziumcarbid (SiC), Titanoxid (TiO<sub>2</sub>), Bariumtitanat (BaTiO<sub>3</sub>), Siliziumnitrid (SiN), Magnesiumoxid (MgO) und allgemein Oxide, Nitride, Carbide aller Gruppe II-Metalle und Übergangsgruppen-Metalle, insbesondere auch von Aluminium, Titan, Chrom, Vanadium, Niob und/oder Zirkon.

**[0029]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform können die Partikel eine Beschichtung haben, insbesondere eine atomare Schicht von SiO<sub>x</sub>, wie aus der DE 10 2012 203410.2, bekannt.

**[0030]** Die Partikelgröße kann sowohl im Nanometer als auch im Mikrometerbereich liegen.

**[0031]** Die Matrixmaterialien für den polymeren Faserverbundkunststoff werden wie üblich hergestellt und verarbeitet. Demnach umfasst ein Matrixmaterial beispielsweise neben dem eigentlichen Polymer und gegebenenfalls einem Partikel-Material je nach Ausführungsform auch noch Additive, Zusatzstoffe, Füllstoffe, Lösungsmittel etc. Insbesondere zur Stabilisierung einer homogenen und isotropen Verteilung von eingelagerten Partikel zur Erhöhung der thermischen Querleitfähigkeit sind noch Benetzungsmittel und/oder Dispergiermittel vorgesehen.

**[0032]** Beispiele für das Matrixmaterial sind polymere Kunststoffe aller Art. Geeignet sind Duroplaste, Harze auf Basis von Epoxid-, Polyurethan-, Acrylat. Es eignen sich außerdem ungesättigte Polyester(UP)-Harze, Vinylester(VE)-Harze, Duromere, Duroplaste, und/oder weitere Kunstharze.

**[0033]** Bevorzugte Verstärkungsfasern des polymeren Faserverbundkunststoffes sind Glasfasern, Kohlenstofffasern, Basaltfasern und Polymerfasern wie Aramidfasern, Polypropylenfasern, Polyethylenterephthalatfasern, sowie beliebige Mischfasern daraus oder Naturfasern wie Flacksfasern, Jute, Cellulose, Sisal.

**[0034]** Die Herstellung einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung in Form eines Multischichtverbundes kann in folgender Weise geschehen: Prepreg-Technologie: Vorimprägnierte Faserverbundhalbzeuge werden abwechselnd mit den Folien/-gewebe aus metallischem Material geschichtet und im Falle der strukturierten Folientechnik evtl. mit zusätzlichen Partikeln für die Steigerung der Wärmeleitfähigkeit in z-Richtung (z. B. als Trockenstreuung eingebracht) modifiziert und im Vakuumsack sowie mit Druck beaufschlagt und unter Temperatur ausgehärtet.

**[0035]** Flüssig-Harzinfusion: Trockene Faserlagen werden analog mit Metallfolie geschichtet und über Vakuumsack und/oder im Formwerkzeug mit flüssigem Harz infiltriert. Für dicke Lamine ist in diesem Fall die Verwendung von gelochten Metallfolien oder Metallgeweben vorteilhaft, da auch ein Harzfluss in Dickenrichtung möglich ist.

**[0036]** Handlaminieren: Trockene Faserlagen werden per Hand mit Harz getränkt und abwechselnd mit Metallfolien/-geweben belegt.

**[0037]** Zur Steigerung der Dicken-Leitfähigkeit kann auch ein wie oben beschriebenes partikelmodifiziertes Harz eingesetzt werden. Die Härtung erfolgt unter Vakuum und Temperatur im Ofen.

**[0038]** Als „Dicke“ oder „Stärke“ einer Schicht oder Lage wird die kleinste Dimension eines flächigen Körpers bezeichnet, in einem herkömmlichen Schichtstapel also die Ausdehnung eines flächigen Körpers, dessen Fläche in Richtung x- und y-Achse aufgespannt ist, also in die Ausdehnung in z-Richtung.

**[0039]** Im Folgenden wird die Erfindung noch anhand zweier Figuren, die eine beispielhafte Ausführungsform der Erfindung und eine graphische Darstellung der Testergebnisse einer Ausführungsform der Erfindung zeigen, näher erläutert.

**[0040]** Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch einen Schichtstapel gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung.

**[0041]** Fig. 2 zeigt eine graphische Darstellung der Testergebnisse eines reinen polymeren Glasfaserverstärkten Kunststoffes im Vergleich zu einem Verbundwerkstoff nach der Erfindung.

**[0042]** In Fig. 1 ist zu erkennen, dass ein Schichtaufbau realisierbar ist, wobei sich Lagen aus metallischem Material **1** mit Vertiefungen oder Löchern mit Lagen aus Faserverbundkunststoff **2** abwechseln.

**[0043]** Die Lagen **1** aus metallischem Material weisen Löcher oder Vertiefungen **4** auf, die im gezeigten Beispiel regelmäßig verteilt sind, aber auch unregelmäßig und statistisch verteilt vorliegen können.

**[0044]** Die Löcher oder Vertiefungen **4** sind im gezeigten Beispiel teilweise mit Partikel **3** gefüllt.

**[0045]** Die Lagen aus Faserverbundkunststoff **2** sind ebenfalls zum Teil mit Partikel **3** gefüllt. Dabei können Partikel sowohl in der Art, wie sie in der DE 10 2012 203410.2 beschrieben ist, insbesondere auch beschichtet, vorliegen.

