



(11) **EP 1 778 905 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
01.10.2008 Patentblatt 2008/40

(51) Int Cl.:
D02G 3/46^(2006.01) D02G 3/28^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04765445.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/010569

(22) Anmeldetag: **21.09.2004**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2006/018036 (23.02.2006 Gazette 2006/08)

(54) **KABLIERTES KOHLENSTOFFFASERGARN**

CABLED CARBON-FIBRE THREAD

FIL EN FIBRES DE CARBONE CABLE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL HR LT LV MK

(72) Erfinder: **SCHNEIDER, Markus**
40237 Düsseldorf (DE)

(30) Priorität: **10.08.2004 DE 102004038710**

(74) Vertreter: **Schröder, Richard**
CPW GmbH
Postfach 10 01 49
42097 Wuppertal (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.05.2007 Patentblatt 2007/18

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 303 381 DE-A1- 19 932 842
US-A1- 2003 159 768

(73) Patentinhaber: **Toho Tenax Europe GmbH**
42103 Wuppertal (DE)

EP 1 778 905 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Gegenstand der Erfindung ist ein Garn aus mindestens zwei, umeinander gewundenen Strängen von endlosen Kohlenstofffasern, ein Verfahren zur Herstellung und die Verwendung derartiger Garne.

[0002] Für die zunehmende Herstellung und Anwendung von sog. textilen Preforms, beispielsweise für technische Anwendungen, wie etwa Faserverbundwerkstoffe, Filtermedien, sind u.a. geeignete Nähgarne notwendig. Diese Garne sollen die Preform fixieren, aber zunehmend auch strukturell verstärken, auch unter sehr hohen Temperaturen, wie sie beispielsweise bei der Herstellung von Faser-Keramiken oder beim Einsatz als Filtermedien in chemisch und/oder thermisch hoch belasteten Prozessen erforderlich sind.

[0003] Die mechanischen Eigenschaften wie auch die thermische und chemische Beständigkeit von Kohlenstofffasern machen dieses Material besonders geeignet für Nähgarne insbesondere für die oben genannte Anwendungen.

[0004] Aufgrund der vielen und vor allem starken Fadenumlenkungen während des Nähens wird das Nähgarn geschädigt und erreicht in der Regel im späteren Verbund nicht seine ursprünglichen mechanischen Festigkeiten. Vor allem spröde Kohlenstofffasern lassen sich nur bedingt vernähen. Die theoretisch möglichen mechanischen Eigenschaften der Fasern werden im Bauteil nach der Vernähung nicht erreicht.

[0005] In der Vergangenheit existierte auf dem Markt ein Produkt der Fa. Toray mit der Bezeichnung Torayca T900, das sich ansatzweise vernähen läßt. Dieses Garn wird mit 1000 Filamenten oder aus zwei Komponenten mit jeweils 1000 Filamenten oder drei Komponenten mit jeweils 1000 Filamenten hergestellt. Die Gärndrehung der einzelnen Komponenten beträgt etwa S222-224 t/m. Wenn zwei oder drei Komponenten als Stränge miteinander verbunden werden, sind diese Stränge mit ungefähr Z162-Z164 t/m umeinander gewunden. Die Herstellung dieses Zwirns ist in einem normalen Zwirnprozess mit vielen abrasiven Fadenumlenkungen vermutlich lediglich mit dünnen und somit biegeweichen Filamenten in einem Durchmesser von etwa 5,5 µm oder weniger möglich. Die Herstellung von Kohlenstofffasern mit einem Durchmesser von weniger als 6 µm ist jedoch sehr aufwendig, so dass diese Art von Garnen sehr teuer ist.

[0006] Alternativ wurden Nähgarne entwickelt, die einen Kern aus Kohlenstofffasern aufweisen und zusätzlich mit einem weiteren Garn ummantelt werden (siehe beispielsweise JP-A 2133632 oder JP-A 1061527). Diese Ummantelung kann durch verschiedene Verfahren erfolgen, beispielsweise durch Umwinden oder Umhäkeln. Da das Ummanteln eine starke Belastung für das Garnmaterial bedeutet, werden hierfür z. B. Polyester oder Polyamidgarne eingesetzt. Diese Garne weisen allerdings eine geringe Verbundhaftung zur Kunststoffmatrix auf und reduzieren den Faservolumenanteil an Kohlenstofffasern in einem Faserverbundwerkstoff durch den Anteil des Umwindegarne. Darüber hinaus können sich die Kernmaterialien der Nähgarne nicht eng genug an das Nähgut legen, da der voluminöse Mantel sich dazwischen befindet.

[0007] EP-A-0 303 381 beschreibt einen Garn aus zwei, umeinander gewundene Stränge von endlosen Kohlenstofffasern mit ungefähr 50 t/m.

[0008] Parallel dazu werden Glaszwirne, Aramid- oder sog. PBO-Fasern zum Nähen eingesetzt, da sie eine höhere Querfestigkeit aufweisen als Kohlenstofffasern und auf diese Weise den abrasiven Nähvorgang schädigungsärmer überstehen. Allerdings sind ihre Druckeigenschaften oder ihre mechanischen Eigenschaften im Verbund mit einer Matrix, etwa Kunststoff, erheblich geringer als bei Kohlenstofffasern, so dass eine wirkliche strukturelle Verstärkung nicht erzielt werden kann.

