



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 30 220 T2 2007.07.12

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 083 345 B1

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F16C 3/02** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 30 220.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 307 225.3**

(96) Europäischer Anmeldetag: **22.08.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **23.08.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.07.2007**

(30) Unionspriorität:  
**391037 07.09.1999 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB, IT**

(73) Patentinhaber:  
**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(72) Erfinder:  
**Von Koschier, Angelo, Lynnfield, Massachusetts 01940, US; Mauch, Hagen Richard, Cambridge, Massachusetts 01921, US; Fleck, James Norwood, Boxford, Massachusetts 01921, US**

(74) Vertreter:  
**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

(54) Bezeichnung: **Verbundwelle mit hoher Steifigkeit**

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 eingelebt, 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

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Drehmomentübertragungselemente. Insbesondere betrifft diese Erfindung eine Welle mit hoher Steifigkeit zum Übertragen von Drehmoment über große Lagerabstände bei hohen Drehzahlen und Temperaturen, wie zum Beispiel eine Ausgangswelle einer Nutzleistungsturbine für ein Gasturbinentreibwerk.

**[0002]** Als Drehmomentübertragungselemente vorgesehene Wellen wurden bisher aus Metallmatrixverbund-(MMC)-Materialien, wie zum Beispiel den in WO-A-98 58182 dargestellten hergestellt. Ein Beispiel ist eine Titanverbundwelle, sie Verstärkungsfasern, wie zum Beispiel Siliziumkarbid- oder Borfasern enthält. Die Welle wird durch Erzeugen von Verbundschichten aus Titanfolie und Fasern unter Verwendung bekannter Verfestigungsprozesse, Wickeln der sich ergebenden Verbundschichten um einen Dorn und dann durch Verfestigen der Schichten bei hohen Temperaturen und Drücken hergestellt. Obwohl er in vielerlei Hinsicht akzeptabel ist, bietet sich dieser Herstellungsprozess nicht von selbst für eine Serienproduktion an oder erlaubt eine gleichmäßige Faserverteilung, die zur Erzielung des vollen Nutzens der Verbundstruktur erforderlich ist. Der Prozess ermöglicht auch keine Erzielung einer genauen und wiederholbaren Materialverteilung und Unwuchten, die zum Auswuchten der Welle erforderlich sind. Eine genaue und wiederholbare Auswuchtung ist eine absolute Notwendigkeit von besonderer Bedeutung für Turbinenausgangswellen von Gasturbinentreibwerken. Schließlich sind Titanmatrixmaterialien im Allgemeinen nicht für mechanische Verbindungseinrichtungen geeignet, wie zum Beispiel Wellenzahnnuten, was getrennte Herstellungsschritte erfordert, während derer eine Befestigungseinrichtung mit einer geeigneten Verbindungseigenschaft auf eines oder beide Enden der Welle hartgelötet wird. Die getrennten Herstellungsschritte sind vom Standpunkt der Produktionsausbeute und Verarbeitungskosten unerwünscht.

**[0003]** Bei dem vorliegenden Stand der Technik sollte angemerkt werden, dass Verbundmaterialien einen möglichen Zugang zur Erhöhung der Steifigkeit von Leistungsausgangswellen bieten, welche im Hinblick auf das dynamische Verhalten von Gasturbinentreibwerken kritisch ist. Beispielsweise erlaubt eine höhere Wellensteifigkeit höhere Betriebs-(Turbinen)-Drehzahlen, bevor kritische Drehzahlen erreicht werden, was weniger Turbomaschinestufen und ein besseres Turbinenverhalten über größere Lagerstützabstände ermöglicht. Demzufolge beeinflusst die Steifigkeit einer Turbinenausgangswelle eines kleinen Gasturbinentreibwerks in der einen oder anderen Weise die Konstruktion des Verdichters (zum Beispiel axial oder zentrifugal), die Anzahl der Turbinenstufen, den Typ der Rotoraufnahmelager, Stoßlagerungen in einer kritischen Wellenführung und La-

gerungskühlung und Toleranzsteuerung. Eine Ausgangswelle mit sehr hoher Steifigkeit kann deutlich verbesserte Triebwerkskonstruktionen ermöglichen. Jedoch waren Wellen, die eine größere Steifigkeit und eine akzeptable dynamische Auswuchtung zeigen, bisher schwierig zu erzielen.

