



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 320665

(13) B1

(51) Int Cl.

B21D 15/10 (2006.01)

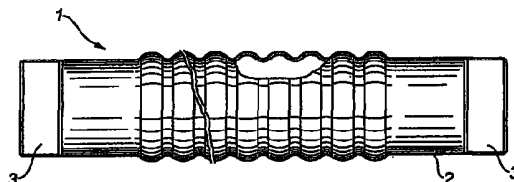
E21B 17/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20015331	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2000.05.04 PCT/CA00/00502
(22)	Inng.dag	2001.10.31	(85)	Videreføringsdag	2001.10.31
(24)	Løpedag	2000.05.04	(30)	Prioritet	1999.05.05, US, 132632
(41)	Alm.tilgj	2002.01.07			
(45)	Meddelt	2006.01.16			
(73)	Innehaver	Noctic Engineering Inc, P O Box 49036, Edmonton, AB T6E 6H4, CA			
(72)	Oppfinner	Maurice William Slack, 4628 Eleniak Raod, ABT6J5C1 EDMONTON, CA			
		Trent Michael Victor Kaiser, 10912 16th Avenue NorthWest, Edmonton, AB T6J 5G6, CA			
		Gerald Adrien Joseph Beaulac, Edmonton, AB, CA			
(74)	Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, Postboks 7007 Majorstua, 0306 OSLO, NO			

(54)	Benevnelse	Bølgeprofilert, tykkvegget rør for bruk i brønnboringer
(56)	Anførte publikasjoner	US 5026209
(57)	Sammendrag	

Et tykkvegget stålrør er bølgeprofilert med den hensikt å oppta aksielle belastninger når røret brukes i jordbaserte applikasjoner. Røret kan for eksempel brukes som foring i en syklisk dampstimuleringsbrønn, der de aksielle belastningene induseres når foringen varmes opp og nedkjøles.



Foreliggende oppfinnelse vedrører et bølgeprofilert rør i
rørstrenger for å føre fluider gjennom grunnen, for eksem-
pel som del av en nedgravd rørledning eller en brønnforing,
som angitt i innledningen av krav 1 og som kjent fra US
5 5026209.

Foreliggende oppfinnelse ble opprinnelig utviklet for å re-
ducere termisk induserte, aksielle belastninger i pro-
duksjonsforingsstrengen av en brønn utsatt for sykliske på-
virkninger av damp. Produksjonsforingsstrenger i slike
10 brønner er normalt sementert på plass og er derfor i stor
grad forhindret i å ekspandere eller trekke seg sammen
aksielt under oppvarmings- og nedkjølingssykluser. Denne
innesperrede termiske belastningen uttrykker seg som en
aksiell belastning som blir mer komprimerende under oppvar-
15 ming og mer strekkende under nedkjøling. Avhengig av
foringens termomekaniske materialegenskaper og størrelsen
av temperatursvingningene, vil den aksielle belastningen
kunne overstige rørets aksielle strekkgrense ved komprime-
ring under oppvarming eller spenning under nedkjøling.
20 Blant annet setter de høye belastningene betydelige krav
til den strukturelle og tettende kapasitet av rørfor-
bindelsene mellom foringsforbindelsene og reduserer betyde-
lig rørlegemets evne til å motstå sammenbrytning, bøyning og
skjærbelastninger som kan oppstå som følge av forskjellige
25 hydrauliske og geomekaniske faktorer. Forekomsten av lekka-
sje, oppsprekning og tilgangshindringssvikt er derfor rela-
tiv høy i forbindelse med foringer for termiske produk-
sjonsbrønner.

Industriens tilnærminger for å møte dette problemet har ty-
30 pisk omfattet det å forbedre styrken og lekkasje-
motstandsdyktigheten til forbindelsene ved å anvende mer
kompliserte utforminger, for eksempel ved å erstatte stan-
dard "8-round" eller sagtannsgjengede forbindelser med
førsteklasses forbindelser, eller ved å øke det anvendte
35 stålets godstykke. Disse tilnærmingsmåtene har en ten-
dens til å øke kostnadene og ikke betydelig redusere risi-

koen for oppspreknings- eller deformasjonsindusert svikt selv om de potensielt tilveiebringer betydelig bedre utsvingskontroll og en noe bedre strukturell ytelse.

Det er derfor behov for å adressere den primære årsaken til problemene, nemlig den store aksielle spenningen som indu-
5 seres ved den innesperrede termiske ekspansjon og sammen-
trekning. Oppfinnelsen søker å løse disse problemer med en
rørstreng som angitt i krav 1.

Mens termisk brønnutforming har vært den primære motivasjon
10 for den foreliggende oppfinnelsen, er den ikke begrenset
til denne applikasjon. Oppfinnelsen kan brukes i situasjo-
ner der det finnes belastningsintraksjoner mellom rør, den
omsluttende grunnen og innesperrende eller utestengte
trykkfluider, og der det ville være ønskelig å øke den
15 aksielle eller bøyende fjæringsevnen, minke den effektive
aksielle sviktbelastningen og øke kollapsmotstandsdyktig-
heten. En slik situasjon innebærer nedgravde rørledninger.
Her må aksial- og bøyespenninger som følge av interaksjonen
mellom røret og bakken absorberes uten tap av trykkintegri-
20 tet. Det vil være ønskelig å tilveiebringe rør av redusert
aksialstivhet og derfor også bøyestivhet, fordi disse egen-
skapene resulterer i lavere aksial- og bøyebelastninger enn
rette rør for samme temperaturvariasjoner og deformasjons-
størrelse.

25 Benevnelsen "streng av forbindelser" som brukt i dette
skrift er ment å omfatte et flertall metallrørforbindelser,
vanligvis av stål, som er forbundet med hverandre enten ved
hjelp av sveising eller gjengede forbindelser, og er ytter-
ligere ment å omfatte en sandbarriereforing dersom en slik
30 er del av strengen. Benevnelsen "tykkvegget rør" er ment å
bety høytrykksrør som egner seg som oljerørledninger, så
som foringer og høytrykksrørledninger, der røret har et
forhold mellom diameter og veggtykkelse ("D/t") på mindre
enn 100, fortrinnsvis mindre enn 50.

