



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **314101**

(13) B1

(51) Int Cl<sup>7</sup>

F 16 L 11/08

## Patentstyret

(21) Søknadsnr	19923565	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	1991.03.12, PCT/US91/01651
(22) Inng. dag	1992.09.14	(85) Videreføringsdag	1992.09.14
(24) Løpedag	1991.03.12	(30) Prioritet	1990.03.15, US, 495010
(41) Alm. tilg.	1992.09.14		
(45) Meddelt dato	2003.01.27		

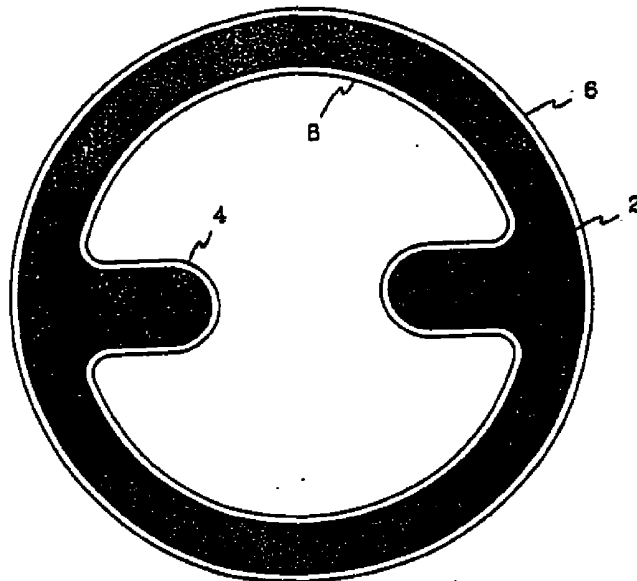
(71) Patenthaver	Fiber Spar and Tube Corp, 2380 Cranberry Highway, West Wareham, MA 02576, US
(72) Oppfinner	Jerry G. Williams, Ponca City, OK, US Mark W. Hopkins, Newark, DE, US
(74) Fullmektig	Bryn Aarflot AS, 0104 Oslo

(54) Benevnelse **Komposittrørdel**

(56) Anførte publikasjoner NO 176529

(57) Sammendrag

En komposittrørdel som har en ytre sylindrerformet del (6) inneholdende fibrer orientert for å motstå internt trykk og å gi lav bøyestivhet, og to indre mindre kjernedeler (4) som er plassert nær komposittrørets nøytrale akse, inneholdende fibrer som er orientert for å gi stor aksial stivhet, stor strekkstyrke og lav bøyestivhet, og fibrer som er orientert for å motstå skjærespenninger, plassert overfor hverandre og nær de indre vegger (8) i den ytre sylindrerformede del.



Foreliggende oppfinnelse angår en komposittrør del omfattende en ytre sylindrisk komposittdel som inneholder fibre orientert ved  $\pm 40^\circ$  til  $\pm 70^\circ$  til aksen av den rørformede delen for å motstå innvendig trykk og tilveiebringe lav bøyningstivhet.

5                   Viklede stålrør har flere anvendelser ved drift av oljebrønner. Det blir for eksempel brukt til å føre vaierkabler ned i borehullet med verktøy, så som loggeverktøy og perforeringsverktøy. Slike rør blir også brukt under overhaling av brønner, for å levere forskjellige kjemikalier og å utføre andre funksjoner.

10                   Viklede stålrør kan vikles på grunn av at stålet som brukes i produktet har høy duktilitet (dvs. evnen til å deformeres plastisk uten å feile).

Viklingsoperasjonen blir vanligvis utført mens røret er under høyt internt trykk som innfører kombinerte belastningseffekter. Dessverre vil gjentatt vikling og bruk forårsake utmattingskade, og det viklede stålrør kan plutselig sprekke og feile. Faren med operasjonen, samt høye personellkostnader og økonomiske kostnader for feil i form av stopptid ved fiskeoperasjoner, fremtvinger kassering av produktet etter forholdsvis få turer ned i en brønn. Tverrsnittet til stålrør utvides under gjentatt bruk, hvilket forårsaker redusert veggtykkelse og resulterer i lavere trykkbestandighet og høyere bøyningsspåkjenninger.

