(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 14 253 T2** 2005.11.24

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 065 545 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 14 253.1**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 305 224.8**
(96) Europäischer Anmeldetag: **20.06.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.01.2001**
(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **29.09.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.11.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G02B 6/44**

(30) Unionspriorität:
342435 **29.06.1999** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(72) Erfinder:
Brown, Robert J., Buford, US; Lever, Jr., Clyde J., Buford, US; Taylor, Jr., Kenneth L., Lawrenceville, US

(54) Bezeichnung: **Faseroptisches Kabel**

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

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Optikfaserkabel mit einer verbesserten Fähigkeit zum Isolieren der Fasern vor externen Spannungen, die optische Übertragungsverluste ergeben können oder Belastungskorrosion, die zu Faserbrechen führen kann.

[0002] Optische Fasern bestehen aus sehr dünnen Strängen aus reinem Silika oder Glas und sie können in ihrem mechanischen Verhalten als perfekt elastisch spröde gekennzeichnet werden. Um die Fasern mit einem Schutz vor externen Spannungen zu versehen, die dieselben zerbrechen könnten, war es üblich, die Fasern mit einem Schutzmaterial zu beschichten, wie z. B. einer dicken Schicht aus schnell härtendem Polymermaterial. Wie es in dem US-Patent Nr. 5,675,686 angemerkt ist, schützt solches schützende Material die nackten Fasern vor den Spannungen, die während dem Versand und der Verarbeitung auftreten. Außerdem können die beschichteten optischen Fasern mit einem Puffermaterial umgeben sein, wie z. B. einem ausgedehnten PTFE, das mit der beschichteten optischen Faser verbunden sein kann.

[0003] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Optikfaserkabel zu liefern, indem die neuartigen nachgiebigen vereinenden Strukturen sowohl die Lasten minimieren, die zu den Fasern übertragen werden, als auch die Verschiebungen, die während den Prozessen und Lasten der Herstellung, der Handhabung und Installation des Kabels auf die Fasern ausgeübt werden, um den Entwurf von Trockenkernkabeln mit hohem Faserzählwert (HFC) mit minimalem optischen Übertragungsverlust zu ermöglichen, der durch Mikrobiegen und/oder Makrobiegen der Fasern induziert wird.

[0004] Es ist auch eine Aufgabe die Faserhäusungsdichte für HFC-Entwürfe zu erhöhen, indem es ermöglicht wird, dass mehr Fasern in einem bestimmten Kabeldurchmesser umschlossen sind.

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Das obige und andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden durch die Bereitstellung eines Optikfaserkabels gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0006] Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das elastische Ansprechverhalten des Schaums, wie er bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, gekennzeichnet durch eine beinahe konstante relativ niedrige Spannung für Druckbelastungen von bis zu 60%.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0007] Einige der Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung wurden bereits erwähnt, andere werden im Verlauf der Beschreibung in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen offensichtlich. Es zeigen:

[0008] Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines Optikfaserkabels, das die Merkmale der vorliegenden Erfindung umfasst;

[0009] Fig. 2 eine vergrößerte Schnittansicht entlang der Linie 2-2 von Fig. 1;

[0010] Fig. 3 die Querschnitte mehrerer möglicher nachgebender Kerneinheiten die für die Verwendung bei der vorliegenden Erfindung geeignet sind;

[0011] Fig. 4 ein Druckspannungs-Belastungsdiagramm für einen stark ausgedehnten Polymerschaum des Typs, der bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird;

[0012] Fig. 5 die Querschnitte einer nachgebenden Kerneinheit in einem unbelasteten Zustand und einem 30% Drucklastzustand; und

[0013] Fig. 6 ein Finites-Element-Analysekonturdiagramm eines Querschnitts eines nachgebenden vereinenden Strukturkabels, das eine minimale Hauptspannungsverteilung für eine von sechs vereinenden Strukturen mit 0,25 Zoll Durchmesser zeigt, die in einer Kabelhülle mit 0,62 Zoll Durchmesser zusammengedrückt sind.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

[0014] Die vorliegende Erfindung wird nun hierin nachfolgend mit Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben, in denen bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung gezeigt sind. Diese Erfindung kann jedoch in vielen unterschiedlichen Formen ausgestaltet werden und sollte nicht als auf die hierin ausgeführten Ausführungsbeispiele beschränkt angesehen werden; diese Ausführungsbeispiele sind eher vorgesehen, damit diese Offenbarung vollständig und durchgängig ist und werden den Schutzbereich der Erfindung für einen Fachmann auf diesem Gebiet vollständig übermitteln. Gleiche Bezugszeichen beziehen sich überall auf die gleichen Elemente.

