



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 11 532 T2** 2006.05.11

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 301 645 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 11 532.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/05605**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 920 131.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/006550**

(86) PCT-Anmeldetag: **22.02.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **24.01.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.04.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **15.06.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **C22C 49/06** (2006.01)

C22C 47/08 (2006.01)

H01B 1/02 (2006.01)

H01B 5/10 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

616741 14.07.2000 US

(73) Patentinhaber:

**3M Innovative Properties Co., Saint Paul, Minn.,
US**

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**McCULLOUGH, Colin, Saint Paul, US; JOHNSON,
E., Doug, Saint Paul, US**

(54) Bezeichnung: **FASERVERSTÄRKTER VERBUNDDRAHT MIT ALUMINIUM-MATRIX, KABEL UND HERSTEL-
LUNGSVERFAHREN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Verbunddrähte, die mit im Wesentlichen kontinuierlichen Keramikoxidfaseren innerhalb einer Aluminiummatrix verstärkt sind, und Kabel, die derartige Drähte enthalten.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Metallmatrix-Verbundstoffe (MMV) werden aufgrund ihrer Kombination hoher Festigkeit und Steifigkeit in Verbindung mit einem geringen Gewicht schon lange als erfolgversprechende Materialien betrachtet. Typischerweise enthalten MMV eine Metallmatrix, die mit Fasern verstärkt ist. Beim Auswählen der Faser wird weitverbreitet anerkannt, dass Verstärkungsfasern erwünscht sind, die eine hohe Festigkeit, einen hohen Elastizitätsmodul und einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen.

[0003] Die Verwendung von Metallmatrix-Verbundstoffen in Form von Drähten als Verstärkungsteil in nackten Energieübertragungs-Freileitungskabeln ist von besonderem Interesse. Der Bedarf für neue Materialien in derartigen Kabeln ist von der Notwendigkeit bestimmt, die Stromübertragungskapazität bestehender Übertragungsinfrastrukturen aufgrund der Belastungszunahme und Änderungen des Stromflusses auf das Aufheben einschränkender Bedingungen hin zu erhöhen. Erwünschte Leistungserfordernisse für derartige neue Materialien umfassen Korrosionsbeständigkeit, Dauerfestigkeit gegen Umwelteinflüsse (z.B. UV und Feuchtigkeit), die Beibehaltung der Festigkeit bei erhöhten Temperaturen und die Kriechfestigkeit.

[0004] Wichtige Eigenschaften für die Leistungsfähigkeit sind der Elastizitätsmodul, die Dichte, der Wärmeausdehnungskoeffizient, die Leitfähigkeit und die Festigkeit. Typischerweise werden diese Eigenschaften durch die Wahl und Reinheit der Bestandteile (d.h. des Materials der Metallmatrix und des Fasergehalts) in Verbindung mit der Faservolumenfraktion bestimmt. Unter diesen Eigenschaften ist die Betonung auf die Entwicklung von Drähten gelegt worden, die aus Fasern hoher Zugfestigkeit und Steifigkeit hergestellt sind. Der Blickpunkt bei der Herstellung von Materialien hoher Festigkeit ist teilweise durch die Annahme bestimmt, dass die Stärke des Verbundstoffs, soll er wirtschaftlich mit herkömmlichen Materialien wie Stahl konkurrieren, so hoch wie möglich sein sollte. Beispielsweise wird bei Ouchi et al. „Mechanical Properties of Composite Conductors using SiC Fiber Reinforced Aluminum Composite Wires“ (Mechanische Eigenschaften von Verbundleitern unter Zuhilfenahme von durch SiC-Fasern verstärkten Aluminiumverbundstoffdrähten), "The Electricity Society National Symposium", 1996, worin ein mit Faser hoher Stärke verstärkter Aluminiumdraht, der unter dem Warennamen „NICALON“ vertrieben wird, offenbart ist, wird der Bedarf für MMV-Drähte „hoher Festigkeit“ zur Verwendung in Energieübertragungs-Freileitungskabeln beschrieben.

[0005] Es besteht immer noch ein Bedarf für Verbundmaterialien, die geeignete Eigenschaften für die Verwendung in einer Reihe verschiedener Kabel, insbesondere Energieübertragungs-Freileitungskabel, aufweisen.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Aluminiummatrix-Verbunddraht wie in Anspruch 1 definiert, ein Kabel nach Anspruch 7 und ein Verfahren zum Herstellen eines Aluminiummatrix-Drahts wie in Anspruch 6 spezifiziert. Die abhängigen Ansprüche betreffen einzelne Ausführungsformen der Erfindung.

[0007] Dementsprechend betrifft die vorliegende Erfindung einen Aluminiummatrixverbundstoff mit im Wesentlichen kontinuierlichen Fasern. Derartige Gegenstände enthalten eine Mehrzahl von im Wesentlichen kontinuierlichen, in Längsrichtung positionierten Fasern, die innerhalb einer Aluminium (z.B. hochreines Aluminium oder Legierungen desselben) umfassenden Matrix enthalten sind. Bevorzugt enthält die Matrix des Drahts mindestens 99,95 Gewichtsprozent Aluminium, auf der Basis des Gesamtgewichts der Matrix.

[0008] Der erfindungsgemäße Aluminiummatrix-Verbundstoff wird zu Drähten geformt, die erwünschte Festigkeits-zu-Gewicht- und Wärmeausdehnungseigenschaften, eine hohe elektrische Leitfähigkeit und einen geringen Modul aufweisen. Derartige Drähte sind zur Verwendung als Seelenmaterialien in Energieübertragungskabeln gut geeignet, da sie elektrische und physikalische Eigenschaften bieten, die Verbesserungen im Vergleich mit im Stand der Technik bekannten Energieübertragungskabeln bieten.

[0009] Die erfindungsgemäßen Materialien sind für Drähte und Kabel bestimmt, da sie aufgrund des geringen

Wärmeausdehnungskoeffizienten beim Erhitzen einen geringeren Durchhang bieten. Außerdem sind die erfindungsgemäßen Drähte im Vergleich mit Stahldrähten oder mit Hochmodulmaterialien verstärkten Verbunddrähten in der Lage, die auf Stütztürme aufgebrachte Spannung aufgrund ihres geringen Moduls zu verringern, wenn die Kabel hohen mechanischen Belastungen (wie beispielsweise) bei kombinierter Eis- und Windbelastung) ausgesetzt sind.

DEFINITIONEN

[0010] Die folgenden Ausdrücke, wie sie hier verwendet werden, sind wie folgt definiert:

„Im Wesentlichen kontinuierliche Faser“ bedeutet eine Faser, die eine Länge aufweist, die im Vergleich mit dem durchschnittlichen effektiven Faserdurchmesser relativ endlos ist. Typischerweise bedeutet das, dass die Faser ein Aussehensverhältnis (d.h. das Verhältnis der Länge der Faser zum durchschnittlichen effektiven Durchmesser der Faser) von mindestens 1×10^5 , bevorzugt mindestens 1×10^6 und noch bevorzugter mindestens 1×10^7 aufweist. Typischerweise besitzen derartige Fasern eine Länge der Größenordnung von mindestens 50 Metern und sie können Längen der Größenordnung von Kilometern oder mehr aufweisen.

[0011] „Durchschnittlicher effektiver Durchmesser“ bedeutet der tatsächliche Durchmesser eines Kreises, der den gleichen Querschnittsbereich wie der gemessene Gegenstand aufweist. Beispielsweise besitzt eine runde Faser oder ein runder Draht einen messbaren Durchmesser aus dem der Bereich genau als $\pi d^2/4$ berechnet werden kann. Nichtrunde, elliptische, ovale oder unregelmäßig gestaltete Fasern oder Drähte haben keinen einzigen messbaren Durchmesser, obwohl der Querschnittsbereich gemessen und dann ein Durchmesser berechnet werden kann, der einen Kreis des gleichen Querschnittsbereichs bilden würde. Dieser Durchmesser des Kreises wird als effektiver Durchmesser bezeichnet. Der durchschnittliche effektive Durchmesser ist der zahlenmäßige Durchschnitt verschiedener berechneter effektiver Durchmesser.

[0012] „In Längsrichtung positioniert“ bedeutet, dass die Fasern in der gleichen Richtung wie die Länge des Drahts orientiert sind.

[0013] „Wärmeausdehnungskoeffizient (WAK)“ bedeutet die Veränderungsrate der Wärmeausdehnung über einen spezifischen Temperaturbereich, der in Längsrichtung der Faser und/oder des Drahts gemessen wird. Das heißt:

Wärmeausdehnungskoeffizient = (Änderung der Dimensionen)/(Änderung der Temperatur). Der momentane WAK-Wert ist dann die Neigung der Kurve der Wärmeausdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur, bei einer spezifischen Temperatur berechnet (d.h. die abgeleitete Funktion der Gleichung der Kurve, die die Wärmeausdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt).

[0014] „Nichtlinearer WAK über einen Temperaturbereich von -75°C bis 500°C “ bedeutet, dass eine Kurvenpassung zweiter Ordnung von Segmenten zwischen Wendungen auf einer Kurve der Wärmeausdehnung in Prozent in Abhängigkeit von der Temperatur innerhalb des spezifizierten Temperaturbereichs wechselnde positive und negative Neigungen aufweist.

[0015] „Durchschnittliche Zugfestigkeit“ bedeutet den zahlenmäßigen Durchschnitt der gemessenen Zugfestigkeiten mehrerer Faser-, Draht- oder Kabelproben.

[0016] „Zugfestigkeit in Längsrichtung“ bedeutet die Belastung, bei der die Faser, der Draht oder das Kabel versagt, wenn sie/er/es in der Richtung der Hauptachse der Faser, des Drahts oder des Kabels geprüft werden. Sie ist auch gleich der Maximalbelastung, die auf die Probe aufgebracht wird. Die Spannung S wird als $S = L/A$ berechnet, wobei L die maximale Last ist, die während des Zugversuchs gemessen wird, und A der Querschnittsbereich der Probe vor der Prüfung ist.

[0017] „Modul“ bedeutet den Zugmodul in Längsrichtung. Es handelt sich um die Zugsteifigkeit der Faser, des Drahts oder Kabels, wie sie in der Richtung der Hauptachse der Probe gemessen wird. Er stellt die durchschnittliche Belastung pro Einheitsdehnbeanspruchung der Probe dar, die über eine vorgegebene Dehnbeanspruchungserhöhung oder einen vorgegebenen Dehnbeanspruchungsbereich gemessen wird. Beim Draht wird der Modul zwischen 0 und 0,05% Dehnbeanspruchung gemessen.

[0018] „Kabelmodul“ bedeutet den Elastizitätszugmodul des Kabels. Der Kabelmodul wird durch Belasten und Entlasten eines Kabels mit einem Zugprüfapparat unter Erzielung einer Belastungs-Entlastungsdeformationskurve erhalten. Das Kabel wird ausreichend belastet, so dass die konstruktive elastische Dehnung des Kabels absorbiert und das Kabel elastisch verformt wird. Die Daten aus der Entlastungsregion der Kurve wer-

den zum Berechnen des Kabelmoduls benutzt. Das wird in „Theory of Wire Rope“ (Theorie von Drahtseilen) in Testing of Wire Rope, Abschnitt 6, George A. Costello, Springer-Verlag (1997) noch eingehender beschrieben. Der Kabelmodul kann aus gemessenen Last-Verdrängungsdaten unter Anwendung folgender Gleichung berechnet werden:

$$E = \Delta F / Ae$$

wobei

E der berechnete Kabelmodul ist
 ΔF die Änderung der gemessenen Last im Messbereich ist
A der gesamte Querschnittsbereich des Drahts im Kabel, vor der Prüfung bestimmt, ist
e die Änderung der gemessenen Dehnung des Kabels spezifisch im Messbereich ist

$$e = (l_f - l_0) / l_0$$

wobei

l_0 die anfängliche Länge des Kabels im Messbereich ist
 l_f die endgültige Länge des Kabels im Messbereich ist

[0019] „Durchschnittliche Dehnbeanspruchung bis zum Versagen“ bedeutet, die Zugdehnbeanspruchung bis zum Versagen und ist der zahlenmäßige Durchschnitt der gemessenen Dehnbeanspruchung bis zum Versagen bei verschiedenen Proben. Die Dehnbeanspruchung bis zum Versagen ist die Dehnung oder Verlängerung der Probe pro Einheitslänge. Sie kann als:

$$e = (l_f - l_0) / l_0 \text{ dargestellt werden,}$$

wo

e die Dehnung oder Verlängerung der Probe pro Einheitslänge ist
 l_f die endgültige Messlänge der Probe ist und
 l_0 die anfängliche Messlänge der Probe ist.

[0020] „Theoretische Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen“ ist die Dehnbeanspruchung bis zum Versagen der Faser, die mit Hilfe der durchschnittlichen Faserzugfestigkeit berechnet wird und wird durch folgendes Verhältnis definiert:

$$\text{Belastung} = \text{Modul} \times \text{Dehnbeanspruchung}$$

[0021] Also: Dehnbeanspruchung = Belastung / Modul. Bei Fasern, die unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ erhältlich sind, betrug die gemessene durchschnittliche Zugbelastung 1,68 GPa (244 ksi) und der Modul wird als 151 GPa (22 Msi) angegeben. Aus diesem Grund beträgt die Dehnbeanspruchung 1,1% und die theoretische Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen 1,1%.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0022] Die Erfindung wird nun in größeren Einzelheiten und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben in denen:

[0023] [Fig. 1](#) eine graphische Darstellung ist, die den Prozentsatz der Ausdehnung als Funktion der Temperatur bei zwei Proben eines erfindungsgemäßen Drahts zeigt, der Fasern enthält, die durch die 3M Company, St. Paul, MN unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ (Linien 1 und 2) vermarktet werden, im Vergleich zu einem Draht, der Fasern enthält, die von Firma 3M Company, St. Paul, MN unter dem Warennamen „NEXTEL 610“ (Linie 3) vermarktet werden.