[0009] In der Regel liegen die Filamente von Filamentgarntfasern nach der Herstellung parallel im Garn vor und bilden somit nur einen geringen Zusammenhalt zu einem geschlossenen Garnverband. Insbesondere für Nähgarne ist es allerdings wichtig, dass sie einen geschlossenen Garnverband aufweisen, da nur dann sichergestellt ist, dass eine einwandfreie Naht entsteht.

[0010] Um einen geschlossenen Garnverband zu erzielen, werden in Filamentgarne Drehungen eingebracht. Dieser in der Regel zusätzliche Herstellungsschritt bedeutet eine erste Schädigung der Filamente, die dann im nachfolgenden Nähvorgang Ursache für weitere Filamentschädigungen bis hin zum Garnabriss ist.

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, Garne aus endlosen Kohlenstofffasern zur Verfügung zu stellen, bei denen die oben beschriebenen Nachteile zumindest reduziert sind. Insbesondere sollen die Garne besser für die Verwendung als Nähgarne geeignet sein als die bisher auf dem Markt erhältlichen.

[0012] Die erfindungsgemäß gestellte Aufgabe wird dadurch gelöst, dass das Garn mindestens zwei, umeinander gewundene Stränge von endlosen Kohlenstofffasern aufweist, wobei die Kohlenstofffasern der Stränge zumindest nahezu parallel zur Garnrichtung angeordnet sind.

[0013] Unter Kohlenstofffasern werden im Sinne der vorliegenden Erfindung endlose Kohlenstofffasern (Kohlenstofffaser - Filamente) verstanden. Durch die nahezu parallel zur Garnachse gewählte Anordnung der Kohlenstofffaser in einem einzigen Verarbeitungsschritt wird erreicht, dass gegenüber der durch das Umeinanderwinden der Stränge im zweistufigen Zwirnverfahren erzeugte Festigkeitsverlust infolge der Filamentbrüche während der zweistufigen Herstellung oder der sonst unumgänglichen Schräglage der Filamente im Garn bei einem einstufigen Zwirnverfahren deutlich geringer ausfällt.

[0014] Die erfindungsgemäßen Garne lassen sich dadurch herstellen, dass sie durch Direktkabliren von mindestens

zwei Kohlenstofffaser - Strängen erzeugt werden. Dieses Direktkabliren ist bisher lediglich zur Herstellung von Reifencord eingesetzt worden (siehe beispielsweise WO 02/103097). Allerdings ist es erforderlich, die heute auf dem Markt erhältlichen Direktkablirmaschinen zu verändern, um die erfindungsgemäßen Garne zu erhalten. Insbesondere ist es erforderlich, dass die Zusammenführöse, durch welche die zur Herstellung des erfindungsgemäßen Garns eingesetzten Stränge umeinander gewunden werden, in dem Bereich, in dem eine Berührung mit den Strängen erfolgt, einen Radius von mindestens 4 mm, bevorzugt 4 bis 40 mm, besonders bevorzugt mindestens 6 bis 12 mm aufweist. Auch hat es sich von besonderem Vorteil herausgestellt, dass jedes der in einer Direktkablirmaschine verwendeten Fadenführungselemente in dem Bereich, in dem eine Berührung mit einem oder mehreren der Stränge oder mit dem fertigen Garn stattfindet, einen Radius von mindestens 4 mm, bevorzugt 4 bis 40 mm, besonders bevorzugt 6 bis 12 mm aufweist. Bei Einhaltung dieser Maßnahme, kann mit dem normalen, zum Direktkabliren erforderlichen Fachwissen das erfindungsgemäße Garn hergestellt werden.

[0015] Um eine besonders filamentschonende Verarbeitung der Kohlenstofffasern zu ermöglichen, ist die Oberfläche der Zusammenführöse mit einer Plasma-Auftragung in der Zusammensetzung 97 % aus Al₂O₃ und zu 3 % aus TiO₂ beschichtet, die nachträglich glanzpoliert wird.

[0016] Beim Direktkabliren werden in einem Arbeitsschritt zwei Stränge umeinander gewunden, ohne den einzelnen Strängen eine Drehung zu erteilen. Aufgrund der dann nahezu gestreckt und parallel vorliegenden Filamente sind gerade mit Kohlenstofffasern sehr hohe Garnfestigkeiten möglich. Darüber hinaus lassen sich die Fadenspannungen der beiden Stränge durch den sogenannten Cord-Regulator sehr genau einstellen, so dass zumindest nahezu gleich lange Stränge miteinander verbunden werden. Auf diese Weise nehmen beide Stränge gleich viel von der Gesamtbelastung auf. Eine maximale Ausnutzung beider Garnkomponenten wird möglich.

[0017] Ein weiterer Vorteil des Direktkablirens bei der Verarbeitung einer in der Regel spröden Kohlenstofffaser ist die geringe Anzahl der notwendigen Fadenführungselemente in diesem Prozeß, die allerdings an die oben angegebenen Dimensionen angepasst werden sollten. Die Filamente werden dann deutlich weniger geschädigt als bei dem bisher bekannten Verzwirnen.

