



(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: 11 2015 002 603.7  
(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/JP2015/060731  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2015/186423  
(86) PCT-Anmelddatum: 06.04.2015  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: 10.12.2015  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: 02.03.2017  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 11.07.2019

(51) Int Cl.: **C22C 49/14 (2006.01)**  
**B22F 3/12 (2006.01)**  
**C22C 1/10 (2006.01)**  
**C22C 21/00 (2006.01)**  
**C22C 47/14 (2006.01)**  
**C22C 49/06 (2006.01)**  
**H01B 1/02 (2006.01)**  
**H01B 13/00 (2006.01)**

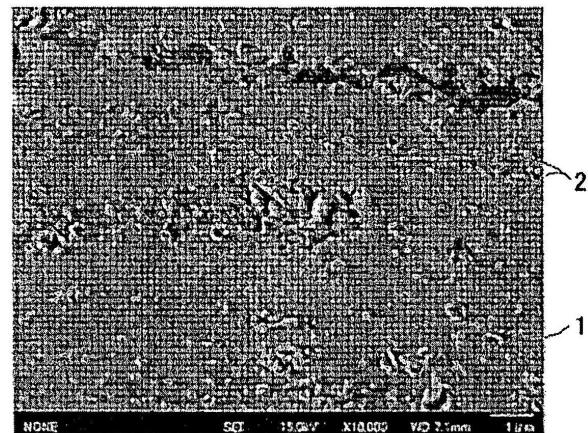
Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

|   |                   |           |
|---|-------------------|-----------|
| (30) Unionspriorität:<br><b>2014-114365</b>   | <b>02.06.2014</b> | <b>JP</b> |
| (73) Patentinhaber:<br><b>YAZAKI CORPORATION, Tokyo, JP</b>   |                   |           |
| (74) Vertreter:<br><b>HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte<br/>PartmbB, 81925 München, DE</b> |                   |           |

|  |                      |                      |           |           |                  |          |           |                  |           |           |                      |          |
|--|----------------------|----------------------|-----------|-----------|------------------|----------|-----------|------------------|-----------|-----------|----------------------|----------|
| (72) Erfinder:<br><b>Yoshinaga, Satoru, Susono-shi, Shizuoka,<br/>JP; Otsuka, Yasufumi, Susono-shi, 410-1194<br/>Shizuoka, JP</b>  |                      |                      |           |           |                  |          |           |                  |           |           |                      |          |
| (56) Ermittelter Stand der Technik:<br><table><tr><td><b>WO</b></td><td><b>2009/ 054 309</b></td><td><b>A1</b></td></tr><tr><td><b>CN</b></td><td><b>1 796 589</b></td><td><b>A</b></td></tr><tr><td><b>JP</b></td><td><b>4 409 872</b></td><td><b>B2</b></td></tr><tr><td><b>JP</b></td><td><b>2011- 171 291</b></td><td><b>A</b></td></tr></table> | <b>WO</b>            | <b>2009/ 054 309</b> | <b>A1</b> | <b>CN</b> | <b>1 796 589</b> | <b>A</b> | <b>JP</b> | <b>4 409 872</b> | <b>B2</b> | <b>JP</b> | <b>2011- 171 291</b> | <b>A</b> |
| <b>WO</b>  | <b>2009/ 054 309</b> | <b>A1</b>            |           |           |                  |          |           |                  |           |           |                      |          |
| <b>CN</b>  | <b>1 796 589</b>     | <b>A</b>             |           |           |                  |          |           |                  |           |           |                      |          |
| <b>JP</b>  | <b>4 409 872</b>     | <b>B2</b>            |           |           |                  |          |           |                  |           |           |                      |          |
| <b>JP</b>  | <b>2011- 171 291</b> | <b>A</b>             |           |           |                  |          |           |                  |           |           |                      |          |

(54) Bezeichnung: **Verbundmaterial auf Aluminiumbasis und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Verbundmaterial auf Aluminiumbasis  
enthaltend:  
eine Aluminiumgrundphase und  
0,1 bis 2,0 Massen-%, auf Kohlenstoffbasis, eines stiftförmigen oder nadelförmigen Dispersivmaterials aus Aluminiumcarbid, das in der Aluminiumgrundphase dispergiert ist, wobei in das Dispersivmaterial ein Verhältnis einer Länge zu einem Durchmesser in einem Bereich von 1 bis 30 hat, wobei die Länge in einem Bereich von 0,01 nm bis 1.000 nm ist und der Durchmesser in einem Bereich von 0,01 nm bis 200 nm ist.



**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET**

**[0001]** Diese Erfindung betrifft ein Verbundmaterial auf Aluminiumbasis und ein Verfahren zu dessen Herstellung. Mehr spezifisch betrifft diese Erfindung ein Verbundmaterial auf Aluminiumbasis mit verbesserter Festigkeit, während die elektrische Leitfähigkeit beibehalten wird.

**HINTERGRUND**

**[0002]** Kupfer wird hauptsächlich für Leitermaterialien von elektrischen Drähten zur Verwendung in Kabelbäumen für Fahrzeuge verwendet. Aluminium erregt zunehmend Aufmerksamkeit im Hinblick auf eine Gewichtsreduktion bei Leitern. Kupfer hat eine hohe Zugfestigkeit und elektrische Leitfähigkeit, hat aber ein Problem in Bezug auf das Gewicht. Aluminium hat ein leichtes Gewicht, aber ein Problem einer unzureichenden Festigkeit. Das Vermischen von Aluminium und anderen Materialien wird nun untersucht, um sowohl die elektrische Leitfähigkeit als auch Festigkeit zu verbessern.

**[0003]** Ein Verbundmaterial auf Aluminiumlegierungsbasis wird offenbart, worin Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs), bedeckt mit Metall oder Keramik, in einer Aluminiumlegierungsmatrix enthalten sind, um die Festigkeit und elektrische Leitfähigkeit zu verbessern (siehe beispielsweise Patentliteratur 1). Ein Elementdraht wird ebenfalls offenbart, der ein Aluminiummaterial und CNTs, dispergiert in dem Aluminiummaterial, enthält, und hat eine zelluläre Struktur, enthaltend Trennwände, die die CNTs halten, und Wandinnenbereiche, die von den Trennwänden umgeben sind und das Aluminiummaterial und unvermeidbare Verunreinigungen enthalten (siehe beispielsweise Patentliteratur 2). Weiterhin ist ein Verbundmetallmaterial offenbart, das erzeugt ist, so dass Metallpulverteilchen, bedeckt mit CNTs, gesintert sind, wobei ein Teil der Oberflächen der Teilchen freiliegt, worin die Diffusion und das Sintern zwischen den Metallpulverteilchen an den freiliegenden Oberflächen fortschreitet (siehe beispielsweise Patentliteratur 3).

**LISTE DER DRUCKSCHRIFTEN****PATENTLITERATUR**

Patentliteratur 1: japanisches Patent 4409872

Patentliteratur 2: nicht-geprüfte japanische Patentanmeldeveröffentlichung 2011-171291

Patentliteratur 3: internationale Veröffentlichung WO 2009/054309

**ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG**

**[0004]** In Patentliteratur 1 werden die Kohlenstoff-Nanoröhren nicht mit einer Metallgrundphase reagiert. Patentliteratur 1 hat somit ein Problem der Reduktion des Dehnungsprozentsatzes und der elektrischen Leitfähigkeit, weil Blasen im Inneren der Kohlenstoff-Nanoröhren aggregieren, und hat ebenfalls ein Problem einer unzureichenden Bindung zwischen den Kohlenstoff-Nanoröhren und der Metallgrundphase. Weiterhin ist das Dispergiervermögen der Kohlenstoff-Nanoröhren, die von der zellulären Struktur stammen, offenbar in Patentliteratur 2, unzureichend, um die Festigkeit zu verbessern. In Patentliteratur 3 können, weil die Metallpulverteilchen, die noch im Pulverzustand vorliegen, mit den Kohlenstoff-Nanoröhren durch Wärmebehandlung reagieren, die Kohlenstoff-Nanoröhren nicht stark dispergiert werden und als Ergebnis kann die Festigkeit sich in dem wärmebehandelten Pulver, das zu einer gewünschten Form verarbeitet ist, vermindern.