[0024] [Fig. 2](#) ist eine Kurvenpassung zur prozentualen Ausdehnung als Funktion der Temperaturkurve bei dem Draht, der aus Fasern hergestellt ist, die unter dem Warennamen „NEXTEL 610“ (Linie 3 von [Fig. 1](#)) vermarktet werden, und bei dem Draht, der aus Fasern hergestellt wird, die unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ (Linie 2 von [Fig. 1](#)) vermarktet werden – Fasern von [Fig. 1](#).

[0025] [Fig. 3](#) ist eine Kurve des momentanen WAK, die aus der Kurvenpassung von [Fig. 2](#) abgeleitet ist.

[0026] [Fig. 4](#) ist eine graphische Darstellung der Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Faservolumenfraktion bei einem Draht, der aus Fasern, die unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ vermarktet werden und reinem Aluminium, hergestellt ist.

[0027] [Fig. 5](#) ist eine graphische Darstellung der Zugbeanspruchung bis zum Versagen in Abhängigkeit von der Faservolumenfraktion bei Draht, der aus Fasern, die unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ vermarktet werden, und reinem Aluminium hergestellt ist. Die Fraktion der theoretischen Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen ist als zweite Beanspruchungsachse gezeigt.

[0028] [Fig. 6](#) ist eine graphische Darstellung des Zugmoduls in Abhängigkeit von der Faservolumenfraktion bei Drähten, die aus Fasern, die unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ vermarktet werden, und reinem Aluminium hergestellt sind.

[0029] [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) sind schematische Querschnitte von zwei Ausführungsformen von Energieübertragungs-Freileitungskabeln, die Verbundmetall-Matrixseelen aufweisen.

[0030] [Fig. 9](#) ist eine Endansicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen mehrdrähtigen Kabels mit einer Haltevorrichtung um die Mehrzahl von Litzen.

[0031] [Fig. 10](#) ist eine Endansicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Energieübertragungskabels.

[0032] [Fig. 11](#) ist eine Kurve des Durchhangs in Abhängigkeit von der Leitertemperatur eines erfindungsgemäßen Kabels.

GENAUE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0033] Die vorliegende Erfindung beruht auf der Entdeckung, dass Materialien geringer Festigkeit, die aus Fasern hergestellt werden, die typischerweise nicht als zum Verstärken geeignet betrachtet werden würden, hergestellt werden können und dass derartige Materialien direkt mit Hochleistungsmaterialien konkurrieren können, die heute für Anwendungen wie die elektrische Energiefreileitungsübertragung entwickelt werden. Die vorliegende Erfindung bietet Metallverbunddrähte, die eine Mehrzahl von im Wesentlichen kontinuierlichen, in Längsrichtung positionierten Fasern enthalten, die innerhalb einer Matrix enthalten sind, die Aluminium (d.h. hochreines Aluminium oder Legierung desselben) enthalten.

[0034] Die vorliegende Erfindung bietet Verbunddrähte und – kabel, die mit Fasern verstärkte Aluminiummatrix-Verbundstoffen enthalten. Ein erfindungsgemäßer Verbunddraht enthält eine Mehrzahl von im Wesentlichen kontinuierlichen, in Längsrichtung positionierten, verstärkenden Fasern (Keramikoxid-Verstärkungsfasern und bevorzugt Verstärkungsfasern auf Al_2O_3 -Basis), die innerhalb einer Matrix eingebettet sind, die Aluminium und wahlweise ein oder mehrere andere Metalle (bevorzugt hochreines elementares Aluminium oder Legierungen von reinem Aluminium mit anderen Elementen wie Kupfer) enthält. Bevorzugt sind zahlenmäßig mindestens 85% der Fasern im Wesentlich kontinuierlich innerhalb eines erfindungsgemäßen Drahts. Mindestens ein erfindungsgemäßer Draht kann zu einem Kabel, bevorzugt einem Übertragungskabel, kombiniert werden.

FASERN

[0035] Die im Wesentlichen kontinuierlichen verstärkenden Fasern weisen bevorzugt einen effektiven Faserdurchmesser von mindestens 5 Mikrometern auf. Bevorzugt ist der durchschnittliche wirksame Faserdurchmesser nicht größer als 50 Mikrometer und noch bevorzugter nicht größer als 25 Mikrometer.

[0036] Bevorzugte Fasern sind diejenigen, die einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von nicht mehr als $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($25^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$) aufweisen. Typischerweise weisen polykristalline $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -Fasern einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von nicht mehr als $8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ auf. Durch Einarbeiten von SiO_2 und B_2O_3 kann der Wärmeausdehnungskoeffizient reduziert werden. Da dadurch auch die Zugfestigkeit der Fasern beispielsweise auf ca. 1,4 GPa reduziert werden kann, war es unerwartet, dass ein nützliches Kable unter Zuhilfenahme derartiger Fasern hergestellt werden könnte.

[0037] Noch bevorzugter weisen die Fasern einen durchschnittlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von nicht mehr als $7,9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($25^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$) und am bevorzugtesten nicht mehr als $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($25^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$) auf. Bevorzugt weisen die Fasern einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von mindestens $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($25^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$) und noch bevorzugter mindestens $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($25^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$) auf.

[0038] Bevorzugt weisen die Fasern eine durchschnittliche Zugfestigkeit von mindestens 1,4 GPa, noch bevorzugter mindestens 1,7 GPa, selbst noch bevorzugter mindestens 2,1 GPa und am bevorzugtesten mindestens 2,8 GPa auf.

[0039] Bevorzugt weisen die Fasern einen Modul von nicht mehr als 240 GPa (35 Msi) und noch bevorzugter nicht mehr als 173 GPa (25 Msi) auf. Bevorzugt weisen die Fasern einen Modul von mehr als 69 GPa (10 Msi) auf.

[0040] Der Elastizitätsmodul und die Festigkeit verschiedener Fasern sind wie folgt:

Faser	Modul (Msi (GPa))	% Dehnung	Zugfestigkeit (ksi (MPa)
„NEXTEL 312“	22 (152)	1,2	250 (1720)
„NEXTEL 440“	27 (186)	1,1	300 (2070)
„NEXTEL 610“	54 (372)	0,8	400 (2750)
„ALTEX“	30 (207)	0,9	300 (2070)
„ALMAX“	48 (331)	0,5	260 (1790)

[0041] Bevorzugt weisen die erfindungsgemäßen Fasern eine durchschnittliche Dehnbeanspruchung bis zum Versagen von nicht mehr als 2,5%, noch bevorzugter nicht mehr als 1,2% und am bevorzugtesten nicht mehr als 1,0 auf.

[0042] Beispiele im Wesentlichen kontinuierlicher Keramikoxidfasern, die beim Herstellen von erfindungsgemäßen Aluminiummatrix-Verbundmaterialien nützlich sind, enthalten Keramikoxid- (z.B. Aluminoborsilicat-) Fasern. Typischerweise sind die Keramikoxidfasern kristalline Keramikmaterialien und/oder eine Mischung von kristalliner Keramik und Glas (d.h. eine Faser kann sowohl kristalline Keramik- als auch Glasphasen) enthalten.

[0043] Keramikfasern sind im Handel als Einzelfilament oder beispielsweise als Garn oder Taue zusammengegruppert erhältlich. Taue sind in der Fasertechnik allgemein bekannt und beziehen sich auf eine Mehrzahl (einzeln) Fasern (typischerweise mindestens 100 und noch typischerweise mindestens 400 Fasern), die in seilartiger Form zusammengefasst. Garne oder Taue enthalten bevorzugt mindestens 780 einzelne Fasern pro Tau und noch bevorzugter mindestens 2600 einzelne Fasern pro Tau. Keramikfasern sind in einer Reihe verschiedener Längen, einschließlich 300 Metern und mehr erhältlich. Die Fasern können eine Querschnittsgestalt aufweisen, die rund oder elliptisch ist.

[0044] Fasern, die geeignete Aluminoborsilicatifasern enthalten, sind in der US-Patentschrift A-3,795,524 beschrieben. Die Aluminoborsilicatifasern bestehen, auf theoretischer Oxidbasis aus: 35 Gewichtsprozent bis 75 Gewichtsprozent (noch bevorzugter 55 Gewichtsprozent bis 75 Gewichtsprozent) Al_2O_3 ; mehr als 0 Gewichtsprozent (noch bevorzugter mindestens 15 Gewichtsprozent) und weniger als 50 Gewichtsprozent (noch bevorzugter weniger als 45 Gewichtsprozent und am bevorzugtesten weniger als 44 Gewichtsprozent) SiO_2 ; und mehr als 5 Gewichtsprozent (noch bevorzugter weniger als 25 Gewichtsprozent und am bevorzugtesten 10 Gewichtsprozent bis 20 Gewichtsprozent) B_2O_3 , auf der Basis des Gesamtgewichts der Aluminoborsilicatifasern. Bevorzugte Aluminoborsilicatifasern sind im Handel unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ von 3M Company erhältlich.

[0045] Im Handel erhältliche Fasern enthalten typischerweise ein organisches Schlichtematerial, das der Fasern während ihrer Herstellung zugesetzt wird, um ihr Schlupfrigkeit zu verleihen und die Faserstränge während der Handhabung zu schützen. Man glaubt, dass das Schlichten dazu tendiert, das Brechen der Fasern zu reduzieren, die statische Elektrizität reduziert und die Menge Staub, beispielsweise während der Umwandlung in ein Gewebe, reduziert. Die Schlichte kann beispielsweise durch Lösen oder Wegbrennen entfernt wer-

den. Bevorzugt wird die Schlichte vor der Bildung des erfindungsgemäßen Aluminiummatrix-Verbunddrahts entfernt. Auf diese Weise sind die Aluminiumoxidfasern vor der Bildung des Aluminiummatrix-Verbunddrahts frei von irgendwelchen Beschichtungen auf diesen.

[0046] Es liegt auch innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung, Beschichtungen auf den Fasern zu haben.

[0047] Beschichtungen können beispielsweise verwendet werden, um die Benetzbarkeit der Fasern zu erhöhen, um die Reaktion zwischen den Fasern und geschmolzenem Metallmatrixmaterial zu reduzieren oder zu verhindern. Derartige Beschichtungen und Techniken für das Bereitstellen derartiger Beschichtungen sind in der Technik der Faser- und Metallmatrix-Verbundstoffe bekannt.

DRÄHTE

[0048] Erfindungsgemäße Drähte enthalten mindestens 15 Volumenprozent Faser, noch bevorzugter mindestens 25 Volumenprozent Faser und am bevorzugtesten mindestens 28 Volumenprozent Faser, auf der Basis des Gesamtvolumens des Drahts. Des Weiteren enthalten sie nicht mehr als 65 Volumenprozent Faser, bevorzugt nicht mehr als 55 Volumenprozent Faser und noch bevorzugter nicht mehr als 50 Volumenprozent Faser, auf der Basis des Gesamtvolumens des Drahts. Gewisse bevorzugte Kabel enthalten diese Volumen an Fasern ebenfalls.

[0049] Erfindungsgemäße Drähte weisen eine Länge, in bevorzugter Reihenfolge von mindestens 50 Metern, mindestens 100 Metern, mindestens 200 Metern, mindestens 300 Metern, mindestens 400 Metern, mindestens 500 Metern, mindestens 600 Metern, mindestens 700 Metern, mindestens 800 Metern und mindestens 900 Metern auf. Die Drahtdichte beträgt typischerweise 2,5 Gramm pro Kubikmeter bis 2,8 Gramm pro Kubikmeter.

[0050] Der durchschnittliche effektive Durchmesser des erfindungsgemäßen Drahts beträgt bevorzugt mindestens 0,25 Millimeter (mm), noch bevorzugter mindestens 1 mm und noch bevorzugter mindestens 1,5 mm.

[0051] Erfindungsgemäße Drähte weisen einen erstaunlichen nichtlinearen Wärmeausdehnungskoeffizienten (WAK) auf. Bevorzugt weisen erfindungsgemäße Drähte ein Wärmeausdehnungs-Koeffizientenverhalten auf, das durch die Linien 1 und 2 der graphischen Darstellung in [Fig. 1](#) dargestellt ist und in Beispiel 1 noch weiter erklärt wird.

[0052] Erfindungsgemäße Drähte weisen eine durchschnittliche Zugfestigkeit von mindestens 350 MPa (50 ksi) auf. Bevorzugt weisen erfindungsgemäße Drähte eine durchschnittliche Zugfestigkeit von nicht mehr als 1,400 MPa (200 ksi) und am bevorzugtesten von nicht mehr als 700 MPa (100 ksi) auf.

[0053] Bevorzugt weisen erfindungsgemäße Drähte eine Zugfestigkeit im Längsrichtung von mindestens 90% der theoretischen Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen bei allen Faserfraktionen und am bevorzugtesten mindestens 95% der theoretischen Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen bei Faserfraktionen von weniger als oder gleich 35 Volumenprozent Faser auf. Die theoretische Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen kann der im Definitionsabschnitt aufzufindenden Gleichung entsprechend berechnet werden. Die zum Bestimmen dieser Werte verwendete Faserfestigkeit wurde als 1,68 GPa (244 ksi) gemessen.

[0054] Erfindungsgemäße Drähte weisen einen Modul von nicht mehr als 105 GPa (15 Msi) und bevorzugt nicht mehr als 84 GPa (12 Msi) auf. Bevorzugt weisen erfindungsgemäße Drähte einen Modul von mindestens 40 GPa (6 Msi) und noch bevorzugter mindestens 49 GPa (7 Msi) auf. Die unteren Werte des Moduls kommen typischerweise bei Drähten mit niedrigeren Volumenfraktionen an Faser vor. Es ist erstaunlich, dass der Modul weniger als 69 GPa (10 Msi), wobei es sich um den Modul von Aluminium handelt, und typischerweise weniger als der Modul einer der Bestandteile des Verbunddrahts betragen kann.

[0055] Bevorzugt weisen erfindungsgemäße Drähte eine durchschnittliche Dehnbeanspruchung bis zum Versagen von nicht mehr als 2,5%, noch bevorzugter nicht mehr als 1,2% und am bevorzugtesten nicht mehr als 1,0% auf.

