

(19)



(11)

EP 2 127 784 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

02.12.2009 Patentblatt 2009/49

(51) Int Cl.:

B22F 1/00 (2006.01)

B22F 7/00 (2006.01)

C01B 31/02 (2006.01)

C22C 1/05 (2006.01)

C22C 1/10 (2006.01)

C22C 32/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08405144.0**

(22) Anmeldetag: **23.05.2008**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL BA MK RS

(71) Anmelder: **Alcan Technology & Management Ltd.**
8212 Neuhausen am Rheinfall (CH)

(72) Erfinder:

- **Adams, Horst**
9450 Altstätten (CH)
- **Dvorak, Michael**
3608 Thun (CH)

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Kompositwerkstoff**

(57) Bei einem Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Kompositwerkstoff aus Metall und Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT) wird ein Metall/CNT-Kompositwerkstoff als Pulver hergestellt. Aus dem Metall/CNT-Kompositpulver und einem Polymer wird ein

spritzfähiges Ausgangsmaterial hergestellt und in einer Spritzgiessmaschine zu einem Formteil verarbeitet, das Polymer wird aus dem Formteil herausgelöst, und das Formteil wird zu dem Bauteil gesintert.

EP 2 127 784 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Kompositwerkstoff aus Metall und Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT), bei welchem Verfahren ein Metall/CNT- Kompositwerkstoff als Pulver hergestellt und das Metall/CNT- Kompositpulver verdichtet wird.

[0002] Es sind Kohlenstoffnanoröhrchen bekannt. Weitere äquivalente Begriffe für Kohlenstoffnanoröhrchen sind nanoskalige Kohlenstoffröhrchen oder Carbon Nanotubes und die Kurzbezeichnung "CNT". Nachfolgend wird die in der Fachwelt gebräuchlichste Form, nämlich "CNT", weiterverwendet. Die CNT stellen Füllere dar und sind Kohlenstoffmodifikationen mit geschlossener polyedrischer Struktur. Bekannte Anwendungsgebiete für CNT sind im Bereich der Halbleiter zu finden oder zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften herkömmlicher Kunststoffe.

[0003] Darüber hinaus sind Aluminium/CNT-Kompositwerkstoffe bekannt aus Esawi A. et al., "Dispersion of carbon nanotubes (CNTs) in aluminum powder", COMPOSITES PART A: APPLIED SCIENCE AND MANUFACTURING, Bd. 38, Nr. 2, Seiten 646-650; Edmaier C. et al., "Aluminium based carbon nanotube composites by mechanical alloying", POWDER METALLURGY WORLD CONGRESS & EXHIBITION, 17-21. October 2004, Vienna, Austria, Seite 6 ff.; George et al., "Strengthening in carbon nanotube/aluminium (CNT/Al) composites" SCRIPTA MATERIALIA, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, Bd. 53, Nr. 10, November 2005, Seiten 1159-1163; Carrano-Morelli E. et al., "Carbon nanotube/magnesium composites" PHYSICA STATUS SOLIDI (A) APPLIED RESEARCH, Juni 2004, Seiten R53-R55.

[0004] Bei der Herstellung von Bauteilen aus einem Metall/CNT-Kompositwerkstoff wird pulverförmiges Ausgangsmaterial durch Verdichten, z. B. durch heissisostatisches Pressen (HIP), kalt-isostatisches Pressen (CIP), Sprühkompaktieren, Sintern oder Heissextrudieren, zu festem Material verarbeitet. Die so hergestellten festen Materialien zeichnen sich durch eine sehr hohe Härte und Zugfestigkeit aus. Allerdings besitzen sie gleichzeitig eine geringe Duktilität und sind daher nur schwer durch plastisches Umformen in komplexe Bauteilgeometrien umzuformen.