Benevnelsen "dannet" er ment å bety at en sylindrisk metallrørvegg er plastisk deformert ved valsing, hydroforming eller hydrofolding. Foreliggende oppfinnelsen anvender et velkjent mekanisk utformingskonsept, nemlig bølgeprofiler, for tykkveggede metallrør som skal brukes i jordbaserte applikasjoner, så som en forbindelsesstreng som brukes som foring i en brønn eller del av en rørledning. Bølgeprofilene er inkorporert for å oppta forandringer i aksiell belastning etter installasjonen. Oppfinnelsen innebærer nærmere bestemt å utforme i hvert fall en del av den tykkveggede rørsideveggen til en bølgeprofilert konfigurasjon. Bølgeprofilene er utformet slik at de har et forhold mellom bølgeprofilkrumningsradius og tykkelse (" R/t ") på mindre enn 10, fortrinnsvis mindre enn 5. Bølgeprofilsstegene har fortrinnsvis en maksimalvinkel lik eller større enn 20° med hensyn til rørakselen. Bølgeprofilene har mer fortrinnsvis fortynnede steg og flatgjorte topper. Rørets bølgeprofiler er fortrinnsvis dannet ved hydroforming, uten å endre dets opprinnelige lengde i noen særlig grad. Ved å velge geometrien som defineres av disse begrensningene, vil den aksielle fjæringsevne (dvs. redusert aksiell stivhet) balanseres med de diametriske begrensninger som oppstår i forbindelse med kostnaden ved å øke ringrommet som konsumeres i en brønnboring og materialspenningsskapasiteten.

I brede grunntrekk vedrører oppfinnelsen i én utførelse en streng av tykkveggede rørforbindelser som strekker seg gjennom og holdes i jordmaterialet, idet strengen utsettes for belastningsforandringer etter installasjonen, der sideveggene av i hvert fall én slik forbindelse omfatter bølgeprofiler langs i hvert fall en del av lengden, idet bølgeprofilene har et R/t -forhold på mindre enn 10. Fortrinnsvis dekkes én eller flere av de følgende betingelser:

- strengen brukes i en brønn og er utsatt for aksielle belastningsforandringer som følge av termisk ekspansjon eller sammentrekning (for eksempel der brønnen er invol-

vert i sykliske dampstimuleringer) eller fra jordbeve-
gelser;

- strengen danner en del av en nedgravd rørledning;
- R/t-forholdet er mindre enn 5;
- 5 • et antall bølgeprofilerte forbindelser er atskilt anord-
net langs strengen;
- bølgeprofilstrengene har en maksimalvinkel som er lik
eller større enn 20° i forhold til røraksen;
- veggtykkelsen av stegene av bølgeprofilene er tynnere
10 enn toppene;
- bølgeprofilene er dannet ved hydroforming, fortrinnsvis
mens lengden av forbindelsen holdes hovedsakelig kons-
tant.

I en annen utførelse vedrører oppfinnelsen et tykkvegget
15 stålrør som har gjengede ender, idet rørlegemet mellom en-
dene er hydroformet for å danne bølgeprofiler langs i hvert
fall en del av lengden, idet bølgeprofilene har et R/t-
forhold mindre enn 10. Ethvert av de tidligere nevnte fore-
trukne betingelser kan også innlemmes.

20 Til bedre forståelse av oppfinnelsen skal den beskrives
nærmere under henvisning til følgende tegninger:

Figur 1 er et delvis utskåret sideriss av en bølgeprofilert
foringsforbindelse med gjengede ender,

25 figur 2 er et skjematisk sideriss som viser en bølgeprofi-
lert foringsforbindelse som er innlemmet i en foringsstreng
som har en slisset foring, tilsvarende de som anvendes i en
termisk horisontalbrønn,

figur 3 er et sideriss som viser et arrangement av bølgeprofilerte forbindelser som er innlemmet i en slisset foring,

5 figur 4 er et sideriss, delvis i snitt, av en rettvegget rørforbindelse anordnet i et triaksialt planstrekkehydroformingsapparat før påføringen av formtrykket.

figur 5 tilsvarende figur 2 bortsett fra at forbindelsen er bølgeprofilert,

10 figur 6 er et langsgående sidesnittsriss av den bølgeprofilerte forbindelsen som er dannet ved planstrekkebetingelser, der tykkelsesvariasjonene er vist, og

figur 7 er et sideriss av en del av figur 6 som viser bølgeprofil og rørgeometriparametre.

15 Samtidig som foreliggende oppfinnelse benytter seg av fordelene av bølgeprofilerte, jordbaserte rør som brukes for rørlednings- og brønnforingsapplikasjoner, innebærer foreliggende oppfinnelse også en måte å forsyne metallrørmaterialer, som typisk anvendes for disse hensikter med en bølgeprofil. Det er derfor ønskelig å anviser en tilvirk-

20 nings- eller formingsprosess som gjør det mulig å danne egne bølgeprofilutforminger i veggen av standard forings- og høytrykksrørmateriale av mer eller mindre full standard forbindelseslengde. Slike rør har et D/t-forhold på mindre enn 100, fortrinnsvis mindre enn 50. Det var spesielt øns-

25 ket å finne frem til en prosess som er egnet for foringsrørbruk i brønnboringer, på en måte som tilveiebringer en geometri som gir fordelaktige spennings- og strekkegenskaper under installasjons- og operasjonsbelastninger innenfor et begrenset, rørformet rom.

30 Maskinbearbeiding og forming er to velkjente teknikker for å danne bølgeprofilerte geometrier i metallrør. Maskinbearbeiding tilveiebringer en måte å produsere bølgeprofilerte

geometrier av enhver ønsket utforming, men er vanskelig å implementere på de indre flatene av foringsintervallene som ligger innenfor et par diametere av rørendene. Denne tekniske vanskeligheten, kombinert med den relativt høye kostnaden ved maskinbearbeiding sammenlignet med forming, gjør forming eller folding, kombinert med bare ytre maskinbearbeiding, det foretrukne alternativet.

Eksisterende metoder for å danne bølgeprofilerte rør eller bølger av rette rør, kan generelt deles inn i valsing og hydroforming eller hydrofoldingsprosesser. Valsemetoder brukes på tynnveggede materialer som har mindre diameter enn det som anvendes for foringer eller høytrykksrørledninger. Mens andre variasjoner av valsing er anvendbare for større tykkelser, for eksempel der en indre spiralsporet spindel posisjoneres på innsiden av røret og ytre valser brukes for å deformere røret inn i spindelsporene, er ikke slike lokaliserte formemetoder like enkle som en mer global forming ved hjelp av hydroforming.