[0018] Versuche haben ergeben, dass für die Herstellung der erfindungsgemäßen Garne sich als Ausgangsmaterial Kohlenstofffasern mit einem Filamentdurchmesser von 5 bis 8 µm und einer Filamentanzahl von 100 bis 2000, vorzugsweise von 500 bis 1000 Filamente besonders gut eignen. Wenn beim Direktkabliren eine Drehungszahl von 50 bis 1000 T/m, vorzugsweise von 150 bis 250 T/m eingestellt wird, ergeben sich besonders brauchbare Garne, die insbesondere als Nähgarne eingesetzt werden können. Drehungszahlen von 150 bis 400 T/m, insbesondere 160 bis 290 T/m haben sich hierbei besonders bewährt.

[0019] Auch kann das Direktkabliren des Precursors, also der Fasern, die durch Oxidation und/oder Karbonisation zu Kohlenstofffasern weiterverarbeitet werden, erfolgen, wonach die Oxidation und/oder Karbonisation erfolgt. Ebenso ist es denkbar, alle Zwischenprodukte der Kohlenstofffaser-Herstellung, dem Prozeß zu entziehen, direktzukabliren und dann am Entnahmepunkt wieder in die Kohlenstofffaser-Herstellung einzuspeisen. Insbesondere die Zwischenprodukte vor der Karbonisation eignen sich hierzu besonders.

[0020] Das erfindungsgemäße Garn zeichnet sich insbesondere durch eine durchschnittliche Scheuerfestigkeit von 50 bis 350, bevorzugt von 175 bis 300 aus.

[0021] Die Scheuerfestigkeit wird hierbei nach folgendem Verfahren gemessen:

[0022] Zur Bestimmung der Garnscheuerfestigkeit wird ein Garne G in eine Garnklemme 7 eingespannt und entsprechend des Garnverlaufs in Figur 1 durch eine Nähnaedel 5 geführt und am anderen, freien Garnende mit einem Gewicht 6 von 10 g belastet. Während der Scheuerprüfung bewegt sich eine Traverse 1 mit der Nähnaedel 5 zyklisch und horizontal um einen Hub von ca. 75 mm. Hierzu ist die Traverse 1 über ein Lager 4 auf einer Führung 2 gelagert. Der Hub von ca. 75 mm ist durch die Anschläge 3' und 3" begrenzt. Es werden in jeder Minute ca. 60 Hubbewegungen ausgeführt.

[0023] Da das eine Garnende in der Garnklemme fixiert ist, wird das Garn G - aufgrund des sich ständig verändernden Abstands zwischen Garnklemme 7 und Nadelöhr der Nadel 5 - durch das Nadelöhr der Nadel 5 bewegt und erfährt auf diese Weise eine Scheuerbelastung. Nachdem ein Garn gerissen ist, wird die Anzahl der bis dahin ausgeführten Hübe festgehalten. Diese Messung wird an acht verschiedenen Garnabschnitten durchgeführt. Zum Abschluß der Prüfung werden alle acht Werte gemittelt und auf eine ganzzahlige Zahl gerundet. Diese ganzzahlige Zahl wird als Maß der durchschnittlichen Scheuerfestigkeit angegeben.

[0024] Da das Garn, ähnlich wie beim Nähprozess, unter Belastung und unter starker Biegung oftmals durch die Nähnaedel geführt wird, ist die Messung der durchschnittlichen Scheuerfestigkeit ausgezeichnet dazu geeignet, die Näheigenschaften des getesteten Garns zu beurteilen.

[0025] Das erfindungsgemäße Garn zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass es folgender Bedingung genügt:

$$S = - 35 \cdot 10^{-4} D^2 + 2 D - A,$$

wobei

- S die durchschnittliche Scheuerfestigkeit und
D die Drehungen der Stränge pro m ist und
A Werte zwischen 170 und -35 einnimmt.

[0026] Das erfindungsgemäße Garn zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass es folgender Bedingung genügt:

$$K = -105 \cdot 10^{-4} D^2 + 590 D - B$$

wobei

- K die durchschnittliche Knotenfestigkeit in MPa und
D die Drehungen der Stränge pro m ist und
B Werte zwischen 250 und 450 einnimmt.

[0027] Die Messung der Knotenfestigkeit erfolgt nach DIN 53842, allerdings werden die Garnenden mit Pappaufleimern fixiert, bevor sie in die Zugprüfmaschine eingespannt werden. Darüber hinaus wird aufgrund der Sprödigkeit des Materials keine Vorspannkraft eingestellt.

[0028] Des Weiteren zeichnet sich das erfindungsgemäße Garn dadurch aus, dass die Kohlenstofffasern in den Strängen einen Durchmesser von 3 bis 10 µm, insbesondere 6 bis 10 µm aufweisen.

[0029] Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Beispiele näher erläutert.