**[0004]** Die vorliegende Erfindung schafft eine Verbundwelle, deren Aufbau und Herstellung eine genaue Platzierung und Orientierung von Verstärkungsfasern ermöglichen, eine gute Kontrolle der Unwucht ermöglichen und einen getrennten Verbindungsvergang für die Anbringung von mechanischen Antriebsverbindungen erübrigt.

**[0005]** Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird und eine durch den Anspruch 1 definierte Welle geschaffen.

**[0006]** Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung einer Welle geschaffen, wobei das Verfahren die Schritte aufweist: Erzeugen eines Zwischenraumelementes mit sich in Längsrichtung erstreckenden Hohlräumen, die an dessen Oberfläche angrenzen; Ausbilden mehrerer Faserbündel, wobei jedes Faserbündel mehrere Verstärkungsfasern aufweist, die mit einem Einschlussmaterial auf Titanbasis eingeschlossen sind; Einführen der Faserbündel in die Hohlräume des Zwischenraumelementes; und dann Verbinden des Zwischenraumelementes mit den Faserbündeln so, dass die Faserbündel in dem Zwischenraumelement eingeschlossen sind und das Zwischenraumelement eine Metallmatrix definiert, die die Faserbündel umgibt und damit verbunden ist.

**[0007]** Angesichts des vorstehenden kann man sehen, dass ein bedeutender Vorteil dieser Erfindung darin besteht, dass die Welle so hergestellt werden kann, dass sie eine sehr steife Verbundstruktur aufweist, insbesondere wenn Titan für die Hauptstrukturkomponenten, wie zum Beispiel den inneren Mantel, das Zwischenraumelement und den äußeren Teil der Welle verwendet wird, um eine Titanmatrix bereitzustellen, in welcher die Verstärkungsfaserbündel in jeder gewünschten Weise in den in der Titanmatrix definierten Hohlräumen orientiert werden können. Zudem kann unter Verwendung einer wiederverwendbaren Form die Welle genau aus den Teilkomponenten hergestellt werden, welche vorgefertigt werden und dann miteinander diffusionsverbunden werden, um eine hohe Dimensionsgenauigkeit und genaue Platzierung der Faserbündel zu erhalten. Demzufolge ermöglicht die vorliegende Erfindung die Herstellung von Wellen, die wahrscheinlicher geringere Unwuchtgrade aufweisen und einfach durch Materialabnahme von Auswuchtstegen ausgewuchtet werden können. Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass keine teuren Titanpulver und Folien mehr erforderlich sind.

[0008] Die Erfindung wird nun detaillierter im Rahmen eines Beispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, in welchen:

[0009] [Fig. 1](#) eine Längsschnittsansicht einer Verbundwellenanordnung gemäß dieser Erfindung ist.

[0010] [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) diametrale Querschnittsansichten der Welle von [Fig. 1](#) gemäß ersten und zweiten Ausführungsformen dieser Erfindung sind.

[0011] [Fig. 4](#) eine Querschnittsansicht von einem der in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellten Faserbündel vor dem Abschrägen und dem Diffusionsverbindung darstellt.