Det bør understrekes at forming av bølgeprofiler i spiral-sveisede rør ved å posisjonere bølgeprofilene i lekten før eller under sveiseprosessen gir en annen realistisk formingsprosess for høytrykkledninger av større diameter. Denne metoden kan selvfølgelig ikke anvendes for rør og er ikke egnet for rørledninger og foringer av mindre diameter.

Tilvirkningen av bølgeprofilerte rør eller belger for anvendelser så som rørekspansjonsforbindelser ved hydroforming eller hydrofolding, er velkjente teknikker. Som beskrevet i US patent 4193280: "I en prosess av denne typen starter operasjonen med en sjiktmetallhylse av en lengde større enn belgen som skal tilveiebringes, der lengden faktisk tilsvarende den utarbeidede lengden av sylinderelementene av belgene og av de deformerbare bølgeprofilene derimellom. En rekke egnede, atskilte ringer påføres den ytre veggen av hylsen som fortrinnsvis er forsynt med endeforbindelser, idet den så posisjoneres på den faste pressplaten av en

presse. Det indre av hylsen fylles med en væske som slippes ved en kontrollert hastighet og pressen opereres på en slik måte at den mobile pressplaten på en ende av sammenstillingen. Den delvis innesluttete væsken på innsiden av hylsen opparbeider et indre trykk og bevirker sammen med den aksielle belastningen til at metallet deformeres utover mellom formringene, slik at belgene omsider dannes."

Som beskrevet nevner denne teknikken ikke applikasjoner i forbindelse med foringer og høytrykksrørledninger som relativt sett har et mindre forhold mellom diameter og tykkelse (D/t) enn rørmaterialet som vanligvis anvendes, i ovennevnte skrift beskrevet som en "sjiktmetallhylse". Denne beskrivelsen viser dessuten at fremgangsmåten, så som den praktiseres nå, ikke angir det å skifte buelengde av det formede røret, idet den "utviklede lengden" forventes å være den samme som den intielle "sjiktmetall-hylselengden". Selv om fremgangsmåten muliggjør en direkte kontroll av bølgeprofilperioden ved en utvelgelse av ringavstandene og graden av aksieell komprimering, vil disse parametrene samtidig i stor grad styre amplituden. Det er små muligheter for ytterligere styring av bølgeprofilformen utover utformingen av innskrenkningsringene og den naturlige uinnskrenkede ringutbulning som oppstår mellom ringene. En styring av veggtykkelsesfordelingen er ikke angitt, noe som for eksempel er antydnet ved bruken av betegnelsen "hydrofolding" og den forventningen at "den utviklede lengden" forblir uforandret, noe som generelt ikke kan være tilfellet dersom tykkelsen skal varieres. For applikasjoner ved forings- og høytrykksrørledningsbølgeprofiler, er det imidlertid ønskelig å tilveiebringe bølgeprofiler uten dramatiske forandringer av den opprinnelige rørlengden for å mer uavhengig styre perioden og amplituden og for å styre aspekter ved de lokale bølgeprofilsgeometrivariabler, så som størrelse og tykkelse.

Før man vurderer hvordan den modifiserte hydroformingsprosessen ifølge foreliggende oppfinnelse kan brukes for å

overkomme disse vanskelighetene og begrensningene, samt tilveiebringe andre fordeler, er det ønskelig å se på forholdet mellom disse bølgeprofilsgemetrivariablene og bølgeprofilforingsytelsene. Det er dermed også ønskelig å se på hvordan bølgeprofilene som introduseres i foringsmaterialene, skiller seg fra den aksepterte forståelsen av bølgeprofilsgemetrier. Som en betegnelse som er alminnelig anerkjent i teknikken, er begrepet "rørbølgeprofil" generelt ment å beskrive en fold eller bølge i ellers sylindriske rørvegger. Slike bølgeprofiler går vanligvis fra topp til bølgedal, til topp til bølgedal osv. Langs hele eller ett parti av rørlengden og, selv når den er spiralformet, er stort sett omkretsene i orientering. Denne forståelsen impliserer også antagelsen at materialtykkelsen ikke varierer betydelig langs bølgen og at disse rørene kan behandles som skall for spenningsanalysehensikter. Slike bølgeprofiler eller belger kan behandles som skall, og utformings-egenskaper, så som spennings- og fortreningsrespons i forhold til belastninger, kan oppnås ved hjelp av standard løsningsmetoder, så som for eksempel angitt av W.C. Young: "Roark's Formulas for Stress and Strain", sjette bind, McGraw Hill Inc. 1989, s. 570. Slike behandlinger bryter imidlertid ned der forholdet mellom bølgeprofilkrumningsradius og tykkelse blir liten. I de angitte referansene skjer dette for R/t -forhold mindre enn 10.

Mens betegnelsen "bølgeprofil" i dette skrift anvendes for å uttrykke den generelle betydningen av den modifiserte foringsveggeometrien, som er ment å tilveiebringe fordelene ifølge foreliggende oppfinnelse, krever de særegne behovene for brønnforingsapplikasjonene bølgeprofilsgemetrier som i betydelig grad ligger utenfor forståelsen av bølgeprofiler som nå er vanlig i teknikken. For å tilveiebringe bølgeprofiler med en betydelig reduksjon av den aksielle fjæringsevne og elastisitetsgrense som behøves for de tiltenkte applikasjoner, er det generelt ønskelig å danne bølgeprofiler med en maksimal stegvinkel som er større enn omtrent 20° med hensyn til røraksen. For å holde seg innenfor