[0015] Mit besonderer Bezugnahme auf die Zeichnungen stellen Fig. 1 bis Fig. 2 ein Optikfaserkabel **10** dar, das die vorliegende Erfindung umfasst, und das drei nachgebende Kerneinheiten **20** umfasst, die in einer herkömmlichen äußeren Hülle **30** gehalten werden. Jede nachgebende Kerneinheit **20** besteht

aus einem Bündel paralleler Optikglasfasern **22**, das bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel aus sechs gestapelten Bändern **24** besteht, wobei sechs optische Fasern in einem lateral ausgerichteten Array in jedem Band angeordnet sind. Genauer gesagt, die sechs Fasern jedes Bands sind mit einer herkömmlichen Matrix beschichtet, wie z. B. einem Acrylatbasierten Material, um eine integrierte Struktur zu bilden. Die Anzahl von Fasern pro Band, Bändern pro Kerneinheit und Kerneinheiten pro Kabel ist nicht auf die in den Figuren gezeigte beschränkt. Die Fasern **22** sind von einer Größe, die normalerweise bei Optikfaserkabeln verwendet wird, und haben typischerweise einen Durchmesser von etwa 250 µm (Mikrometer).

[0016] Jeder Stapel von Bändern ist umgeben von und getragen durch eine nachgebende vereinende Struktur, die hier als ein stark ausgedehnter Polymerschaum (und somit ein Polymerschaum geringer Dichte) **26** dargestellt ist, der die Fasern ausreichend vor externen Spannungen puffert, die angelegt werden, wenn das Kabel gebogen wird oder eine Druckbelastung erfährt. Die vereinende Struktur dient dazu, die Bänder in ihrer gestapelten Beziehung zu halten und es ist kein Haftmittel oder dergleichen erforderlich, um die Bänder zusammen zu halten. Der Kern, d. h. die Fasern oder Bänder, kann durch die vereinende Struktur unter Druck gehalten werden, aber dieselben sind nicht anderweitig an der vereinenden Struktur oder aneinander befestigt. Somit sind die Fasern und/oder Bänder, die den Kern umfassen, frei, sich relativ zu der vereinenden Struktur und relativ zueinander zu bewegen. Außerdem kann der Kern in der vereinenden Struktur gerade oder gelitzt sein. Der Schaum, der die vereinende Struktur umfasst, kann unter Verwendung gut bekannter Extrusionsausrüstung und -techniken um den Stapel von Bändern extrudiert sein.

[0017] Die äußere umgebende Hülle **30** kann jede herkömmliche Kabelkonstruktion umfassen, die eine Kernröhre, eine Armierung, Zugelemente, Stäbe, Bänder, Rovinge, Reißleinen und äußere Umhüllungen umfassen kann, wie es in der Technik bekannt ist. Die Biegeeigenschaften eines solchen Aufbaus übertreffen normalerweise diejenigen der Fasern oder Bänder. Die relativ geringe Nachgiebigkeit der vereinenden Struktur trennt den Kern jedoch effektiv von der Hülle. Folglich gibt es daher keine kinematische 1-zu-1-Kopplung der Biegeverschiebung zwischen dem Kern und der Hülle. Die Kerneinheiten können durch die äußere Hülle unter Druck gehalten werden, siehe Fig. 2, aber die Kerneinheiten sind nicht anderweitig an der äußeren Hülle oder aneinander befestigt. Somit sind die Kerneinheiten frei, um sich relativ zu der äußeren Hülle und relativ zueinander zu bewegen. Außerdem können die Kerneinheiten in der äußeren Hülle gerade (wie dargestellt) oder gelitzt sein.