**[0005]** Carbid kann leicht in einem Material dispergiert werden, das Metall enthält, wie Titan, worin Kohlenstoff leicht diffundiert. Kohlenstoff ist jedoch nicht in Aluminium diffundiert und es ist somit schwierig, Teilchen mit Nanogröße aus Carbid in einem Material, das Aluminium enthält, gleichmäßig zu dispergieren.

**[0006]** Diese Erfindung wurde angesichts der Probleme des Standes der Technik gemacht. Ein Ziel dieser Erfindung liegt darin, ein Verbundmaterial auf Aluminiumbasis mit verbesserter Festigkeit, während die elektrische Leitfähigkeit aufrechterhalten wird, und ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben.

**[0007]** Ein Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß einem ersten Aspekt dieser Erfindung enthält eine Aluminiumgrundphase und ein stiftförmiges und nadelförmiges Dispergierteil aus Aluminiumcarbid, das in der Aluminiumgrundphase dispergiert ist.

**[0008]** Ein Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß einem zweiten Aspekt dieser Erfindung ist das Verbundmaterial des ersten Aspektes, worin das Dispersivmaterial so gebildet ist, dass ein stiftförmiges oder nadelförmiges Kohlenstoffmaterial mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert wird.

**[0009]** Ein Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung ist das Verbundmaterial des ersten oder zweiten Aspektes, worin das Dispersivmaterial ein Verhältnis einer Länge zu einem Durchmesser [Länge/Durchmesser] in einem Bereich von 1 bis 30 hat, wobei die Länge in einem Bereich von 0,01 nm bis 1.000 nm ist und der Durchmesser in einem Bereich von 0,01 nm bis 200 nm ist und in einer Menge von 0,1 bis 2,0 Masse-% auf Kohlenstoffbasis enthalten ist.

**[0010]** Ein Verfahren zur Herstellung eines Verbundmaterials auf Aluminiumbasis gemäß einem vierten Aspekt dieser Erfindung enthält die Schritte: Mischen von Aluminiumpulver mit einer Reinheit von 99 Masse-% oder mehr mit dem stiftförmigen oder nadelförmigen Kohlenstoffmaterial und Pressen und Formen der resultierenden Mischung, zur Herstellung eines kompaktierten Pulverkörpers; und Erwärmen des kompaktierten Pulverkörpers bei 600°C bis 660°C, zur Reaktion des Kohlenstoffmaterials mit Aluminium in dem Aluminiumpulver, zum Dispergieren des stiftförmigen oder nadelförmigen Dispersivmaterials aus Aluminiumcarbid in einer Aluminiumgrundphase.

#### Figurenliste

**[Fig. 1] Fig. 1(a)** ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einem Kohlenstoffgehalt und der Zugfestigkeit in einem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel zeigt.

**Fig. 1(b)** ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen dem Kohlenstoffgehalt und der elektrischen Leitfähigkeit in dem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel zeigt.

**[Fig. 2] Fig. 2** ist ein Fließdiagramm, das ein Verfahren zur Herstellung des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel zeigt.

**[Fig. 3] Fig. 3(a)** ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit von Aluminium und einem Sauerstoffgehalt von Aluminium zeigt. **Fig. 3(b)** ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen dem Sauerstoffgehalt von Aluminium und einer Oberfläche von Aluminiumpulver zeigt.

**[Fig. 4] Fig. 4** ist ein Elektronenabtastmikroskopfoto, das einen Querschnitt eines Verbundmaterials auf Aluminiumbasis von Beispiel 1 zeigt.

**[Fig. 5] Fig. 5** ist ein Diagramm, das Ergebnisse der Raman-Spektroskopie in dem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß Beispiel 1 zeigt.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

**[0011]** Nachfolgend werden ein Verbundmaterial auf Aluminiumbasis und ein Verfahren zu dessen Herstellung gemäß einem Ausführungsbeispiel dieser Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert.

##### [Verbundmaterial auf Aluminiumbasis]

**[0012]** Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel enthält eine Aluminiumgrundphase und ein stiftförmiges oder nadelförmiges Dispersivmaterial aus Aluminiumcarbid, das im Inneren der Aluminiumgrundphase dispergiert ist.

**[0013]** Ein reines Aluminiummaterial, hergestellt durch ein konventionelles Schmelzverfahren, hat eine Zugfestigkeit von nur etwa 70 MPa. Selbst wenn Kohlenstoff zugegeben wird, um die Festigkeit zu erhöhen, ist es schwierig, Kohlenstoff gleichmäßig im Aluminium zu dispergieren, weil Kohlenstoff eine geringe Benetzungsbereitheit in Bezug auf Aluminium hat. Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird so hergestellt, dass ein stiftförmiges oder nadelförmiges Kohlenstoffmaterial an der Oberfläche von Aluminiumpulver adsorbiert wird, und wird bei 600°C oder höher, wie unten beschrieben, gepresst und gesintert. Demzufolge ist das stiftförmige oder nadelförmige Dispersivmaterial aus Aluminiumcarbid stark in der Aluminiumgrundphase dispergiert, um so Aluminiumkristallteilchen zu mikronisieren. Ein verfestigter Zustand von Aluminium wird somit fein equalisiert, zur Erhöhung der Festigkeit und Zähigkeit des Verbundmaterials.

**[0014]** Für die Aluminiumgrundphase gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird Aluminium mit einer Reinheit von 99 Masse-% oder mehr bevorzugt verwendet. Alternativ wird unter reinen Aluminiumbarren, spezifiziert im japanischen industriellen Standard JIS H2102 (Aluminium ingots for remelting), ein Aluminiumbarren mit einer

Reinheit der Klasse 1 oder ebenfalls bevorzugt verwendet. Spezifische Beispiele von Aluminiumbarren enthalten einen Aluminiumbarren der Klasse 1 mit einer Reinheit von 99,7 Masse-% oder mehr, einen Aluminiumbarren der speziellen Klasse 2 mit einer Reinheit von 99,85 Masse-% oder mehr und einen Aluminiumbarren der speziellen Klasse 1 mit einer Reinheit von 99,90 Masse-% oder mehr. Dieses Ausführungsbeispiel kann nicht nur einen teuren Aluminiumbarren der speziellen Klasse 1 oder 2 mit höherer Reinheit, sondern ebenfalls einen kostengünstigen Aluminiumbarren mit einer Reinheit von 99,7 Masse-% verwenden. Die Verwendung von Aluminium dieser Art für die Aluminiumgrundphase kann die elektrische Leitfähigkeit des resultierenden Verbundmaterials auf Aluminiumbasis erhöhen. Die Aluminiumgrundphase ist in dem gesamten Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel in einer Menge von 90 Masse-% oder mehr, mehr bevorzugt 98 Masse-% oder mehr enthalten.

**[0015]** Die Aluminiumgrundphase kann unvermeidbare Verunreinigungen enthalten, die von einem Ausgangsmaterial davon stammen oder durch ein Herstellungsverfahren gemischt sind. Beispiele von unvermeidbaren Verunreinigungen, die möglicherweise in der Aluminiumgrundphase enthalten sind, enthalten Zink (Zn), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Rubidium (Pb), Chrom (Cr), Titan (Ti), Zinn (Sn), Vanadium (V), Gallium (Ga), Bor (B) und Natrium (Na). Diese Elemente sind zufällig in Mengen enthalten, die die Wirkung dieser Erfindung nicht beeinträchtigen oder keinen besonderen Einfluss auf die Eigenschaften des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel haben. Elemente, die hauptsächlich in einem Aluminiumbarren enthalten sind, sind in zufälligen Verunreinigungen, wie hierin verwendet, enthalten. Die zufälligen Verunreinigungen sind bevorzugt in einer Menge von 0,07 Masse-% oder weniger, mehr bevorzugt 0,05 Masse-% oder weniger in dem gesamten Verbundmaterial auf Aluminiumbasis enthalten.