rimelige amplituder og for å ytterligere optimalisere spennings- og strekkfordelene ved å variere vekktykkelsen over bølgeprofilintervallet eller bølgelengden, innebærer dette et forhold mellom krumningsradius og tykkelsen som er betydelig mindre enn 10, fortrinnsvis mindre enn 5. Det er derfor nødvendig å betrakte bølgeprofilene som skal anvendes i forings- eller rørledningsveggene, som tykkveggede bølgeprofiler og man må forsøke å oppnå estimater for ytelsen ved å bestemme spennings- og strekkvariablene på grunnlag av dette. Som fagmannen vil forstå, er bølgeprofilamplituden begrenset innenfor den ringformede klaringen som tillates av både den ytre og indre innegrensede flater, henholdsvis typisk brønnboringsveggen og produksjonsrøret, i tillegg til andre forløpende og sementerte klaringer. Innenfor denne begrensningen må bølgeprofilgeometrien, som dannes for å oppnå den ønskede reduksjonen i aksiell stivhet, fremdeles gi tilstrekkelig styrke til å drive røret og kanskje motvirke frontlastede trykkbelastninger. Mens disse grunnleggende vilkårene oppfylles, er det ytterligere ønskelig å oppnå en geometri som danner en aksiell belastning som er betydelig mindre enn det som oppstår i sylindriske rør når de varmes opp, men uten å føre til store sykliske og deformerbare strekkbelastninger, en parameter som i stor grad bidrar til korrosjonsutmatningssvikt. For å oppnå en betydelig reduksjon i stivhet, bør vinkelen av rørveggpartiet som befinner seg mellom toppene og bølgedalene av bølgeprofilen, her kalt bølgeprofilsteget, økes betraktelig, typisk over 45° med hensyn til aksene. Dette gir et behov for relativt skarpe krumninger i topp- og bølgebunnområdene, for å unngå at amplitudene overstiger det tilgjengelige ringrommet. For forings- og høytrykksrør resulterer disse krumningene i R/t -forhold som ligger nærmere 1 enn 10, noe som plasserer slike bølgeprofiler langt bortenfor grensene av standard membran-elastningsanalyse. Spesielt ved topppartiene har dette en tendens til å resultere i betydelige bøyebelastnings- eller strekkkonsentrasjoner ved aksielle belastninger, dersom typiske toroidgeometrier anvendes. Det er derfor fordelaktig å tilveiebringe en geometri der top-

pene er noe utflatet, for dermed å fordele bøyebelastningene over et lengre intervall. Det er videre fordelaktig å tilveiebringe en geometri der veggens stegpartier er noe tynnere, for derved å tilveiebringe en ytterligere forbedret belastningsdistribusjon og lavere aksiell stivhet innenfor samme ringromsbegrensninger. Da veggens bøyestivhet er sterkt avhengig av tykkelsen (proposjonal med tykkelsen i tredje potens for elastiske deformasjoner), vil åpenbart små variasjoner i tykkelse ha en uforholdsmessig stor virkning på belastningsfordelingen.

Styring av slike geometribetraktninger som følge av bølgeprofilforingens tykkveggede karakter, er ikke generelt tatt hensyn til i de eksisterende hydroformingsprosesser. Som allerede angitt, har bølgeprofilene som dannes ved disse eksisterende prosessene stort sett konstant tykkelse, toroideformet ved toppene og bølgedalene og med en tynnvegget karakter. Benevnelsen "triaksial hydroforming" har derfor blitt anvendt i dette skrift for å beskrive den mer spesialiserte prosessen som behøves for å produsere foringer, som omfatter tykkveggede bølgeprofiler som er bedre egnet for jordbaserte rørutformingskrav. Denne prosessen krever typisk høyere trykk, bedre styring av de aksielle belastningene og er mer følsom for friksjonsforløpet mellom røret og den avgrensende formen enn hydrofolding, der en komprimerende belastning først og fremst anvendes for å bevirke til et internt trykksatt rør som bules ut mellom innsnevrende ringer.

Man har funnet at triaksial hydroforming som utføres under globale planstrekkingsforhold, der bølgeprofilene dannes ved påføring av et høyt indre fluidtrykk mens den totale rørlengden holdes konstant, tilveiebringer en bølgeprofilgeometri som er velegnet for termisk strekkabsorpsjon. I dette tilfellet er den aksielle kraften utstrekende under formingen, og den resulterende plastiske materialstrømningen som styres ved kontakt og friksjonsinduserte spenninger mellom røret og formen danner en fordelaktig

fortynning i stegområdet av bølgeprofilen under formingen av bølgeprofilsutbulingen under trykk.

Dette er bare én kombinasjon av aksiell belastning eller fortrenkning og trykk- eller fluidvolumstyring. Andre kombinasjoner ville ha vært mulige som for eksempel dersom
5 ingen aksiell belastning påførtes (planbelastning) og forming ble fullstendig oppnådd ved påføring av indre trykk som bevirker til at utbulinger ble dannet mellom ringer som vanligvis ble brukt til hydroforming. Slike varianter av
10 trykkaksial belastningsforholdet kan manipuleres for å danne geometrier som har egenskaper egnet for spesielle applikasjoner og som samtidig påvirker den totale rørlengden som følge av formingsprosessen. Det enkle ved den triaksiale planstrekkformingsprosessen som brukes for å tilveiebringe
15 denne bølgeprofilsgeometrien ifølge en foretrukket utførelse, er at den fører til moderate tilvirkningskostnader og setter små krav til ringromsdimensjonene. Den resulterende rørarkitektur er velegnet for bruk i brønner som anvender den sykliske dampstimuleringsproduksjonsmetoden, så vel som
20 andre applikasjoner som drar nytte av rør med redusert aksiell belastning og større strekkabsorbering for å forhindre ustabiliteten tilknyttet global plastisk deformasjon. Planstrekkbetingelsen innebærer den ytterligere fordel at den opprinnelige forbindelseslengden opprettholdes, noe som letter utskifting mellom bølgeprofilerte og
25 rette rør. Fra det foregående vil fagmannen forstå at de fundamentale triaksiale prosessvariabler ved en inneslutende utforming, aksiell belastning eller strekk, indre trykk og kontaktfriksjon, muliggjør tilvirkningen av en
30 rørbølgeprofil med betydelig kontroll over både bølgeprofilsamplituden som en funksjon av aksiell lengde samt tykkelsesfordelingen for å kontrollere spennings- og strekkresponsen for å dekke et stort spekter av designkrav for jordbaserte rørsystemer. Den bølgeprofilerte utformingen
35 som oppnås ved planstrekkhydroforming, tilveiebringer imidlertid en spesielt egnet bølgeprofilutforming for applika-

sjon i sykliske dampstimuleringsbrønnkompletterings-applikasjoner som angitt i den foretrukne utførelse.