20                   Det er ønsket å frembringe et ikke-stålrør som kan vikles og som ikke lider under de samme mangler som stålrør.

US 3 554 284 (Nystrom) beskriver bruken av en loggekabel i hvilken to indre lag av fibrer er viklet ved  $\pm 18^\circ$ , og to ytre lag er viklet ved  $\pm 35^\circ$ .

US 4 255 820 (Rothermel m.fl.) viser et protetisk ligament utformet med en tett vevet sylindrisk kjerne som gir aksial stivhet til protesen.

25                   US 4 530 379 (Policelli) viser et komposittfiberrør med overgang til en metallkoping. Fibrene kan være grafitt, karbon, aramid eller glass. Disse fibrene er i en utførelse lagt alternativt i  $\pm 15^\circ$  orientering med lengdeaksen. I utførelsen på figur 4 er "et bredere valg av aksiale vinkler for filamentene i lagene" tillatt. Videre "denne utførelse kan benyttes i et transportrør for et fluidum, med bøyningbelastninger i tillegg til innvendige trykkbelastninger i strukturelle deler som har krav til bøyning og aksial stivhet". Policelli foreslår at fibervinklene kan velges i et område mellom  $5^\circ$  og  $75^\circ$  målt fra aksen.

US 4 556 340 (Morton) viser bruken av en ekstern montert strimmel på et fleksibelt rør. Strimmelen kan være av hvilket som helst materiale med stor aksial stivhet i strekk, og lav aksial stivhet i kompresjon. Strimmelen frembringer "forsterket bøyning" (eller foretrukket bøyningssakse).

5 US 4 728 224 (Salama) viser en komposittfortøyningspennstang på atskilte lag av karbonfibrer og aramidfibrer, hvor fibre er aksiale eller i en spiralvikling med lav vinkel. Et lag av fibrer med 90° vikling kan være anordnet som en utvendig kappe.

Den foreliggende oppfinnelse er kjennetegnet ved at den videre omfatter: to mindre innvendige komposittdeler med generelt sinusbølgeutforming  
10 lokalisert nær akselen til komposittdelen posisjonert ved deres fundamentertilstøtende diametralt motstående innvendige vegger til komposittrørdelen, de indre delene innbefatter fibre orientert ved vesentlig 0° til akselen av komposittrørdelen for å tilveiebringe høy aksial stivhet og strekkstyrke til den ytre komposittdelen og  
15 posisjonert for å tilveiebringe lav bøyningssivhet og fibre tverrlagt og orientert ved ±40° til ±60° til akselen av komposittrørdelen for å motstå skjærspenning.

Således, ved hjelp av oppfinnelsen, er det frembrakt et komposittrør for bruk i brønnlogging og overhalingsoperasjoner i oljebrønner. Røret kan fortrinnsvis vikles.

20 Visse utførelser av oppfinnelsen vil nå beskrives, kun ved hjelp av eksempel, med referanse til de vedføyde tegningene:

Fig. 1 er et skjematisk tverrsnittriss av et komposittrør som inneholder motsatt baserte innvendige deler.

Fig. 2 er en grafisk fremstilling som viser en reduksjon i forhold til strekk som en funksjon av en økning i krysslagsvinkelen for et laminat laget av grafittfiber med stor styrke.

Fig. 3 er et skjematisk tverrsnittriss av et komposittrør som viser en innvendig anordning av fibre med forskjellig vinkling.

Fig. 4, 5 og 6 er skjematiske tverrsnittriss av de indre deler av et komposittrør og viser alternative innvendige anordninger av fiberne.

30 Komposittfibrer (grafitt, Kevlar, fiberglass, bor osv.) har tallrike aktiva, omfattende stor styrke, stor stivhet, lett vekt osv. Arbeidslinjen for komposittfibrene er imidlertid lineær til brudd, og fibre er derfor ikke duktile. Viklede komposittrør

må derfor nærme seg strekkbegrensningene på en annen måte, dvs. ved å frembringe en konstruksjon som møter kravene med nær elastisk respons. Slike komposittkonstruksjoner må ha høy motstand mot bøyepenninger og innvendige trykk. De må også ha stor aksial stivhet, stor strekkstyrke, og kunne motstå skjærespenninger. Alle disse egenskapene er kombinert i komposittrørdelen ifølge den foreliggende oppfinnelse, for å frembringe et viklet rør som kan bøyes til en radius som er kompatibel med en spole av rimelig størrelse.