[0018] Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst die äußere Hülle drei einzelne konzentrische Schichten, die beispielsweise eine innere Schicht umfassen können, die aus einer Polymerkernröhre besteht, eine Zwischenschicht, die aus Zugelementen und/oder einer Armierung besteht, und eine äußere Schicht, die aus einer Polymerumhüllung besteht. Außerdem, wie es in Fig. 2 am besten ersichtlich ist, kann zwischen den Einheiten und der äußeren Hülle ein Hohlraum gebildet sein, wie es bei **40** angezeigt ist, und die äußere Hülle hält die Kerneinheiten unter einer Druckdeformation.

[0019] Ein wichtiges Merkmal der vereinenden Struktur ist, dass dieselbe große Deformationen für relativ geringe Belastungen zeigt. Obwohl eine vereinende Struktur, die aus einem ausgedehnten Polymerschaummaterial gebildet ist, wie es hierin beschrieben ist, bevorzugt wird, da dieselbe eine leicht erreichbare Realisierung dieses Konzepts darstellt, sind andere Strukturen möglich, die ein elastisches Ansprechverhalten und Kompressionscharakteristika aufweisen, die im Wesentlichen gleich sind wie diejenigen eines ausgedehnten Polymerschaums. Von Grundprinzipien der Festkörpermechanik ist es gut bekannt, dass die Steifheit ein Ergebnis von sowohl der Geometrie der Struktur als auch des Materials ist. Eine feste Struktur, die aus einem beinahe nicht zusammendrückbaren Material, wie z. B. Gummi, hergestellt ist, wird nicht die gewünschten Lastdeformationscharakteristika liefern. Falls jedoch Strukturmerkmale enthalten sind, die sich verbiegen können (wie z. B. Rippen, Grate, Stifte, Balken, Finger, Membrane, usw.), könnte ein beinahe nicht zusammendrückbares Elastikmaterial verwendet werden. Die Lösung ist es, einen Entwurf mit den gewünschten Nachbiegelastdeformationscharakteristika zu erzeugen. In dem Fall eines Schaummaterials sind die Strukturmerkmale, die sich Biegen und Zusammenfallen, in einem mikroskopischen Maßstab hergestellt, in Form von Zellwänden und Membranen, die während dem Schaumprozess erzeugt werden.

[0020] In einem mikromechanischen Maßstab sollte die Schaummaterialzellengröße ausreichend klein sein relativ zu der charakteristischen Geometrie der Fasern, um eine beinahe einheitliche Lastübertragung zwischen der Faser und dem Schaummaterial zu erreichen. Die Zellengrößenbeabstandung sollte auch ausreichend beliebig Art sein oder eine nichtharmonische Länge bezüglich des Faserübertragungsprozesses aufweisen, damit die Stellen des Mikrokontakts keinen optischen Verlust erzeugen, auf der Basis von Mikrobiegen, das durch die periodische Belastung induziert wird.

[0021] In einem makromechanischen Maßstab sollte das Material die Kompressionstestcharakteristika zeigen, die klassisch einem ausgedehnten Polymerschaum zugeordnet sind. Fig. 4 stellt ein Diagramm

von Druckspannung über Belastung dar, die für das gewünschte Schaumverhalten typisch ist. Für kleine Belastungen (kleiner als 0,05) gibt es einen anfänglichen Anstieg, der kleinen linearen elastischen Deformationen der Zellenstrukturen entspricht. Mit erhöhter Belastung fallen die Zellwände zusammen und knicken und die Belastung erhöht sich auf große Beträge für eine minimale Erhöhung der Last. Die Kurve ist für Belastungen bis zu 60% beinahe horizontal, wobei das nominale Spannungsplateau unter 100 psi liegt, abhängig von der Zellularstruktur und dem Basispolymer. Wenn die Zellen vollständig zusammenfallen und die Wände einander direkt kontaktieren, nimmt die Kurve eine scharfe Aufwärtsneigung an.

[0022] Außerdem muss das Material erfolgreiche Eigenschaften über Temperatur und Zeit zeigen. Das Material sollte auch eine geringe Stärke zeigen, sodass es ohne weiteres entfernt werden kann, um die Bänder zum Spleißen freizulegen.