[0030] Zwei Kohlenstofffaserstränge, Tenax HTA 5641 67tex f1000 Z15, ein auf dem Markt angebotenes Garn der Anmelderin, mit jeweils 1000 KohlenstofffaserFilamente wurden mit Hilfe des Direktkablens kablert, wobei die Stränge mit unterschiedlichen Drehungen kablert wurden. Die Querschnittsöffnung der Zusammenführöse weist einen kurvenförmigen Verlauf in dem Bereich auf, in die Garne die Zusammenführöse berühren, wobei der kleinste Radius des kurvenförmigen Verlaufs ungefähr 15 mm beträgt. Die Gamein- und - austaubereiche der Zusammenführöse sind mit kleineren Radien im Bereich von 1 bis 3 mm gerundet. Die weiteren Fadenführer weisen wiederum einen kurvenförmigen Verlauf im Querschnitt auf, wobei der kleinste Radius etwa 8 mm beträgt.

[0031] Die Scheuerfestigkeit und die Knotenfestigkeit, die die auf diese Weise hergestellten Garne aufwiesen, sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Garn	A	B	C	D
aufgebrachte Drehungen [T/m]	150	200	250	300
durchschnittliche Scheuerfestigkeit	106	206	229	190
Knotenfestigkeit [MPa]	234,6	441,6	467,3	405,4

[0032] Aus der Tabelle ist zu erkennen, dass die Garne B und C die besten Ergebnisse hinsichtlich Scherfestigkeit und Knotenfestigkeit liefern. Sie sind somit auch bestens als Nähgarne geeignet.

[0033] Neben der eigentlichen Vernäbarkeit eines Garns ist insbesondere zur dreidimensionalen Verstärkung von Faserverbundwerkstoffen die Faser-Matrix-Anbindung, vor allem im Bereich einer Naht, besonders wichtig für das mechanische Werkstoffpotential. Um die Faser-Matrix-Anbindung ohne störende Einflüsse (wie etwa durch einen Nähvorgang) nachzuweisen, wurde aus Garn B und C in Verbindung mit einem Harzfilm ein Prepreg hergestellt und die Druckfestigkeit gemäß EN 2850-B2 und die scheinbare interlaminae Scherfestigkeit gemäß EN 2563 gemessen.

[0034] Um die Prüfung durchzuführen, sind folgende Schritte notwendig: Auf einen metallischen Wickelkörper, der im Querschnitt eine achteckige Form mit einer Kantenlänge von jeweils 100 mm aufweist, wird zunächst ein Prepreg-Film (Prepreg-Film HexPly 6376 der Fa. Hexcel Composite, Dagneux (Frankreich)) mit einem Flächengewicht von 72 g/m² aufgebracht. Auf diesen Film wird mit einer Laborwickelanlage das Garn senkrecht zur Wickelachse mit einer Faden- spannung von 500 cN und einer Wickelgeschwindigkeit von 23,1 mm/s so aufgewickelt, dass ein UD-Aufbau entsteht. Auf die Lagen wird erneut ein Prepreg-Film mit einem Flächengewicht von 72 g/m² gewickelt.

[0035] Dieser gesamte UD-Aufbau und der metallische Kern werden in einem Ofenunter ständigem Drehen - in 20 Minuten auf 80°C aufgeheizt, 20 Minuten unter 80°C gehalten und in 60 Minuten auf Raumtemperatur wieder abgekühlt.

EP 1 778 905 B1

Der entstandene UD-Körper wird an den acht Kanten aufgeschnitten, so dass 8 plättchenförmige Prepreg-Materialien entstehen. Diese Prepreg-Materialien werden entsprechend der Normen EN 2850-B2 und EN 2563 zu mehrschichtigen Laminaten in einem Autoklav und einem üblichen Vakuum-Aufbau weiterverarbeitet und im Normklima geprüft.

[0036] Zum Vergleich wurden auf dieselbe Weise weitere mehrschichtige Lamine hergestellt, wobei als Garne

- ein Kohlenstofffasergarn E (Tenax HTA 5131 400tex f6000 t0, ein bei der Anmelderin erhältliches Garn),
- mit Polyesterfasern umhüllte Kohlenstofffasern F (Mit Polyesterfasern (PES 84 dtex f12) umhüllte Kohlenstofffasern F (Tenax HTA 5641 67tex f1000 Z15) und
- PBO - Fasern G aus poly(p-phenylene-2,6-benzobisoxazole, Handelsname PBO Fiber Zylon der Firma Toyobo, Osaka Japan

hergestellt.

[0037] Die Prüfergebnisse der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit (ILSF) gemäß EN 2563 und die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung gemäß EN 2850-B2 sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2

Garn	B	C	E	F	G
Faservolumenanteil [%]	57,2	56,2	59,0	38,5	66,9
scheinbare interlaminare Scherfestigkeit [MPa]	123,2	120,5	113,3	50,5	40,3
Druckfestigkeit [MPa]	1118,6	989,1	1215,6	383,3	178,6

[0038] Es ist gut zu erkennen, dass die erfindungsgemäßen Garne B und C eine ähnlich hohe scheinbare interlaminare Scherfestigkeit und Druckfestigkeit aufweisen wie ein konventionelles Kohlenstofffasergarn E. Durch den erfindungsgemäßen Vorgang des Kablierens werden die Filamente des Garns nicht wesentliche aus ihrer Ausrichtung parallel zur Garnlängsachse abgelenkt, da sonst die Druckkennwerte abgefallen wären.