**[0046]** Des Weiteren können Partikel in den ersten Bereichen aus polymerem Faserverbundkunststoff und/oder in den zweiten Bereichen aus metallischem Material vorliegen. Es können Partikel verschiedenster Größe eingearbeitet werden, wobei die Partikelgröße nach oben hin nicht durch die Schichtdicke der Bereiche beschränkt ist.

**[0047]** Fig. 2 zeigt im Vergleich die Steigerung der thermischen Leitfähigkeit von herkömmlichem kohlefaserverstärkten Faserverbundkunststoff (reiner CFK) mit dem Verbundwerkstoff gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, die vorliegend auch als „Hybridstruktur“ bezeichnet werden kann.

**[0048]** Dabei ist klar ersichtlich, dass die thermische Leitfähigkeit, gemessen in W/mK, bei allen gemessenen Temperaturen, also bei 25, 50 und 100 °C durch den Aufbau gemäß der Erfindung deutlich, zum Teil um 100 % gesteigert werden kann.

**[0049]** Der besondere Vorteil gemäß der Erfindung liegt darin, dass die bereichsweise, insbesondere schichtweise Kombination von Faserverbundkunststoff und metallischem Material zu einer Isotropierung und Steigerung der Wärmeleitfähigkeit führt.

**[0050]** Durch eine Lochung und/oder Strukturierung der Bereiche mit metallischem Material, also beispielsweise durch Verwendung einer gelochten Metallfolie, wird zusätzlich die mechanische Anbindung zwischen Metallfolie und Lage aus polymerem Fa-

serverbundkunststoff verbessert und bei Einbringung von wärmeleitfähigen Partikel in die Bereiche, sowie auch bei Einarbeitung in die polymeren Faserverbundkunststoffe, wird weiterhin die Wärmeleitfähigkeit in Dickenrichtung gesteigert.

**[0051]** Die Erfindung betrifft einen Verbundwerkstoff für beispielsweise den Einsatz in Elektromotortechnik, wobei hohe Wärmeleitfähigkeit verbunden mit der großen mechanischen Belastbarkeit von Faserverbundkunststoffen gefordert wird. Ein Verbundwerkstoff nach der Erfindung vereint die beiden Materialeigenschaften, weil er erste Bereiche mit polymerem Faserverbundkunststoff und zweite Bereiche mit gut wärmeleitfähigem Material, insbesondere aus Metall, umfasst. Beispielsweise werden die beiden Bereiche als Schichten ausgebildet und der Verbundwerkstoff bildet ein Laminat.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102012203410 [0007, 0010, 0029, 0045]

**Patentansprüche**

1. Verbundwerkstoff, der zumindest zwei Bereiche hat, wobei ein erster Bereich einen polymeren Faserverbundkunststoff und ein zweiter Bereich ein gut wärmeleitendes Material umfasst.
2. Verbundwerkstoff nach Anspruch 1, wobei das gut wärmeleitende Material ausgewählt ist aus der Gruppe folgender Materialien: kohlenstoffbasierte Materialien wie Graphit, gemahlene Kohlenstofffasern auf Basis von Polyacrylnitril- und/oder Pechfasern, metallisches Material, wie z.B. Aluminium, Kupfer, Silber, Titan, Magnesium, beliebige Mischungen und Legierungen daraus und/oder ein Material, das eine Metallverbindung mit Sauerstoff, Kohlenstoff und/oder Stickstoff umfasst, und/oder ein keramisches wärmeleitfähiges Material und/oder ein Metalloxid.
3. Verbundwerkstoff nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ein erster und/oder ein zweiter Bereich in Form einer Schicht, Lage, Folie, Band, Faser und/oder Gewebe vorliegt.
4. Verbundwerkstoff nach einem der vorstehenden Ansprüche, der Partikel, insbesondere gut wärmeleitfähige Partikel umfasst.
5. Verbundwerkstoff nach Anspruch 4, wobei die Partikel beschichtet vorliegen.
6. Verbundwerkstoff nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei die Partikel in den polymeren Faserverbundkunststoff eingearbeitet sind.
7. Verbundwerkstoff nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der zweite Bereich aus gut wärmeleitfähigem Material eine Folie ist, die strukturiert ist, Vertiefungen hat und/oder gelocht ist.
8. Verwendung eines Verbundwerkstoffes nach einem der Ansprüche 1 bis 7 in einem Elektromotor.
9. Elektromotor mit einem Verbundwerkstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG 1

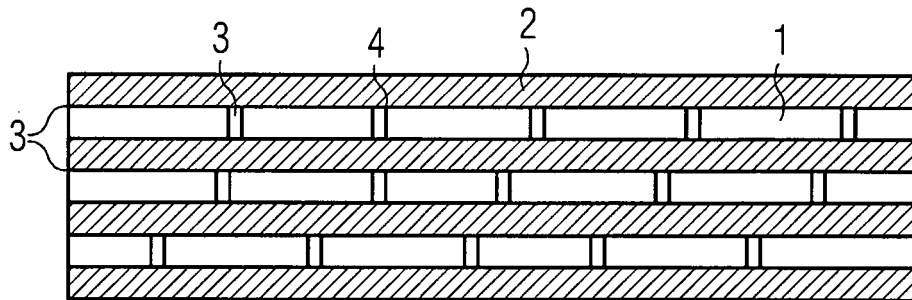


FIG 2