[0056] Die Metallmatrixmaterialien enthalten Aluminium und Legierungen desselben (z.B. eine Legierung von Aluminium und Kupfer). Bevorzugt umfasst die Aluminiummatrix mindestens 98 Gewichtsprozent Aluminium, noch bevorzugter mindestens 99 Gewichtsprozent Aluminium, noch bevorzugter mehr als 99,9 Gewichtspro-

zent Aluminium und am bevorzugtesten mehr als 99,95 Gewichtsprozent Aluminium. Bevorzugte Aluminiumlegierungen aus Aluminium und Kupfer umfassen mindestens 98 Gewichtsprozent Al und bis zu 2 Gewichtsprozent Cu. Aluminium und Aluminiumlegierungen sind im Handel erhältlich. Beispielsweise ist Aluminium unter den Warennamen „SUPER PURE ALUMINUM, 99,99% Al“ von Alcoa, Pittsburgh, PA, erhältlich. Aluminiumlegierungen (z.B. Al-2 Gew.-% Cu (0,03 Gew.-% Verunreinigungen) können von Belmont Metals, New York, NY erhalten werden.

[0057] Die spezifischen Fasern, das Matrixmaterial und die Verfahrensschritte zum Herstellen von erfindungsgemäßem Metallmatrix-Verbunddraht werden so ausgewählt, dass sie einen Aluminiummatrix-Verbunddraht mit den erwünschten Eigenschaften bieten. Beispielsweise werden die Fasern und Aluminiummatrixmaterialien so gewählt, dass sie ausreichend miteinander und dem Drahtherstellungsverfahren verträglich sind, um den erwünschten Draht herzustellen.

[0058] Zusätzliche Einzelheiten bezüglich einiger bevorzugter Techniken für das Herstellen von Aluminium- und Aluminiumlegierungsmatrixdrähten sind beispielsweise in US-A-6,245,425, WO-A-97/00976 offenbart.

[0059] Ein erfindungsgemäßer kontinuierlicher Metallmatrix-Verbunddraht kann beispielsweise durch Metallmatrix-Infiltrationsverfahren hergestellt werden. Bei einer Ausführungsform umfasst das Verfahren: das Bereitstellen eines in einem Gefäß gehaltenen Volumens an geschmolzenem Matrixmaterial; das Eintauchen der Mehrzahl im Wesentlichen kontinuierlicher Fasern in das in einem Gefäß gehaltene Volumen von geschmolzenem Matrixmaterial; das Aufbringen von Ultraschallenergie zum Verursachen von Vibration mindestens eines Teils des in einem Gefäß gehaltenen Volumens von geschmolzenem Matrixmaterial, um es mindestens einem Teil des geschmolzenen Matrixmaterials zu erlauben, die Mehrzahl von Fasern zu infiltrieren und diese zu benetzen derart, dass eine infiltrierte, benetzte Mehrzahl von Fasern bereitgestellt wird; und Herausnehmen der infiltrierten, benetzten Mehrzahl von Fasern aus dem in einem Gefäß gehaltenen Volumen von geschmolzenem Matrixmaterial unter Bedingungen, die es dem geschmolzenen Matrixmaterial erlauben, sich unter Bildung eines Aluminiummatrix-Verbunddrahts, der eine Mehrzahl der Fasern umfasst, zu verfestigen.

[0060] Die Verwendung von Ultraschallenergie als Matrixinfiltrationshilfe trägt dazu bei, das Problem unvollständiger Matrixinfiltration in das Fasertau zu überwinden. Beispielsweise stellen die Verfahren, die in der US-A-6,245,425 und WO-A-97/00976 sowie der US-A-6,485,796 offenbart sind, Methoden zum Lösen dieses Problems dar.

[0061] Aufgrund der Möglichkeit der Reaktion zwischen der Faser und der Matrix wird es vorgezogen, den Draht mit einer ausreichend hohen Geschwindigkeit zu verarbeiten, um das Auftreten derartiger Reaktionen zu minimieren. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform beträgt die eingetauchte Länge Faser d.h. die Länge, über die die Faser mit dem geschmolzenen Aluminium in Kontakt steht, 23 Zentimeter (9 Zoll) und die Geschwindigkeit des Verarbeitens des Drahts beträgt mindestens 76 Zentimeter/Minute (30 Zoll/Minute). Es wurde festgestellt, dass Geschwindigkeiten von 38 Zentimetern/Minute (15 Zoll/Minute) eine Reaktion zwischen der Faser und der Matrix verursachen, während eine Drahtgeschwindigkeit von 76 Zentimeter/Minute (30 Zoll/Minute) keine Reaktion verursachte.

KABEL

[0062] Erfindungsgemäße Aluminiummatrix-Verbunddrähte können bei einer Reihe verschiedener Anwendungen verwendet werden. Sie sind in elektrischen Energieübertragungs-Freileitungskabeln besonders nützlich.

[0063] Erfindungsgemäße Kabel können homogen (d.h. nur einen Typ Metallmatrix-Verbunddraht enthalten) oder homogen sein (d.h. eine Mehrzahl von Sekundärdrähten, wie Metalldrähten enthalten). Als Beispiel eines nichthomogenen Kabels kann die Seele eine Mehrzahl an erfindungsgemäßen Drähten mit einer Ummantelung enthalten, die eine Mehrzahl an Sekundärdrähten (z.B. Aluminiumdrähten) enthält.

[0064] Erfindungsgemäße Kabel können mehrdrähtig oder nicht mehrdrähtig sein. Ein mehrdrähtiges Kabel enthält typischerweise einen Kerndraht und eine erste Schicht Drähte, die spiralförmig um den Kerndraht herum verlitzt sind. Das Kabelverlitzen ist ein Vorgang bei dem einzelne Drahtlitzen in einer spiralförmigen Anordnung unter Bildung eines fertigen Kabels kombiniert werden (z.B. US-A-5,171,942 und US-A-5,554,826). Das dabei entstehende spiralförmig verlitzte Kabel oder das Drahtseil bietet größere Flexibilität als bei einem festen Stab des gleichen Querschnittsbereich verfügbar wäre. Die spiralförmige Anordnung ist auch deshalb vorteilhaft, weil das mehrdrähtige Kabel seine Querschnittsgestalt insgesamt beibehält, wenn das Kabel bei

der Handhabung, Installierung und Verwendung Biegungen unterworfen wird. Spiralenförmig gewundene Kabel können eine Anzahl einzelner Litzen von nur 7 bis zu häufigeren Konstrukten, die 50 oder mehr Litzen enthalten, umfassen.

[0065] Ein erfindungsgemäßes elektrisches Energieübertragungskabel ist in [Fig. 7](#) gezeigt, wo ein erfindungsgemäßes elektrisches Energieübertragungskabel **130** aus einer Seele **132** von neunzehn einzelnen Verbundmetall-Matrixdrähten **134** bestehen kann, die von einer Ummantelung **136** aus dreißig einzelnen Aluminium- oder Aluminiumlegierungsdrähten **138** umgeben ist. Desgleichen kann, wie in [Fig. 8](#) gezeigt, ein erfindungsgemäßes Energieübertragungs-Freileitungskabel **140** als eine von vielen Alternativen aus einer Seele **142** von siebenunddreißig einzelnen Verbundmetall-Matrixdrähten **144** bestehen, die von einer Ummantelung **146** aus einundzwanzig einzelnen Aluminium- oder Aluminiumlegierungsdrähten **148** umgeben ist.

[0066] [Fig. 9](#) veranschaulicht noch eine weitere Ausführungsform des mehrdrähtigen Kabels **80**. Bei dieser Ausführungsform umfasst das mehrdrähtige Kabel einen Kernmetallmatrix-Verbunddraht **81A** und eine erste Schicht **82A** von Drähten, die spiralenförmig um den Kernmetallmatrix-Verbunddraht **81A** gewunden worden sind. Die Ausführungsform umfasst des Weiteren eine zweite Schicht **82B** aus Metallmatrix-Verbunddraht **81**, der spiralenförmig um die erste Schicht **82A** verlitz worden ist. Eine geeignete Anzahl von Metallmatrix-Verbunddrähten **81** kann in irgendeiner Schicht eingeschlossen sein. Des Weiteren können mehr als zwei Schichten in dem mehrdrähtigen Kabel **80**, falls erwünscht, enthalten sein.

[0067] Erfindungsgemäße Kabel können als nacktes Kabel verwendet werden oder sie können als Seele eines Kabels von größerem Durchmesser verwendet werden. Auch können erfindungsgemäße Kabel ein mehrdrähtigen Kabel aus einer Mehrzahl von Drähten mit einer Haltevorrichtung um die Mehrzahl von Drähten sein. Bei der Haltevorrichtung kann es sich um eine Bandumwicklung mit oder ohne Klebstoff oder beispielsweise ein Bindemittel handeln.

[0068] Erfindungsgemäße mehrdrähtige Kabel sind bei zahlreichen Anwendungen nützlich. Man glaubt, dass derartige mehrdrähtige Kabel bei Verwendung in Energieübertragungs-Freileitungskabeln aufgrund ihrer Kombination von geringem Gewicht, hoher Festigkeit, guter elektrischer Leitfähigkeit, geringem Wärmeausdehnungskoeffizienten, hoher Anwendungstemperatur und Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion besonders erwünscht sind.

[0069] Eine Endansicht einer bevorzugten Ausführungsform eines derartigen Übertragungskabels ist in [Fig. 10](#) veranschaulicht. Ein derartiges Übertragungskabel umfasst eine Seele **91**, bei der es sich um irgendeine der oben beschriebenen mehrdrähtigen Seelen handeln kann. Das Energieübertragungskabel **90** enthält auch mindestens eine Leiterschicht **93** um die mehrdrähtige Seele **91** herum. Wie veranschaulicht, enthält das Energieübertragungskabel zwei Leiterschichten **93A** und **93B**. Wie erwünscht, können noch weitere Leiterschichten verwendet werden. Bevorzugt enthält jede Leiterschicht **93** eine Mehrzahl von Leiterdrähten, wie es im Stand der Technik bekannt ist. Geeignete Materialien für die Leiterdrähte umfassen Aluminium und Aluminiumlegierungen. Die Leiterdrähte können durch geeignete Kabelverlitzungsgeräte, wie sie im Stand der Technik bekannt sind, um die mehrdrähtige Seele **91** herum verkabelt werden.

[0070] Bei anderen Anwendungen, bei denen das mehrdrähtige Kabel als Endartikel selbst verwendet werden soll, oder bei denen es als Zwischenartikel oder -komponente in einem anderen darauffolgenden Artikel verwendet werden soll, wird vorgezogen, dass das mehrdrähtige Kabel von elektrischen Stromleitungsschichten um die Mehrzahl von Metallmatrix-Verbunddrähten herum frei sein soll.

[0071] Bevorzugt weisen Kabel, die eine Mehrzahl an erfindungsgemäßen Nichtlitzendrähten enthalten, einen Kabelmodul von nicht mehr als 105 GPa (15 Msi) und noch bevorzugter nicht mehr als 84 GPa (12 Msi) auf. Bevorzugt weisen Kabel, die eine Mehrzahl an erfindungsgemäßen Nichtlitzendrähten enthalten, einen Kabelmodul von mindestens 42 GPa (6 Msi) und noch bevorzugter mindestens 49 GPa (7 Msi) auf. Typischerweise ist der Modul eines mehrdrähtigen Kabels im Vergleich mit demjenigen eines nichtmehrdrähtigen Kabels aufgrund der Verlitzungskonfiguration spiralenförmig gewickelter Schichten von Drähten reduziert. Dadurch wird das Kabel weniger steif als Anordnungen gerader paralleler Drähte. So weisen Kabel, die eine Mehrzahl an erfindungsgemäßen Litzendrähten enthalten, bevorzugt einen Kabelmodul von mindestens 75%, noch bevorzugter mindestens 85% und am bevorzugtesten mindestens 95% des Moduls eines Kabels auf, das die gleiche Anzahl, den gleichen Querschnittsbereich und den gleichen Typ von Litzendrähten enthält.

[0072] Zusätzliche Informationen bezüglich aus erfindungsgemäßen Drähten hergestellten Kabeln sind in US-A-6,559,385 offenbart.

BEISPIELE

[0073] Diese Erfindung wird durch folgende Beispiele noch weiter veranschaulicht, jedoch sollten die spezifischen in diesen Beispielen angegebenen Materialien und Mengen derselben sowie andere Bedingungen und Einzelheiten nicht als diese Erfindung übermäßig einschränkend betrachtet werden. Verschiedene Modifikationen und Abänderungen der Erfindung werden den mit dem Stand der Technik vertrauten Fachleuten offensichtlich werden.

[0074] Alle Teile und Prozentsätze beziehen sich auf das Gewicht, es sei denn, es wird etwas anderes angegeben.

PRÜFMETHODEN

Faserfestigkeit

[0075] Die Faserfestigkeit wurde mit Hilfe einer Zugfestigkeitsprüfvorrichtung (im Handel als Instron 4201-Prüfvorrichtung von Instron, Canton, MA erhältlich) und des in ASTM D 3379-75 (Standardtestmethoden für die Zugfestigkeit und den Elastizitätsmodul für Hochmodul-Einzelfilamentmaterialien) beschriebenen Tests gemessen. Die Probenmesslänge betrug 25,4 mm (1 Zoll) und die Dehnbeanspruchungsrate betrug 0,02 mm/mm.

[0076] Um die Zugfestigkeit eines Fasertaus zu bestimmen, wurden zehn einzelne Faserfilamente wahlweise aus einem Tau von Fasern gewählt und jedes Filamenten wurde geprüft, um seine Bruchlast zu bestimmen. Jede einzelne, wahlweise ausgewählte Faser hatte eine Festigkeit im Bereich von 1,31 – 1,96 GPa (191 – 285 ksi). Die durchschnittliche Zugfestigkeit eines einzelnen Filaments betrug 1,68 GPa (244 ksi). Der Faserdurchmesser wurde optisch unter Zuhilfenahme eines Anbauteils an ein optisches Mikroskop (Dolan-Jenner Measure-Rite Videomikrometer-System, Modell M25-0002, das im Handel von Dolan-Jenner Industries, Inc., Lawrence MA erhältlich ist) mit einer Vergrößerung von 1000 gemessen. Bei dem Apparat wurde das reflektierte Licht mit einem kalibrierten Stufenmikrometer beobachtet.