**[0016]** In dem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß dem Ausführungsbeispiel ist das stiftförmige oder nadelförmige Dispersivmaterial aus Aluminiumcarbid ( $Al_4C_3$ ) in der Aluminiumgrundphase stark dispergiert. Das Aluminiumcarbid wird so erhalten, dass ein stiftförmiges oder nadelförmiges Kohlenstoffmaterial gesintert wird, unter Reaktion mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase. Das Kohlenstoffmaterial kann zumindest eine Art sein, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Kohlenstoff-Nanoröhren, Kohlenstoff-Nanohörnern und Kohlenstoff-Nanofasern. Kohlenstoff-Nanoröhren wird besonders bevorzugt als Kohlenstoffmaterial verwendet.

**[0017]** Die Kohlenstoff-Nanoröhren können irgendeine konventionelle bekannte Substanz sein. Ein Durchmesser der Kohlenstoff-Nanoröhren ist beispielsweise im Bereich von 0,4 nm bis 50 nm und eine durchschnittliche Länge der Kohlenstoff-Nanoröhren ist beispielsweise 1  $\mu$ m oder größer. Die Kohlenstoff-Nanoröhren können so erhalten werden, dass ein Metallkatalysator wie Platin oder amorpher Kohlenstoff durch vorhergehendes Waschen der Kohlenstoff-Nanoröhren mit einer Säure entfernt wird oder dass vorher die Kohlenstoff-Nanoröhren einer Hochtemperaturbehandlung unterworfen werden, damit sie graphitiert werden. Die Kohlenstoff-Nanoröhren, die einer solchen Vorbehandlung unterworfen sind, können sehr stark gereinigt oder kristallisiert werden.

**[0018]** In diesem Ausführungsbeispiel wird das stiftförmige oder nadelförmige Aluminiumcarbid, das in der Aluminiumgrundphase dispergiert ist, erhalten, so dass das stiftförmige oder nadelförmige Kohlenstoffmaterial mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert wird. Das Kohlenstoffmaterial, wie Kohlenstoff-Nanoröhren, wird teilweise oder vollständig mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert. In diesem Ausführungsbeispiel ist es besonders gewünscht, dass das gesamte Kohlenstoffmaterial mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert wird, so dass die Zusammensetzung sich in Aluminiumcarbid ändert. Wenn Kohlenstoff-Nanoröhren sphärisch aggregiert sind und in der Aluminiumgrundphase verbleiben, ist jedoch ein Teil der Kohlenstoff-Nanoröhren innerhalb der Aggregate mit der Aluminiumgrundphase nicht im Kontakt. Als Ergebnis kann ein Teil der Kohlenstoff-Nanoröhren so wie es ist im Inneren der Aluminiumgrundphase verbleiben. Im Hinblick auf die Verbesserung der Festigkeit des Verbundmaterial auf Aluminiumbasis werden 95 Masse-% oder mehr, mehr bevorzugt 98 Masse-% oder mehr des Kohlenstoffmaterials bevorzugt mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert. Es ist daher besonders wünschenswert, dass das gesamte Kohlenstoffmaterial mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert wird.

**[0019]** Das Dispersivmaterial, das in der Aluminiumgrundphase dispergiert ist, hat bevorzugt eine stiftförmige oder nadelförmige Form. Die stiftförmige oder nadelförmige Form kann das Dispergiervermögen des Dispersivmaterials in der Aluminiumgrundphase verbessern und die weiterhin die Kristallteilchen von Aluminium mikronisieren. Wenn das Dispersivmaterial eine stiftförmige oder nadelförmige Form hat, ist ein Verhältnis einer Länge (L) zu einem Durchmesser (D) (Länge (L)/Durchmesser (D)) bevorzugt im Bereich von 1 bis 30. Die Länge (L) ist bevorzugt im Bereich von 0,01 nm bis 1.000 nm und der Durchmesser (D) bevorzugt im Bereich von 0,01 nm bis 200 nm. Die Länge und der Durchmesser des Dispersivmaterials kann so gemessen werden,

dass ein Querschnitt des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis mit einem Transmissionselektronenmikroskop beobachtet wird.

**[0020]** Ein Zwischenraum zwischen benachbarten Teilchen in dem Dispersivmaterial in der Aluminiumgrundphase ist bevorzugt 2 µm oder weniger. Der Zwischenraum von 2 µm oder weniger trägt zu einer erhöhten Dispersionsfähigkeit des Dispersivmaterials in der Aluminiumgrundphase bei, um so die Kristallteilchen aus Aluminium zu mikronisieren. Der Zwischenraum zwischen den benachbarten Teilchen im Dispersivmaterial kann ebenfalls gemessen werden, so dass ein Querschnitt des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis mit einem Transmissionselektronenmikroskop beobachtet wird.

**[0021]** Die Menge des Dispersivmaterials, das in dem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel enthalten ist, liegt im Bereich von 0,1 Masse-% bis 2,0 Masse-% auf Kohlenstoffbasis. Die Menge des Dispersivmaterials in diesem Bereich kann eine gewünschte Zugfestigkeit und elektrische Leitfähigkeit sicherstellen, wenn das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis für einen elektrischen Draht verwendet wird. **Fig. 1(a)** zeigt eine Beziehung zwischen dem Kohlenstoffgehalt des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis und der Zugfestigkeit des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis. **Fig. 1(b)** zeigt eine Beziehung zwischen dem Kohlenstoffgehalt des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis und der elektrischen Leitfähigkeit des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis. Wie in **Fig. 1** gezeigt ist, gibt es eine lineare funktionelle Korrelation zwischen dem Dispersivmaterial und der Zugfestigkeit und der elektrischen Leitfähigkeit. Wenn sich der Kohlenstoffgehalt des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis erhöht, erhöht sich die Zugfestigkeit, während sich die elektrische Leitfähigkeit vermindert. Wenn das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis als Material für einen elektrischen Draht verwendet wird, ist die elektrische Leitfähigkeit bevorzugt 30 % IACS oder mehr. Die Menge des Dispersivmaterials in dem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis ist daher bevorzugt 2,0 Masse-% oder weniger auf Kohlenstoffbasis, wie in **Fig. 1(b)** gezeigt ist.

**[0022]** In dem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis dieser Erfindung ist ein Kristallteilchendurchmesser der Aluminiumgrundphase bevorzugt 2 µm oder weniger. Der Kristallteilchendurchmesser der Aluminiumgrundphase, der auf 2 µm oder weniger reduziert ist, kann die Festigkeit und Zähigkeit des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis erhöhen. Der Kristallteilchendurchmesser der Aluminiumgrundphase kann durch Linearanalyse erhalten werden.

**[0023]** Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis dieser Erfindung hat bevorzugt eine Zugfestigkeit von 200 MPa oder mehr und eine elektrische Leitfähigkeit von 30 % IACS oder mehr. Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis mit solchen Eigenschaften angemessen für einen elektrischen Draht verwendet werden, einschließlich einem Leiter mit einer Querschnittsfläche von 0,35 mm<sup>2</sup>. Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis dieser Erfindung hat ebenfalls bevorzugt eine Zugfestigkeit von 140 MPa oder mehr und eine elektrische Leitfähigkeit von 53 % IACS oder mehr. Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis mit solchen Eigenschaften kann angemessen für einen elektrischen Draht verwendet werden, einschließlich einem Leiter mit einer Querschnittsfläche von 0,5 mm<sup>2</sup>. Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis dieser Erfindung hat eine Zugfestigkeit von bevorzugt 94 MPa oder mehr und eine elektrische Leitfähigkeit von 58 % IACS oder mehr. Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis mit solchen Eigenschaften kann angemessen für einen elektrischen Draht verwendet werden, einschließlich einem Leiter mit einer Querschnittsfläche von 0,75 mm<sup>2</sup>. Die Zugfestigkeit, wie sie hierin verwendet wird, kann entsprechend JIS Z2241 (Metallic materials-Tensile testing-Method of test at room temperature) gemessen werden. Die elektrische Leitfähigkeit, wie hierin verwendet, kann entsprechend JIS H0505 (Measuring methods for electrical resistivity and conductivity of nonferrous materials) gemessen werden.