[0039] Im Gegensatz dazu zeigt das Vergleichsgarn F, das einen Kern aus Kohlenstofffaserfilamenten und einen umhüllten Mantel aus Polyester aufweist, wesentlich schlechtere Druckfestigkeiten. Die lastaufnehmenden Kohlenstofffaserfilamente liegen also nicht mehr gestreckt entlang der Garnlängsachse vor und versagen daher schneller bei einer Druckbelastung. Darüber hinaus behindert der Polyester-Mantel die notwendige Haftung zwischen lastaufnehmender Kohlenstofffaser und Matrixwerkstoff.

[0040] Das zweite Vergleichsgarn G ist aufgrund seiner hohen Querfestigkeit und seines duktilen Materialverhaltens zwar hervorragend vernäbar, weist aber sehr geringe Scher- und Druckfestigkeiten auf, so dass eine Verstärkungswirkung bei Faserverbundwerkstoffen nicht zu erwarten ist.

[0041] Um den Vorteil einer Vernähung von Faserverbundwerkstoffen gerade bei Stoßbelastungen aufzuzeigen, werden gemäß EN 6038 Prüfkörper hergestellt und geprüft. In Abweichung von EN 6038 weist der hergestellte Prüfkörper eine Wandstärke von 4 mm auf, während die Prüfung mit einer Stützweite von 15 mm vorgenommen wurde. Hierzu werden vier Lagen von quasiisotropen, vierlagigen Multiaxialgelegen, (NCF, 267 g/m² Faserflächengewicht der Gelegeeinzelzelle) vernäht. Die Vernähung erfolgt mit dem oben erwähnten Garn C mit einer Stichlänge von 4 mm, einem Nahtabstand von 3 mm und gestrecktem Unterfaden im Doppelsteppstich (ebenfalls Garn C).

[0042] Der auf diese Weise entstandene textile Vorformling mit einer quadratischen Grundfläche von 315 mm² und einer Wandstärke von 4 mm wird mit RTM6-Harz der Fa. Hexcel unter Einhaltung der Harzherstellerangaben so getränkt, dass ein porenfreier Faserverbundwerkstoff mit einem Faservolumenanteil von 60 ± 4 % entsteht. Aus dieser Platte wurden Prüfkörper entsprechend der Prüfnorm EN 6038 ausgesägt und geprüft (nachfolgend "NCF vernäht" bezeichnet).

[0043] Entsprechende Prüfkörper wurden unter Zuhilfenahme von dem oben erwähnten Multiaxialgelege (viermal vierlagig) ohne Vernähung (nachfolgend "NCF unvernäht" bezeichnet) und

[0044] von einem analog aufgebauten Prepreg-Laminat (16 Lagen mit jeweils 267 g/m² Faserflächengewicht der Prepreg - Einzelzelle, spiegelsymmetrisch zur Mittelebene aus einem Harzfilm (HexPly 6376 der Fa. Hexcel Composite, Dagneux (Frankreich)) und Kohlenstofffasern (Tenax HTS 5631 800tex f12000 t0 der Anmelderin) hergestellt (nachfolgend "Prepreg" bezeichnet).

[0045] In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Prüfung (Restdruckfestigkeit nach Schlagbeanspruchung gemäß EN 6038 in [MPa]) mit dem erfindungsgemäßen Garn (NCF vernäht) im Vergleich zu einem unvernähten Multiaxialgelege (NCF unvernäht) und einem analog aufgebauten Laminat (Prepreg) dargestellt.

Tabelle 3

Stoßenergie [J]	Prepreg	NCF unvernäht	NCF vernäht
0	342,9	305,2	290,6
20	208,1	209,6	265,1
30	196,9	172,8	253,6
40	160,4	139,9	267,0

[0046] Deutlich zu erkennen ist, dass gerade bei höheren Stoßenergien die Vernähtung zu einem fast konstanten Verlauf der Restdruckfestigkeit beiträgt. Hingegen weisen die konventionellen, unvernähten Vergleichslamine eine hohe Abhängigkeit der Restdruckfestigkeit von der zuvor eingebrachten Stoßenergie auf. Dementsprechend mussten bislang Bauteile ohne Vernähtung gegen diesen Belastungsfall ausreichend größer und damit schwerer dimensioniert werden.

[0047] Das erfindungsgemäße Garn kann praktisch in allen Matrices, die über Fasern verstärkt werden, eingesetzt werden. Als Matrixmaterialien kommen Polymere, wie etwa Thermoplaste (z.B. Polyethylenimin, Polyetherketon, Polyetheretherketon, Polyphenylsulfid, Polyethersulfon, Polyetherethersulfon, Polysulfon), Duomere (z.B. Epoxide) und Elastomere sowie Gummi in Frage. Auch die Verwendung in keramischen Werkstoffen (z.B. Siliziumcarbid oder Bornitrid) oder metallischen Werkstoffen (z.B. Stahl(-legierungen), Titan) ist aufgrund der sehr guten Temperaturbeständigkeit von Kohlenstofffasern möglich.