[0077] Die Bruchbelastung jedes einzelnen Filaments wurde als Last pro Einheitsbereich berechnet.

DRAHTZUGFESTIGKEIT

[0078] Die Zugeigenschaften der Verbunddrähte wurde im Wesentlichen wie in ASTM E345-93 beschrieben unter Zuhilfenahme eines Zugspannungsprüfgeräts (das im Handel unter dem Warennamen „INSTRON“, Modell 8526 Testgerät von Instron Corp, Canton, MA erhältlich ist) bestimmt, das mit einer mechanischen Ausrichtungsinstitution (die unter dem Warennamen „INSTRON“ Modell Nr. 8000-072 von Instron Corp. erhältlich ist) ausgestattet war, die durch ein Datenerfassungssystem (das unter dem Warennamen „INSTRON“, Modell Nr. 8000-074 von Instron Corp. erhältlich ist) betrieben wurde.

[0079] Die Prüfung wurde unter Zuhilfenahme einer Probe einer Messlänge von 5 cm (2 Zoll) durchgeführt, die an den Enden des Drahts mit Rohrösen aus Fluss-Stahl 1018 ausgestattet war, um ein sicheres Ergreifen durch den Prüfapparat zu erlauben. Die tatsächliche Länge der Drahtprobe war 20 cm (8 Zoll) länger als die Messlänge der Probe, um das Installieren der Spannbacken zu ermöglichen. Bei Verbunddrähten, die einen Durchmesser von 2,06 mm (0,081 Zoll) oder weniger aufweisen, waren die Röhren 15 cm (6 Zoll) lang mit einem AD (d.h. Außendurchmesser) von 6,35 mm (0,25 Zoll) und einem ID (d.h. Innendurchmesser) von 2,9 – 3,2 mm (0,115 – 0,125 Zoll). Der ID und der AD sollten so konzentrisch wie möglich sein. Die Stahlröhren und Drahtprobe wurden mit Alkohol gereinigt und es wurde eine Entfernung von 10 cm (4 Zoll) von jedem Ende der Drahtprobe entfernt markiert, um das richtige Positionieren der Greiferröhre zu erlauben, um die erwünschte Messlänge von 5,0 cm zu erreichen. Die Bohrung jeder Greiferröhre wurde mit Epoxidklebstoff (der unter dem Warennamen „SCOTCH-WELD 2214 HI-FLEX“, einem Hochduktilitätsklebstoff, Teil Nr. 62-3403-2930-9 von 3M Company erhältlich ist) mit Hilfe einer Dichtungsmassenpistole (die unter dem Warennamen „SEMCO“, Modell 250 von Technical Resin Packaging, Inc. Brooklyn Center, MN, erhältlich ist), die mit einer Kunststoffdüse (von Technical Resin Packaging, Inc. erhältlich) ausgestattet ist, gefüllt. Überschüssiges Epoxidharz wurde von den Röhren entfernt und der Draht bis zur Markierung auf dem Draht in die Röhre eingeführt. Sobald der Draht in die Greiferröhre eingeführt worden war, wurde zusätzliches Epoxidharz in die Röhre injiziert, während der Draht in Position gehalten wurde, um sicherzustellen, dass die Röhre mit Harz gefüllt war. (Das Harz wurde in der Röhre hinterfüllt, bis das Epoxid unten an der Messlänge um den Draht herum gerade herausgedrückt wurde, während der Draht in Position gehalten wurde). Als beide Greiferröhren richtig auf dem Draht positioniert

waren, wurde die Probe in eine Ösenausrichtungsvorrichtung eingegeben, die die richtige Ausrichtung der Greiferröhren und des Drahts während des Epoxidaushärtungszyklus aufrechterhielt. Der Zusammenbau wurde daraufhin in einen Aushärtungssofen eingegeben, der 90 Minuten bis zum Aushärten des Epoxids bei 150 °C gehalten wurde.

[0080] Der Prüfrahm wurden in der Instron-Prüfvorrichtung mit Hilfe eines mechanischen Ausrichtungsgeräts auf dem Prüfrahm zur Erzielung der erwünschten Ausrichtung sorgfältig ausgerichtet. Während des Prüfens wurden nur die äußeren 5 cm (2 Zoll) der Greiferröhren durch gezahnte hydraulische V-gekerbte Backen mit einem Maschinenklemmdruck von ca. 2 – 2,5 ksi (14 – 17 MPa) ergriffen.

[0081] Eine Dehnbeanspruchungsrate von 0,01 cm/cm (0,01 Zoll/Zoll) wurde in einem Positionskontrollmodus verwendet. Die Dehnbeanspruchung wurde mit einem dynamischen Dehnungsmesser-Extensometer (unter dem Warennamen „INSTRON“, Modell Nr. 2620-824 von Instron Corp. erhältlich) überwacht. Der Abstand zwischen den Extensometer-Messerkanten betrug 1,27 cm (0,5 Zoll) und der Dehnungsmesser wurde in die Mitte der Messlänge positioniert und mit Gummibändern befestigt. Der Drahtdurchmesser wurde entweder durch Mikrometermessungen an drei Positionen dem Draht entlang oder durch Messen des Querschnittsbereichs und Berechnen des effektiven Durchmessers zum Bereitstellen des gleichen Querschnittsbereichs bestimmt. Das Ergebnis der Zugfestigkeitsprüfung stellte Daten bezüglich der Last bis zum Versagen, der Zugfestigkeit, dem Zugmodul und der Dehnbeanspruchung bis zum Versagen für die Proben bereit. Es wurden fünf Proben geprüft, wobei der Durchschnitt, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient für jede Eigenschaft berichtet wurden.

WÄRMEAUSDEHNUNGSKOEFFIZIENT (WAK)

[0082] Der WAK wurde ASTM E-228, im Jahre 1995 veröffentlicht, entsprechend gemessen. Die Arbeit wurde auf einem Dilatometer (unter dem Warennamen „UNITHERM 1091“ erhältlich) mit einer Drahtlänge von 2 Zoll (5,1 cm) durchgeführt. Die Kalibrierung des Geräts vor der Prüfung wurde unter Zuhilfenahme einer (durch NIST) zertifizierten Kalibrierungsbezugsprobe aus Quarzglas (unter dem Warennamen „Quarzglas“ von NIST, Washington, DC erhältlich) durchgeführt. Die Proben wurden über einen Temperaturbereich von –75 °C bis 500 °C mit einer Erhitzungssteigerungsrate von 5 °C in einer Laborluftatmosphäre geprüft. Das Ergebnis der Prüfung bestand aus einem Satz von Daten der Dimensionsausdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur, die während des Erhitzens alle 10 °C abgenommen wurden. Da der WAK die Rate der Expansionsänderung mit der Temperatur darstellt, mussten die Daten verarbeitet werden, um einen Wert für den WAK zu erhalten. Die Daten bezüglich der Dehnung in Abhängigkeit von der Temperatur wurden mit einem graphischen Standardsoftwarepaket (das unter dem Warennamen „EXCEL“ von Microsoft, Redmond, WA erhältlich ist) aufgezeichnet. Eine Leistungsfunktion zweiter Ordnung wurde mit Hilfe der Standardanpassungsfunktionen, die bei der Software zur Verfügung stehen, zum Erzielen einer Gleichung für die Kurve angepasst.

[0083] Das Derivat dieser Gleichung wurde unter Erzielung einer linearen Funktion berechnet. Diese Gleichung stellte die Ausdehnungsänderungsrate mit der Temperatur dar. Diese Gleichung wurde über den Temperaturbereich, der von Interesse ist, z.B. –75 °C – 500 °C, unter Erzielung einer graphischen Darstellung des WAK in Abhängigkeit von der Temperatur aufgezeichnet. Die Gleichung wurde auch benutzt, um den momentanen WAK bei irgendeiner Temperatur zu erhalten. Im Falle eines nichtlinearen Verhaltens wurde die Kurve der Dehnung in Abhängigkeit von der Temperatur in Regionen zwischen den Wendepunkte unterteilt, wo das Angleichen der Leistungsfunktion zweiter Ordnung zufriedenstellend durchgeführt werden kann.

[0084] Der WAK hängt typischerweise von der Faservolumenfraktion ab, obwohl in dem Bereich, der von Interesse ist, zu erwarten war und angenommen wurde, dass der WAK sich als Funktion der Faservolumenfraktion nicht signifikant ändert. Es wurde angenommen, dass der WAK sich folgender Gleichung entsprechend änderte:

$$\alpha_d = [E_f \alpha_f V_f + E_m \alpha_m (1 - V_f)] / (E_f V_f + E_m (1 - V_f))$$

wobei

V_f	= Faservolumenfraktion
E_f	= Faserzugmodul
E_m	= Matrixzugmodul (in situ)
α_d	= Verbund-WAK in Längsrichtung
α_f	= Faser-WAK
α_m	= Matrix-WAK

DURCHMESSER

[0085] Der Durchmesser des Drahts wurde durch Abnehmen der Mikrometerablesung an vier Punkten dem Draht entlang gemessen. Typischerweise hatte der Draht nicht die Form eines vollkommenen Kreises, so dass ein langer und ein kurzer Aspekt auftrat. Die Messwerte wurden durch Drehen des Drahts abgenommen, um sicherzustellen, dass sowohl der lange als auch der kurze Aspekt gemessen wurde. Der Durchmesser wurde als Durchschnitt des langen und des kurzen Aspekts aufgezeichnet.

FASERVOLUMENFRAKTION

[0086] Die Faservolumenfraktion wurde durch eine metallographische Standardtechnik gemessen. Der Querschnitt des Drahts wurde poliert und die Faservolumenfraktion unter Zuhilfenahme der Dichteprofilingfunktionen mit Hilfe eines Computerprogramms, das als NIH-IMAGE (Version 1.61) bezeichnet wird, einem öffentlich zugänglichen Bildverarbeitungsprogramm, das vom Research Services Branch des National Institute of Health (auf der Website <http://rsb-info.nih.gov/niimage> zu finden) gemessen. Diese Software maß die mittlere Grauskalenintensität eines repräsentativen Bereichs des Drahts.

[0087] Ein Stück des Drahts wurde in Montierharz (unter dem Warennamen „EPOXICURE“ von Buehler Inc., Lake Bluff, IL erhältlich) montiert. Der montierte Draht wurde mit Hilfe einer herkömmlichen Schleif-Poliermaschine (von Strueres, West Lake, OH erhältlich) und herkömmlichen Diamantaufschlämmungen poliert, wobei der letzte Polierschritt mit Hilfe einer 1 Mikrometer-Diamantaufschlämmung (die unter dem Warennamen „DIAMOND SPRAY“ von Strueres erhältlich ist) unter Erzielung eines polierten Querschnitts des Drahts, durchgeführt wurde. Es wurde eine Mikrophotographie mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) des polierten Querschnitts des Drahts bei $150\times$ aufgenommen. Beim Aufnehmen der REM Mikrophotographie wurde das Grenzniveau des Bilds so eingestellt, dass alle Fasern eine Intensität von null aufwiesen, um ein binäres Bild zu erzeugen. Die REM-Mikrophotographie wurde mit der NIH IMAGE Software analysiert und die Faservolumenfraktion durch Teilen des Mittelwerts der Intensität des binären Bilds durch die maximale Intensität erhalten. Man glaubte, dass die Genauigkeit dieser Methode zum Bestimmen der Faservolumenfraktion $\pm 2\%$ betrug.

[0088] Spezifische Beispiele verschiedener Verbundmetall-Matrixherstellungen sind unten beschrieben.

BEISPIEL 1

[0089] Bei diesem Beispiel folgt der Draht den in der Internationalen Veröffentlichung Nr. WO-A97/00976 offenbarten Lehre- und Methodenvorgängen. Zwanzig (20) Tausend Aluminoborsilicafaser von 1800 Denier (die unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ von 3M Company erhältlich ist), die in einem 12 mm (0,5 Zoll) breiten Band angeordnet waren, wurden in ein geschmolzenes Bad von 99,97% reinem Aluminium (das von Belmont Metals, New York, NY, erhältlich ist) eingeführt, das in einem Aluminiumtiegel der Dimensionen 24,1 cm \times 31,3 cm \times 31,8 cm (im Handel von Vesuvius McDaniel, Beaver Falls, PA, erhältlich) gehalten wurde. Die Temperatur des geschmolzenen Aluminiums betrug ca. 720 °C. Jedes Fasertau wurde von einer Spule abgezogen, die auf einem Aufsteckrahmen montiert war, der 60 Gramm (g) Zugspannung pro Tau aufbrachte, und durch die Schmelzoberfläche in das geschmolzene Aluminium eingeführt. Auf das Hineingehen in die Schmelze hin wurden die Fasertäue in einem 1,2 cm breiten Band angeordnet. Die Metallinfiltration des Faserbands wurde durch Aufbringen von Ultraschallvibration auf mindestens einen Teil der Schmelze und der Fasertäue durch ein Ultraschallhorn erleichtert, das weniger als 1,25 mm über dem Faserband positioniert war. Das Horn bestand aus einer Legierung von 95% Niob und 5 Molybdän, die zu einem Zylinder einer Länge von 12,7 cm und eines Durchmessers von 2,5 cm geformt worden war. Der Zylinder wurde durch Ändern seiner Länge auf die erwünschte Vibrationsfrequenz von 20,0-20,4 kHz eingestellt. Die Amplitude des Betätigungsorgans betrug ca. 0,002 cm. Das Horn wurde an einen Titanwellenleiter angeschlossen, der wiederum an den Ultraschallwandler (von Sonics & Materials, Danbury, CT, erhältlich) angeschlossen war. Die Fasern wurden mit Matrixmaterial infiltriert und daraufhin durch eine Ausstoßdüse, die aus Aluminiumoxid geringer Reinheit bestand, herausgezogen. Die Düse hatte einen Innendurchmesser von 1,98 mm. Die durch diesen Vorgang hergestellten Drähte

hatten einen Durchmesser von ca. 0,20 cm.