[0005] Ein weiteres, an sich bekanntes Verfahren zum Verdichten eines metallischen Pulvers zu einem festen Formkörper stellt das Metal Injection Molding (MIM) dar. Dabei wird zunächst aus einem Metallpulver und einem geeigneten Polymer ein spritzfähiges Ausgangsmaterial hergestellt. Dieses Material wird mit einer konventionellen Kunststoff-Spritzgiessmaschine in gleicher Weise wie Kunststoff zu komplexen Formteilen verarbeitet. Anschließend wird der gesamte Kunststoffanteil, der die Formgebung erst ermöglicht hat, aus den Formteilen herausgelöst, ohne dass die Teile selbst ihre Form verlieren. In einem weiteren Schritt werden die Teile gesintert und erhalten so Eigenschaften eines metallischen Festkör-

pers. Dabei schrumpft das Teil auf sein Endmass mit entsprechend hoher Dichte.

[0006] Im Gegensatz zum konventionellen Pressen und Sintern, wo üblicherweise Dichten von 90% der theoretischen Werkstoffdichte erzielt werden, erreicht das MIM-Verfahren Dichten zwischen 96% und 100% der theoretischen Werkstoffdichte. Dadurch werden Materialeigenschaften erreicht, die weitgehend den Eigenschaften eines aus Vollmaterial gearbeiteten Teils entsprechen.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Metall/CNT-Kompositwerkstoff anzugeben, mit welchen sich auch Bauteile mit komplexen Geometrien herstellen lassen.

[0008] Zur erfindungsgemässen Lösung der Aufgabe führt, dass aus dem Metall/CNT-Kompositpulver und einem Polymer ein spritzfähiges Ausgangsmaterial hergestellt und in einer Spritzgiessmaschine zu einem Formteil verarbeitet wird, das Polymer aus dem Formteil herausgelöst wird und das Formteil zu dem Bauteil gesintert wird.

[0009] Der erfindungswesentliche Kern liegt in der Anwendung des MIM-Verfahrens auf CNT enthaltende Metallpulver. Dadurch lassen sich komplexe Bauteile auch aus hochfesten, nicht duktilen Metall/CNT-Kompositwerkstoffen herstellen. Zudem kann die Festigkeit von Metall/CNT Kompositwerkstoffen nun noch weiter über die mit den vorstehend beschriebenen anderen Verdichtungsverfahren erreichbaren Grenzwerte hinaus gesteigert werden. Dieser Effekt beruht darauf, dass in dem mindestens zweiphasigen Aufbau der Metall/CNT-Kompositwerkstoffe immer Fehlstellen in der Form sehr kleiner Hohlräume existieren, die an den Grenzflächen zwischen den CNTs und den Korngrenzen der Metallmatrix auftreten. Durch den hohen Verdichtungsgrad im MIM-Verfahren werden diese Fehlstellen weitgehend eliminiert, so dass ein Material mit erhöhter Dichte und damit noch weiter verbesserter Härte entsteht.

[0010] Das Metall/CNT-Kompositpulver weist bevorzugt Partikel mit einem mittleren Partikeldurchmesser von 0,5 µm bis 2000 µm, insbesondere 1 µm bis 1000 µm, auf.

[0011] Als Metalle eignen sich Metalle, wie Eisen- und Nichteisenmetalle sowie Edelmetalle. Geeignete Eisenmetalle sind Eisen, Kobalt und Nickel, deren Legierungen sowie Stähle. Zu den Nichteisenmetallen können das Aluminium, Magnesium und Titan etc. sowie deren Legierungen aufgezählt werden. Als weitere Beispiele von Metallen können Vanadium, Chrom, Mangan, Kupfer, Zink, Zinn, Tantal oder Wolfram sowie Legierungen davon oder die Legierungen Messing und Bronze, genannt werden. Es können auch Rhodium, Palladium, Platin, Gold und Silber eingesetzt werden. Die genannten Metalle können sortenrein oder in Gemischen untereinander angewendet werden. Aluminium und dessen Legierungen sind bevorzugt. Neben Reinaluminium sind die Legierungen des Aluminiums bevorzugt.