Oppfinnelsen kan best beskrives med henvisning til tegningene. Figur 1 viser et tverrsnitt av en komposittrørdel som er laget av en komposittsylinderdel 2 og to kompositte indre deler 4. Komposittsylinderdelen 2 inneholder fibrer som er krysset og orientert ved  $\pm 55^\circ$  til rørdelens akse.  $\pm$  betegner motsatt orientering av fibre med de grader som er indikert. Denne orientering av fibre er den optimale for å oppnå høy strukturell effektivitet for den ytre sylindriske del 2 når denne del utsettes for bøyning og er under intern trykkbelastning. Den ytre sylindriske del 2 vil vanligvis inneholde fra omkring 5 til omkring 10% fibrer som er orientert ved omkring  $90^\circ$ , dvs. tilnærmet perpendikulær med rørets akse. Inkludering av  $90^\circ$  fibrer senker Poisson-tallet for komposittrørdelen mot 0,5, og øker evnen til å tåle skjærestress i en slik del.

De motsatte innvendige komposittdeler 4 inneholder fibrer som er orientert ved  $0^\circ$  til rørets akse, for å møte kravene til stor aksial stivhet, stor strekkstyrke og lav bøyestivhet. Aksial belastning og varmeutvidelse kan forårsaker sprekker i delene 4, og derfor er det ønskelig å utstyre disse delene med noen fibrer som er krysset og orientert ved  $\pm 45^\circ$  til rørets akse, for å øke motstanden mot delaminering. Det  $45^\circ$  orienterte materiale som er motstandskraftig mot skjærbelastning kan anordnes enten i form av innretnings- eller vevet stoff eller flettet materiale, og er vanligvis til stede i indre kjernedeler 4 i en mengde på mellom omkring 5-25%.

De innvendige kjernedeler 4 danner fremspring på innsiden av røret 2, generelt utformet som sinusbølger, som vist på figur 1. For å redusere påkjenningene i det  $0^\circ$  orienterte materiale under bøyning av røret 2, er det ønskelig å ha dette materiale nær akselen til det minste treghetsmoment for rørdelens tverrsnitt. Dette gjøres ved å plassere de indre kjernedeler 4 slik at  $0^\circ$  materialet blir konsentrert i diametralt motsatte sider av rørdelen, i den viste sinusbølgeform, hvor

amplituden til sinusbølgeformen er omkring 0,5 til 3 ganger basen for denne utforming. God styrke i skjæring og transversalt strekk for det 0° orienterte materiale ved feste til komposittsylinderen 2, kan oppnås ved å innkapsle det 0° orienterte materiale med  $\pm 45^\circ$  kryssset materiale, og ved å feste det  $\pm 45^\circ$  orienterte materiale til den ytre sylinderformede komposittdel.

Fibrene i den ytre sylinderformede del og de indre kjernedeler blir holdt sammen med et plastmateriale så som vinylester, epoksy, eller et termoplastmateriale.

Økonomisk strukturell skadetoleranse og produksjonshensyn kan gjøre det fordelaktig å bruke fibrer av forskjellige materialer og forskjellige resiner for de to komponenter i komposittrøret. For eksempel kan kravene til stor stivhet og stor styrke i de indre kjernedeler best møtes ved å bruke 0° grafittfibrer. På den annen side, kan lavere kostnader og høyere strekk før brudd for glassfibre, gjøre fiberglass til det valgte materiale for den ytre sylinderformede del. Andre fibrer som også kan brukes er keramikkfibrer, polymerfibrer, for eksempel av Kevlar-polymer som er et produkt av Du Pont Company, og av Exten-polymer som er et produkt av The Goodyear Corporation. De nevnte bindematerialer av plast, blant annet, kan brukes til fremstilling av komponentene i komposittrøret av disse materialer.