[0090] Die Kurven (z.B. Linien) **1** und **2** von [Fig. 1](#) sind graphische Darstellungen der Daten bezüglich der Wärmeausdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur von zwei durch diesen Vorgang hergestellten Drahtproben über den Temperaturbereich von -75 °C (minus) bis 500 °C . Die Daten können in drei Regionen unterteilt werden, aus denen der WAK für jede einzelne Region, wie bei Kurve **2** der [Fig. 1](#), berechnet werden kann, deren graphische Darstellung als Kurve **2a** in [Fig. 2](#) dargestellt ist. R^2 ist ein statistisches Maß der Genauigkeit der Kurvenpassung. Wenn $R^2 = 1$ ist, so entspricht die Gleichung der Kurve genau der durch Versuche bestimmten Kurve. Für die Region von -75 °C bis 20 °C , wo die Kurve durch die Gleichung:

$$y = (5,3918 \times 10^{-6})x^2 + (1,0314 \times 10^{-3})x - 2,2245 \times 10^{-2}$$

$$R^2 = 9,9930 \times 10^{-1}$$

definiert ist, steigt der WAK linear von 2,2 auf 12,5. Für den Bereich (20 °C bis 225 °C), wo die Kurve durch die Gleichung:

$$y = (1,6630 \times 10^{-6})x^2 + (9,2031 \times 10^{-4})x - 1,3358 \times 10^{-2}$$

$$R^2 = 9,9649 \times 10^{-1}$$

definiert ist, steigt der WAK linear von 8,4 auf 2,5. Für die Region 225 °C bis 500 °C , wo die Kurve durch die Gleichung:

$$y = (1,2136 \times 10^{-7})x^2 + (6,0436 \times 10^{-4})x - 1,2290 \times 10^{-2}$$

$$R^2 = 9,9994 \times 10^{-1}$$

definiert ist, steigt der WAK linear von 3,3 auf 4,7.

[0091] [Fig. 3](#) ist eine graphische Darstellung der Derivate der drei Gleichungen, die den WAK definieren, was das nicht lineare WAK-Verhalten des durch „NEXTEL 312“-Faser verstärkten Drahts klar veranschaulicht. So ist der WAK über den gesamten Temperaturbereich von -75 °C (minus) bis 500 °C eindeutig nichtlinear. Die Diskontinuitäten bei $20 - 25\text{ °C}$ und $200 - 225\text{ °C}$ in [Fig. 3](#) sind Artefakte des Spaltens der Daten in drei Sätze und des getrennten Behandelns jeder Region.

[0092] Die Zugspannungsprüfung von 5 Proben ergab einen Zugfestigkeitsbereich von 0,441-0,524 GPa (64-76 ksi), mit einem Durchschnitt von 0,486 GPa (71 ksi). Die Dehnbeanspruchung bis zum Versagen lag im Bereich von 0,82 bis 0,99%, mit einem Durchschnitt von 0,88%, und der durchschnittliche Zugmodul betrug 74 GPa (10,7 Msi). Die Faservolumenfraktion betrug 45,5%. Der Drahtdurchmesser betrug 0,0785 Zoll (1,99 mm). Die Fraktion der theoretischen Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen bei diesem Draht wurde auf 80% berechnet.

BEISPIEL 2

[0093] Es wurde ein Draht im Wesentlichen wie in Beispiel 1 beschrieben zubereitet, mit der Ausnahme, dass 10 Taue aus Aluminoborsilicatifaser von 1800 Denier (unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ von 3M Company erhältlich) verwendet wurden. Die Zugspannungsprüfung von 5 Proben ergab einen Zugfestigkeitsbereich von 0,317-0,441 GPa (46-64 ksi) bei einem Durchschnitt von 0,372 GPa (54 ksi). Die Dehnbeanspruchung bis zum Versagen lag im Bereich von 0,90% bis 1,24% mit einem Durchschnitt von 1,07% und der durchschnittliche Zugmodul betrug 92 GPa (8,0 Msi). Die Faservolumenfraktion betrug 28%.

[0094] Der Drahtdurchmesser betrug 0,071 Zoll (1,80 mm). Die Fraktion der theoretischen Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen wurde bei diesem Draht auf 97% berechnet.

BEISPIEL 3

[0095] Es wurde ein Draht im Wesentlichen wie in Beispiel 1 beschrieben zubereitet, mit der Ausnahme, dass 22 Taue aus Aluminoborsilicatifaser von 1800 Denier (unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ von 3M Company erhältlich) verwendet wurden. Die Zugspannungsprüfung von 5 Proben ergab einen Zugfestigkeitsbereich

von 0,482-0,622 GPa (70-93 ksi) mit einem Durchschnitt von 0,565 GPa (82 ksi). Die Dehnbeanspruchung bis zum Versagen lag im Bereich von 0,80% bis 0,99% mit einem Durchschnitt von 0,86% und der durchschnittliche Zugmodul betrug 55 GPa (13,3 Msi). Die Faservolumenfraktion betrug 49%. Der Drahtdurchmesser betrug 0,0794 Zoll (2,02 mm). Die Fraktion der theoretischen Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen wurde bei diesem Draht auf 78% berechnet.

BEISPIEL 4

[0096] Es wurden Drahtproben im Wesentlichen wie in Beispiel 1 beschrieben zubereitet, mit der Ausnahme, dass die Anzahl von Fasertauen aus Aluminoborsilicatifaser von 1800 Denier (unter dem Warennamen „NEXTEL 312“ von 3M Company erhältlich) im Bereich von 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20 und 22 Tauen geändert wurde. Es wurde die Zugfestigkeitsprüfung von 5 Proben jeder Drahtprobe durchgeführt und die Datenpunkte wurden in [Fig. 4](#), [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) in Abhängigkeit von der Faservolumenfraktion für die Zugfestigkeit, die Dehnbeanspruchung bis zum Versagen und den Zugmodul aufgezeichnet. [Fig. 4](#) zeigt, dass die Belastung mit zunehmender Faservolumenfraktion steigt. [Fig. 5](#) zeigt, dass die Dehnbeanspruchung mit zunehmender Faservolumenfraktion abfällt.

[0097] [Fig. 6](#) zeigt, dass der Modul mit zunehmender Faservolumenfraktion steigt.

BEISPIEL 5

[0098] Es wurden zwei Kabelseelen konstruiert und zwar beide auf der Basis der Eigenschaften von mit „NEXTEL 312“ verstärkten Drähten, die in Beispiel 1 beschrieben sind. Die erste Konstruktion wies eine nicht mehrdrähtige (d.h. in Längsrichtung ausgerichtete Drähte) einer 6/1-Konfiguration auf, wobei sechs äußere Drähte eng um einen mittigen Draht gruppiert waren, und die zweite Konstruktion wies eine mehrdrähtige 6/1-Konfiguration auf, wobei sechs äußere Drähte spiralförmig um einen mittigen Draht mit einem „Legefaktor“ von 18 verlegt wurden. Der „Legefaktor“ eines mehrdrähtigen Kabels wurde durch Teilen der Länge des mehrdrähtigen Kabels, bei dem eine einzige Litze eine spiralförmige Drehung durchmachte, durch den Nennaußendurchmesser der Schicht, die diese Litze enthält, bestimmt. Der Modul der mehrdrähtigen Kabelseele wurde durch die spiralförmige Legung auf 95% des Moduls der nicht mehrsträngigen Kabelseele in Beispiel 1 reduziert.

[0099] Es wurden für die beiden Konstrukte auf der Basis der Eigenschaften der mit „NEXTEL 312“-Faser verstärkten Drähte, die in Beispiel 1 beschrieben sind, unter Benutzung folgender Gleichungen mehrere Kabeleigenschaften berechnet:

Der Seelendurchmesser wird durch die Gleichung:

$$D_c = 3 \times D_w$$

definiert, wobei

D_w der Durchmesser der einzelnen Drähte, aus denen die Seele hergestellt ist, oder 2,0 mm bei den in Beispiel 5 verwendeten „NEXTEL 312“-Drähten ist;

[0100] Der Gesamtbereich der Seele wird durch die Gleichung: $A_c = N_w \times (\pi/4 \times D_w^2)$ definiert ist, wobei

N_w die Anzahl an Drähten, die in der Seele verwendet werden, oder bei der 6/1-Seelenkonstruktion, die in Beispiel 5 beschrieben ist, 7 ist;

[0101] Das Seelengewicht wird durch die Gleichung:

$$W_2 = A \times 12 \times (d_w \times F_c^e)$$

definiert, wobei

d_w die Dichte des Drahts, der zum Herstellen der Seele verwendet wird, oder bei den in Beispiel 5 verwendeten „NEXTEL 312“ Drähten 2,7 g/cm³ (0,98 lb/in³) ist;

F_c^e der elektrische Belastungsgrad für die Seele oder bei der nicht mehrdrähtigen Seele von Beispiel 5 0 ist;

F_c^e der elektrische Belastungsgrad für die Seele oder bei der mehrdrähtigen Seele von Beispiel 5 0,4% ist;

[0102] Die Seelendurchschlagfestigkeit wird durch die Gleichung:

$$S_c = (S_w \times F_c^m) \times A_c$$

definiert, wobei

S_w die Zugfestigkeit des Drahts, der zum Herstellen der Seele verwendet wird, oder bei dem in Beispiel 5 verwendeten Draht 0,490 GPa ist;
 F_c^m der mechanische Seelenbelastungsgrad oder bei den Seelenkonstruktionen von Beispiel 5 96% ist;

[0103] Seelenmodul wird durch die Gleichung:

$$M_c = M_w \times F_c^s$$

definiert, wobei

M_w der Modul des in der Seele verwendeten Drahts oder bei dem in Beispiel 5 verwendeten Draht 73,8 GPa ist;
 F_c^s der Seelenverlitzungsfaktor oder bei der nicht mehrdräftigen Seele von Beispiel 5 100% ist;
 F_c^s der Seelenverlitzungsfaktor oder bei der mehrdräftigen Seele von Beispiel 5 95,6% ist;

[0104] Der Seelenwiderstand wird durch die Gleichung:

$$R_c = [I/(C_w \times 1,228)/A] \times 5,28 \times (1 + F_c^s)$$

definiert, wobei

C_w 31,7% IACS (Internationaler Ausglühkupferstandard) ist;

[0105] Der Kabeldurchmesser wird durch die Gleichung:

$$D = 3 \times D_w + 4 \times D_a$$

definiert, wobei

D_w der Durchmesser der in der Seele verwendeten Drähte oder bei dem in den Seelen von Beispiel 6 verwendeten „NEXTEL 312“-Draht 2,0 mm ist;
 D_a der Durchmesser der in den Kabeln verwendeten Leiterdrähte oder bei den in den Kabeln von Beispiel 6 verwendeten Al-Leiterdrähten 0,1013 ist;

[0106] Der Gesamtbereich des Kabels wird durch die Gleichung:

$$A = N_w \times \pi/4 \times D_w^2 + N_a \times \pi/4 \times D_a^2$$

definiert, wobei

N_w die Anzahl der Drähte in der Seele, oder bei den 6/1-Seelenkonstruktionen der Kabel von Beispiel 6 7 ist;
 N_a die Anzahl von Leiterdrähten oder bei den 26/7-Kabelkonstruktionen von Beispiel 6 26 ist;

[0107] Das Gewicht des Kabels wird durch die Gleichung:

$$W = f \times A \times 12 \times (d_w \times F_c^e) + (1 - f) \times A \times 12 \times (d_a \times F_a^c)$$

definiert, wobei

f die Bereichsfraction der Seele oder bei den 26/7-Kabelkonstruktionen von Beispiel 6 0,14 ist;
 d_w die Dichte des in der Seele verwendeten Drahts oder bei dem in den Seelen der Kabel von Beispiel 6 verwendeten „NEXTEL 312“-Draht 2,7 g/cm³ (0,098 lb/in³) ist;
 F_c^e der elektrische Belastungsgrad der Seele, oder bei den Seelen der Kabel von Beispiel 6 0,4% ist; da die Dichte der Leiterdrähte oder bei den in den Kabeln von Beispiel 6 verwendeten Al-Drähten 2,7g/cm³ (0,097 lb/in³) ist;
 F_a^c der elektrische Belastungsfaktor für Al oder 2,5 ist.

[0108] Die Bruchfestigkeit des Kabels wird durch die Gleichung:

$$S = (S_w \times F_c^m) \times f \times A + (S_a \times F_a^m) \times (1 - f) \times A$$

definiert, wobei

- S_w die Zugfestigkeit des in der Seele verwendeten Drahts oder bei dem in den Seelen der Kabel von Beispiel 6 verwendeten „NEXTEL 312“-Draht 0,490 GPa ist;
 S_a die Zugfestigkeit der Leiterdrähte oder bei den in den Kabeln von Beispiel 6 verwendeten Al-Leiterdrähten 0,179 GPa ist;
 F_c^m der mechanische Belastungsgrad der Seele oder bei den Kabeln von Beispiel 6 93% ist;
 F_a^m der mechanische Belastungsgrad der Aluminiumdrähte oder bei den in den Kabeln von Beispiel 6 verwendeten Al-Drähten 93% ist;

[0109] Der Modul des Kabels wird durch die Gleichung:

$$M = f \times M_c + (1 - f) \times M_a$$

definiert, wobei

- $M_c = M_w \times F_c^S$ oder der Modul der mehrdrähtigen Seele ist, wobei
 M_w der Modul des in der Seele verwendeten Drahts oder bei dem in den Seelen von Beispiel 6 verwendeten „NEXTEL 312“-Draht 10.700.000 psi ist;
 M_a der Modul der Al-Drähte oder bei den in den Kabeln von Beispiel 6 verwendeten Al-Drähten 7.960.000 psi ist;
 F_c^S der Seelenverlitzungsfaktor oder bei den Seelen der Kabel von Beispiel 6 99,6% ist;

[0110] Der WAK des Kabels wird durch die Gleichung:

$$E = f \times (M_c/M) \times E_w + (1 - f) \times (M_a/M) \times E_a$$

definiert, wobei

- E_w der WAK des in der Seele verwendeten Drahts oder bei dem in den Seelen von Beispiel 6 verwendeten „NEXTEL 312“-Draht $4,7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ist;
 E_a der WAK der Leiterdrähte oder bei den in den Kabeln von Beispiel 6 verwendeten Al-Leitern $23,0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ist;

[0111] Der elektrische Widerstand des Kabels wird durch die Gleichung:

$$R = l/(l/R_c + l/R_a)$$

definiert, wobei

- $R_c = l/(C_w \times 1,228)/(f \times A) \times 5,28 \times (1 + F_c^c)$ oder der Widerstand der mehrdrähtigen Seele ist;
 $R_a = l/(C_a \times 1,228)/(1 - f) \times A) \times 5,28 \times (1 + F_a^c)$ oder der Widerstand der Aluminiumlitzendrähte ist;
 C_w die Leitfähigkeit des in der Seele verwendeten Drahts oder bei dem in den Seelen von Beispiel 6 verwendeten „NEXTEL 312“-Draht 31,7% IACS ist;
 C_a die Leitfähigkeit der Leiter oder 61,2% IACS bezüglich der Leitfähigkeit der Al-Drähte der Kabel von Beispiel 6 ist.