[0012] Die vorliegende Erfindung schafft eine Verbundwelle **10**, die für eine Übertragung von hohem Drehmoment bei hohen Drehzahlen in einer Hochtemperaturumgebung wie im Falle einer Turbinenausgangswelle eines Gasturbinentriebwerks geeignet ist. [Fig. 1](#) stellt einen Längsschnitt eines Endes der Welle **10** dar, während [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) diametrale Querschnitte alternativer Ausführungsformen der Welle **10** sind. Für die Anwendung als eine Turbinenausgangswelle ist die Welle **10** bevorzugt ein Titanmatrixverbund, obwohl es vorstellbar ist, dass die durch diese Erfindung bereitgestellten strukturellen Vorteile auch auf andere Matrixmaterialien angewendet werden könnten.

[0013] Gemäß Darstellung in [Fig. 1](#) enthält die Welle **10** einen rohrförmig gestalteten inneren Mantel **16**, der von einem rohrförmig gestalteten Zwischenraumelement **18** umgeben ist, das eine Anzahl von sich in Längsrichtung erstreckenden Fasern enthält **14**, die detaillierter in [Fig. 4](#) dargestellt ist. Die Verwendung des inneren Mantels **16** wird zur Erleichterung der Herstellung bevorzugt, könnte aber abhängig von dem Zusammenbauprozess und den Teilegeometrien weggelassen werden. Wie es im Fachgebiet anerkannt ist, tragen die Faserbündel **14** in Kombination mit der umgebenden Matrix zur Torsionsfestigkeit und Steifigkeit der Welle **10** bei. Die Faserbündel **14** sind in [Fig. 4](#) als einzelne Verstärkungsfasern **20** dargestellt, die innerhalb eines Einschlussmantels **22** enthalten sind. Die Faserbündel **14** können aus einer Vielfalt bekannter Fasermaterialien, einschließlich, jedoch nicht darauf beschränkt, Siliziumkarbid, Kohlenstoff, Bor und anderen nicht metallischen Materialien bestehen. Die Fasern **20** sind in geeigneter Weise beschichtet oder imprägniert, um die Ausbildung einer strukturellen Verbindung zwischen den einzelnen Fasern **20** und dem Einschlusmantel zu ermöglichen und um einen direkten Kontakt von Faser zu Faser zu verhindern.

[0014] Gemäß einer in [Fig. 2](#) dargestellten ersten Ausführungsform sind die Faserbündel **114** innerhalb von internen Kanälen **24** angeordnet, die in dem Zwi-

schenraumelement **18** ausgebildet sind, so dass jedes Bündel **14** durch das Element **18** eingeschlossen ist und benachbarte Bündel **14** durch die Wände der Kanäle **24** in Umfangsrichtung in Abstand angeordnet sind. In einer in [Fig. 3](#) dargestellten zweiten Ausführungsform sind die Bündel **14** innerhalb von Keilnuten oder Schlitten **26** enthalten, die in der Außenoberfläche eines alternativen Zwischenraumelementes **18A** angeordnet sind, und werden dann von einem getrennten rohrförmig ausgebildeten äußeren Mantel **12** eingeschlossen, der das Element **18A** umgibt. Bei der Ausführungsform von [Fig. 3](#) sind benachbarte Bündel **14** in Umfangsrichtung durch sich radial erstreckende Rippen **28**, die zwischen den Schlitten **26** ausgebildet sind, in Abstand angeordnet. In jeder von diesen Ausführungsformen sind die Lage und Orientierung der Faserbündel **14** auf der Welle **10** genau durch die Lage und Konfiguration der Kanäle **24** ([Fig. 2](#)) oder Schlite **26** ([Fig. 3](#)) bestimmt. Beispielsweise können die Faserbündel **14** parallel zu der Achse des Elementes **18** oder nicht parallel zu dieser Achse in einer Spiralanordnung um den Umfang des Elementes **18** orientiert sein.