Størrelsen for de forskjellige komponenter i komposittrørdelen vil avhenge av delens størrelse. Hvis komposittrørdelen skal brukes som viklet rør, vil den vanligvis ikke ha en diameter på mer enn omkring 50 mm. Den utvendige sylinderformede komposittdel i et viklet rør vil ha en tykkelse på mellom 3,8 og 10 mm. De innvendige kjernedeler i et slikt viklet rør vil ha en amplitude på mellom 6,35 og 380 mm, og en base på mellom 12,7 og 127 mm.

Det henvises igjen til figur 1. Det kan være ønskelig å føre det indre av komposittrørdelen med et abrasjons- og kjemikaliebestandig materiale 8 for å frembringe et trykkammer. Materialer så som Teflon, Kevlar, nylon, Rilsan som blir solgt av ATO Chem, Hytrel som blir solgt av Du Pont eller Kevlar-fritte kan brukes for dette formål.

Ved bruk kan komposittrørdelen knekkes, og ved knekkpunktet utøve en kraft i rett vinkel med veggene i føringsrøret eller det åpne hull. Denne kraften vil skape friksjon når den rørformede del beveger seg nedover i borehullet. Det ytre av komposittdelen kan være dekket med et beskyttende, abrasjonsbestandig belegg 6

for å motvirke slik slitasje og friksjon. Her kan igjen slike materialer som Kevlar, Teflon, nylon, Rilsan, Hytrel eller Kevlar-fritte brukes til å danne dette beskyttelsesbelegg.

Den aksiale strekkpåkjenning i de kryssende fiberlag i den ytre sylindriske del av komposittrøret på grunn av bending, er betydelig lavere enn den ville bli for liknende plasserte  $0^\circ$  orienterte fibrer. Typisk reduksjon i forholdet mellom fiberstrekk og påtrykt aksialt strekk for et krysslagslaminat, presentert som en funksjon av krysslagsvinkelen, er presentert i den grafiske fremstilling på figur 2, ved bruk av representative egenskaper for grafittfiber med stor styrke. Det skal bemerkes, at for vinkler som er større enn omkring  $\pm 25^\circ$ , er fiberstrekket mindre enn halvparten av det aksiale strekk som påtrykkes laminatet, og reduseres raskt for større vinkler. Orientering av fibrene i den ytre sylindriske del på den måte som er beskrevet her, optimaliserer komposittrørets evne til å bære belastningene og minimalisere strekket i fibrene på grunn av bøyning. Minimalisering av bøyingsstrekket i fibrene tillater større diameter for den ytre sylindriske del av komposittrøret enn det ellers ville være mulig for en gitt spolestørrelse. Omvendt, ved komposittrør med en gitt diameter, tilpasset på denne måte, kan tvinnes på en spole med mindre diameter. Den sylindriske form av komposittrørdelen er også egnet for innføring av slike deler i en brønn med den beltedrevne mekanisme som normalt brukes til å føre rørene ned i borehullet. Utformingen av komposittrøret ifølge oppfinnelsen skaper et største og et minste treghetsmoment, og tvinger en foretrukket bøyingsretning. Dette vil si at den tvinger komposittrøret til å vikle seg rundt en spole ved bøyning rundt det minste treghetsmoment. Nede i borehullet vil knekkemønsteret være en blandet modus som har en periode forbundet med det minste treghetsmoment, og en lengre modus med mindre kurvatur forbundet med det største treghetsmoment. Fordelen med denne konfigurasjon er at materialer med stor stivhet og stor styrke kan plasseres i den indre kjerne i komposittrøret, uten vesentlig økning i tilhørende bøyingsstrekk eller ofring av kurven med minste radius som er tillatt for vikling.