[0112] Die berechneten Eigenschaften der beiden Kabelkonstruktionen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1

Berechnete Kabeleigenschaften für Kabelkonstruktionen

	Nicht mehrdrähtige Kabelkonstruktion		Spiralenförmige mehrdrähtige Kabelkonstruktion	
Einzelner Drahtdurch- messer	0,0788 Zoll	2,00 mm	0,0788 Zoll	2,00 mm
Kabel- durchmesser	0,24 Zoll	6,00 mm	0,24 Zoll	6,00 mm
X-Ab- schnitts- bereich des Kabels	0,0341 Quadrat- zoll	22,00 mm ²	0,0341 Quadrat- zoll	22,00 mm ²
Kabel- gewicht	0,040 lb/ linearer Fuß	0,060 kg/m	0,040 lb/ linearer Fuß	0,060 kg/m
Kabel-bruch- festigkeit	2,324 lb	10,3 kN	2,324 lb	10,3 kN
Kabelmodul	10,7 Msi	73,8 GPa	10,2 Msi	70,5 GPa
Widerstand (Gleich- strom bei 20°C)	3,996 Ohm/Meile	2,483 Ohm/km	3,980 Ohm/Meile	2,4731 Ohm/km

BEISPIEL 6

[0113] Ein elektrisches Energieübertragungskabel wurde unter Zuhilfenahme einer mehrdrähtigen Seelenkabelkonstruktion, die der von Beispiel 5 ähnlich ist, konstruiert, mit der Ausnahme, dass der Legefaktor des Kabels 50,8 betrug und das Kabel zwei spiralenförmig verlitzte Außenschichten von rund 1350 Aluminiumdrähten als Leiter aufwies. Das Kabelmodell war eine 26/7-Konfiguration mit sieben durch „NEXTEL 312“-Fasern verstärkten Drähten, die spiralenförmig zu einer mittigen Seele verlitzt wurden, einer aus 10 Drähten bestehenden spiralenförmig verlitzen Zwischenschicht von Aluminiumleitern, die über die Seele verlitzt wurden, und eine aus 16 Drähten bestehende spiralenförmig verlitzte Außenschicht aus Aluminiumleitern, die über die Zwischenschicht von Leitern verlitzt wurden. Die Eigenschaften des für die äußeren Leiterdrähte verwendeten Aluminiums sind in der ASTM B 230-Spezifikation für Aluminium 1350-H19, Draht für elektrische Zwecke, spezifiziert. Die Aluminiumdrähte wiesen eine Zugfestigkeit von 179 MPa (26 ksi) auf und der endgültige Modul der Aluminiumlitzenstränge betrug 54,9 GPa (7,96 Msi). Die errechneten Eigenschaften des Leitermodells sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2

Errechnete Eigenschaften für die 26/7-„NEXTEL 312“-Seelenleiterkonstruktion

„312“ Seele - Durchmesser des Einzeldrahts	0,0788 Zoll	2,00 mm
Durchmesser des einzelnen Al- Leiters	0,1013 Zoll	2,57 mm
Seelendurchmesser	0,24 Zoll	6,00 mm
Vollständiger Kabeldurchmesser	0,642 Zoll	16,30 mm
Al-Leiterbereich	0,209 Quadratzoll	135,14 mm ²
Gesamter Kabelbe- reich	0,2436 Quadrat-zoll	157,16 mm ²
Gesamtes Kabelge- wicht	0,291 lb/linearer Fuß	0,434 kg/m
Seelenbruch-festig- keit	2.326 lb	10,3 kN
Al-Leiterbruch- festigkeit	5.065 lb	22,5 kN
Gesamte Kabelbruch- festigkeit	7.391 lb	32,9 kN
Al-Leitermodul	8,3 Msi	57,5 GPa

WAK unterhalb der Übergangstemperatur (150°C)	$19,74 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$19,74 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
WAK über der Übergangstemperatur (150°C)	$4,70 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$4,70 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Widerstand (Gleichstrom bei 20°C)	0,3166 Ohm/Meile	0,1967 Ohm/km
Seelenlegeverhältnis	50,8	50,8
Al-Leiterzwischen-schichtlegeverhältnis	13,0	13,0
Al-Leiteraußen-schichtlegeverhältnis	11,0	11,0

[0114] Um die Funktionalität des Leiters mit der durch „NEXTEL 312“-Faser verstärkten Seele zu überprüfen, wurde die Durchhang-Spannungsleistung des Leiters mit der Durchhang-Spannungsleistung eines Leitermodells verglichen, das auf einem herkömmlichen ACSR- (stahlverstärktem Aluminiumleiter-) Leitermodell basiert, das die gleiche Geometrie und die gleichen Dimensionen wie das „NEXTEL 312“-Seelenmodell aufweist, unter Zuhilfenahme eines Computerprogramms für das Voraussagen der Durchhang-Spannungsleistung elektrischer Leiter, die für Übertragungsfreileitungen verwendet werden. Dieses Softwarepaket ist im Handel unter dem Warennamen SAG 10 Software von Alcoa Conductor Accessories und Alcoa Conductor Products Company, Pittsburgh, PA, erhältlich. Bei der Software werden Leitereigenschaften und Belastungs-Beanspruchungsdaten für herkömmliche ACSR-Konstruktionen, die einen Teil der Leiterdatenbase darstellen, die zusammen mit der Software geliefert wird, plus Eingabedaten verwendet, die mit den Eigenschaften von Versuchsmaterialien im Einklang stehen, die bei nicht herkömmlichen Kabelmodellen wie denjenigen, die in Tabelle 2 für das mit „NEXTEL 312“-Faser verstärkte Kabelmodell aufgeführt sind, verwendet werden. Die Software wurde zum Durchführen von Berechnungen verschiedener mechanischer Belastungsbedingungen und Leiterarbeitstemperaturen verwendet. Eigenschaften des durch „NEXTEL 312“-Faser verstärkten Kabelmodells und des ACSR-Kabelmodells sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3

Errechnete Eigenschaften von Kabelkonstruktionen

	„NEXTEL 312“-Seelen- konstruktion		ACSR-Seelenkonstruktion	
Al-Leiter- bereich	0,210 Quadrat- zoll	135,189 mm ²	0,210 Quadrat- zoll	135,189 mm ²
Gesamter Kabel- bereich	0,2436 Quadrat- zoll	157,161 mm ²	0,2436 Quadrat- zoll	157,161 mm ²
Kabeldurch- messer	0,642 Zoll	16,3 mm	0,642 Zoll	16,3 mm
Kabel- gewicht	0,291 lb/Fu ß	0,433 kg/m	0,367 lb/Fu ß	0,546 kg/m
RTS	7391 lb	32,9 kN	11.300 lb	50,3 kN

[0115] Bei der Software wurden durch Versuche erhaltene Belastungs-Beanspruchungs- und Wärmeausdehnungsdaten verwendet, die zu der in der Software enthaltenen Datenbase gehören. Bei Bimetalleitern, die aus einer verstärkenden Seele und äußeren Aluminiumleitern wie ACSR bestehen, gibt es für jedes Material verschiedene Belastungs-Beanspruchungs- und Wärmeausdehnungsdaten.

[0116] Computerberechnungen wurden für vergleichbare Installationen der beiden Kabelmodelle unter Anwendung einer ideellen Spannweitenlänge von 225 m (738 Fuß) und einer anfänglichen Installationsspannung von 8,8 kN (1.980 lb) durchgeführt. Der berechnete Durchhang der Leiter bei Temperaturen bis zu 300°C ist in [Fig. 11](#) graphisch dargestellt. Die „NEXTEL 312“-Seele (Kurve 1 von [Fig. 11](#)) wies über den gesamten Temperaturbereich einen geringeren Durchhang auf als das ACSR-Seelenmodell. Diese Ergebnisse zeigen, dass eine „NEXTEL 312“-Seelenkonstruktion als Verbesserung herkömmlicher ACSR-Kabelkonstruktionen verwendet werden kann. Da sie weniger Durchhang aufweist als ein ACSR-Seelenleiter ähnlicher Konstruktion, kann mit der „NEXTEL 312“-Seele bei einer höheren Temperatur gearbeitet werden. Sie überträgt auch mehr Strom bei höheren Temperaturen als ein ACSR-Leiter ähnlicher Konstruktion ohne den Durchhang des ACSR-Leiters zu übersteigen. Die Reduzierung des Durchhangs erlaubt auch eine Reduzierung der Turmhöhe und Kosten, wenn sie auf einer neuen Linie verwendet wird.

[0117] Berechnungen wurden auch bezüglich des Durchhang- und Spannungsverhaltens der beiden Kabelmodelle unter Bedingungen starker Eis- und Windbelastung unter Anwendung der nationalen elektrischen Sicherheitskode für Bedingungen starker Belastung (0,5 Zoll Eis, 4 lb Wind, K = 3) durchgeführt. Wiederum betrug die ideelle Spannweitenlänge 225 m (738 Fuß) und beide Kabelkonstruktionen wurden mit der gleichen anfänglichen Spannung von 1.980 lb (8,8 kN) installiert. Die Ergebnisse dieser Berechnungen, die in Tabelle 4 aufgeführt sind, zeigen, dass die Spannung bei der „NEXTEL 312“-Seelenkonstruktion 12% geringer ist als diejenige, die das ACSR-Seelenmodell unter maximalen Belastungsbedingungen aufweist. Die reduzierten mechanischen Belastungen von Türmen, die durch die „NEXTEL 312“-Seelenkonstruktion geboten werden, können dazu umgesetzt werden, die Turmkosten zu reduzieren und die Sicherheitsspannen im Vergleich mit Standard-ACSR-Leiterkonstruktionen zu erhöhen. Obwohl das Kabel der „NEXTEL 312“-Seelenkonstruktion nicht so stark ist wie das Stahlkabel, liegt ihre maximale Spannung unter hoher Belastung wesentlich unterhalb ihrer Bruchfestigkeit und innerhalb der empfohlenen Grenzen. Es ist erstaunlich, dass ein mit einem Material viel geringerer Festigkeit als Stahl verstärktes Kabel eine wesentlich verbesserte Leistungsfähigkeit aufweisen kann.

Tabelle 4

Berechnungen des Durchhangs und der Spannung unter maximalen Belastungsbedingungen

Kabel- konstruk- tion	Durchhang		Spannung		% Änderung
	Fuß	Meter	Pfund (lb)	KiloNewton (kN)	
ACSR Konstruk- tion	20,0	6,1	5.144	22,9	-
„NEXTEL 312“- Konstruk- tion	21,7	6,6	4.538	20,2	-12%

[0118] Verschiedene Modifikationen und Änderungen dieser Erfindung werden den mit dem Stand der Technik vertrauten Fachleuten offensichtlich werden, ohne vom Umfang der Erfindung abzuweichen. Man sollte sich im Klaren darüber sein, dass diese Erfindung durch die veranschaulichenden Ausführungsformen und die hier aufgeführten Beispiele nicht übermäßig eingeschränkt werden soll und dass derartige Beispiele und Ausführungsformen nur als Beispiel aufgeführt sind, wobei der Umfang der Erfindung nur durch die hier folgenden Ansprüche begrenzt sein soll.

Patentansprüche

1. Aluminiummatrix-Verbunddraht, umfassend eine Mehrzahl von im Wesentlichen kontinuierlichen, in Längsrichtung positionierten Fasern in einer Aluminium umfassenden Matrix, wobei die Fasern mindestens 15 und nicht mehr als 65 Volumenprozent des Drahts umfassen und wobei die Fasern auf theoretischer Oxidbasis Al_2O_3 im Bereich von 35 Gewichtsprozent bis 75 Gewichtsprozent, SiO_2 im Bereich von mehr als null Gewichtsprozent bis weniger als 50 Gewichtsprozent und B_2O_3 im Bereich von mehr als 5 Gewichtsprozent, auf der Basis des gesamten Metalloxidgehalts der jeweiligen Faser, aufweisen und wobei der Draht des Weiteren einen nichtlinearen Wärmeausdehnungskoeffizienten über eine Temperatur von -75°C bis 500°C , einen Modul von nicht mehr als 105 GPa und eine durchschnittliche Zugfestigkeit von mindestens 350 MPa aufweist.

2. Draht nach Anspruch 1, der einen Modul von mindestens 42 GPa aufweist.

3. Draht nach Anspruch 1 oder 2, der eine durchschnittliche Dehnbeanspruchung bis zum Versagen von nicht mehr als 2,5% aufweist.

4. Draht nach Anspruch 3, der eine durchschnittliche Dehnbeanspruchung bis zum Versagen von nicht mehr als 1,2% aufweist.

5. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, der eine Längszugdehnbeanspruchung von mindestens 90% des Werts der theoretischen Faserdehnbeanspruchung bis zum Versagen für alle Faserfraktionen aufweist.