Thermoplaste und Duomere eignen sich besonders, da die notwendige Faser-Matrix-Haftung zwischen diesen polymeren Werkstoffen und der Kohlenstofffaser besonders gut ist.

Aber auch die Verstärkung von Elastomeren und Gummi mit den erfindungsgemäßen Garnen ist vorteilhaft, da normalerweise Kohlenstofffasern zwar eine hohe Festigkeit aufweisen aber nicht die in diesen Werkstoffen üblichen Dehnungseigenschaften. Durch die Garnstruktur der erfindungsgemäßen Garne ist eine verbesserte Dehnfähigkeit möglich und auf diese Weise eine verbesserte Verstärkungswirkung auch in Elastomer- und Gummiwerkstoffen.

[0048] Das Direktkabliren von Kohlenstofffasern kann nicht nur für die Herstellung von Nähgarnen eingesetzt werden sondern auch beispielsweise für die Herstellung von Garnen für die Betonbewehrung. Wenn beispielsweise für das Direktkabliren Stränge ausgewählt werden, von denen der eine Strang eine höhere Fadenzugkraft aufweist als der andere Strang, legt sich beim Direktkabliren der oder die Stränge mit der geringeren Fadenzugkraft um den oder die Stränge mit der höheren Fadenzugkraft. Auf diese Weise entsteht ein Garn mit einer Art Verrippung, wie sie zum Beispiel auch Betonstähle für die Verstärkung von Stahlbeton aufweisen. Somit wird eine mechanische Verankerung des Garns im Beton möglich.

[0049] Für diese Garnkonstruktion wären verschiedene Komponenten interessant: Für den Kern, der aus einem oder mehreren gestreckten Strängen besteht, eignen sich Kohlenstofffasern mit einer Filamentanzahl von über 6000 Filamenten, vorzugsweise über 24.000 Filamenten. Für den äußeren Strang beziehungsweise die äußeren Stränge hingegen bieten sich feinere Garne an, die nicht notwendigerweise aus Kohlenstofffasern sein müssen. Der Drehungswert soll im Bereich von sehr wenigen Drehungen pro Meter liegen, vorzugsweise unter 10 T/m.

Patentansprüche

1. Garn aus mindestens zwei, umeinander gewundenen Strängen von endlosen Kohlenstofffasern, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kohlenstofffasern der Stränge zumindest nahezu parallel zur Garnrichtung angeordnet sind.
2. Garn nach Anspruch 1, welches durch Direktkabliren herstellbar ist.
3. Garn nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stränge mit 150 bis 400 Drehungen pro m umeinander gewunden sind.
4. Garn nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stränge mit 160 bis 290 Drehungen pro m umeinander gewunden sind.
5. Garn nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine durchschnittliche Scheuerfestigkeit von 50 bis 350 aufweist.

6. Garn nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine durchschnittliche Scheuerfestigkeit von 175 bis 300 aufweist.
7. Garn nach einem oder mehreren der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** es folgender Bedingung genügt:

$$S = - 35 \cdot 10^{-4} D^2 + 2 D - A,$$

wobei

S die durchschnittliche Scheuerfestigkeit und
D die Drehungen der Stränge pro m ist und
A Werte zwischen 170 und -35 einnimmt.

8. Garn nach einem oder mehreren der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** es folgender Bedingung genügt:

$$K = -105 \cdot 10^{-4} D^2 + 590 D - B$$

wobei

K die durchschnittliche Knotenfestigkeit in MPa und
D die Drehungen der Stränge pro m ist und
B Werte zwischen 250 und 450 einnimmt.

9. Garn nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kohlenstofffasern in den Strängen einen Durchmesser von 6 bis 10 µm aufweisen.

10. Garn nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ein Nähgarn ist.

11. Verfahren zur Herstellung eines Kohlenstoffasergarns nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei Stränge, bestehend aus endlosen Kohlenstofffasern, über Direktkabliren umeinander gewunden werden, wobei als Zusammenführöse eine Öse eingesetzt wird, die zumindest in dem Bereich, an dem die Stränge mit der Zusammenführöse in Berührung gebracht werden, einen Radius von mindestens 4 mm aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zusammenführöse eine Öse eingesetzt wird, die zumindest in dem Bereich, an dem die Stränge mit der Zusammenführöse in Berührung gebracht werden, einen Radius von 4 bis 40 mm aufweist.

13. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zusammenführöse eine Öse eingesetzt wird, die zumindest in dem Bereich, an dem die Stränge mit der Zusammenführöse in Berührung gebracht werden, einen Radius von 6 bis 12 mm aufweist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** Fadenführer eingesetzt werden, die zumindest in dem Bereich, an dem die Stränge mit dem Fadenführer in Berührung gebracht werden, einen Radius von mindestens 4 mm aufweisen.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** Fadenführer eingesetzt werden, die zumindest in dem Bereich, an dem die Stränge mit dem Fadenführer in Berührung gebracht werden, einen Radius von mindestens 4 bis 40 mm aufweisen.

EP 1 778 905 B1

16. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** Fadenführer eingesetzt werden, die zumindest in dem Bereich, an dem die Stränge mit dem Fadenführer in Berührung gebracht werden, einen Radius von mindestens 6 bis 12 mm aufweisen.