Tilveiebringelsen av egnede bølgeprofiler i rørveggen utføres ved hjelp av en spesialisert hydroformingsprosess som gir mulighet for å danne aksielt føyelige bølgeprofilgeometrier uten betydelig, indre maskinbearbeiding, idet prosessen gir en kontroll av den aksielle lengden under hydroformingen og derfor er i stand til å styre lengdeforandringen av røret som dannes. Hydroformingsprosessen omfatter de trinn:

- å posisjonere en sylindrisk rørlengde på innsiden av en innelukket flate som omfatter elementer som er atskilt og utformet for å kontrollere forbindelsesgeometrien slik at den generelt har en bølgeprofil i midtpartiene og sylindriske endepartier, idet den befinner seg i et innesperrende rør som understøtter eller leder elementene som danner den innesperrende flaten og påfører et tilstrekkelig indre trykk til å tvinge rørveggen radielt utover mot den innesperrende flate mens den aksielle lengden av røret samtidig styres under og etter påføringen av det indre trykket, og dermed plastisk danner rørgjenstanden, idet den aksielle lengdestyringen fortrinnsvis er slik at den opprinnelige rørlengden hovedsakelig opprettholdes eller forblir uforandret,
- å fjerne den utformede, bølgeprofilerte rørforbindelsen fra formapparatet, idet fjerning kan lettes ved påføringen av et ytre trykk som er tilstrekkelig til å frigjøre gjenstanden fra den innesperrende flaten, og om nødvendig å ytterligere sluttbearbeide den utformede forbindelsen ved en ytre maskinbearbeiding av bølgeprofileringene for å ytterligere styre den endelige geometrien eller ved å maskinbearbeide de sylindriske endene for å sørge for en sammenføyning ved gjengede forbindelser, sveising eller andre sammenføyningsteknikker.

I den foretrukne utførelsen er det tilveiebrakt bølgeprofilerte forbindelser 1 som danner del av en streng av ikke-bølgeprofilerte rørforbindelser. Forbindelsen har en sidevegg 52 som omfatter et sentralt bølgeprofilert parti 55 og sylindriske, ikke-bølgeprofilerte endepartier 2. Endepartiene letter sammenføyningen, idet det anvendes standardiserte industrimetoder, så som sveising for rørledninger eller gjengede sammenføyninger for brønnforinger. En slik sammenføyning av bølgeprofilerte foringer er vist på figur 1 med gjengede innføringsender 3. Diameteren og veggtykkelsen av de sylindriske endepartiene 2 er valgt for å sikre kompatibilitet med standard industristørrelser. Den sylindriske endelengden velges typisk for å tillate inngripen med standardiserte forbindeleser og håndteringsutstyr. I visse tilfeller kan andre operasjons- eller kompletteringskrav, så som pakningsposisjonene, diktere lengre sylindriske intervaller ved endene eller ytterligere sylindriske seksjoner andre steder langs forbindelseslengden. Som vist på figur 1 tilsvarende bølgeprofilaldalene den minste indre rørdiameter slik at bølgeprofilamplituden har den virkning at den øker den effektive rørlegeme-diameter mens det forventes at denne konfigurasjonen er ønskelig for de fleste applikasjoner, kan en bølgeprofilaldal-diameter som er mindre enn den nominelle rørdiameteren også tilveiebringes.

Den triaksiale planstrekkhydroformingsprosessen som er foretrukket for å tilveiebringe en slik bølgeprofilert foringsgjenstand, krever et apparat 4 så som den som er vist på figur 2. I dette apparatet 4 er et innelukkende rør 5 tilveiebrakt med tettende, ringformede endelukninger 6 og en profilform 7. Formen 7 omfatter elementer som tilveiebringer sylindriske endepartier 8, og et bølgeprofilert senterparti som er tett tilpasset på innsiden av det innelukkede røret 5. Røret 5, endelukningene 6 og profilformen 7 omfatter til sammen en formbeholder 30. En formfluidtilgangsport 10 er tilveiebrakt i en ringformet endelukning 6. En spindel 11 med ytre endetetninger 12 og en formfluidtilgangsport 13 er også tilveiebrakt.

Det midtbølgeprofilerte parti 9 er konstruert av forskjellige asymmetriske ring- og hylseelementer 14 og 16 som vist på figurene 2 og 3. For å lette fjerning etter forming, er noen eller alle av disse elementene 14, 15 delt. Elementutformingene som omfatter formingsprofilen er valgt for å tilveiebringe en fordeling av tomrommet som rørmaterialet bevirkes til å fylle under påføringen av det indre trykket. Friksjonskrefter som aktiveres ved kontaktspenningen mellom den innelukkende flaten og foringsforbindelsen 16 bidrar også til å styre den plastiske deformasjonen under forming-
en. For et gitt rør vil den endelige bølgeprofilutformingen dermed styres av tomromsfordelingen, smøre- eller friksjonskoeffisienten i grensesnittområdet mellom foringsforbindelsen 16 og formen 7 og formingstrykket.

De sylindriske endepartiene 8 har en indre diameter som bare er noe større enn den ytre diameteren til foringsforbindelsen 16 som skal dannes for å tilveiebringe foringsforbindelsesendepartiene 2 av standard dimensjoner som er egnet for gjenging og håndtering. Endepartiene 8 trenger ikke deles for å tillate fjerning. Om ønskelig kan ring- og hylseelementene 14, 15 av midtbølgeprofilpartiet 9, så vel som de sylindriske endepartier 8, alle være utformet som en enkelt delt halvform. Denne konfigurasjonen av formen tillater en raskere montering og demontering der gjentakende forming er påkrevd.

Som vist på figur 4 er foringsforbindelsen 16 posisjonert på innsiden av formingsbeholderen 30 og spindelen 11 er posisjonert på innsiden av foringsforbindelsen. Spindelen 11 er forsynt med tetninger 32 for tetning mot den indre flate 31 av foringsforbindelsen 16 på to steder, typisk nær forbindelsesendene. Tetningene 32 er atskilt for å tilveiebringe et intervall av foringsforbindelsen på innsiden av formingsbeholderen 30 som på innsiden kan fylles med et fluid ved et trykk som bevirker til at foringsmaterialet plastisk ekspanderer utover. På tilsvarende måte er de ringformede endelukningene tilveiebrakt med tetninger 33

for å tette mellom det ytre av foringsforbindelsen og innelukningsrørendelukningene 6 med nesten samme aksielle posisjon som spindeltetningene 32 slik at foringsforbindelsene kan trykksettes over samme intervall.