6. Verfahren zum Herstellen eines Verbunddrahts mit Aluminiummatrix, umfassend eine Mehrzahl von im Wesentlichen kontinuierlichen, in Längsrichtung positionierten Fasern in einer Aluminium umfassenden Matrix, wobei das Verfahren Folgendes umfasst

- Bereitstellen eines enthaltenen Volumens von geschmolzenem Matrixmaterial;
- Eintauchen einer Mehrzahl von im Wesentlichen kontinuierlichen Fasern in das enthaltene Volumen von geschmolzenem Matrixmaterial, wobei die Fasern mindestens 15 und nicht mehr als 65 Volumenprozent des

Drahts umfassen und wobei die Fasern auf theoretischer Oxidbasis Al_2O_3 im Bereich von 35 Gewichtsprozent bis 75 Gewichtsprozent, SiO_2 im Bereich von mehr als null Gewichtsprozent bis weniger als 50 Gewichtsprozent und B_2O_3 im Bereich von mehr als 5 Gewichtsprozent, auf der Basis des gesamten Metalloxidgehalts der jeweiligen Faser, aufweisen;

– Aufbringen von Ultraschallenergie zum Verursachen von Vibration bei mindestens einem Teil des enthaltenen Volumens von geschmolzenem Matrixmaterial, um es mindestens einem Teil des geschmolzenen Matrixmaterials zu erlauben, in die Mehrzahl von Fasern derart einzufiltrieren und sie zu benetzen, dass eine infiltrierte, benetzte Mehrzahl an Fasern erzeugt wird; und

– Entfernen der infiltrierten, benetzten Mehrzahl von Fasern aus dem enthaltenen Volumen von geschmolzenem Matrixmaterial unter Bedingungen, die es dem geschmolzenen Matrixmaterial erlauben, sich zum Erzeugen eines eine Mehrzahl von Fasern umfassenden Aluminiummatrix-Verbunddrahts zu verfestigen, wobei die Fasern in einer Aluminium enthaltenden Matrix im Wesentlichen kontinuierlich in Längsrichtung positioniert sind, und wobei der Draht einen nichtlinearen Wärmeausdehnungskoeffizienten über eine Temperatur von -75°C bis 500°C , einen Modul von nicht mehr als 105 GPa und eine durchschnittliche Zugfestigkeit von mindestens 350 MPa aufweist.

7. Kabel, umfassend mindestens einen Aluminiummatrix-Verbunddraht, umfassend eine Mehrzahl von im Wesentlichen kontinuierlichen, in Längsrichtung positionierten Fasern in einer Aluminium umfassenden Matrix, wobei die Fasern mindestens 15 und nicht mehr als 65 Volumenprozent des Drahts umfassen und wobei die Fasern auf theoretischer Oxidbasis Al_2O_3 im Bereich von 35 Gewichtsprozent bis 75 Gewichtsprozent, SiO_2 im Bereich von mehr als null Gewichtsprozent bis weniger als 50 Gewichtsprozent und B_2O_3 in einer Menge von mehr als 5 Gewichtsprozent, auf der Basis des gesamten Metalloxidgehalts der jeweiligen Faser, aufweisen und wobei der Draht des Weiteren einen nichtlinearen Wärmeausdehnungskoeffizienten über eine Temperatur von -75°C bis 500°C , einen Modul von nicht mehr als 105 GPa und eine durchschnittliche Zugfestigkeit von mindestens 350 MPa aufweist.

8. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder Kabel nach Anspruch 7, wobei die Matrix mindestens 99,95 Gewichtsprozent Aluminium, auf das Gesamtgewicht der Matrix bezogen, umfasst.

9. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 8 oder Kabel nach Anspruch 7 oder 8, wobei mindestens 85%, auf die Anzahl der Fasern bezogen, im Wesentlichen kontinuierlich sind.

10. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 8 oder 9 oder Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei SiO_2 in einer Menge von mindestens 15 Gewichtsprozent, auf den gesamten Metalloxidgehalt der jeweiligen Faser bezogen, vorliegt.

11. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 8 bis 10 oder Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei der Draht ein Wärmeausdehnungsverhalten aufweist, das durch die Geraden 1 oder 2 der graphischen Darstellung von [Fig. 1](#) dargestellt ist.

12. Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 11, umfassend eine Mehrzahl von Nichtlitzendrähten.

13. Kabel nach einem der Ansprüche 9 bis 12, das einen Kabelmodul von mindestens 42 GPa und nicht mehr als 105 GPa aufweist.

14. Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 13, umfassend eine Mehrzahl von Litzendrähten, die wahlweise als spiralenförmige Litzen ausgebildet sind.

15. Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 14, des Weiteren umfassend eine Mehrzahl sekundärer Drähte, die wahlweise Metall wie beispielsweise Aluminium aufweisen.

16. Kabel nach Anspruch 15, umfassend eine Seele und eine Ummantelung, wobei die Seele die Verbunddrähte und die Ummantelung die sekundären Drähte umfasst.

17. Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 16, des Weiteren umfassend eine Bandumwicklung.

18. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder 8 bis 10 oder Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 17, wobei die Faser auf theoretischer Oxidbasis, B_2O_3 im Bereich von 10 Gewichtsprozent bis 20 Gewichtsprozent enthält.

19. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 8 bis 10 oder 18 oder Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 18, wobei der Draht eine Länge von mindestens 300 Metern aufweist.

20. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 8 bis 10 oder 18 oder 19, wobei die Keramikoxidfasern einen Modul von nicht mehr als 173 GPa aufweisen und wobei der Draht des Weiteren einen Modul von nicht mehr als 105 GPa aufweist.

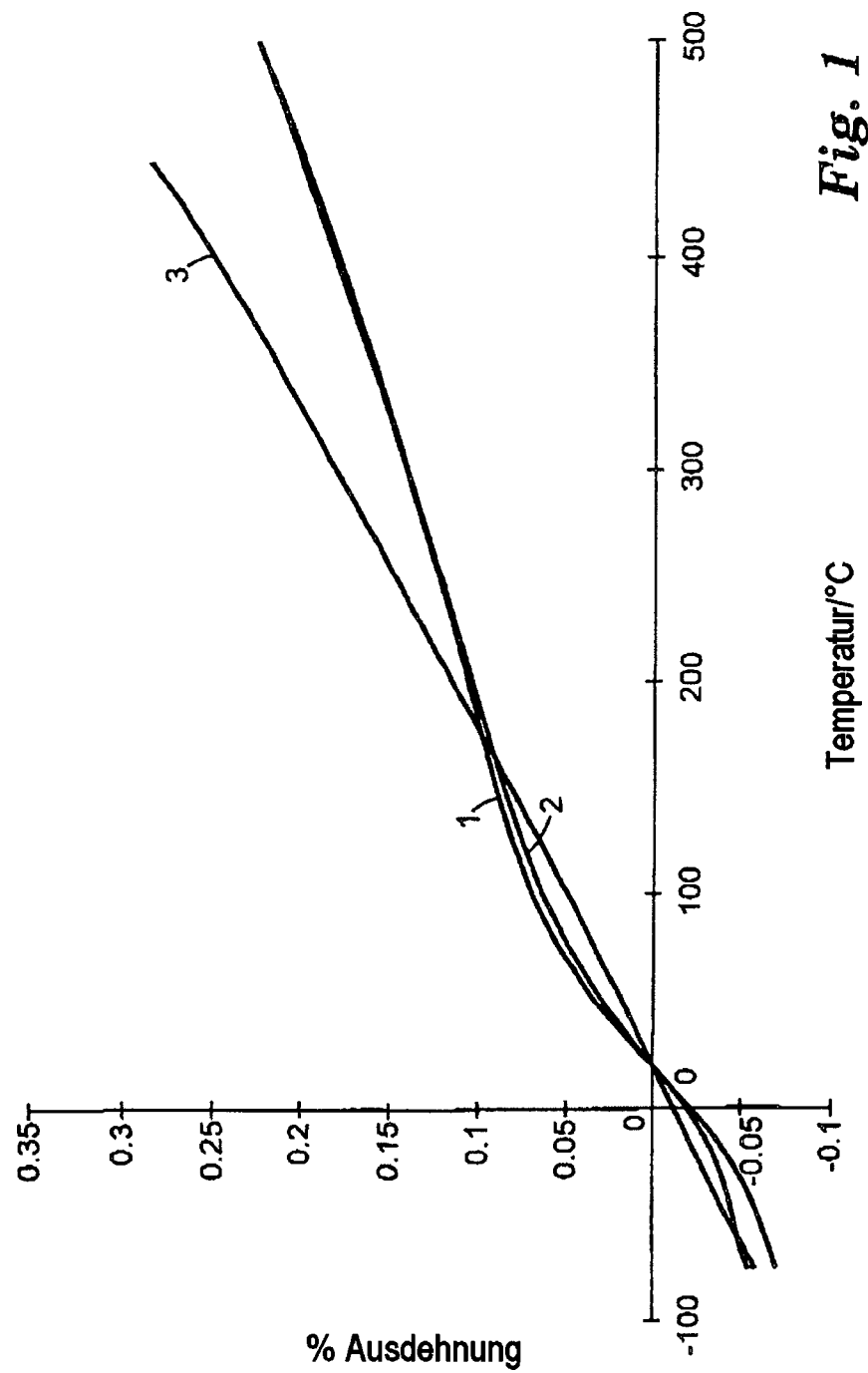
21. Draht nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 8 bis 10 oder 18 bis 20, der eine elektrische Leitfähigkeit von mindestens 21% IACS aufweist.

22. Kabel nach einem der Ansprüche 7 bis 19, wobei die Fasern einen Modul von nicht mehr als 240 GPa aufweisen und wobei der Draht des Weiteren einen Modul von nicht mehr als 105 GPa und eine durchschnittliche Zugfestigkeit von mindestens 350 MPa aufweist.

23. Draht nach Anspruch 20 oder Kabel nach Anspruch 22, wobei die Fasern einen Modul von mehr als 69 GPa aufweisen.

24. Verbunddraht nach Anspruch 20 oder Kabel nach Anspruch 22, wobei die Fasern eine durchschnittliche Zugfestigkeit von mindestens 1400 MPa aufweisen.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen



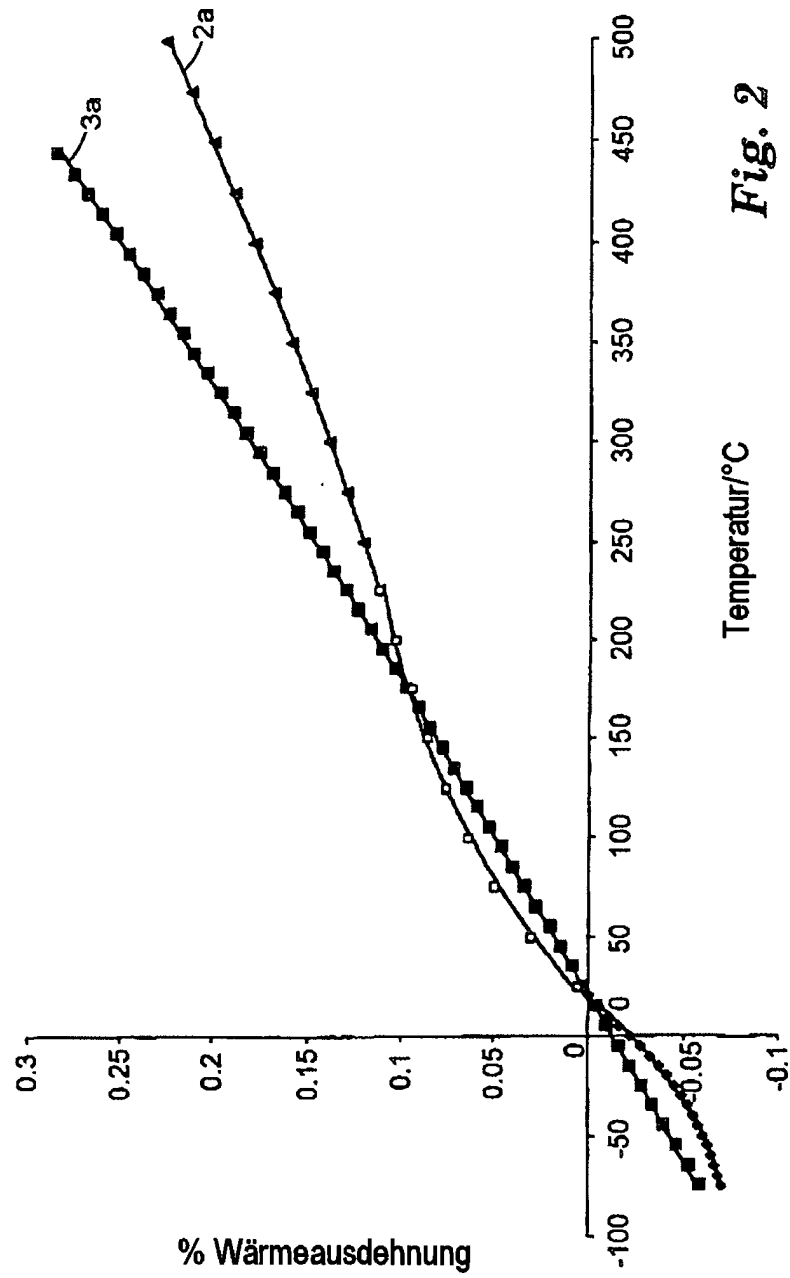


Fig. 2

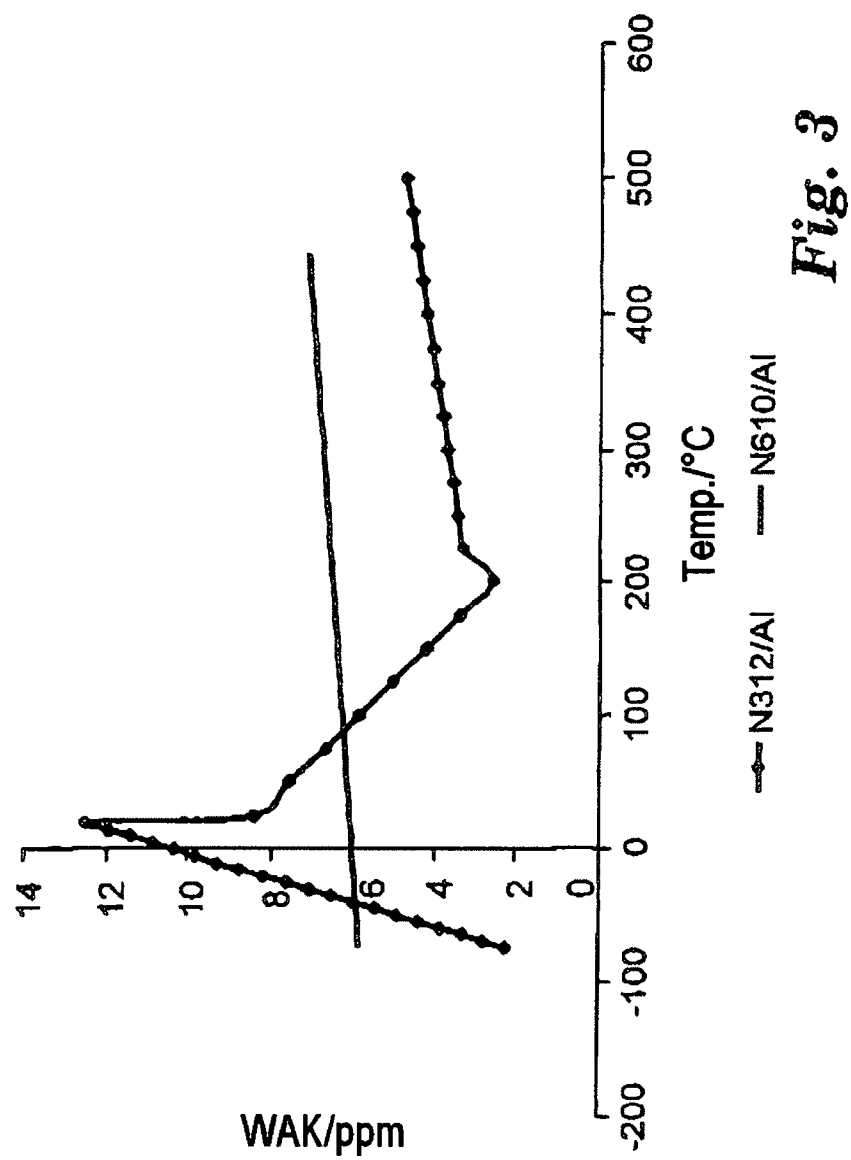


Fig. 3

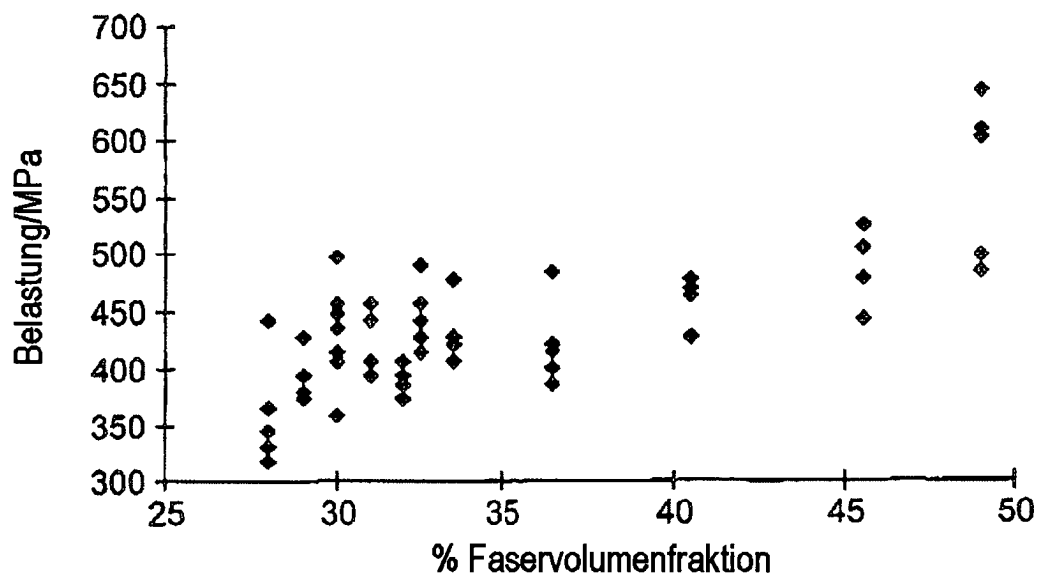


Fig. 4

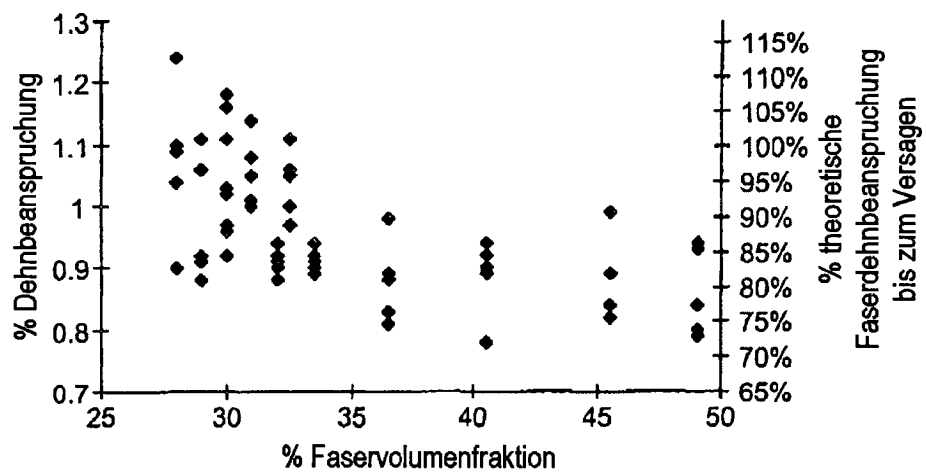


Fig. 5

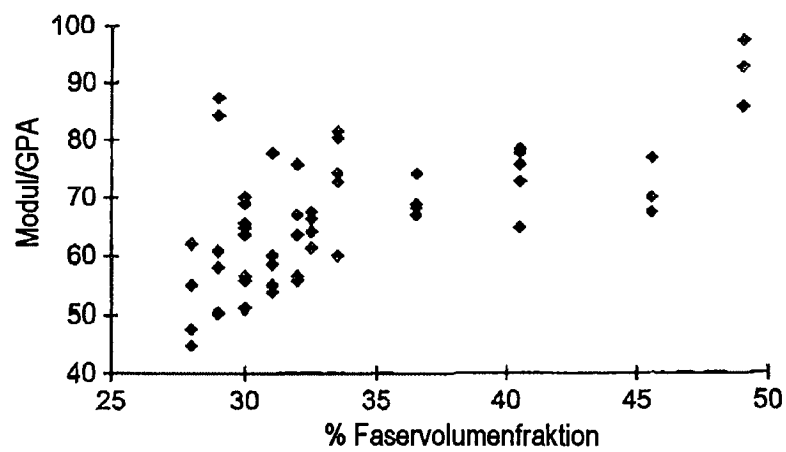


Fig. 6

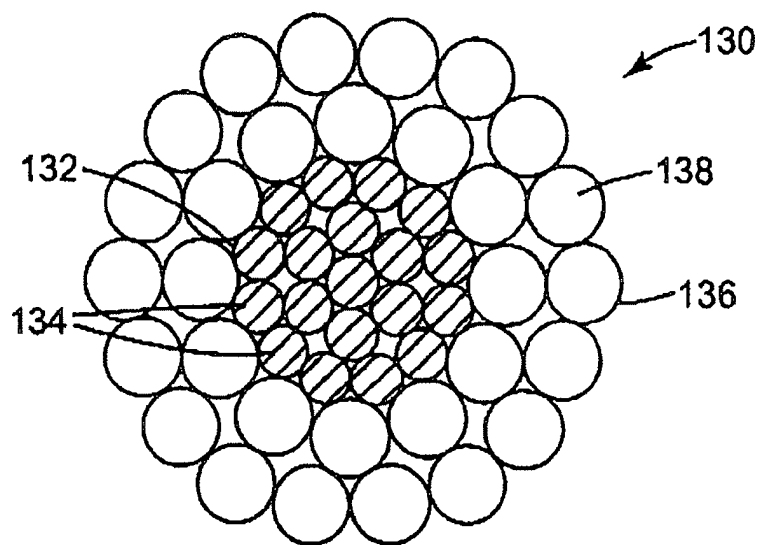


Fig. 7

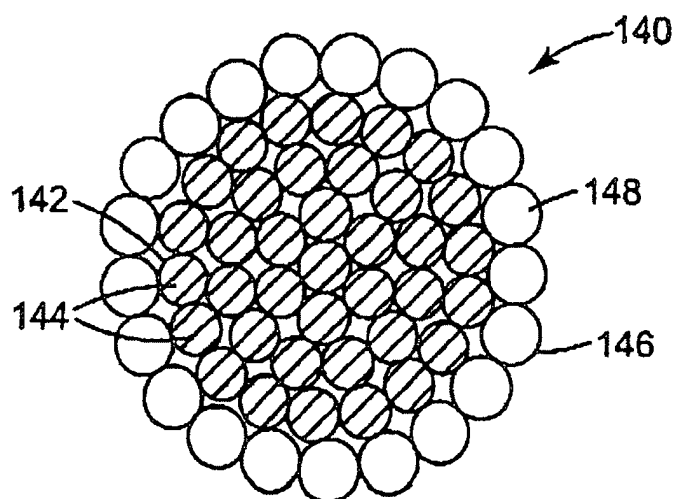


Fig. 8

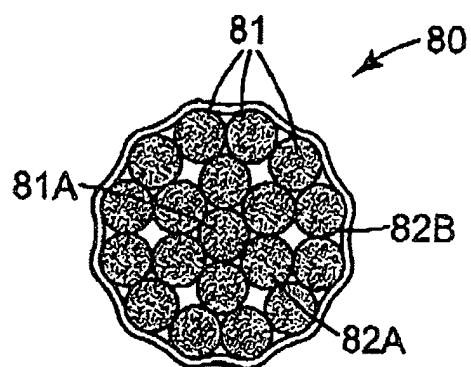


Fig. 9

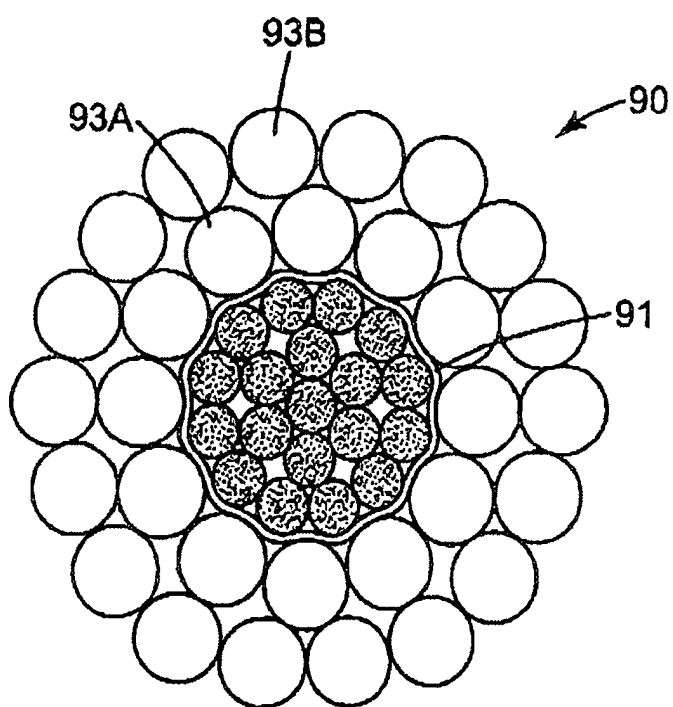


Fig. 10

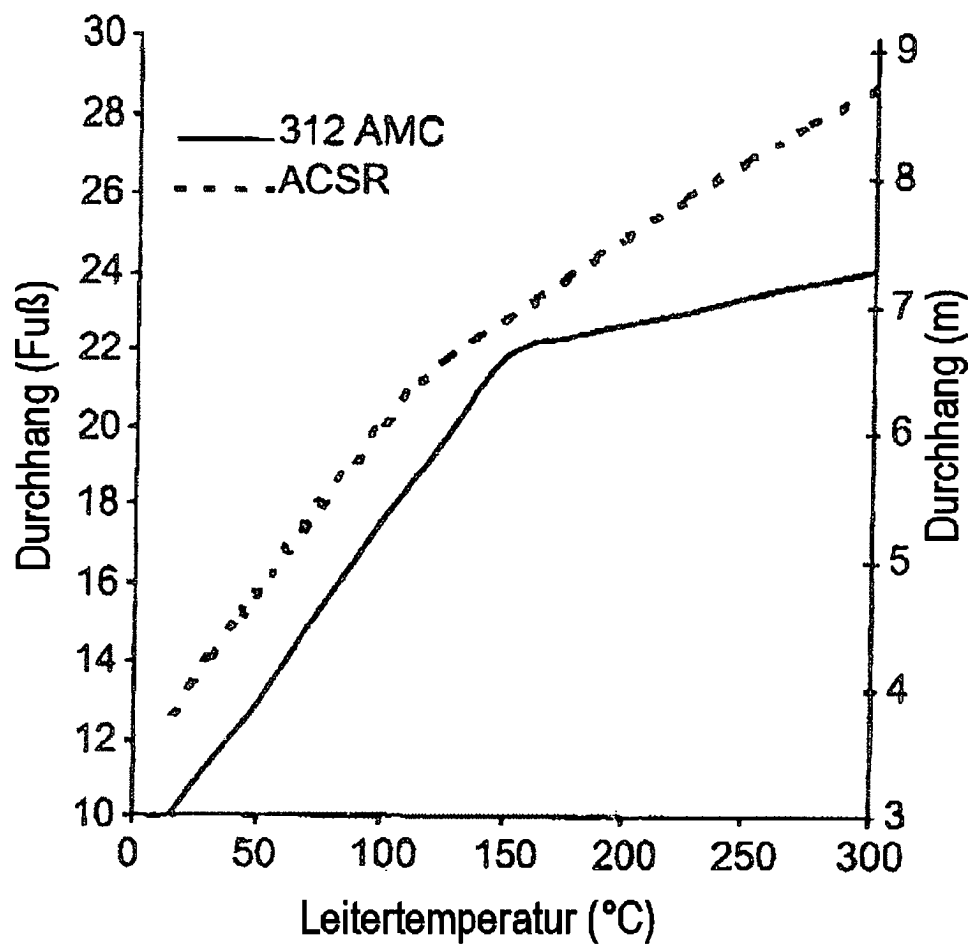


Fig. 11