[0015] Gemäß nochmaligem Bezug auf [Fig. 1](#) ist die Welle **10** als ein Verlängerungs- oder Endstück **30** enthaltend dargestellt, das mit Keilnuten **32** zur mechanischen Verbindung der Welle **10** mit einer anderen Komponente des Turbinentriebwerks, wie zum Beispiel einer Turbinenscheibe oder Kupplung, ausgestattet ist. An dem den Keilnuten **32** gegenüberliegenden Ende ist das Endstück **30** so ausgebildet, dass es einen ringförmig gestalteten Abschnitt **34** enthält, der zwischen dem inneren Mantel **16** und dem Zwischenraumelement **18** eingeschlossen und befestigt ist, wie es nachstehend detaillierter beschrieben wird. Ein (nicht dargestelltes) zweites Endstück wäre typischerweise an dem gegenüberliegenden Ende der Welle **10** vorgesehen. Das zweite Endstück kann im Wesentlichen identisch mit dem dargestellten Endstück **30** sein, oder kann unterschiedlich gestaltet sein, wie zum Beispiel mit anderen, von Keilnuten verschiedenen mechanischen Verbindungseinrichtungen.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform dieser Erfindung sind der äußere Mantel **12** (falls vorhanden), der innere Mantel **16** (falls vorhanden) und das Zwischenraumelement **18** oder **18a** alle aus Titanlegierungen ausgebildet. Geeignete Titanlegierungen für diese Komponenten umfassen Ti-6Al-4V und Ti-6Al-2Sn-4Zr-2No, obwohl es auch vorstellbar ist, dass Titanaluminide und andere Titanlegierungen verwendet werden können. Um die Dimensionengenauigkeit zu erhalten, die zur Erzielung der dynamischen Eigenschaft für die Welle erforderlich ist, werden der äußere Mantel **12**, der innere Mantel **16** und das Zwischenraumelement **18** mittels Präzisionsformungstechniken, wie zum Beispiel bekannte superplastische Formungsverfahren hergestellt. Ti-

tan wird auch für die Einschlussmäntel **22** für die Faserbündel **14** bevorzugt, wobei eine geeignete Legierung Ti-6Al-4V ist. Zur Kompatibilität mit ihren Einschlussmänteln **22** werden die Faserbündel bevorzugt individuell mit einem Metall beschichtet, das mit Titan bei erhöhten Temperaturen kompatibel ist. Die Bündel **14** können dann miteinander und mit ihren Mänteln **22** diffusionsverbunden werden. Alternativ können einzelne Fasern **20** zu einem Bündel zusammengefügt werden und das gesamte Bündel beschichtet werden, um ein in Titan eingeschlossenes kohärentes Faserbündel zu erzeugen, so dass kein diskreter Mantel erforderlich ist.

**[0017]** Das mit Keilnuten versehene Ende des in [Fig. 1](#) dargestellten Endstückes **30** ist bevorzugt aus einem anderen Material als Titan für verbesserte mechanische Eigenschaften für die Keilnuten **32** geformt. Ein geeigneter Abgleich des Wärmeausdehnungskoeffizienten ist wichtig, um eine Kompatibilität zwischen dem Endstück **30** und den Titankomponenten der Welle **10** sicherzustellen. In einer Ausführungsform wird das Endstück **30** durch einen bekannten Plasmaabscheidungsprozess mit schneller Verfestigung ausgebildet, in welchem Titan in ein Material übergeführt wird, das für mechanische Verbindungen geeigneter ist, wie zum Beispiel in eine Eisenbasis- oder Nickelbasis-Legierung, wobei ein besonders zu erwähnendes Beispiel INCONEL 718 oder INCO 909 ist. Beispielsweise kann der ringförmig gestaltete Abschnitt **34**, der zwischen dem inneren Mantel **16** und dem Zwischenraumelement **18** eingeschlossen und befestigt ist, eine Titanlegierung sein, wie zum Beispiel Ti-6Al-4V, und die Zusammensetzung des Endstückes **30** ist kontinuierlich zu seinem gegenüberliegenden Keilnutenende abgestuft, welches aus INCONEL 718 besteht. Bei Verwendung einer geeigneten Barriere, um die Ausbildung von Zwischenmetallen zu verhindern, sind andere mögliche Zusammensetzungssysteme und Verfahren des Aufbaus (zum Beispiel Explosionsverbindung) für das Endstück **30** möglich und liegen innerhalb des Schutzzumfangs dieser Erfindung.