[0023] Fig. 3 zeigt einige darstellende Formen dar, die die Kerneinheiten annehmen können. Der Schutzbereich dieser Erfindung umfasst nicht nur diese Formen, sondern auch alle Kombinationen oder Ableitungen derselben. Die runde Form stellt eine gerade extrudierte Form dar, die es dem Stapel frei ermöglicht, gelitzt zu werden. Die rechteckige Form verwendet weniger Material und kann abgerundete Ränder aufweisen. Der Entwurf mit gelappten Ecken liefert einen zusätzlichen Schutz gegen den Verlust für die Eckfasern, während unnötiges Material an den Rändern entfernt wird. Die geneigte oder ineinander greifende Struktur legt eine Form nahe, die sowohl Faserverlustschutz als auch eine Einheitsorganisation innerhalb des Kabels fördert. Die abgeschrägte Form legt nahe, dass andere Bandstrukturen als prismatische Stapel möglich sind, einschließlich radial ausgefächerte Formen. Die allgemeine optimierte Form stellt die Verwendung von unregelmäßigen Formen und internen Hohlräumen oder Füllern dar, um die gewünschte Leistungsfähigkeit zu erreichen.

[0024] Auf der Außenseite der Kerneinheiten kann eine Haut wünschenswert sein, um robuste Handhabungsqualitäten und verbesserte Wasserblockierfähigkeiten zu fördern. Das Ziel der vereinenden Struktur ist es, eine nachgebende Aufhängung des Bandstapels zu liefern, die sich an die Geometrien sowohl des Kabelinneren als auch des Bandstapels anpasst, mit einer relativ geringen Lastübertragung zwischen dem Kabel und den optischen Fasern. Folglich befindet sich eine Quetschwiderstandsfähigkeit in der äußeren Hülle anstatt in der Kerneinheitsstruktur. Ein starres Exoskelett auf der Kerneinheitsstruktur wird topologisch überflüssig und versetzt tatsächlich die Faserdichtegewinne durch Reduzieren der Häusungseffizienz. Ferner hemmt ein starres Exoskelett den Zugriff zu den Fasern zum Spleißen.

[0025] Durch Auswählen eines Schaummaterials gemäß Anspruch 1 können die Kerneinheiten in dem Kabel nach Wunsch zusammengedrückt werden, mit einer minimalen Erhöhung bei den Faserkontaktlasten und somit einer minimalen Induktion von Übertragungsverlust. Eine hohe Zusammendrückbarkeit vermeidet die Probleme von Komponenten mit hoher hydrostatischer Spannung im Zusammenhang mit Gummi und anderen beinahe nicht zusammendrückbaren hyperelastischen Materialien.

[0026] Das bevorzugte Schaummaterial ist ein stark ausgedehntes (> 90 °s) Polymer, wie z. B. Polyolefin, das durch Einführen zellularer Hohlräume in das Basispolymer erzeugt wird. Als spezifische Beispiele werden Polyethylen niedriger Dichte und Polypropylen bevorzugt. Solche Materialien und die zugeordnete Verarbeitungsausrüstung sind im Stand der Herstellungstechnik gut bekannt. Die definierende Anforderung der Schaummaterialien ist die Druckspannungs-Belastungskurve. Genauer gesagt sollte das Schaummaterial vorzugsweise das in Fig. 4 gezeigte elastische Ansprechverhalten zeigen. Schlüsselcharakteristika sind wie folgt:

1) Die Kurve sollte ein Plateau zeigen, das sich aus elastischem Zellwandbiegen ergibt, definiert als eine Region von beinahe konstanter niedriger Spannung (weniger als 100 psi) für Druckbelastungen von bis zu 60%. Der Beginn des Plateaus sollte zwischen 5% und 10% Druckbelastung liegen.

2) Es sollte keine großen „Überschnapp"-Lasten vor dem Beginn des Plateaus geben; das heißt die Spannung sollte sich auf eine glatte, einförmige elastische Weise von Null zu der Plateauebene erhöhen.

3) Bei Druckpegeln über 60% kann die Spannungs-Belastungskurve eine zunehmend steile Aufwärtsneigung annehmen, während die Zellwände sich dem vollen Zusammenfall nähern und sich der Schaum verdichtet. Die genaue Neigung ist nicht wesentlich.