**[0024]** Weil das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis der Erfindung eine hohe elektrische Leitfähigkeit und Festigkeit wie oben beschrieben aufweist, kann das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis für einen Leiter eines elektrischen Drahtes durch Durchführen eines Drahtziehvorgangs verwendet werden. Ein elektrischer Draht, der für diese Erfindung verwendet wird, muss nur einen Leiter (wie einen verdrillten Leiter), einschließlich einen verdrillten Draht aus dem Verbundmaterial auf Aluminiumbasis und eine Abdeckschicht, die auf der Peripherie des Leiters vorgesehen ist, enthalten. Die anderen Konfigurationen, Form und Herstellungsverfahren für den elektrischen Draht sind nicht besonders beschränkt.

**[0025]** Die Litze, die in dem Leiter enthalten ist, ist nicht auf eine besondere Form beschränkt. Beispielsweise, wenn eine runde Litze für einen elektrischen Draht für ein Fahrzeug verwendet wird, ist ein Durchmesser (endgültiger Drahtdurchmesser) bevorzugt im Bereich von etwa 0,07 mm bis 1,5 mm, mehr bevorzugt etwa 0,14 mm bis 0,5 mm.

**[0026]** Ein Harz, das in der Abdeckschicht verwendet wird, kann ein wahlweise ausgewähltes bekanntes Isolierharz sein, beispielsweise vernetztes Polyethylen, Olefinharz, wie Polypropylen und Vinylchlorid, und eine Dicke der Abdeckschicht kann wahlweise bestimmt werden. Der elektrische Draht mit den oben beschriebenen Eigenschaften kann für verschiedene Arten von Anwendungen, wie elektrische oder elektronische Komponenten, mechanische Komponenten, Komponenten für Fahrzeuge und Konstruktionsmaterialien verwendet werden. Der elektrische Draht wird besonders bevorzugt für einen elektrischen Draht für ein Fahrzeug verwendet.

**[0027]** Der elektrische Draht mit dem Leiter, enthaltend das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis dieser Erfindung, kann mit einem elektrischen Draht einem Leiter, der ein anderes Metallmaterial enthält, durch Kalt-Festzustand-Schweißen verbunden werden. Der Leiter, der das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis enthält, kann mit einem Klemmstück ausgerüstet sein, verbunden durch Klemmen, um die Bindung an eine elektronische Vorrichtung zu erleichtern.

**[0028]** Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis dieser Erfindung enthält die Aluminiumgrundphase und das stiftförmige oder nadelförmige Dispersivmaterial aus Aluminiumcarbid, das im Inneren der Aluminiumgrundphase dispergiert ist. Weil die Teilchen mit Nanogröße aus Aluminiumcarbid stark in der Aluminiumgrundphase dispergiert sind, um so die Kristallteilchen aus Aluminium zu mikronisieren, können die Festigkeit und Zähigkeit des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis auf im Wesentlichen das gleiche Niveau wie Kupfer erhöht werden. Das Dispersivmaterial wird so erhalten, dass das stiftförmige oder nadelförmige Kohlenstoffmaterial mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert wird. Die Reaktion des Dispersivmaterials mit der Grundphase führt zur Gleichmäßigkeit beim Material, um so eine Dehnung des Verbundmaterials und eine Verminderung der Leitfähigkeit zu minimieren.

[Verfahren zur Herstellung eines Verbundmaterial auf Aluminiumbasis]

**[0029]** Ein Verfahren zur Herstellung des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis gemäß dieser Erfindung wird unten beschrieben. Wie in **Fig. 2** gezeigt, werden zunächst Aluminiumpulver und ein Kohlenstoffmaterial als Ausgangsmaterialien des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis gewogen. Das verwendete Aluminiumpulver ist bevorzugt Aluminium mit einer Reinheit von 99 Masse-% oder mehr, um die elektrische Leitfähigkeit zu erhöhen. Das verwendete Kohlenstoffmaterial ist bevorzugt Kohlenstoff-Nanoröhre, Kohlenstoff-Nanohorn oder Kohlenstoff-Nanofaser.

**[0030]** Beim Wiegen werden das Aluminiumpulver und das Kohlenstoffmaterial so gewogen, dass die Menge des Dispersivmaterials, das in dem resultierenden Verbundmaterial auf Aluminiumbasis enthalten ist, bevorzugt im Bereich von 0,1 bis 2,0 Masse-% auf Kohlenstoffbasis ist.

**[0031]** Das gewogene Aluminiumpulver und Kohlenstoffmaterial werden zusammen vermischt, unter Erzeugung eines gemischten Pulvers. Das Verfahren zum Mischen des Aluminiumpulvers und des Kohlenstoffmaterials kann ein Trockenverfahren mit Mahlen oder ein Nassverfahren durch Mischen mit beispielsweise Alkohol sein, ist aber nicht hierauf beschränkt.

**[0032]** Das gemischte Aluminiumpulver und Kohlenstoffmaterial werden gepresst und geformt, zur Herstellung eines kompaktierten Pulverkörpers. Beim Schritt des Formgebens wird ein Druck auf das gemischte Pulver auferlegt, unter Herstellung des kompaktierten Pulverkörpers. Der Schritt des Formens wird bevorzugt implementiert, so dass das gemischte Pulver kompaktiert wird, so dass der Zwischenraum zwischen dem Aluminiumpulver und dem Kohlenstoffmaterial im gemischten Pulver minimiert wird.

**[0033]** Ein bekanntes Verfahren kann zum Auferlegen eines Drucks auf das gemischte Pulver bei der Herstellung des kompaktierten Pulverkörpers verwendet werden. Ein Beispiel des Verfahrens kann ein Verfahren sein, bei dem das gemischte Pulver in einem zylindrischen Formbehälter angeordnet und dann auf das gemischte Pulver in dem Behälter ein Druck auferlegt wird. Der auf das gemischte Pulver auferlegte Druck wird bevorzugt, aber nicht notwendigerweise, reguliert, so dass der Zwischenraum zwischen dem Aluminiumpulver und dem Kohlenstoffmaterial in dem gemischten Pulver minimiert wird. Beispielsweise kann der auf das gemischte Pulver auferlegte Druck 600 MPa sein, so dass das Aluminiumpulver in einen bevorzugten Formzustand gebracht werden kann. Die Auferlegung von Druck auf das gemischte Pulver bei dem Formschritt kann bei Raumtemperatur implementiert werden. Die Zeit, für die der Druck auf das gemischte Pulver in dem Formschritt auferlegt wird, kann im Bereich von 5 bis 60 Sekunden sein.

**[0034]** Der somit erhaltene kompaktierte Pulverkörper wird gesintert, so dass das Aluminiumpulver mit dem Kohlenstoffmaterial reagiert, unter Erzeugung von Aluminiumcarbid in der Aluminiumgrundphase. Der Schritt

zum Sintern wird implementiert, so dass die Sintertemperatur des kompaktierten Pulverkörpers auf 600°C oder mehr eingestellt wird, weil das Aluminiumpulver mit dem Kohlenstoffmaterial zur Erzeugung von Aluminiumcarbid reagieren muss. Wenn die Sintertemperatur des kompaktierten Pulverkörpers niedriger als 600°C ist, reagiert das Aluminiumpulver nicht ausreichend mit dem Kohlenstoffmaterial, was zu einer unzureichenden Festigkeit des erhaltenen Verbundmaterials auf Aluminiumbasis führen kann. Die obere Grenze der Sintertemperatur ist bevorzugt niedriger als oder gleich 660°C, was ein Schmelzpunkt von Aluminium ist, ist aber nicht hierauf beschränkt.

**[0035]** Die Zeit, für die der kompaktierte Pulverkörper gesintert wird, ist bevorzugt ohne beschränkt zu sein auf, eine Zeit, die ausreichend ist, um eine Reaktion des Aluminiumpulvers mit dem Kohlenstoffmaterial zu verursachen. Insbesondere ist die Zeit, für die der kompaktierte Pulverkörper gesintert wird, beispielsweise bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 5 Stunden. Das Sintern des kompaktierten Pulverkörpers muss in einer Inertatmosphäre implementiert werden, um eine Oxidation des Aluminiumpulvers und des Kohlenstoffmaterials zu unterdrücken.