- 5 Ved hjelp av dette arrangementet brukes apparatet 4 for å forme foringsforbindelsen 16 ved først å påføre et indre trykk som overstiger rørlegemeflytepunktet, for dermed å ekspandere foringsmaterialet utover mot den indre flaten 38 av det bølgeprofilerte partiet 9. Den indre profilformen av
- 10 formingsbeholderen 30 er tilveiebrakt for å styre formen av den ytre ekspansjonen av foringsmaterialet, slik at foringsmaterialet progressivt tvinges utover i kontakt med den profilerte flaten 38 etter hvert som det indre trykk økes, som vist på figur 3. Som vist på figur 5 reduseres
- 15 foringsforbindelseslengden ikke betydelig ved denne prosessen i forhold til typiske hydroformings- eller hydroformingsprosesser som brukes for å tilveiebringe bølgeprofilerte rør. Det forstås at planstrekkformingsforholdet krever oppbygningen av en aksiell strekkspenning når korrugeringen 34 dannes. Apparatet 4 virker tilbake på den resulterende kraften gjennom friksjonskrefter som utvikles langs de sylindriske endehylsene. Friksjonskreftene oppstår som følge av kontaktspenningen mellom det internt trykksatte foringsmaterialet og de innelukkingsformende partiene 8 når
- 20 trykket initielt økes over det som kreves for å initiere utflytning og lukker det relativt lille installasjonsgapet som er tilveiebrakt mellom foringsforbindelsen og formende partiene 8. Ytterligere økninger av trykket brukes for å bevirke til en plastisk strømning inn i bølgeprofiltomrommene i den grad som kreves for å danne bølgeprofileringsgeometrier som gir betydelige reduksjoner i aksiell rørfjæring, idet trykkene som kreves for å bevirke til slike deformasjonsstørrelser typisk overstiger foringsmaterialflytepunkt flere ganger.
- 30
- 35 Etter formingen ved disse høye trykkene, vil restkontaktspenningen mellom foringsforbindelsen 16 og profil-

formingsflaten 38 ha en tendens til å utelukke en enkel fjerning av foringsforbindelsen 16 fra formingsbeholderen 30. Derfor avsluttes formingsprosessen ved å påføre et tilstrekkelig ytre trykk gjennom porten 10 til å plastisk deformere foringsforbindelsen og bevirke til en innoverrettet, radiell deformasjon for å danne et gap mellom forbindelsen og konturformflaten 38 og dermed hovedsakelig eliminere restkontaktspenningen som forhindrer fjerningen. Trykk- og tetningskapasiteten av de ringformede endelukningene 6 og tetningen 33 trenger bare å tilveiebringe tilstrekkelig innelukning til å bevirke en global rørlegeme-deformasjon.

Etter å ha påført og deretter fjernet det ytre trykket, fjernes spindelen og i hvert fall én endehette. Foringen og profilformen blir så fjernet og til slutt blir formelementene fjernet fra foringen. Prosessen kan gjentas for å danne ytterligere formrørforbindelser.

I bestemte applikasjoner kan nytten av det bølgeprofilerte røret som dannes ved denne prosessen ytterligere forbedres ved en varmebehandling, så som herding for stål, etter formingen. Det kan være behov for dette fordi graden av plastisk deformasjon som følge av formingsprosessen kan påvirke ytelsesegenskaper så som korrosjonsfølsomhet, utmattingslivstid eller simpelthen den gjenblivende plastiske kapasitet.

En typisk tykkvegget bølgeprofilert geometri av foringsforbindelsene som er vist på figur 1 og som er dannet av planstrekkt triaksialhydroformingsprosessen, er vist på figur 6. Denne figuren viser et tverrsnitt gjennom flere bølgeprofiler 34. Hver bølgeprofil 34 omfatter steg 53 og en topp 54. Stegene 54 er fortrinnsvis anordnet med en stegvinkel på omtrent 20° . De relativt udefinerbare variasjonene i tykkelse som oppnås ved den triaksiale formingsprosessen er åpenbare. Spenningsanalyser av denne geometrien ved hjelp av den endelige elementmetoden ble brukt for å regne

ut en reduksjon i aksiell stivhet på omtrent 5 ganger den aksielle stivhet av det opprinnelige, ikke-bølgeprofilerte, rette røret.

Eksempel

- 5 For å illustrere nytten av foreliggende oppfinnelse med hensyn til å redusere den termisk induerte aksielle belastningen, kan man se på en brønn der en sylindrisk stålforing med en flytegrense på 550 MPa ble sementert ved 20°C med ubetydelig aksielle belastninger, og som deretter ble
 10 oppvarmet til 250°C. Typiske egenskaper for den termiske ekspansjonskoeffisient og elastiske modulus for foringsstål er henholdsvis 12 e/°C og 200 Gpa. For et slikt materiale vil den aksielle spenningen øke ved oppvarming forutsatt at den elastiske grensen ikke overstiges, og kan regnes ut fra
 15 forholdet:

Aksiell spenning = temperaturforandring x ekspansjonskoeffisient x elastisk modulus = 552 Mpa.

- Foringen vil i dette punktet befinne seg på flytegrensen med dertil følgende, skadelige virkninger på forbindelsene
 20 og rørlegemotstandsdyktighet mot svikt. I den samme applikasjonen vil en foring med bølgeprofiler over det meste av sin lengde, så som vist på figur 6, reduserer denne belastningen ved en faktor på nesten 5, for derved å redusere den aksielle spenningen til 110 MPa og plassere foringene
 25 og forbindelsene i et mye mer fordelaktig lastoperasjonsområde.

- Som et alternativ til hydroforming ved påføring av indre trykk for å ekspandere et rør mot en ytre form som beskrevet i den foretrukne utførelse, kan denne prosessen inverteres ved å påføre et ytre trykk på røret og ved å tilveiebringe en form på innsiden av røret. I dette tilfellet vil
 30 formen typisk være konfigurert for å tilveiebringe spiralformede bølgeprofiler som letter fjerningen.