4) Es ist wünschenswert, dass die gesamte Spannungs-Belastungskurve elastisch ist, ohne eine permanente Einstellung des Materials auf die Entfernung der Drucklast hin. In bestimmten Bedingungen kann jedoch Spannungsrelaxation wünschenswert sein (d. h. für eine feste Biegung verringert sich die Spannung im Verlauf der Zeit auf Null).

5) Der Schaum sollte stark zusammendrückbar sein, wie durch die effektiven Poisson-Zahl-Terme angegeben wird, die sich 0 nähern, oder das Verhältnis der Hülle-zu-Volumen-Moduli, die sich zwei Drittel nähern.

Beispiel

[0027] Eine Schaumzusammensetzung die aus Polyethylen niedriger Dichte (LDPE) besteht, das von

Union Carbide unter der Handelsbezeichnung DFDA1253 geliefert wird, wurde unter Verwendung von CO_2-Injektion geschäumt, um eine 2,5-fache Volumenausdehnung zu erzeugen. Die resultierende Schaumzusammensetzung wurde getestet und zeigte eine Druckbelastung-Spannungskurve, die die in Fig. 4 gezeigte beinahe verdoppelte.

[0028] Finite-Elemente-Computeranalyse verwendete die gemessenen Schaumdaten zum Simulieren und Analysieren der Anordnung von sechs nachgiebigen Kerneinheiten, wie es in Fig. 6 gezeigt ist.

[0029] Fig. 5 stellt eine 30% Druckdeformation für eine Kerneinheit dar, die aus zwölf Zwölffaserbändern besteht, und eine Schaumzusammensetzung, wie sie bei dem obigen Beispiel beschrieben ist.

[0030] Für einen Fachmann auf diesem Gebiet den diese Erfindung betrifft und der den Vorteil der Lehren hat, die in der vorhergehenden Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen präsentiert werden, werden viele Modifikationen und andere Ausführungsbeispiele der Erfindung offensichtlich werden. Daher ist klar, dass die Erfindung nicht auf die spezifischen offenbarten Ausführungsbeispiele beschränkt ist, und dass Modifikationen und andere Ausführungsbeispiele in dem Schutzbereich der angehängten Ansprüche enthalten sein sollen. Obwohl hierin spezifische Begriffe verwendet werden, werden dieselben nur in einem allgemeinen und beschreibenden Sinne verwendet und nicht zu Beschränkungszwecken.

Patentansprüche

1. Ein Optikfaserkabel, das folgende Merkmale umfasst:
eine Mehrzahl von Kerneinheiten, wobei zumindest eine Kerneinheit ein zweidimensionales Bündel von parallelen optischen Fasern umfasst, das direkt durch eine vereinende nachgebende Struktur umschlossen, zusammengehalten und getragen wird, die elastische Ansprech- und Kompressionscharakteristika aufweist, die im wesentlichen gleich sind wie diejenigen eines ausgedehnten Polymerschaums, um dadurch eine beinahe einheitliche Lastübertragung zwischen den Fasern und der Struktur zu erreichen, die keinen optischen Mikrobiegeverlust erzeugt, und
eine flexible äußere Hülle, die die Kerneinheiten umschließt und trägt, um eine relative Bewegung zwischen den Kerneinheiten und der äußeren Hülle zu ermöglichen.

2. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 1, bei dem das elastische Ansprechverhalten der vereinenden Struktur gekennzeichnet ist durch eine beinahe konstante relativ niedrige Spannung für Druckbelastungen, die sich 60 % nähern.

3. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 2, bei dem zumindest eine nachgiebige Kerneinheit der Mehrzahl von Kerneinheiten ein Bündel von gestapelten optischen Bändern umfasst.

4. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 3, bei dem das Bündel von parallelen optischen Fasern im Querschnitt eine rechteckige Konfiguration aufweist.

5. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 1, bei dem die vereinende Struktur durch den teilweisen Kontakt zwischen der Kerneinheit und der äußeren Hülle einer Druckdeformation unterworfen wird.

6. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 1, bei dem die Mehrzahl von nachgiebigen Kerneinheiten jeweils ein zweidimensionales Bündel von parallelen optischen Fasern umfassen, die direkt durch eine nachgiebige vereinende Struktur umgeben und durch dieselbe getragen wird, wie es in Anspruch 1 definiert ist.

7. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 6, bei dem das Polymerschaummaterial aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Polyethylen und Polypropylen besteht.

8. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 6, bei dem das Polymerschaummaterial durch den Kontakt zwischen den Kerneinheiten und der äußeren Hülle einer Druckdeformation unterworfen wird.

9. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 6, bei dem das Bündel von parallelen optischen Fasern eine Mehrzahl von gestapelten Bändern umfasst, wobei jedes Band eine Reihe von lateral ausgerichteten Fasern umfasst.

10. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 9, bei dem die gestapelten Bändern lediglich durch die umhüllende vereinende Struktur aneinandergehalten werden.

11. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 9, bei dem die gestapelten Bänder durch die vereinende Struktur unter Druck gehalten werden, aber nicht anderweitig an der vereinenden Struktur oder aneinander befestigt sind, so dass die Bänder frei sind, um sich relativ zu der vereinenden Struktur und relativ zueinander zu bewegen.

12. Das Optikfaserkabel gemäß Anspruch 6, bei dem der Polymerschaum ein elastisches Ansprechverhalten aufweist, das durch eine beinahe konstante relativ niedrige Spannung für Druckbelastungen von bis zu 60 % gekennzeichnet ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

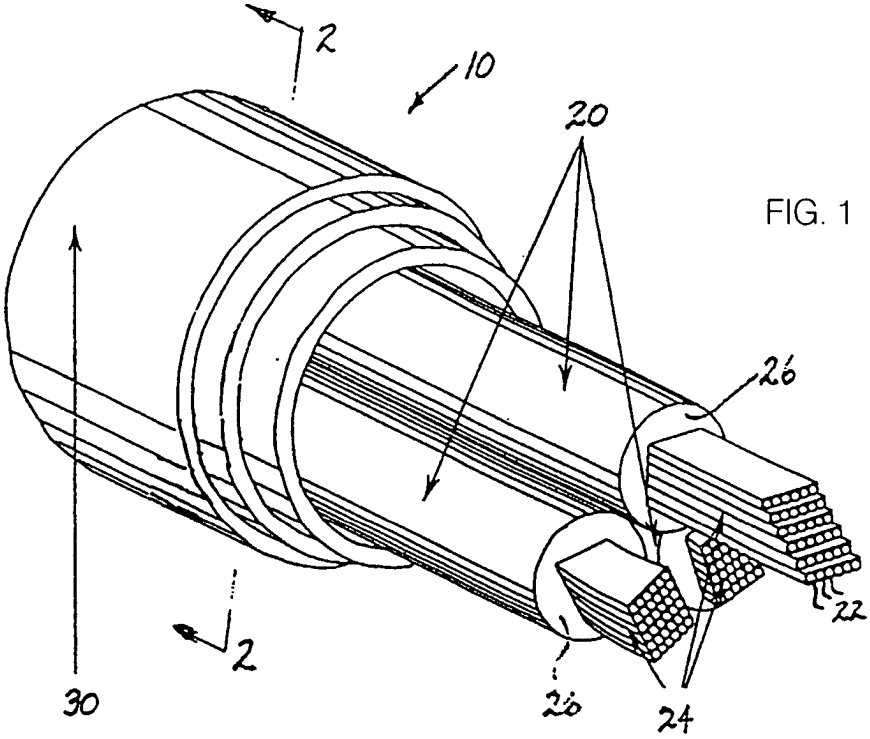


FIG. 1

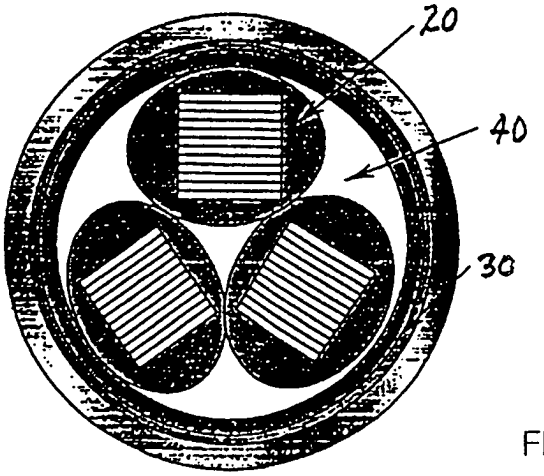
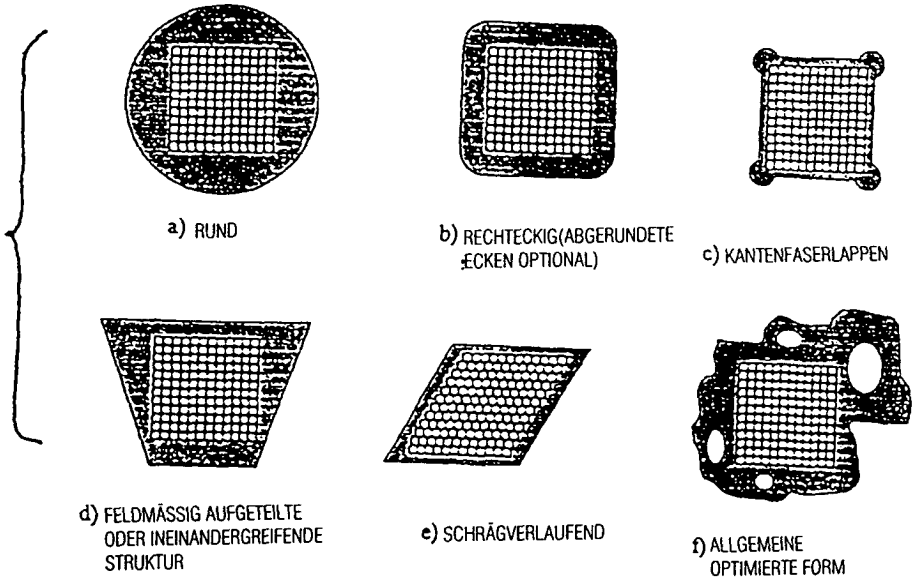


FIG. 2

FIG. 3


a) RUND
b) RECHTECKIG(ABGERUNDETE ECKEN OPTIONAL)
c) KANTENFASERLAPPEN
d) FELDMÄSSIG AUFGETEILTE ODER INEINANDERGREIFENDE STRUKTUR
e) SCHRÄGVERLAUFEND
f) ALLGEMEINE OPTIMIERTE FORM

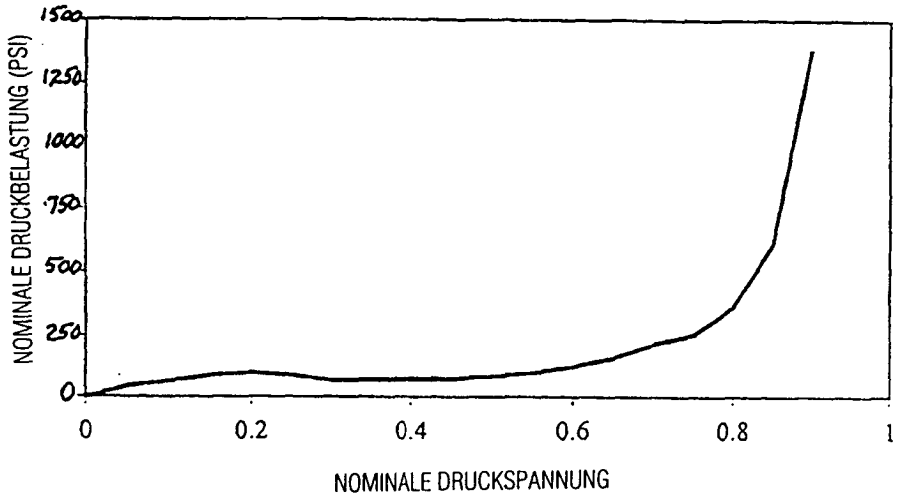

NOMINALE DRUCKBELASTUNG (PSI)
1500
1250
1000
750
500
250
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
NOMINALE DRUCKSPANNUNG