**[0036]** Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis, bei dem das stiftförmige oder nadelförmige Dispersivmaterial aus Aluminiumcarbid in der Aluminiumgrundphase dispergiert ist, kann durch den oben beschriebenen Sinterschritt erhalten werden. Der im Sinterschritt erhaltene gesinterte Körper wird bevorzugt einem Extrusionsverarbeiten unterworfen, um das Verarbeiten des erhaltenen Verbundmaterials auf Aluminiumbasis zu einem leitenden Draht zu erleichtern. Ein Drahtstab als Vorläufer des leitenden Drahtes kann somit durch Extrusionsverarbeitung des gesinterten Körpers erhalten werden.

**[0037]** Das Verfahren der Extrusionsverarbeitung des gesinterten Körpers kann ein bekanntes Verfahren sein, ist aber nicht hierauf beschränkt. Ein Beispiel des Verfahrens kann ein Verfahren sein, bei dem der gesinterte Körper in eine zylindrische Extrusionsvorrichtung angeordnet und dann der Sinterkörper erwärmt und extrudiert wird. Das Erwärmen des Sinterkörpers wird bevorzugt bei einer Temperatur von 300°C oder mehr implementiert, was ausreichend ist für das Extrudieren des Sinterkörpers. Ein festes Material, wie ein Drahtstab, kann durch das Extrusionsverarbeiten erhalten werden. Der somit erhaltene Drahtstab wird wiederholt beispielsweise einer Wärmebehandlung und Extrusionsbehandlung unterworfen, unter Erhalt eines Leiters für einen elektrischen Draht.

**[0038]** Bei dem Herstellungsverfahren dieser Erfindung ist ein durchschnittlicher Teilchendurchmesser (D50) des Aluminiumpulvers bevorzugt 0,25 µm oder mehr. Das Aluminiumpulver mit einem durchschnittlichen Teilchendurchmesser von weniger als 0,25 µm kann die Festigkeit des erhaltenen Verbundmaterials auf Aluminiumbasis erhöhen; jedoch erhöht sich die Menge an Sauerstoff an der Oberfläche des Aluminiumpulvers, was die elektrische Leitfähigkeit erniedrigen kann. Mit anderen Worten bildet die Reaktion von Aluminium mit Sauerstoff an Luft einen geringen oxidierten Film auf der Oberfläche und kann zu einer Verminderung der elektrischen Leitfähigkeit führen.

**[0039]** **Fig. 3(a)** zeigt eine Beziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit von Aluminium und dem Sauerstoffgehalt von Aluminium. **Fig. 3(b)** zeigt eine Beziehung zwischen dem Sauerstoffgehalt von Aluminium und einer Oberfläche des Aluminiumpulvers. Wie oben beschrieben, ist die elektrische Leitfähigkeit bevorzugt 30 % IACS oder mehr, wenn das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis als Material für einen elektrischen Draht verwendet wird. Wie in **Fig. 3(a)** gezeigt ist, ist der Sauerstoffgehalt von Aluminium bevorzugt 1,57 Masse-% oder weniger. Wie in **Fig. 3(b)** gezeigt ist, ist eine spezifische Oberfläche des Aluminiumpulvers bevorzugt 17, 45 m<sup>2</sup>/g oder weniger, damit der Sauerstoffgehalt von Aluminium 1,57 Masse-% oder weniger ist. Zur Verminde-  
rung der spezifischen Oberfläche des Aluminiumpulvers auf 17,45 m<sup>2</sup>/g oder weniger ist der durchschnittliche Teilchendurchmesser (D50) des Aluminiumpulvers bevorzugt 0,25 µm oder mehr.

**[0040]** Die obere Grenze des durchschnittlichen Teilchendurchmessers des Aluminiumpulvers ist nicht auf einen bestimmten Wert beschränkt. Wenn das Aluminiumpulver eine im Wesentlichen sphärische Form hat, ist jedoch der durchschnittliche Teilchendurchmesser des Aluminiumpulvers bevorzugt 5 µm oder weniger. Der durchschnittliche Teilchendurchmesser von mehr als 5 µm vermindert die spezifische Oberfläche des Aluminiumpulvers, was das Dispergiervermögen des Kohlenstoffmaterials vermindert. Als Ergebnis vermindert sich auch das Dispergiervermögen von dem erhaltenen Aluminiumcarbid und es kann schwierig sein, die Kristallteilchen von Aluminium zu mikronisieren. Das Aluminiumpulver mit einer im Wesentlichen sphärischen Form bedeutet, dass das Aluminiumpulver ein Längenverhältnis im Bereich von 1 bis 2 hat. Wie hierin verwendet ist das Längenverhältnis ein Index, der die Form von Teilchen bezeichnet, definiert durch ein Verhältnis eines maximalen longitudinalen Durchmessers zu einer Breite senkrecht zu einem maximalen longitudinalen Durch-

mess [maximaler longitudinaler Durchmesser/Breite senkrecht zu einem maximalen longitudinalen Durchmesser] in einem Mikroskopbild der Teilchen.

**[0041]** Wenn das Aluminiumpulver eine flache Form hat, kann eine Verminderung der Dicke des Aluminiumpulvers die Oberfläche erhöhen, unter Erhöhung des Dispergiervermögens des Kohlenstoffmaterials auf der Pulveroberfläche. Beispielsweise wird sphärisches Pulver mit einem Pulverdurchmesser (Teilchendurchmesser) von 20 µm zu einer flachen Form mit einer Dicke von 1 µm und einem longitudinalen Durchmesser von 72 µm verarbeitet, und hat somit im Wesentlichen die gleiche Oberfläche wie ein sphärisches Pulver mit einem Pulverdurchmesser von 3 µm. Die obere Grenze des durchschnittlichen Teilchendurchmessers des Aluminiumpulvers ist daher nicht auf einen bestimmten Wert beschränkt, wenn das Aluminiumpulver eine flache Form hat. Das Aluminiumpulver mit einer flachen Form bedeutet, dass ein Verhältnis eines maximalen longitudinalen Durchmessers zu einer Dicke in dem Aluminiumpulver [maximaler longitudinaler Durchmesser/Dicke] im Bereich von 10 bis 100 ist. Der durchschnittliche Teilchendurchmesser, der maximale longitudinale Durchmesser, die Breite senkrecht zu dem maximalen longitudinalen Durchmesser und die Dicke des Aluminiumpulvers können durch Analyse mit einem Elektronenabtastmikroskop (SEM) gemessen werden.

**[0042]** Das Verfahren zur Verarbeitung des Aluminiumpulvers in eine flache Form kann ein bekanntes Verfahren sein, ist aber nicht beschränkt. Beispielsweise werden Kugeln mit einem Durchmesser ( $\phi$ ) von 5 bis 20 µm, das Aluminiumpulver und das Kohlenstoffmaterial in einen Topf einer Planeten-Kugelmühle gegeben und einer Rotationsverarbeitung unterworfen, unter Erhalt des Aluminiumpulvers mit einer flachen Form.

**[0043]** Das Verfahren zur Herstellung des Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß diesem Ausführungsbeispiel enthält einen Schritt zum Mischen des Aluminiumpulvers mit einer Reinheit von 99 Masse-% oder mehr mit dem stiftförmigen oder nadelförmigen Kohlenstoffmaterial und Pressen und Formen der resultierenden Mischung, zur Herstellung des kompaktierten Pulverkörpers. Das Herstellungsverfahren enthält weiterhin einen Schritt zum Erwärmen des kompaktierten Pulverkörpers bei 600°C bis 660°C zum Reagieren des Kohlenstoffmaterials mit Aluminium in dem Aluminiumpulver, zum Dispergieren des stiftförmigen oder nadelförmigen Dispersivmaterials aus Aluminiumcarbid in der Aluminiumgrundphase. In einem konventionellen Verfahren, durch das eine Struktur aus Kohlenstoffmaterial in einer Aluminiumgrundphase gehalten wird, wird eine Temperatursteuerung kompliziert. Das Herstellungsverfahren dieser Erfindung kann jedoch das Herstellungsverfahren ohne komplizierte Temperatursteuerung vereinfachen, weil das Kohlenstoffmaterial mit Aluminium in dem Sinterschritt reagiert wird.