**[0018]** Sobald sie einzeln hergestellt sind, werden der äußere Mantel **12** (falls verwendet), der innere Mantel **16** (falls verwendet), das Zwischenraumelement **18**, die Faserbündel **14** und das Endstück **30** (falls in der Zusammensetzung wie vorstehend beschrieben abgestuft) unter Verwendung einer Präzisionsform zusammengebaut und dann bevorzugt mittels bekannter Diffusionsverbindungstechniken verbunden, um eine einteilige Titanfasermatrix (gebildet von dem äußeren Mantel (falls verwendet), dem inneren Mantel **16** (falls verwendet), dem Zwischenraumelement **18**, dem Einschlusmantel **22** (falls verwendet) und dem Endstück **30**) herzustellen, welche mit den Fasern **20** verstärkt ist. Auf diese Weise zeigt die durch die einzelnen Komponenten hergestellte Welle **10** geringe Unwuchtgrade, die leicht an den

entsprechenden Unwuchtstegen der Welle **10** durch Materialentfernung korrigiert werden können. Wie erwähnt, erübrigt eine Diffusionsverbindung eines in der Zusammensetzung abgestuften Endstückes **30** mit den Titankomponenten der Welle **10** eine Verbindungsoperation, die ansonsten erforderlich wäre.

## Patentansprüche

1. Welle (**10**), aufweisend:  
ein Zwischenraumelement (**18**) mit sich in Längsrichtung erstreckenden Hohlräumen (**24, 16**), die an dessen Oberfläche angrenzen; gekennzeichnet durch Faserbündel (**14**), die in jedem der Hohlräume (**24, 26**) des Zwischenraumelementes (**18**) angeordnet sind, wobei jedes Faserbündel (**14**) mehrere miteinander verbundene Verstärkungsfasern (**20**) aufweist, wobei das Zwischenraumelement (**18**) eine Metallmatrix definiert, die die Faserbündel (**14**) umgibt und damit verbunden ist.
2. Welle (**10**) nach Anspruch 1, wobei die Hohlräume (**24, 26**) in einem ringförmig gestalteten Muster innerhalb eines diametralen Querschnittes des Zwischenraumelementes (**18**) angeordnet sind.
3. Welle (**10**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Hohlräume (**24, 26**) interne Kanäle (**24**) innerhalb des Zwischenraumelementes (**18**) sind.
4. Welle nach Anspruch 1, welche eine Gasturbinentriebwerks-Ausgangswelle (**10**) ist, die ferner einen inneren Mantel (**16**) auf Titanbasis mit einer rohrartigen Form aufweist;  
wobei das Zwischenraumelement (**18**) ein Zwischenraumelement auf Titanbasis ist, das den inneren Mantel (**16**) umschreibt und damit verbunden ist, wobei das Zwischenraumelement (**18**) ein ringförmig gestaltetes Muster der Hohlräume (**24, 26**) aufweist; wobei jedes von den Faserbündeln (**20**) innerhalb eines Einschlusmantels (**22**) auf Titanbasis eingeschlossen ist; und  
einen äußeren Abschnitt (**12**) auf Titanbasis und das Zwischenraumelement (**18**), das die Faserbündel (**14**) in dem Zwischenraumelement (**18**) einschließt; und  
eine Verlängerung (**30**), die an einem Ende der Welle (**10**) angebracht ist; und  
wobei der innere Mantel (**16**), das Zwischenraumelement (**18**), die Einschlussmäntel (**22**), der äußere Abschnitt (**12, 18**) und die Verlängerung (**30**) eine die Verstärkungsfasern (**20**) umgebende Metallmatrix definieren.
5. Gasturbinentriebwerks-Ausgangswelle (**10**) nach Anspruch 4, wobei der äußere Abschnitt (**12, 18**) ein integrierter Abschnitt des Zwischenraumelementes (**18**) ist, und die Hohlräume (**24, 26**) interne Kanäle (**24**) unterhalb der radial äußeren Oberfläche des Zwischenraumelementes (**16**) sind.