[0012] Als Polymere eignen sich alle zum Verarbeiten in einer Spritzgiessmaschine geeigneten thermoplastischen, elastischen oder duroplastischen Polymere. Beispiele sind Polyolefine, wie Polypropylen oder Polyethylen, Cycloolefin-Copolymere, Polyamide, wie die Polyamide 6, 12, 66, 610 oder 612, Polyester, wie Polyethylenterephthalat, Polyacrylnitril, Polystyrole, Polycarbonate, Polyvinylchlorid, Polyvinylacetat, Styrol-Butadien-Copolymere, Acrylnitril-Butadien-Copolymere, Polyurethane, Polyacrylate und Copolymere, Alkydharze, Epoxide, Phenol-Formaldehydharze und Harnstoff-Formaldehydharze. Die Polymere können sortenrein oder im Gemisch untereinander eingesetzt.

[0013] Als CNT können beispielsweise katalytisch, im Lichtbogen, mittels Laser oder durch Gaszersetzung erzeugte Materialien verwendet werden. Die CNT können einwandig oder mehrwandig, wie zweiwandig, sein. Die CNT können offene oder geschlossene Röhren sein. Die CNT können beispielsweise von 0,4 nm (Nanometer) bis 50 nm Durchmesser und eine Länge von 5 nm bis 50'000 nm aufweisen. Die CNT können auch schwammähnliche Gebilde, d.h. 2- oder 3-dimensionale Gerüstkörper, aus gegenseitig vernetzten Kohlenstoffnanoröhrchen darstellen. Der Durchmesser der einzelnen Röhrchen bewegt sich dabei im oben angegebenen Bereich von z.B. 0,4 nm bis 50 nm. Die Ausdehnung der Schwammstruktur, d.h. die Seitenlängen eines Gerüstkörpers aus CNT, kann beispielhaft mit 10 nm bis 50'000 nm, vorteilhaft mit 1'000 nm bis 50'000 nm in jeder der Dimensionen angegeben werden.

[0014] Der Kompositwerkstoff kann beispielsweise 0,1 bis 50 Gew.-%, bezogen auf den Kompositwerkstoff, CNT enthalten. Zweckmässig sind Mengen von 0,3 bis 40 Gew.-%, bevorzugt von 0,5 bis 20 Gew.-% und insbesondere 1 bis 10 Gew.-% CNT im Kompositwerkstoff enthalten. Stellt Aluminium oder eine Aluminiumlegierung das Metall des Kompositwerkstoffes dar, so kann der Kompositwerkstoff zweckmässig 0,5 bis 20 Gew.-% CNT, bezogen auf den Kompositwerkstoff, enthalten, wobei 3 bis 17 Gew.-% CNT bevorzugt und 3 bis 6 Gew.-% CNT besonders bevorzugt sind.

[0015] Die Kompositwerkstoffe können zusätzliche Beimengungen, beispielsweise funktionelle Beimengungen, enthalten. Funktionelle Beimengungen sind beispielsweise Kohlenstoff, auch in Russ-, Graphit- und Diamantmodifikation, Gläser, Kohlenstofffasern, anorganische Fasern, Glasfasern, Silikate, keramische Materialien, Carbide oder Nitride des Aluminiums oder Siliciums, wie Aluminiumcarbid, Aluminiumnitrid, Siliciumcarbid oder Siliciumnitrid, beispielsweise auch in Faserform, sog. Whiskers.

[0016] Die Kompositwerkstoffe sind herstellbar durch mechanisches Legieren der jeweiligen Anteile von Metall und CNT. Mechanisches Legieren ist ausführbar durch wiederholte Deformation, Brechen und Schweissen von pulverigen Partikeln aus dem Metall den CNT. Besonders geeignet zum mechanischen Legieren sind Kugelmøhlen mit hochenergetischen Kugelkollisionen. Einen