## BEISPIELE

**[0044]** Diese Erfindung wird detailliert unter Bezugnahme auf Beispiele und Vergleichsbeispiele erläutert, soll aber nicht auf diese Beispiele beschränkt sein.

### [Beispiel 1]

**[0045]** Zunächst werden Aluminiumpulver und Kohlenstoff-Nanoröhren so gewogen, dass der Gehalt von Aluminiumcarbid in dem erhaltenen Verbundmaterial auf Aluminiumbasis 4,00 Masse-% war. Das verwendete Aluminiumpulver war ALE16PB (erhältlich von Kojundo Chemical Laboratory Co., Ltd.) mit einem Pulverdurchmesser von 20 µm. Die verwendeten Kohlenstoff-Nanoröhren waren FloTube 9000 G2 (erhältlich von Cnano Technology Limited).

**[0046]** Dann wurden das gewogene Aluminiumpulver und die Kohlenstoff-Nanoröhren in einem Topf einer Planeten-Kugelmühle gegeben und einer Rotationsverarbeitung unterworfen, zur Herstellung eines gemischten Pulvers. Das resultierende gemischte Pulver wurde in eine Metallform gegeben und bei 600 MPa bei Raumtemperatur gepresst, zur Herstellung eines kompaktierten Pulverkörpers.

**[0047]** Der somit erhaltene kompaktierte Pulverkörper wurde mit einem elektrischen Ofen bei 630°C 300 Minuten im Vakuum erwärmt, unter Erzeugung einer Probe dieses Beispiels.

### [Beispiel 2]

**[0048]** Das verwendete Aluminiumpulver war ALE11PB (erhältlich von Kojundo Chemical Laboratory Co., Ltd.) mit einem Pulverdurchmesser von 3 µm. Das Aluminiumpulver und die Kohlenstoff-Nanoröhren wurden so gewogen, dass der Gehalt von Aluminiumcarbid in dem erhaltenen Verbundmaterial auf Aluminiumbasis

4,84 Masse-% war. Die anderen Schritte wurden auf gleiche Weise wie bei Beispiel 1 durchgeführt, unter Herstellung einer Probe dieses Beispiels.

[Beispiel 3]

**[0049]** Aluminiumpulver und Kohlenstoff-Nanoröhren wurden so gewogen, dass der Gehalt von Aluminiumcarbid in dem erhaltenen Verbundmaterial auf Aluminiumbasis 3,16 Masse-% war. Die anderen Schritte wurden auf gleiche Weise wie bei Beispiel 2 durchgeführt, unter Herstellung einer Probe dieses Beispiels.

[Beispiel 4]

**[0050]** Aluminiumpulver und Kohlenstoff-Nanoröhren wurden so gewogen, dass der Gehalt von Aluminiumcarbid in dem erhaltenen Verbundmaterial auf Aluminiumbasis 0,40 Masse-% war. Die anderen Schritte wurden auf gleiche Weise wie bei Beispiel 2 durchgeführt, unter Herstellung einer Probe dieses Beispiels.

[Beispiel 5]

**[0051]** Aluminiumpulver und Kohlenstoff-Nanoröhren wurden so gewogen, dass der Gehalt von Aluminiumcarbid in dem erhaltenen Verbundmaterial auf Aluminiumbasis 4,00 Masse-% war. Bei Herstellung des gemischten Pulvers wurden 2,00 Masse-% Stearinsäure als Mahlhilfsstoff zugegeben. Das verwendete Aluminiumpulver war ALE16PB (erhältlich von Kojundo Chemical Laboratory Co., Ltd.) mit einem Pulverdurchmesser von 20 µm. Die Kohlenstoff-Nanoröhren waren Baytubes C 150P (erhältlich von Bayer Material Science). Die anderen Schritte wurden auf gleiche Weise wie bei Beispiel 1 durchgeführt, unter Erzeugung einer Probe dieses Beispiels.

[Vergleichsbeispiel 1]

**[0052]** Der Vorgang wurde auf gleiche Weise wie bei Beispiel 2 durchgeführt, mit der Ausnahme, dass Kohlenstoff-Nanoröhren nicht zugegeben wurden, zur Herstellung einer Probe dieses Beispiels.

[Vergleichsbeispiel 2]

**[0053]** Ein bearbeitetes Aluminiummaterial, erhalten durch ein Schmelzverfahren gemäß JIS 1060-O, wurde als Probe dieses Beispiels verwendet.

[Auswertung]

**[0054]** Die erhaltene Spannung, Zugfestigkeit und Dehnung der jeweiligen Proben, erhalten in den Beispielen und Vergleichsbeispielen, wurden entsprechend JIS Z2241 gemessen. Zusätzlich wurde die elektrische Leitfähigkeit der jeweiligen Proben entsprechend JIS H0505 gemessen. Der Querschnitt der jeweiligen Proben wurde mit einem Elektronenabtastmikroskop analysiert, unter Erhalt des Kristallteilchendurchmessers der Aluminiumgrundphase durch Linearanalyse. Tabelle 1 zeigt die erhaltene Spannung, Zugfestigkeit, Dehnung, elektrische Leitfähigkeit und Kristallteilchendurchmesser der jeweiligen Proben der Beispiele und Vergleichsbeispiele zusammen mit den Zusammensetzungen der jeweiligen Proben.

|            | Probe  | Fließspannung (MPa) | Zugfestigkeit (MPa) | Dehnung (%) | Elektrische Leitfähigkeit (%IACS) | Kristallteilchendurchmesser (µm) |
|------------|--|---------------------|---------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Beispiel 1 | Al (Pulverdurchmesser 20 µm) /                               | 153                 | 226                 | 18,9        | 51,3                              | 0,83                             |
|            | 4,00 Masse-% Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> -Verbundmaterial |                     |                     |             |                                   |                                  |
| Beispiel 2 | Al (Pulverdurchmesser 3 µm) /                                | 154                 | 221                 | 21,2        | 46,9                              | 0,75                             |
|            | 4,84 Masse-% Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> -Verbundmaterial |                     |                     |             |                                   |                                  |
| Beispiel 3 | Al (Pulverdurchmesser 3 µm) /                                | 158                 | 189                 | 19,9        | 55,8                              | 0,80                             |
|            | 3,16 Masse-% Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> -Verbundmaterial |                     |                     |             |                                   |                                  |

|                      | Probe   | Fließspannung (MPa) | Zugfestigkeit (MPa) | Dehnung (%) | Elektrische Leitfähigkeit (%IACS) | Kristallteilchendurchmesser (µm) |
|----------------------|---|---------------------|---------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Beispiel 4           | Al (Pulverdurchmesser 3 µm) / 0,40 Masse-% Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> -Verbundmaterial  | 140                 | 169                 | 36,9        | 58,1                              | 1,43                             |
|                      |   |                     |                     |             |                                   |                                  |
| Beispiel 5           | Al (Pulverdurchmesser 20 µm) / 4,00 Masse-% Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> -Verbundmaterial | 307                 | 403                 | 7,0         | -                                 | -                                |
|                      |   |                     |                     |             |                                   |                                  |
| Vergleichsbeispiel 1 | Reines Al-Material gemäß Pulvermetallurgie) (Pulverdurchmesser 3 um)                        | 135                 | 156                 | 37,4        | 56,7                              | 1,28                             |
|                      |   |                     |                     |             |                                   |                                  |
| Vergleichsbeispiel 2 | Bearbeitetes Aluminiummaterial  | 30                  | 70                  | 43,0        | 62,0                              | 30 bis 100                       |
|                      | durch Schmelzverfahren (JIS 1060-O)   |                     |                     |             |                                   |                                  |

**[0055]** Die Ergebnisse in Tabelle 1 zeigen, dass die Zugfestigkeit bei den Beispielen 1 bis 5 dieser Erfindung im Vergleich zu den Vergleichsbeispielen 1 und 2 verbessert war. Wie aufgrund des Vergleiches zwischen den Beispielen 1 und 2 und Vergleichsbeispiel 1 ersichtlich ist, vermindert die Erhöhung des Gehaltes an Aluminiumcarbid die elektrische Leitfähigkeit, verbessert aber signifikant die Zugfestigkeit. Wie aufgrund eines Vergleiches zwischen den Beispielen 3 und 4 und Vergleichsbeispiel 1 ersichtlich ist, kann eine angemessene Einstellung des Gehaltes von Aluminiumcarbid die Zugfestigkeit verbessert, während die elektrische Leitfähigkeit beibehalten wird.