P a t e n t k r a v

1. Streng (50) av rørformede metallrørforbindelser som strekker seg gjennom og holdes av et jordmateriale (51), der strengen er utsatt for forandringer i aksiell belastning etter installasjonen, der strengen omfatter minst én
5 bølgeprofilert forbindelse (1),
k a r a k t e r i s e r t v e d at den bølgeprofilerte forbindelsen er tykkvegget med et forhold mellom diameter og veggtykkelse (D/t) på mindre enn 100, og forbindelses-
10 sideveggen (52) er dannet for å tilveiebringe bølgeprofiler (74) som har et forhold mellom bølgeprofilkrumningsradius og tykkelse (R/t) på mindre enn 10.
2. Streng ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den profilformede forbindelsessideveggen (52) er hydroformet for å danne bølge-
15 profilene (34).
3. Streng ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den bølgeprofilerte forbindelsessideveggen er hydroformet mens lengden av forbindelse
20 bindelsen (1) hovedsakelig holdes konstant.
4. Streng ifølge krav 3,
k a r a k t e r i s e r t v e d at veggtykkelsen for hver bølgeprofil (34) varierer langs sin lengde.
5. Streng ifølge krav 4,
25 k a r a k t e r i s e r t v e d at bølgeprofilene (34) har en D/t på mindre enn 50 og en R/t på mindre enn 5.
6. Streng ifølge krav 1,2,3,4 eller 5,
k a r a k t e r i s e r t v e d at bølgeprofilene (34) har steg (53) og topper (54), idet stegene har en stegvinkel på minst 20° med hensyn til aksens av den bølgeprofilerte
30 forbindelse (1), og veggtykkelsen av stegene er tynnere enn veggtykkelsen av toppene.

7. Streng ifølge krav 6,
k a r a k t e r i s e r t v e d at den bølgeprofilerte
forbindelse (1) har et sentralt bølgeprofilert parti (55)
og ikke-bølgeprofilerte, gjengede endepartier (2).

5 8. Streng ifølge krav 7,
k a r a k t e r i s e r t v e d at en ytre hylse på utsi-
den av den bølgeprofilerte forbindelsen inneholder bølge-
profilene.

9. Streng ifølge krav 7 eller 8,
10 k a r a k t e r i s e r t v e d at en indre hylse på inn-
siden av den bølgeprofilerte forbindelsen understøtter bøl-
geprofilene.

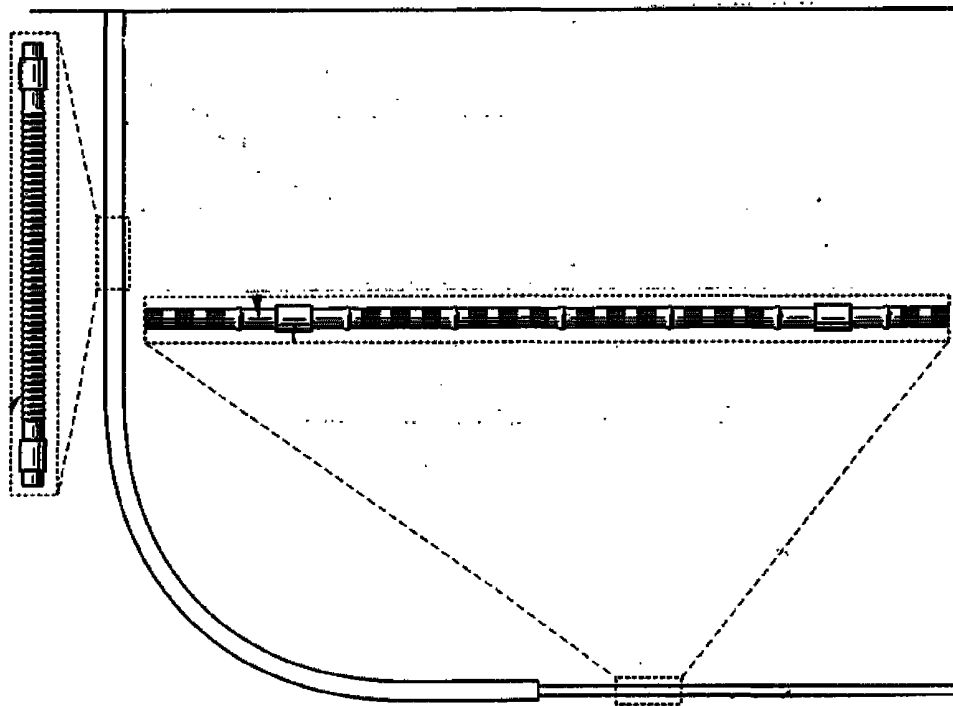
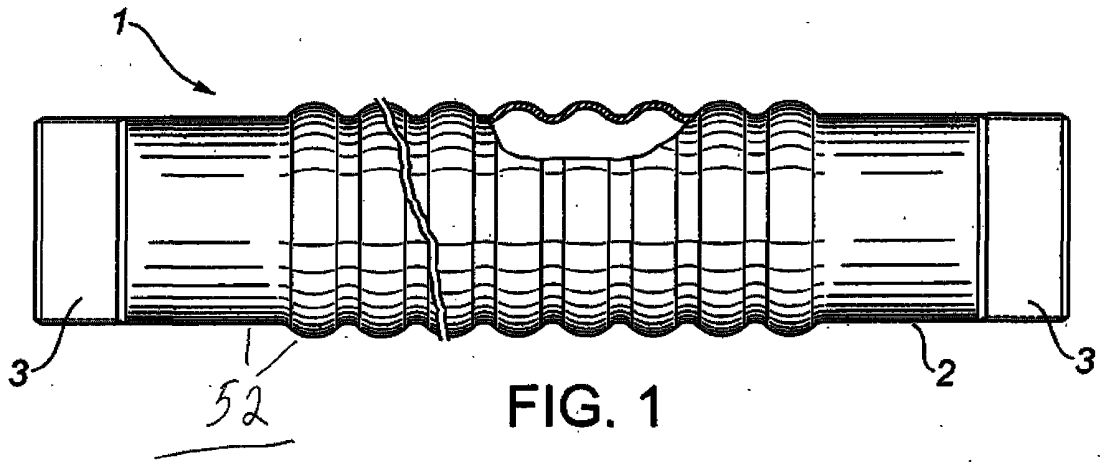