6. Gasturbinentreibwerks-Ausgangswelle (10) nach Anspruch 4, wobei die Hohlräume (24, 26) äußere Schlitze (26) in der radial äußeren Oberfläche des Zwischenraumelementes (18) sind, wobei der äußere Abschnitt (12, 18) ein rohrförmig gestalteter äußerer Mantel (12) ist, der das Zwischenraumelement (18) umschreibt und damit verbunden ist, und der äußere Mantel (12) mit den einschließenden Mänteln (22) der Faserbündel (14) verbunden ist.

7. Verfahren zur Herstellung einer Welle (10), wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

Ausbilden eines Zwischenraumelementes (18) mit sich in Längsrichtung erstreckenden Hohlräumen (24, 26), die an eine Oberfläche davon angrenzen; Ausbilden mehrerer Faserbündel (14), wobei jedes Faserbündel (14) mehrere Verstärkungsfasern (20) aufweist, die mit einem Einschlussmantel auf Titanbasis (22) eingeschlossen sind; Einführen der Faserbündel (14) in die Hohlräume (24, 26) des Zwischenraumelementes (18); und dann Verbinden des Zwischenraumelementes (18) mit den Faserbündeln (14) so, dass die Faserbündel (14) in dem Zwischenraumelement (18) eingeschlossen sind und das Zwischenraumelement (18) eine Metallmatrix definiert, die die Faserbündel (14) umgibt und damit verbunden ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Hohlräume (24, 26) in dem Zwischenraumelement (18) so ausgebildet werden, dass sie in einem ringförmig gestalteten Muster innerhalb eines diametralen Querschnittes des Zwischenraumelementes (18) angeordnet sind.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Hohlräume (24, 26) als interne Kanäle (24) innerhalb des Zwischenraumelementes (18) ausgebildet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Welle eine Gasturbinentreibwerks-Ausgangswelle ist, und das ferner die Schritte aufweist:

Ausbilden eines inneren Mantels (16) auf Titanbasis mit einer rohrartigen Form, wobei das Zwischenraumelement (18) ein Zwischenraumelement (18) auf Titanbasis ist, das ein ringförmig gestaltetes Muster von sich in Längsrichtung erstreckenden Hohlräumen (24, 26) in der Nähe einer radial äußeren Oberfläche des Zwischenraumelementes aufweist; Ausbilden eines äußeren Mantels (12) auf Titanbasis um das Zwischenraumelement herum; Ausbilden einer Verlängerung (30); und Platzieren des inneren Mantels (16), des Zwischenraumelementes (18), des äußeren Mantels (12) und der Verlängerung (30) in einer Form so, dass das Zwischenraumelement (18) den inneren Mantel (16) umschreibt und der äußere Mantel (12) das Zwischenraumelement (18) umschreibt und um den Umfang herum die Hohlräume (24, 26) einschließt; und

dann

Verbinden des inneren Mantels (16), des Zwischenraumelementes (18), des äußeren Mantels (12) und der Verlängerung (30) so, dass die Faserbündel (14) zwischen dem Zwischenraumelement (18) und dem äußeren Mantel (12) eingeschlossen werden, und so, dass der innere Mantel (16), das Zwischenraumelement (18), die einschließenden Mäntel (22), der äußere Mantel (12) und die Verlängerung (30) eine Metallmatrix definieren, die die Verstärkungsfasern (20) umgibt und mit diesen verbunden ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