**[0056]** In den Beispielen konnte die Verwendung der Planeten-Kugelmühle beim Mischen des Aluminiumpulvers und der Kohlenstoff-Nanoröhren das Aluminiumpulver in eine flache Form bringen.

**[0057]** **Fig. 4** zeigt ein Bild bei Beobachtung des Querschnittes der Probe von Beispiel 1 mit einem Elektronenabtastmikroskop. Wie in **Fig. 4** gezeigt ist, zeigt das Beobachtungsergebnis an, dass das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis von Beispiel 1 Teilchen aus Aluminiumcarbid (2) enthält, die in der Aluminiumgrundphase stark dispergiert sind.

**[0058]** **Fig. 5** zeigt Ergebnisse der Raman-Spektroskopie-Analyse des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis von Beispiel 1. Punkt (1) in **Fig. 5** ist ein Spektrum des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis von Beispiel 1, und Punkt (2) ist ein Spektrum des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis, worin ein Teil des Kohlenstoffmaterials mit Aluminium nicht reagiert. Punkt (3) von **Fig. 5** ist ein Spektrum des kompaktierten Pulverkörpers des Aluminiumpulvers und der Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) von Beispiel 1, und Punkt (4) ist ein Spektrum der Kohlenstoff-Nanoröhren selbst. Wie in **Fig. 5** gezeigt ist, hat das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis von Beispiel 1 einen Peak in Bezug auf Aluminiumcarbid (Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>) aber keinen D- oder G-Bandenpeak der Kohlenstoff-Nanoröhren. Die Spektren (2) bis (4) zeigen jedoch D- und G-Bandenpeaks der Kohlenstoff-Nanoröhren. Die Analyse des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis von Beispiel 1 zeigt, dass die Kohlenstoff-Nanoröhren als Kohlenstoffmaterial mit Aluminium reagierten, unter Änderung in Aluminiumcarbid.

**[0059]** Während diese Erfindung unter Bezugnahme auf Beispiele beschrieben ist, ist diese Erfindung nicht auf diese Beschreibung beschränkt, und verschiedene Modifizierungen sind dem Fachmann innerhalb des Umfangs dieser Erfindung offensichtlich.

**[0060]** Der gesamte Inhalt der japanischen Patentanmeldung P2014-114365 (angemeldet am 2. Juni 2014) wird hierin durch Bezugnahme eingefügt.

#### INDUSTRIELLE ANWENDBARKEIT

**[0061]** Das Verbundmaterial auf Aluminiumbasis dieser Erfindung wird so erhalten, dass das stiftförmige oder nadelförmige Dispersivmaterial von Aluminiumcarbid stark in der Aluminiumgrundphase dispergiert ist, unter Mikronisierung von Kristallteilchen aus Aluminium. Als Ergebnis kann die Festigkeit und Zähigkeit des Verbundmaterials auf Aluminiumbasis auf Werte wie Kupfer erhöht werden. Die Reaktion des Dispersivmaterials

mit der Grundphase führt zu einer Gleichmäßigkeit des Materials, unter Minimierung einer Dehnung des Verbundmaterials und einer Verminderung der elektrischen Leitfähigkeit.

Bezugszeichenliste

**1 ALUMINIUMGRUNDPHASE**

**2 ALUMINIUMCARBID (DISPERSIVMATERIAL)**

**Patentansprüche**

1. Verbundmaterial auf Aluminiumbasis enthaltend:  
eine Aluminiumgrundphase und  
0,1 bis 2,0 Massen-%, auf Kohlenstoffbasis, eines stiftförmigen oder nadelförmigen Dispersivmaterials aus Aluminiumcarbid, das in der Aluminiumgrundphase dispergiert ist, worin das Dispersivmaterial ein Verhältnis einer Länge zu einem Durchmesser in einem Bereich von 1 bis 30 hat, wobei die Länge in einem Bereich von 0,01 nm bis 1.000 nm ist und der Durchmesser in einem Bereich von 0,01 nm bis 200 nm ist.
2. Verbundmaterial auf Aluminiumbasis gemäß Anspruch 1, worin das Dispersivmaterial gebildet ist, so dass ein stiftförmiges oder nadelförmiges Kohlenstoffmaterial mit Aluminium in der Aluminiumgrundphase reagiert ist.

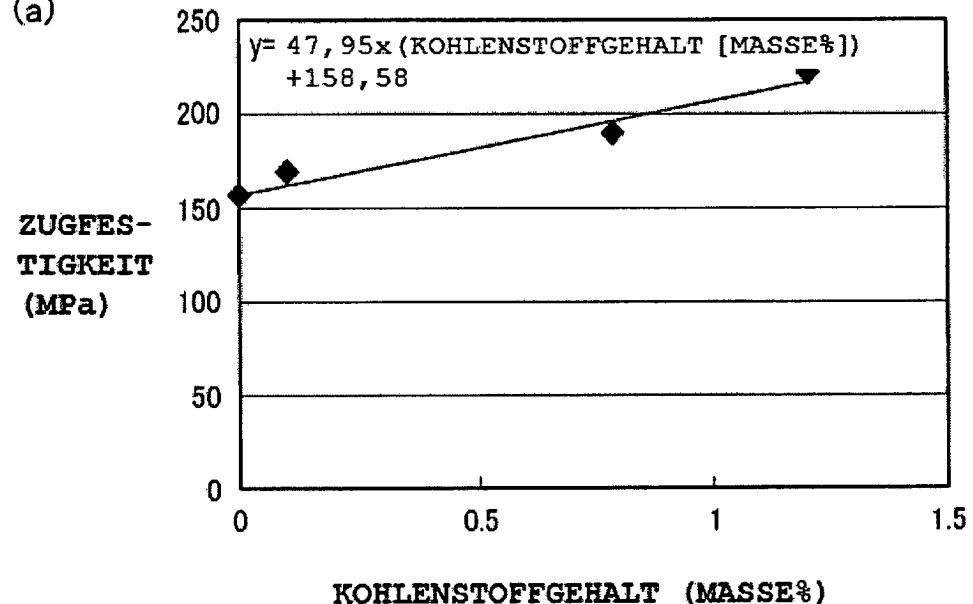
3. Verfahren zur Herstellung eines Verbundmaterials auf Aluminiumbasis wie in Anspruch 1 oder 2 definiert, enthaltend folgende Schritte:  
Mischen von Aluminiumpulver mit einer Reinheit von 99 Masse-% oder mehr mit einem stiftförmigen oder nadelförmigen Kohlenstoffmaterial und Pressen und Formen einer resultierenden Mischung, zur Herstellung eines kompaktierten Pulverkörpers, und  
Erwärmen des kompaktierten Pulverkörpers auf 600°C bis 660°C, zur Reaktion des Kohlenstoffmaterials mit Aluminium in dem Aluminiumpulver, zum Dispergieren des stiftförmigen oder nadelförmigen Dispersivmaterials aus Aluminiumcarbid in einer Aluminiumgrundphase.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

(a)



(b)