geeigneten Energieeintrag wird beispielsweise in Kugelmøhlen erreicht, deren Mahlkammer einen zylinderförmigen, vorzugsweise kreiszylinderförmigen, Querschnitt aufweist und die Mahlkammer, im Regelfalle, in horizontaler Lage angeordnet ist. Das Mahlgut und die Mahlkugeln werden durch die sich um ihre Zylinderachse drehende Mahlkammer bewegt und durch einen sich in Richtung der Zylinderachse in die Mahlkammer erstreckenden, mit einer Mehrzahl von Nocken ausgestatteten angetriebenen Drehkörper zusätzlich weiter beschleunigt werden. Die Geschwindigkeit der Mahlkugeln wird vorteilhaft auf 4 m/s und höher, zweckmässig auf 11 m/s und höher eingestellt. Vorteilhaft sind Geschwindigkeiten der Mahlkugeln von 11 bis 14 m/s. Ebenfalls vorteilhaft ist ein Drehkörper, dessen Mehrzahl von Nocken über die ganze Länge verteilt angeordnet sind. Die Nocken können sich beispielsweise über 1/10 bis 9/10, vorzugsweise 4/10 bis 8/10, des Radius der Mahlkammer erstrecken. Auch vorteilhaft ist ein Drehkörper, der sich über die ganze Ausdehnung der Mahlkammer in der Zylinderachse erstreckt. Der Drehkörper wird, wie auch die Mahlkammer, unabhängig voneinander oder synchron angetrieben, von einem Aussenantrieb in Bewegung gesetzt. Die Mahlkammer und der Drehkörper können gleichläufig oder bevorzugt gegenläufig drehen. Die Mahlkammer kann evakuiert und der Mahlprozess im Vakuum betrieben werden, oder die Mahlkammer kann mit einem Schutz- oder Inertgas befüllt und betrieben werden. Beispiele von Schutzgasen sind z.B. N₂, CO₂, von Inertgasen He oder Ar. Die Mahlkammer und damit das Mahlgut kann beheizt oder gekühlt werden. Fallweise kann kryogen gemahlen werden.

[0017] Typisch ist eine Mahldauer von 10 Stunden und weniger. Die minimale Mahldauer beträgt zweckmässig 15 min. Bevorzugt ist eine Mahldauer zwischen 15 min und 5 Stunden. Besonders bevorzugt ist eine Mahldauer von 30 min bis 3 Stunden, insbesondere bis 2 Stunden.

[0018] Die Kugelkollisionen sind der hauptsächliche Grund für den Energietransfer. Der Energietransfer lässt sich ausdrücken durch die Formel $E_{\text{kin}} = mv^2$, wobei m die Masse der Kugel ist und v die relative Geschwindigkeit der Kugel bedeutet. Das mechanische Legieren in der Kugelmøhle wird in der Regel mit Stahlkugeln, beispielsweise mit einem Durchmesser von 2,5 mm und einem Gewicht von ca. 50 g oder mit Zirkonoxidkugeln (ZrO₂) gleichen Durchmessers mit einem Gewicht von 0,4 g, durchgeführt.

[0019] Vorteilhaft enthält der Kompositwerkstoff das Metall in Lagen geschichtet, abwechselungsweise mit Lagen aus CNT. Entsprechend dem Energieeintrag in die Kugelmøhle können Kompositwerkstoffe mit bevorzugter Verteilung der Lagen aus Metall und CNT erzeugt werden. Mit zunehmendem Energieeintrag kann die Dicke der einzelnen Lagen verändert werden. Neben dem Energieeintrag kann durch die Dicke der dem Mahlprozess zugeführten CNT-Struktur die Dicke der CNT-Lagen im gemahlenen Werkstoff gesteuert werden. Mit zunehmendem Energieeintrag kann die Dicke der einzel-

nen Lagen reduziert und jeweilige Lage bezüglich der Ausdehnung in der Fläche vergrössert werden. Durch die zunehmende Ausdehnung in der Fläche können sich beispielsweise einzelne Lagen aus CNT berühren bis hin zu in zwei Dimensionen durchgehenden CNT-Schichten oder durchgehend in zwei Dimensionen sich berührende CNT-Lagen durch einen Partikel hindurch. Damit gelingt es, die hervorragenden Eigenschaften der CNT, beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit der CNT einerseits und die Duktilität des Metalls oder die Elastizität des Polymers andererseits, im Kompositwerkstoff im Wesentlichen beizubehalten.