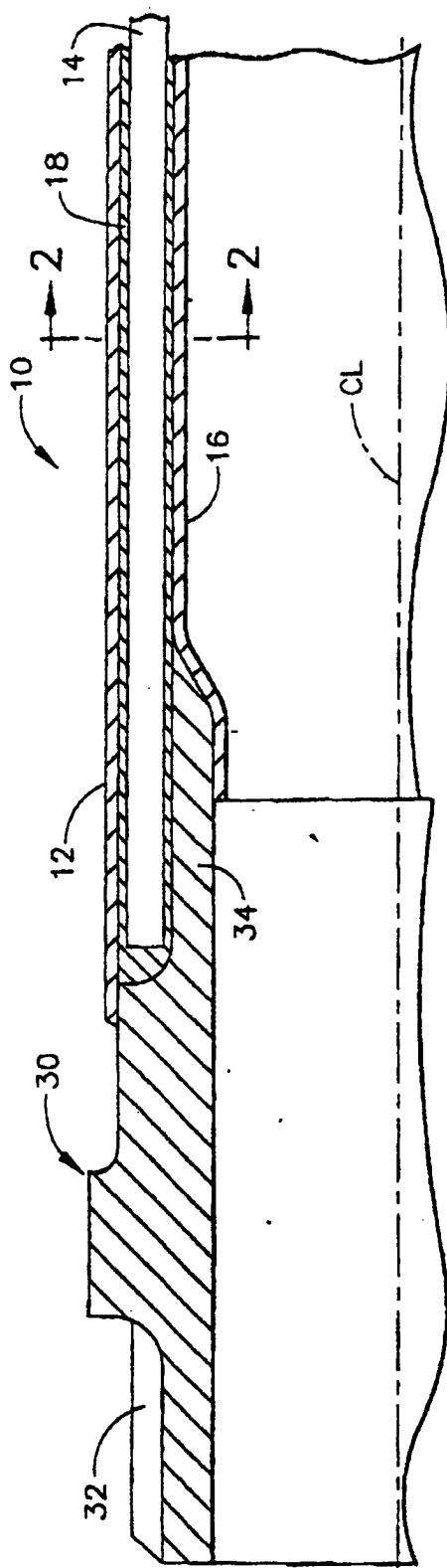


FIG. 1

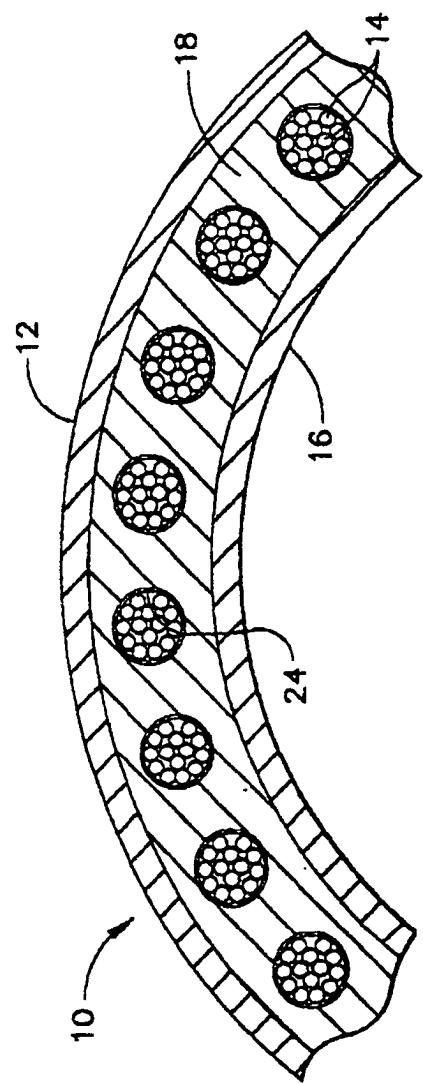


FIG. 2