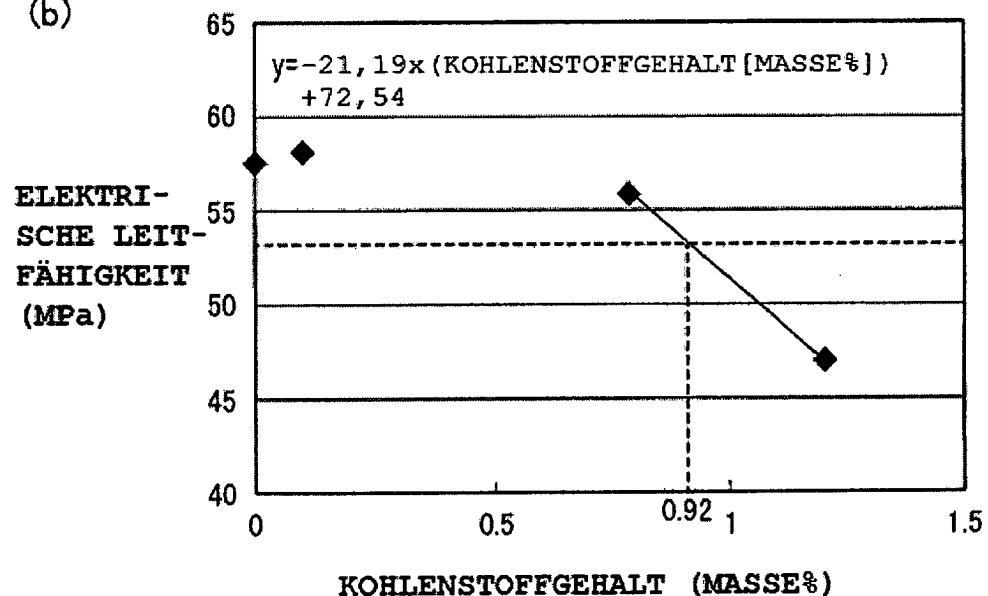


FIG. 2

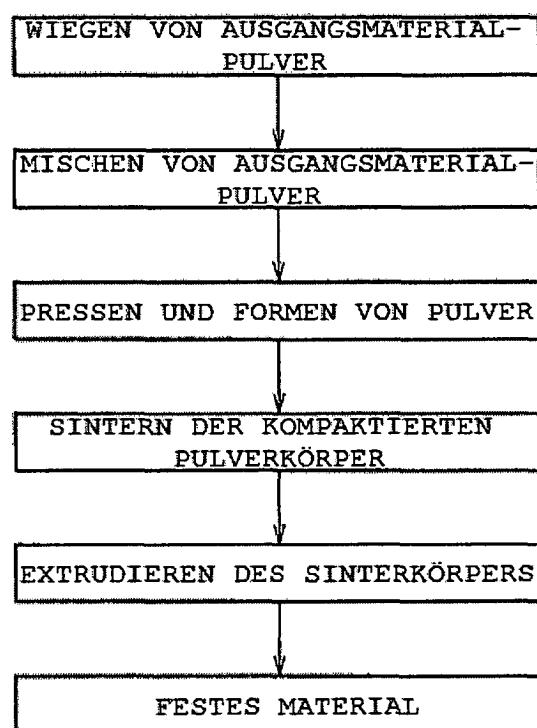
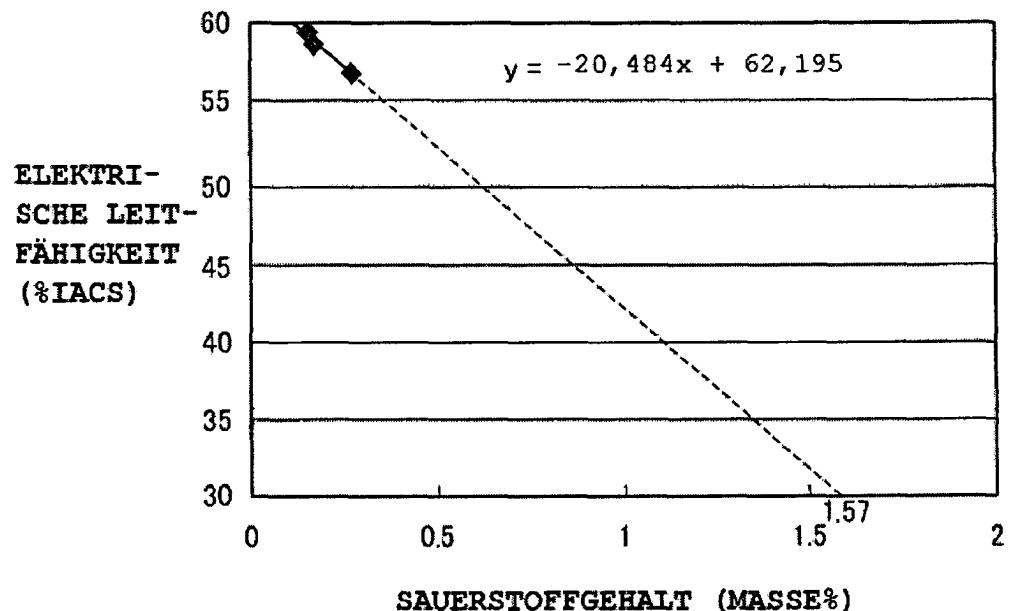


FIG. 3

(a)



(b)

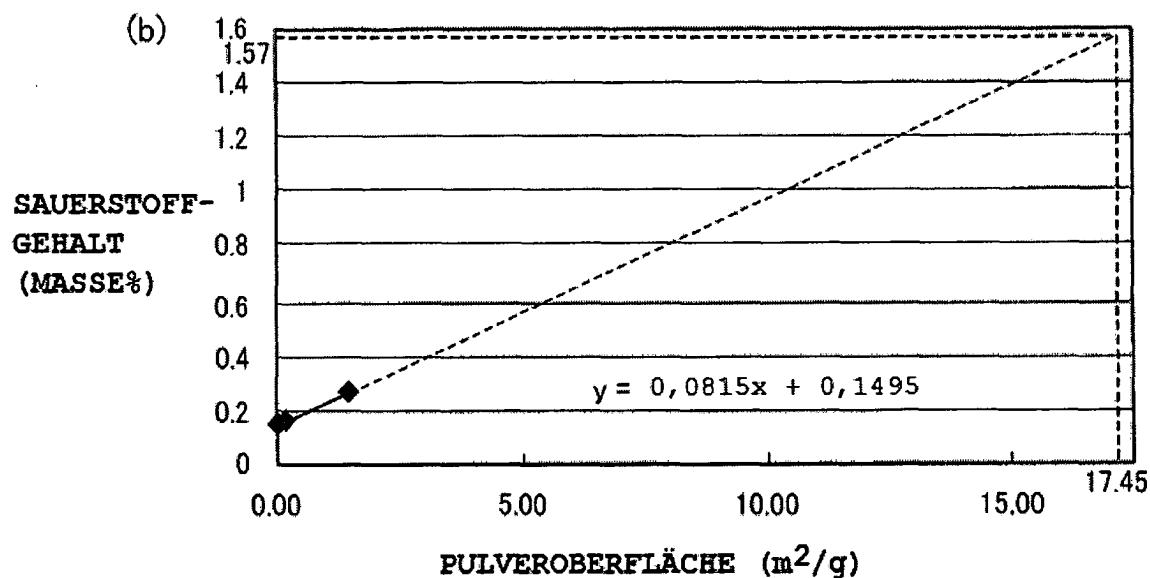


FIG. 4

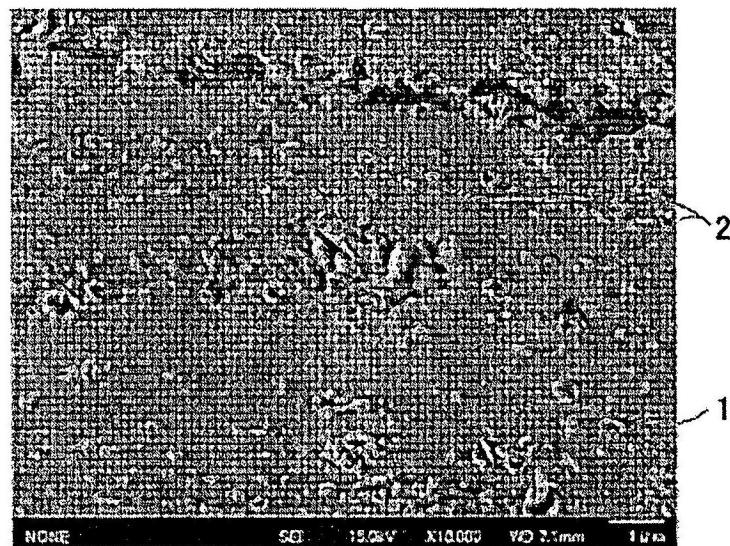


FIG. 5