På figur 5, 6 og 7 indikerer de brutte linjer inne i rørene orienteringen av fibrer i et lag i røret. De prikkede linjer indikerer fibrer som er orientert tilnærmet  $0^\circ$  med rørets akse. Linjer som er utformet med vekselvis prikker og streker indikerer fibrer som er orientert tilnærmet  $\pm 40^\circ$  til  $\pm 60^\circ$  med rørets akse. Linjer som

består av lange streker atskilt med to kortere streker indikerer fibrer som er orientert omkring  $\pm 40^\circ$  til  $\pm 70^\circ$  med rørets akse. Endelig vil en linje av bare streker indikere fibrer som er orientert omkring  $90^\circ$  med rørets akse. Figur 3 illustrerer den innvendige anordning av fibre for et komposittrør så som det som er vist på figur 1. På figur 3 er vinklingen av de forskjellige fibrer i komposittrøret representert ved enkle linjer som vist i tegnforklaringen. Hver linje representerer et antall fibertykkelser eller et antall fiberlag. På figur 3, betegner tallet 16 det ytre abrasjonsbelegg, og 18 betegner den innvendige abrasjons- og kjemikaliebestandige fôring for komposittrøret. Som vist på tegningen, er komposittrørets indre kjerner laget av  $0^\circ$  orientert materiale og  $\pm 45^\circ$  krysslågt materiale. De krysslågte fibrer finnes vanligvis i et enretnings- eller vevet stoff som kan strekke seg fra kjernedelene for å forbinde dem med den ytre sylindformede del av komposittrøret som vist. For strukturell kontinuitet og tetning, vil i det minste en del av det  $\pm 45^\circ$  vevde materiale fortsette rundt den indre del av det ytre sylindformede rør. De  $0^\circ$  orienterte fibre kan også leveres i form av en duk eller et stoff, men dette materiale blir vanligvis levert som bunter av fibrer. Som påpekt tidligere, inneholder den ytre sylindriske del primært  $\pm 55^\circ$  krysslågte fibrer med en liten mengde av  $\pm 90^\circ$  orienterte fibrer. Som nevnt tidligere er fibre i komposittrøret holdt sammen eller laminert med et passende plast-bindemateriale som ikke er vist på tegningen.

Figur 4, 5 og 6 viser forskjellige innvendige anordninger av fibre i komposittrørets indre kjerner. På figur 4 er de  $0^\circ$  orienterte og de  $\pm 45^\circ$  orienterte fibrer begge vist i en generelt elliptisk form. På figur 5 er de  $0^\circ$  orienterte fibrer konsentrert i det indre område av kjernen, som betegnet med 20. På figur 6 er både de  $0^\circ$  orienterte fibrer og de  $\pm 45^\circ$  orienterte fibrer anordnet i en lineær konfigurasjon som er parallell med aksene til det minste treghetsmoment for komposittrøret. I hver av de anordninger som er vist på figur 4, 5 og 6, er både den sinusbølgeformede del og basedelen av kjernene omgitt av  $\pm 45^\circ$  orienterte fibrer som fortsetter helt rundt kjernedelen og til den indre overflate i det ytre sylindformede komposittrør, for å motvirke skjærspenninger og delaminering.

De  $\pm 45^\circ$  orienterte fibrer som brukes i de indre kjernedeler er delvis i den foretrukne orientering, men de ligger innenfor oppfinnelsens omfang å bruke fibre som er orientert fra  $\pm 40^\circ$  til  $\pm 60^\circ$  i kjernedelene. I tillegg, skjønt en  $\pm 55^\circ$

orientering av fibre er foretrukket for bruk i det ytre sylinderveggen for de samme konstruksjonsbehov, kan fibrer med en orientering fra  $\pm 40^\circ$  til  $\pm 70^\circ$  brukes uten å avvike fra oppfinnelsens omfang. Fibersekvensen eller stablingsfrekvensen for de  $\pm 55^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  og  $\pm 45^\circ$  fiberorienteringer som vist på tegningene er bare

5 representative, og kan varieres for å møte spesielle konstruksjonskrav.

I tillegg til bruk i brønnlogging og brønnoverhaling, kan komposittrøret ifølge oppfinnelsen brukes i undersjøiske hydrauliske linjer eller som et produksjonsrør i hvilket lange seksjoner av rør blir viklet og ført ned i borehullet for permanent produksjon. Produksjonsrør har normalt større diameter enn det som er

10 nødvendig for vikle rør, og kan bli for store til å bøyes rundt en spole med praktisk diameter. Hvis rørdiameteren blir for stor for vikling, er det mulig å fremstille komposittrøret på stedet, på land eller på sjøen. Store spolestørrelser er praktiske for bruk til sjøs, hvor komposittrørene kan fremstilles nær en havn.