[0020] Eine weitere Steuerung der Eigenschaften der Kompositwerkstoffe kann durch Mischen von zwei oder mehreren Kompositwerkstoffen unterschiedlichen Ausgangsmaterials und/oder Energieeintrags bei deren Erzeugung erzielt werden. Es können auch Metalle frei von CNT, und ein oder mehrere CNT enthaltende Kompositwerkstoffe gemischt oder mechanisch legiert, d.h. gemahlen werden. Die unterschiedlichen Kompositwerkstoffe, fallweise mit den CNT-freien Metallen, können gemischt oder einer zweiten Mahlung oder mehreren Mahlungen unterzogen werden. Die zweite Mahlung oder darauf folgende Mahlungen können beispielsweise eine Mahldauer von 10 Stunden und weniger dauern. Die minimale Zeitdauer der zweiten Mahlung beträgt zweckmässig 5 min. Bevorzugt ist eine zweite Mahldauer zwischen 10 min und 5 Stunden. Besonders bevorzugt ist eine zweite Mahldauer von 15 min bis 3 Stunden, insbesondere bis 2 Stunden.

[0021] Beispielsweise kann ein Kompositwerkstoff hohen CNT-Gehaltes und ein Kompositwerkstoff geringeren CNT-Gehaltes oder Kompositwerkstoffe unterschiedlichen Energieeintrags in einem zweiten Mahlvorgang verarbeitet werden. Auch kann Kompositwerkstoff, wie z.B. ein Aluminium/CNT-Kompositwerkstoff, mit einem CNT-freien Metall, z.B. ebenfalls Aluminium, in einem zweiten Mahlvorgang verarbeitet werden. Der zweite Mahlvorgang oder mehrere Mahlvorgänge, resp. das mechanische Legieren, wird dabei nur soweit geführt, dass der resultierende Kompositwerkstoff nicht vollständig homogenisiert wird, sondern die jedem Werkstoff oder Material innewohnenden Eigenschaften erhalten bleiben und sich die Wirkungen im endgültigen Werkstoff ergänzen.

[0022] Mit dem beschriebenen Verfahren können die den CNT innewohnenden Eigenschaften, die an sich eine gezielte Verarbeitung verunmöglichen, wie ein geringeres spezifisches Gewicht gegenüber dem spezifischen Gewicht von Metallen und die schlechte Benetzbarkeit der CNT durch Metalle, überwunden werden. So können als Beispiel für die unterschiedliche Dichte für Aluminium $2,7 \text{ g/cm}^3$ und für die CNT $1,3 \text{ g/cm}^3$ angegeben werden.

[0023] Die mit dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellten Bauteile weisen eine gute Temperaturleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit auf. Das Temperaturverhalten von Bauteilen ist hervorragend. Die ther-

misches Expansion ist gering. Die Kriechdehnung verbessert sich. Durch den Zusatz der CNT zu den Metallen, wie Aluminium, kann eine wesentliche Verfeinerung der Kornstruktur auf Korngrössen von beispielsweise $0,6 - 0,7 \mu\text{m}$ beobachtet werden. Die Zugabe der CNT zu den Metallen kann die Rekristallisation des Metalls verhindern. Auch eine Rissausbreitung kann durch die CNT im Metall reduziert oder verhindert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils aus einem Kompositwerkstoff aus Metall und Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT), bei welchem Verfahren ein Metall/CNT-Kompositwerkstoff als Pulver hergestellt und das Metall/CNT-Kompositpulver verdichtet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem Metall/CNT-Kompositpulver und einem Polymer ein spritzfähiges Ausgangsmaterial hergestellt und in einer Spritzgiessmaschine zu einem Formteil verarbeitet wird, das Polymer aus dem Formteil herausgelöst wird und das Formteil zu dem Bauteil gesintert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kompositpulver Partikel mit einem mittleren Partikeldurchmesser von $0,5 \mu\text{m}$ bis $2000 \mu\text{m}$, insbesondere $1 \mu\text{m}$ bis $1000 \mu\text{m}$, aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Kompositwerkstoff wenigstens ein Metall in Lagen abwechselungsweise mit Lagen aus CNT geschichtet ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einzelnen Lagen des Metalls oder des Kunststoffes eine Dicke von 10 nm bis $500'000 \text{ nm}$, vorteilhaft von 20 nm bis $200'000 \text{ nm}$, aufweisen.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicken der einzelnen Lagen der CNT von 10 nm bis $100'000 \text{ nm}$, vorteilhaft von 20 nm bis $50'000 \text{ nm}$, betragen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** innerhalb der Partikel des Kompositpulvers wenigstens ein Metall in Lagen abwechselungsweise mit Lagen aus CNT in gleichmässig angeordneter Lagendicke geschichtet ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** innerhalb der Partikel des Kompositpulvers wenigstens ein Metall in Lagen abwechselungsweise mit Lagen aus CNT geschichtet ist, wobei innerhalb der Partikel Bereiche mit hoher