FIG. 4

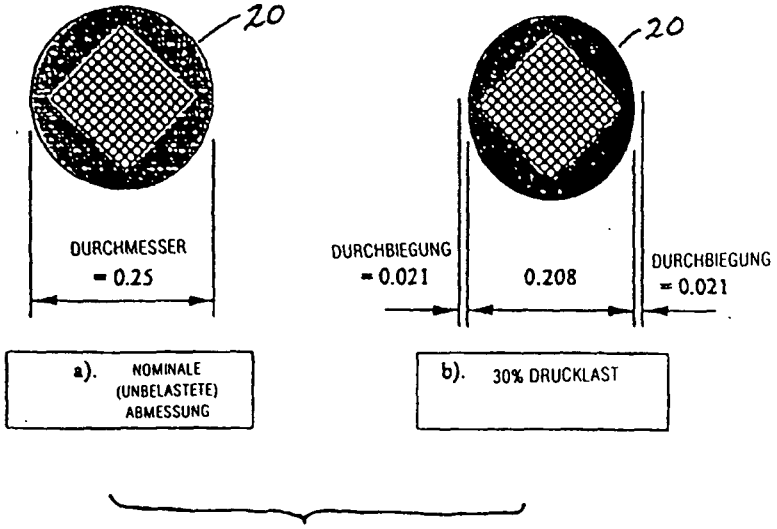

20
DURCHMESSER
= 0.25
a). NOMINALE (UNBELASTETE) ABMESSUNG
20
DURCHBIEGUNG
= 0.021
0.208
DURCHBIEGUNG
= 0.021
b). 30% DRUCKLAST

FIG. 5

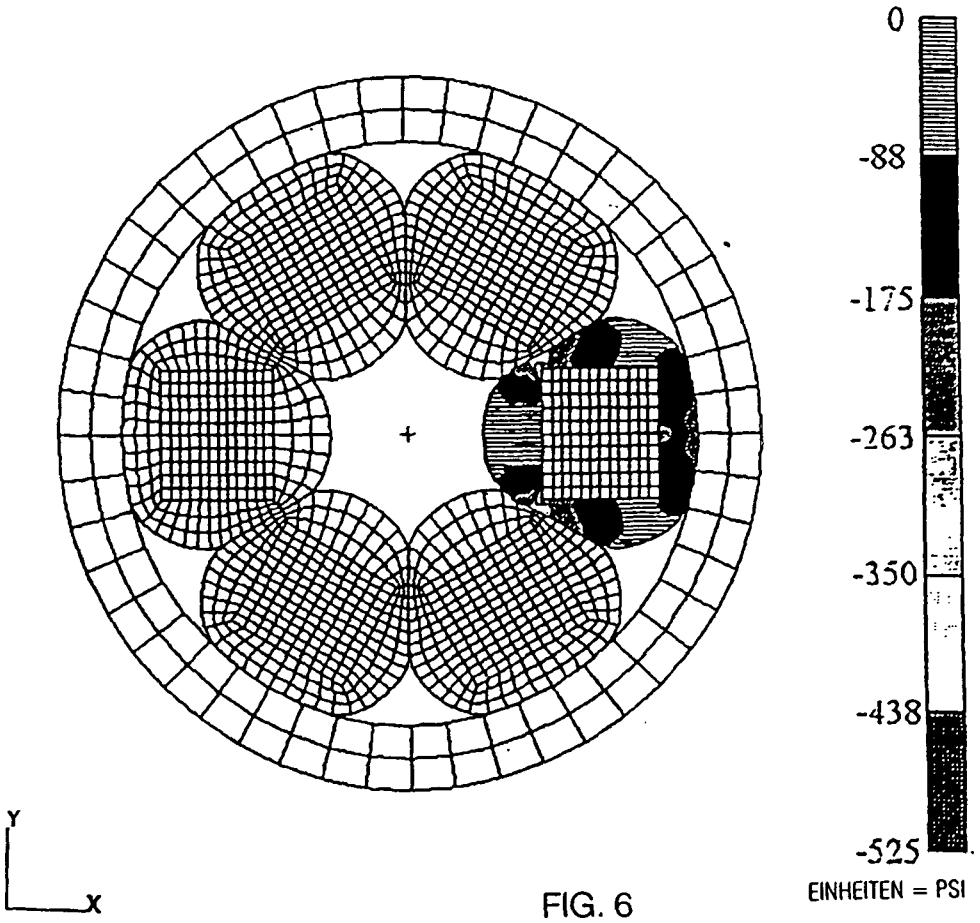

0
-88
-175
-263
-350
-438
-525
EINHEITEN = PSI
Y
X

FIG. 6