En annen fordel med å bruke viklede komposittrør kan bemerkes. Med

15 viklede komposittrør, er deformasjonene elastiske, og den lagrede energi kan brukes konstruktivt til å hjelpe med å frigjøre røret fra en fastkilt stilling eller en høy friksjonsbinding. Trykket i røret kan pulseres for å frembringe den ønskede funksjon. Skjønt denne teknikk også kan brukes for viklede stålrør så vel som komposittrør, vil den store stivhet i stålrør sammenliknet med den mindre stivhet i rørdelene ifølge

20 denne oppfinnelse, begrense mengden av lokale forskyvninger forbundet med trykkpulsing av stålrør i sammenlikning med de forskyvninger som oppnås ved bruk av komposittrør. Aktiverting av en pakning i røret nede i borehullet tillater trykkpulsing av komposittrøret med lavere trykk både inne i og utenfor røret. Trykkpulsing kan også hjelpe til å frigjøre et viklet komposittrør som er fastkilt i borehullet.

25 Ved forming av komposittstrukturer, kan flere velkjente teknikker brukes, så som pultrusjon, filamentvinding og støping. I pultrusjon blir filamenter eller fibrer trukket gjennom et resinimpregneringsapparat, og deretter gjennom former for å gi den ønskede form, eller alternativt kan resin injiseres inne i formen. Varmeformings- og herdeinnretninger er anordnet sammen med formene. Til slutt

30 kan det ønskede produkt som blir kontinuerlig produsert, vikles rundt en snelle eller spole. Som et eksempel, er pultrusjon brukt i US 4 416 329 for å fremstille en båndstruktur inneholdende bunter av grafittfibrer mettet med termoplastisk resin. Overflatene på båndet er dekket med lag av vevet materiale, så som glassfiberstoff.



Hjørnene på båndet er laget av Kevlar eller glass. US 4 452 314 bruker pultrusjon til å forme buede seksjoner bestående glassfilamenter eller andre forsterkermaterialer anbrakt i en varmeherdende resin. De buede seksjoner blir kombinert for å danne en sugestang.

5                   Komposittrørdelene ifølge den foreliggende oppfinnelse kan fremstilles ved bruk av enten konvensjonell pultrusjon eller trekkvindingsutstyr eller pultrusjon i kombinasjon med fletting eller filamentvinding. I én fremgangsmåte blir det 0° orienterte materiale pultrudert på forhånd og ført inn i en likt formet fordypning i en pultrusjonsform, og senere pultrudert sammen med krysslagsmaterialet. Pultrusjon  
10 kan brukes til å lage enten kontinuerlige eller diskrete lengder av komposittrørdeler. I trekkvindingsprosessen, blir det 0° orienterte materiale enten matet inn i prosessen som en prefabrikkert stang, eller matet inn i enheten som et forpreget bånd eller vått utlegg. Krysslagsmaterialene blir så viklet på røret, og enheten blir trukket gjennom en form for integrert herding. Pultrusjonsprosessen kan benytte materialer som er  
15 fremstilt ved veving eller fletting av fibre. Vevete eller flettede materialer kan fremstilles som mateemner, eller kan fabrikeres i linjen som en del av pultrusjonsoperasjonen.

Når komposittrørdelene er fremstilt ved pultrusjon, kan det være ønskelig å legge til en del 0° orientert fiber til den ytre sylindriske del, opp til omkring  
20 10 %, for å hjelpe til i fremstillingsprosessen.

Selv om visse utførelser og detaljer er vist for å illustrere den foreliggende oppfinnelse, vil fagfolk i denne teknikken forstå at forskjellige endringer og modifikasjoner kan utføres uten å avvike fra oppfinnelsens ånd eller omfang.