FIG. 2

FIG. 3



FIG. 4

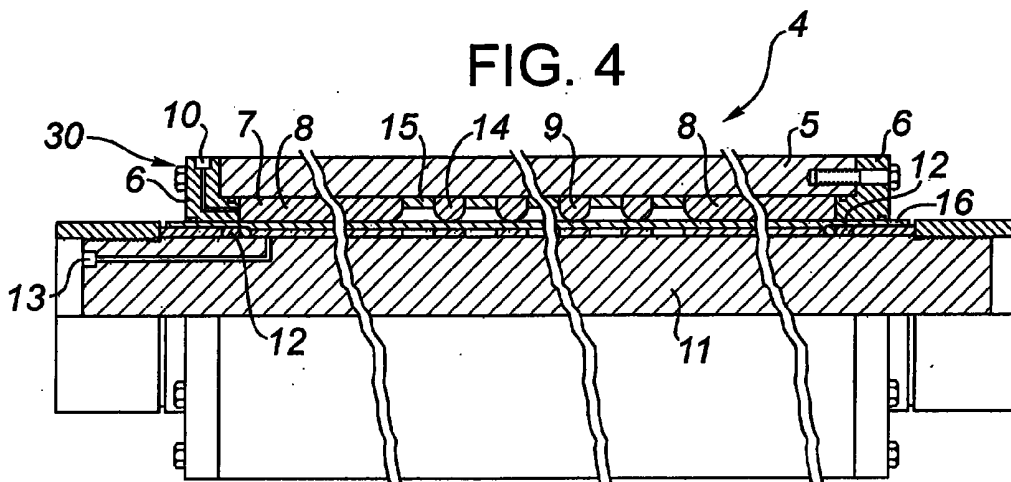
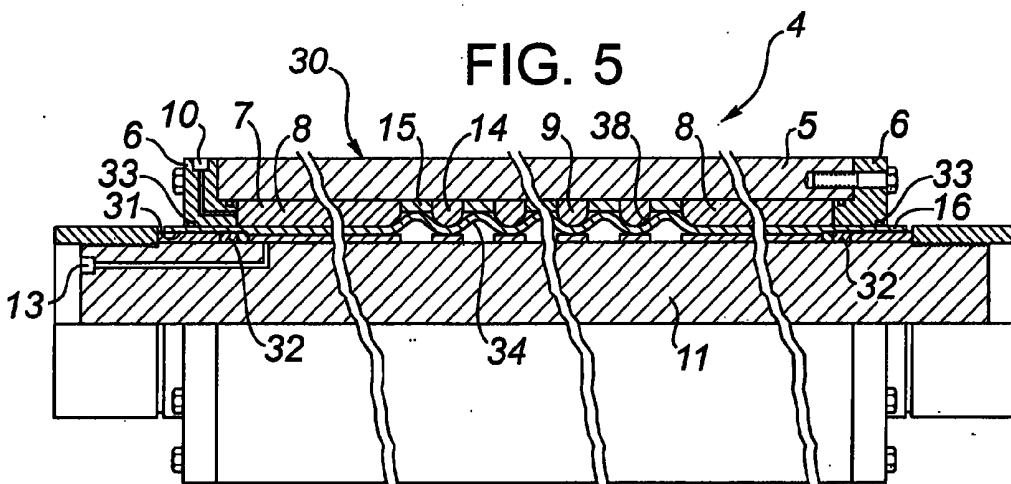


FIG. 5



3/3

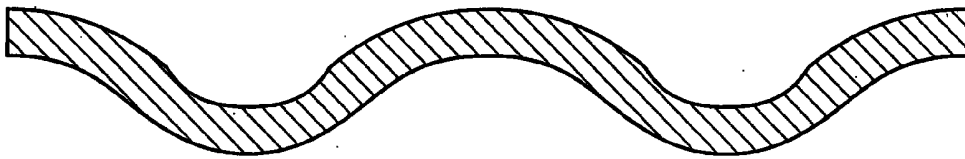


FIG. 6

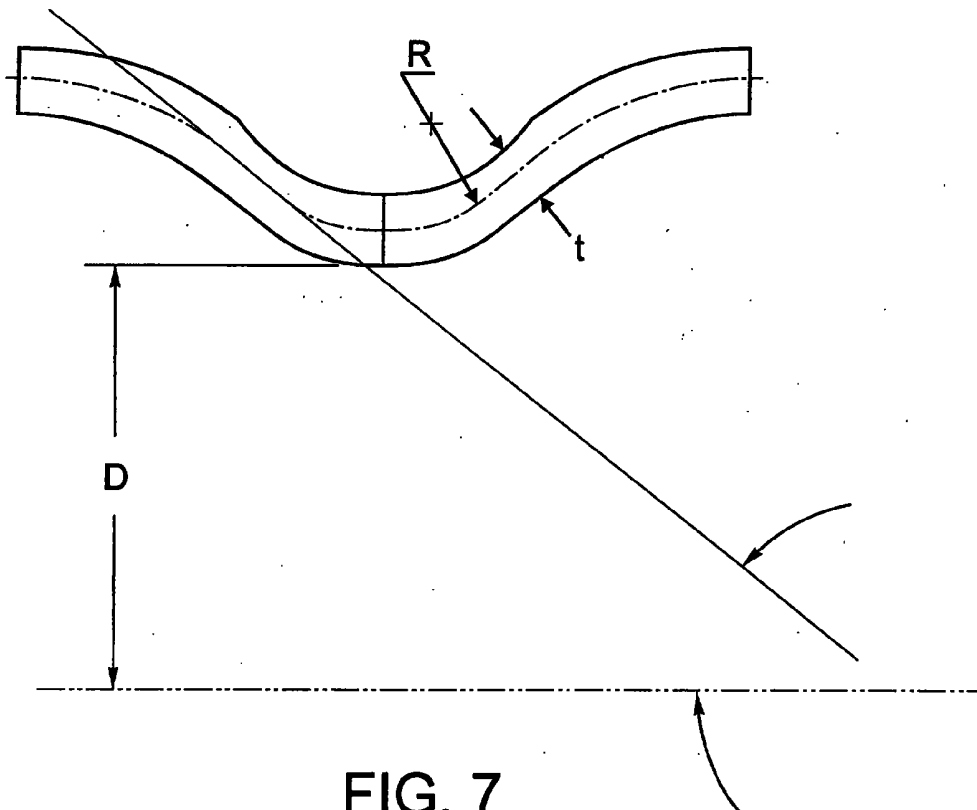


FIG. 7