17. Verwendung eines Garns gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9 als Nähgarn.

18. Verwendung eines Garns gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9 in Faserverbundwerkstoffen, wie Thermoplasten, Duromeren, Elastomeren, insbesondere Gummi oder keramischen Werkstoffen.

19. Verwendung eines Garns gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9 zur Verstärkung von Beton.

Claims

1. A thread comprising at least two strands of continuous carbon fiber that are twisted around one another, **characterized in that** the carbon fibers of the strands are arranged at least approximately parallel to the thread direction.

2. A thread according to claim 1 producible by direct cabling.

3. A thread according to claim 1 or 2, **characterized in that** the strands are twisted around one another at 150 to 400 turns per meter.

4. A thread according to claim 3, **characterized in that** the strands are twisted around one another at 160 to 290 turns per meter.

5. A thread according to claims 3 or 4, **characterized in that** the thread has an average abrasion resistance of 50 to 350.

6. A thread according to claim 5, **characterized in that** the thread has an average abrasion resistance of 175 to 300.

7. A thread according to one or more of the claims 3 to 6, **characterized in that** the following condition is fulfilled:

$$S = - 35 * 10^{-4} D^2 + 2 D - A,$$

whereby

S is the average abrasion resistance and

D is the strand turns per meter and

A ranges between 170 and -35

8. A thread according to one or more of the claims 3 to 7, **characterized in that** the following condition is fulfilled:

$$K = -105 * 10^{-4} D^2 + 590 D - B$$

whereby

K is the average knot strength in MPa and

D is the strand turns per meter and

B ranges between 250 and 450.

9. A thread according to one or more of the claims 1 to 8, **characterized in that** the carbon fibers in the strands have a diameter of 6 to 10 μm .

10. A thread according to one or more of the claims 1 to 9, **characterized in that** the thread is a sewing thread.

11. A method for the production of a carbon fiber thread according to one or more of the claims 1 to 10, **characterized in that** at least two strands consisting of continuous carbon fibers are twisted around one another by direct cabling, whereby the assembly eyelet is an eyelet that has a radius of at least 4 mm in the area of contact between the strands and the assembly eyelet.

12. A method according to claim 11, **characterized in that** the assembly eyelet is an eyelet that has a radius of 4 to 40 mm at least in the area of contact between the strands and the assembly eyelet.

13. A method according to claim 11, **characterized in that** the assembly eyelet is an eyelet that has a radius of 6 to 12 mm at least in the area of contact between the strands and the assembly eyelet.

14. A method according to one of the claims 11 to 13, **characterized in that** thread guides are used that have a radius of at least 4 mm, at least in the area of contact between the strands and the thread guide.

15. A method according to claim 14, **characterized in that** thread guides are used that have a radius of at least 4 to 40 mm, at least in the area of contact between the strands and the thread guide.

16. A method according to claim 14, **characterized in that** thread guides are used that have a radius of at least 6 to 12 mm, at least in the area of contact between the strands and the thread guide.

17. Use of a thread according to one or more of the claims 1 to 9 as a sewing thread.

18. Use of a thread according to one or more of the claims 1 to 9 in fiber composite materials, such as thermoplasts, duromers, elastomers, particularly rubber, or ceramic materials.

19. Use of a thread according to one or more of the claims 1 to 9 to reinforce concrete.

Revendications

1. Fil constitué d'au moins deux brins torsadés l'un autour de l'autre et formés de fibres de carbone continues, **caractérisé par le fait que** les fibres de carbone des brins sont disposées au moins à peu près parallèlement au sens du fil.

2. Fil selon la revendication 1, qui peut être fabriqué par câblage direct.

3. Fil selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé par le fait que** les brins sont torsadés l'un autour de l'autre avec 150 à 400 torsions par m.

4. Fil selon la revendication 3, **caractérisé par le fait que** les brins sont torsadés l'un autour de l'autre avec 160 à 290 torsions par m.

5. Fil selon la revendication 3 ou 4, **caractérisé par le fait qu'il** présente une résistance à l'abrasion moyenne de 50 à 350.

6. Fil selon la revendication 5, **caractérisé par le fait qu'il** présente une résistance à l'abrasion moyenne de 175 à 300.

7. Fil selon une ou plusieurs des revendications 3 à 6, **caractérisé par le fait qu'il** répond à la condition suivante :

$$S = -35 \cdot 10^{-4} D^2 + 2 D - A,$$

S est la résistance à l'abrasion moyenne, et
D représente les torsions des brins par m, et
A adopte des valeurs comprises entre 170 et -35.