**PATENTKRAV**

1. Komposittrørdel omfattende:  
en ytre sylindrisk komposittdel (2) som inneholder fibre orientert ved  $\pm 40^\circ$  til  
5  $\pm 70^\circ$  til aksene av den rørformede delen for å motstå innvendig trykk og tilveiebringe  
lav bøyingsstivhet, karakterisert ved at den videre omfatter:  
to mindre innvendige komposittdeler (4) med generelt sinusbølgeutforming  
lokalisert nær aksene til komposittdelen posisjonert ved deres fundament  
tilstøtende diametralt motstående innvendige vegger til komposittrørdelen, de indre  
10 delene innbefatter fibre orientert ved vesentlig  $0^\circ$  til aksene av komposittrørdelen for å  
tilveiebringe høy aksial stivhet og strekkstyrke til den ytre komposittdelen og  
posisjonert for å tilveiebringe lav bøyingsstivhet og fibre tverrlagt og orientert ved  
 $\pm 40^\circ$  til  $\pm 60^\circ$  til aksene av komposittrørdelen for å motstå skjærspenning.
  
- 15 2. Komposittrørdel ifølge krav 1,  
karakterisert ved at amplituden til de sinusbølgeutformede indre  
delene (4) varierer fra 0,5 til 3,0 ganger basisen av slike deler.
  
3. Komposittrørdel ifølge krav 2,  
20 karakterisert ved at de indre delene (4) omfatter en mindre mengde av  
fibre orientert ved  $\pm 40^\circ$  til  $\pm 60^\circ$  til aksene av komposittrørdelen enn til fiberne  
orientert ved vesentlig  $0^\circ$  til komposittrørdelen.
  
4. Komposittrørdel til ethvert av de foregående krav,  
25 karakterisert ved at komposittdelene (4) med generelt  
sinusbølgeutforming er likt dimensjonert.
  
5. Komposittrør ifølge ethvert av de foregående krav,  
karakterisert ved at indre (4) og ytre deler (2) er anordnet for å  
30 skape et mindre treghetsmoment for bøyning som forløper diametralt gjennom  
nevnte indre deler (4).

6. Komposittdel ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at de indre delene (4) danner et mindre treghetsmoment for bøyning som forløper diametralt gjennom de indre delene og et hovedtreghetsmoment for bøyning generelt ortogonal til det mindre treghetsmomentet, fiberne til de indre delene er anordnet, slik at 5 komposittrørdelen har betydelig større bøyningstivhet omkring hovedaksen sammenlignet med bøyningstivheten omkring den mindre aksene og derved tilveiebringer en foretrukket bøyningstrening for komposittrørdelen når den spoles opp og spoles av.

10

7. Komposittrørdel ifølge ethvert av de foregående krav, karakterisert ved at de sinusbølgeutformede partier (4) er innkapslet med tverrlagsfibre orientert for å motstå skjærspenning og delaminering.

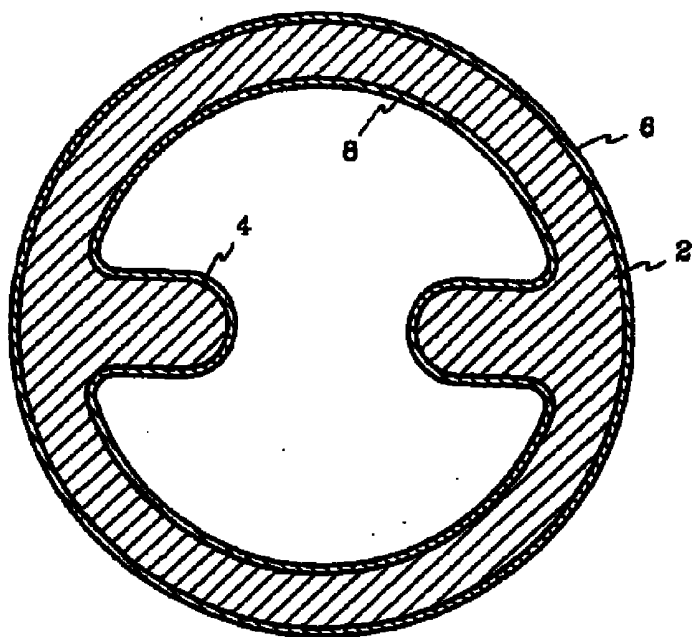


Fig. 1