Konzentration an CNT-Lagen und niedriger Konzentration an Metalllagen vorhanden sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Partikel des Kompositpulvers hindurch mehrere CNT-Lagen in Teilbereichen sich berühren und durch die Partikel hindurch ununterbrochene CNT-Durchdringungen ausbilden. 5
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Metall im Kompositpulver Aluminium oder eine Aluminiumlegierung enthalten ist. 10
10. nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Metalle im Kompositpulver Eisen- und Nichteisenmetalle, Edelmetalle, zweckmäßig Eisenmetalle aus der Reihe des Eisens, Kobalts und Nikkels, deren Legierungen sowie Stähle, Nichteisenmetalle, zweckmäßig Aluminium, Magnesium und Titan sowie deren Legierungen, Metalle aus der Reihe Vanadium, Chrom, Mangan, Kupfer, Zink, Zinn, Tantal oder Wolfram und Legierungen davon oder die Legierungen aus der Reihe von Messing und Bronze oder Metalle aus der Reihe Rhodium, Palladium, Platin, Gold und Silber, sortenrein oder in Mischung untereinander, enthalten sind. 20
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polymer thermoplastische, elastische oder duroplastische Polymere, vorzugsweise Polyolefine, Cycloolefin-Copolymere, Polyamide, Polyester, Polyacrylnitril, Polystyrole, Polycarbonate, Polyvinylchlorid, Polyvinylacetat, Styrol-Butadien-Copolymere, Acrylnitril-Butadien-Copolymere, Polyurethane, Polyacrylate und Copolymere, Alkydharze, Epoxide, Phenol-Formaldehydharze, Harnstoff-Formaldehydharze, sortenrein oder im Gemisch untereinander, umfasst. 30
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die CNT einen Durchmesser von 0,4 nm bis 50 nm und eine Länge von 5 nm bis 50'000 nm aufweisen. 40
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die CNT 2- oder 3-dimensionale Gerüstkörper aus Kohlenstoffnanoröhrchen darstellen, insbesondere Gerüstkörper mit Seitenlängen von 10 nm bis 50'000 nm. 50
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kompositwerkstoff Mengen an CNT von 0,1 bis 50 Gew.-%, bezogen auf den Werkstoff, zweckmäßig Mengen an CNT von 0,3 bis 40 Gew.-%, bevorzugt Mengen an CNT von 0,5 bis 20 Gew.-% und insbesondere Men-