8. Fil selon une ou plusieurs des revendications 3 à 7, **caractérisé par le fait qu'il** répond à la condition suivante :

$$K = -105 \cdot 10^{-4} D^2 + 590 D - B,$$

- 5 K est la résistance des noeuds moyenne en MPa, et
D représente les torsions des brins par m, et
B adopte des valeurs comprises entre 250 et 450.
- 10 **9.** Fil selon une ou plusieurs des revendications 1 à 8, **caractérisé par le fait que** les fibres de carbone dans les brins présentent un diamètre de 6 à 10 µm.
- 10.** Fil selon une ou plusieurs des revendications 1 à 9, **caractérisé par le fait qu'il s'agit d'un fil à coudre.**
- 15 **11.** Procédé de fabrication d'un fil en fibres de carbone selon une ou plusieurs des revendications 1 à 10, **caractérisé par le fait qu'**au moins deux brins, constitués de fibres de carbone continues, sont torsadés l'un autour de l'autre par câblage direct, en utilisant comme oeillet de rassemblement un oeillet qui présente un rayon d'au moins 4 mm, au moins dans la zone où les brins sont amenés en contact avec ledit oeillet de rassemblement.
- 20 **12.** Procédé selon la revendication 11, **caractérisé par le fait que** l'on utilise comme oeillet de rassemblement un oeillet qui présente un rayon de 4 à 40 mm, au moins dans la zone où les brins sont amenés en contact avec ledit oeillet de rassemblement.
- 25 **13.** Procédé selon la revendication 11, **caractérisé par le fait que** l'on utilise comme oeillet de rassemblement un oeillet qui présente un rayon de 6 à 12 mm, au moins dans la zone où les brins sont amenés en contact avec ledit oeillet de rassemblement.
- 14.** Procédé selon une des revendications 11 à 13, **caractérisé par le fait que** l'on utilise des guide-fils qui présentent un rayon d'au moins 4 mm, au moins dans la zone où les brins sont amenés en contact avec le guide-fil.
- 30 **15.** Procédé selon la revendication 14, **caractérisé par le fait que** l'on utilise des guide-fils qui présentent un rayon d'au moins 4 mm et allant jusqu'à 40 mm, au moins dans la zone où les brins sont amenés en contact avec le guide-fil.
- 16.** Procédé selon la revendication 14, **caractérisé par le fait que** l'on utilise des guide-fils qui présentent un rayon d'au moins 6 mm et allant jusqu'à 12 mm, au moins dans la zone où les brins sont amenés en contact avec le guide-fil.
- 35 **17.** Utilisation d'un fil selon une ou plusieurs des revendications 1 à 9, en tant que fil à coudre.
- 18.** Utilisation d'un fil selon une ou plusieurs des revendications 1 à 9, dans des matériaux renforcés par des fibres, tels que des matières thermoplastiques, des duromères, des élastomères, en particulier du caoutchouc ou des matériaux céramiques.
- 40 **19.** Utilisation d'un fil selon une ou plusieurs des revendications 1 à 9, à des fins de renfort de béton.

45

50

55

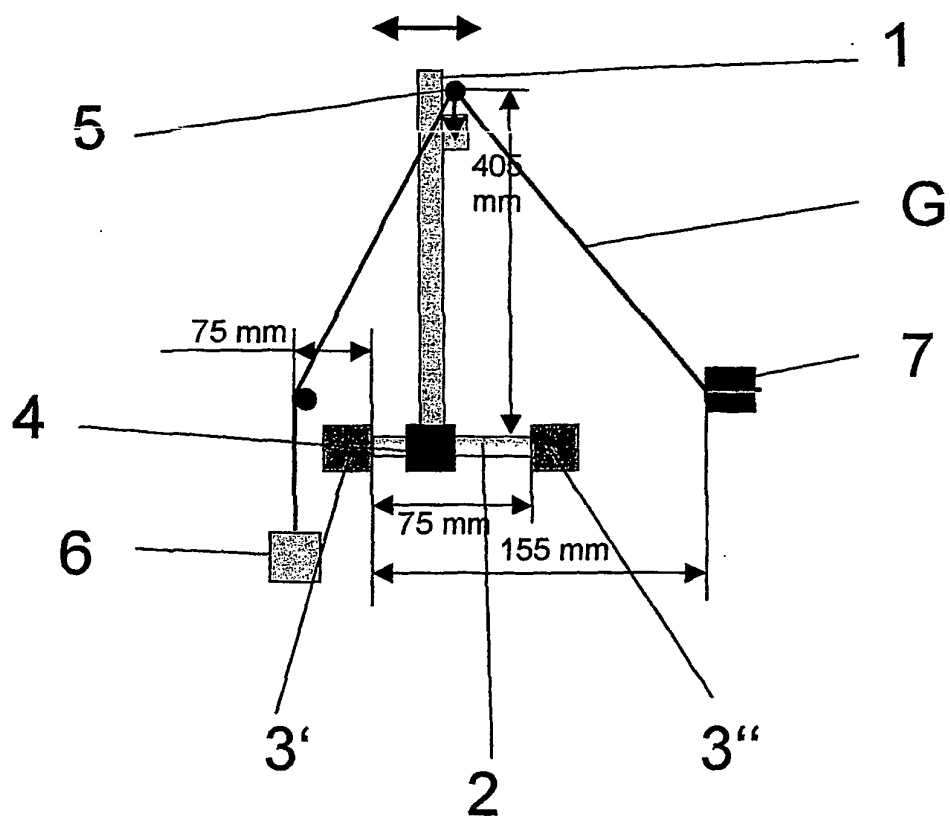


Fig. 1

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP 2133632 A [0006]
- JP 1061527 A [0006]
- EP 0303381 A [0007]
- WO 02103097 A [0014]