gen an CNT von 1 bis 6 Gew.-% enthält.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** Aluminium oder eine Aluminiumlegierung das Metall des Kompositwerkstoff ist und der Kompositwerkstoff 0,5 bis 10 Gew.-% CNT, bevorzugt 3 bis 6 Gew.-%, CNT enthält. 5
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Herstellung des Metall/CNT-Kompositpulvers die Anteile von Metall und CNT durch mechanisches Legieren verarbeitet werden. 10
17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mechanische Legieren durch wiederholte Deformation, Brechen und Schweißen der Partikel aus Metall und Partikel aus CNT in einer Kugelmühle enthaltend eine Mahlkammer und Mahlkugeln als Mahlkörper durch hochenergetische Kugelkollisionen ausgeführt wird. 20
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kugelmühle eine Mahlkammer mit einem zylinderförmigen, vorzugsweise kreiszylinderförmigen, Querschnitt aufweist und die Mahlkugeln durch die sich um ihre Zylinderachse drehende Mahlkammer bewegt und durch einen sich in Richtung der Zylinderachse in die Mahlkammer erstreckenden, mit einer Mehrzahl von Nocken ausgestatteten, angetriebenen Drehkörper beschleunigt werden. 25
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geschwindigkeit der Mahlkugeln wenigstens 11 m/s, insbesondere 11 bis 14 m/s, beträgt. 35
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mahldauer 10 Stunden und weniger und die minimale Mahldauer 5 min beträgt, und bevorzugt die Mahldauer zwischen 15 min und 5 Stunden, besonders bevorzugt von 30 min bis 3 Stunden und insbesondere bis 2 Stunden beträgt. 40
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Drehkörper, eine Mehrzahl von Nocken über die ganze Länge verteilt aufweist und sich vorteilhaft über die ganze Ausdehnung der Mahlkammer in Zylinderachse erstreckt. 50
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei oder mehreren unterschiedliche Kompositwerkstoffe gleichen oder verschiedenen Ausgangsmaterials und/oder Energieeintrags gemischt oder einer zweiten Mahlung oder mehreren Mahlungen unterzogen werden. 55

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein CNT-freies Metall und ein Metall/CNT-Kompositwerkstoff oder mehrere unterschiedliche Metall/CNT-Kompositwerkstoffe gleichen oder verschiedenen Ausgangsmaterials und/oder Energieeintrags, gemischt oder einer zweiten Mahlung oder mehreren Mahlungen unterzogen werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 08 40 5144

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 600 231 A (NISSIN KOGYO KK [JP]) 30. November 2005 (2005-11-30) * das ganze Dokument *	1-16,22, 23	INV. B22F1/00 B22F7/00 C01B31/02 C22C1/05 C22C1/10 C22C32/00
Y	-----	17-21	
Y	EP 1 918 249 A (ALCAN TECH & MAN LTD [CH]) 7. Mai 2008 (2008-05-07) * das ganze Dokument *	17-21	
A	-----	1-16,22, 23	
A	EP 1 637 255 A (NISSIN KOGYO KK [JP]) 22. März 2006 (2006-03-22) * das ganze Dokument *	1-23	
A	JP 2006 265686 A (NISSAN MOTOR; BUSSAN NANOTECH RES INST INC; KAWASAKI AKIRA) 5. Oktober 2006 (2006-10-05) * das ganze Dokument *	1-23	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B22F C01B C22C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 9. Juli 2009	Prüfer von Zitzewitz, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 08 40 5144

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

09-07-2009

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1600231 A	30-11-2005	CN 1701946 A	30-11-2005
		JP 4224428 B2	12-02-2009
		JP 2005336512 A	08-12-2005
		KR 20060048081 A	18-05-2006
		US 2006016522 A1	26-01-2006
EP 1918249 A	07-05-2008	WO 2008052642 A1	08-05-2008
EP 1637255 A	22-03-2006	CN 1754975 A	05-04-2006
		JP 2006077293 A	23-03-2006
		KR 20060051156 A	19-05-2006
		US 2006057386 A1	16-03-2006
JP 2006265686 A	05-10-2006	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 Nicht-Patentliteratur

- **Esawi A. et al.** Dispersion of carbon nanotubes (CNTs) in aluminum powder. *COMPOSITES PART A: APPLIED SCIENCE AND MANUFACTURING*, vol. 38 (2), 646-650 [0003]
- **Edtmaier C. et al.** Aluminium based carbon nanotube composites by mechanical alloying. *POWDER METALLURGY WORLD CONGRESS & EXHIBITION*, 17. Oktober 2004, 6 ff [0003]
- Strengthening in carbon nanotube/aluminium (CNT/Al) composites. **George et al.** *SCRIPTA MATERIALIA*. ELSEVIER, 10. November 2005, vol. 53, 1159-1163 [0003]
- **Carrano-Morelli E. et al.** Carbon nanotube/magnesium composites. *PHYSICA STATUS SOLIDI (A) APPLIED RESEARCH*, Juni 2004, R53-R55 [0003]