



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0710738-2 A2**

(22) Data de Depósito: 26/06/2007
(43) Data da Publicação: 27/09/2011
(RPI 2125)



(51) *Int.Cl.*:
B29C 70/08
B29C 70/86
E21B 17/01
F16L 9/147

(54) **Título:** TUBO ENROLADO COM FIBRA SECA

(30) **Prioridade Unionista:** 29/08/2006 US 11/467,948

(73) **Titular(es):** Conocophillips Company

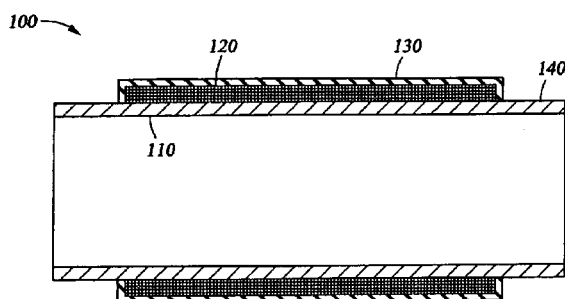
(72) **Inventor(es):** Mamdouh M. Salama

(74) **Procurador(es):** Dannemann ,Siemens, Bigler &
Ipanema Moreira

(86) **Pedido Internacional:** PCT US2007072141 de
26/06/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/027649de
06/03/2008

(57) **Resumo:** TUBO ENROLADO COM FIBRA SECA. A presente invenção refere-se a uma seção de tubo reforçada (100) que compreende um tubo de metal (110), uma camada de fibras secas (120) disposta em torno do tubo de metal (110), e uma camisa cilíndrica externa (130) cobrindo a camada de fibras secas (120). Um método para fabricar uma seção de tubo reforçada (100) que compreende enrolar uma camada de fibras secas (120) sobre um tubo de metal (110), e cobrir a camada de fibras secas (120) com uma camisa cilíndrica externa (130), formando desta maneira um primeiro tubo de metal (120) envolvido em fibra seca (110). Um método para reforçar um tubo de metal degradado (110) que compreende enrolar o tubo de metal degradado (110) com uma camada de fibras secas (120) para aumentar a resistência circunferente do tubo de metal degradado (110), e cobrir a camada de fibras secas (120) com uma camisa cilíndrica externa (130).





PI0710738-2

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "TUBO ENROLADO COM FIBRA SECA".

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se de modo geral a seções de tubos metálicos reforçados, compreendendo tubos de metal envolvidos com fibra seca para uso em aplicações de transporte de fluidos em alta pressão, e a métodos para fabricar seções de tubos reforçadas deste tipo.

ANTECEDENTES

À medida que cresce a demanda mundial por gás natural, a necessidade de desenvolver fontes de gás natural localizadas remotamente torna-se, de modo crescente, mais importante. No entanto, o alto custo da construção da infra-estrutura necessária à distribuição de gás natural de fontes tão remotas neutraliza freqüentemente os incentivos financeiros para explorá-las. Assim, há a necessidade de reduzir o custo associado à construção de instalações, tais como gasodutos, para distribuir gás natural ao mercado.

Em anos recentes, diversas grandes companhias de gás e óleo investiram recursos significativos no desenvolvimento de aços de alta resistência para uso em tubulações de gás natural de grande diâmetro, tais como gasodutos de diâmetros na faixa de 91,44 centímetros (36 polegadas) a 137,16 centímetros (54 polegadas). Tem sido desenvolvida uma terminologia estenográfica pelo American Petroleum Institute (API), Especificação 5L, para designar graus de tubos de aço usando a letra "X" seguida de um número correspondente à sua resistência ao colapso mínima. Por exemplo, o aço X100 tem uma resistência ao colapso mínima de 45.360 quilogramas por 2,54 centímetros quadrados (100.000 libras por polegada quadrada - psi), e de modo similar, aço X120 tem uma resistência ao colapso mínima de 54.432 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (120.000 psi). Geralmente, o grau X70 ou mais baixo é considerado "aço de resistência convencional", enquanto que graus acima de X70 são considerados "aços de alta resistência", começando tipicamente no grau X80.

O aço de alta resistência tem uma resistência a rachaduras rela-

tivamente baixa tal que, se um tubo é danificado e uma rachadura se forma, ela pode se propagar por muitos quilômetros (milhas) ao longo da tubulação. Para evitar estas rachaduras que correm, podem ser colocados detentores de rachaduras em locais ao longo da tubulação, por exemplo, em cada 5 3,2186 quilômetros (duas milhas) a 6,4372 quilômetros (quatro milhas). Um detentor de rachadura pode compreender um anel de aço soldado ou um anel de compósito ligado disposto em torno da superfície externa de um tubo. Detentores de rachadura de compósito típicos são fabricados e vendidos por Clock Spring Company, L.P., de Houston, Texas. Adicionalmente, a capacidade de fabricação de aço de alta resistência é baixa, a solda de aço de 10 alta resistência é complicada, e aços de alta resistência possuem uma capacidade de deformação plástica menor que os aços convencionais, o que pode limitar o seu uso em aplicações requerendo uma alta capacidade de deformação plástica tais como, por exemplo, em tubulações instaladas em áreas de permafrost e sísmicas. 15

Assim, para desenvolver fontes de gás natural localizadas remotamente, existe a necessidade de meios econômicos para distribuir tal gás ao mercado.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

20 A presente invenção relaciona-se com uma seção de tubo reforçada compreendendo um tubo de metal, uma camada de fibras secas disposta em torno do tubo de metal e uma camisa cilíndrica externa cobrindo a camada de fibras secas. Em uma modalidade, a camada de fibras secas aumenta a resistência circunferente do tubo de metal. Em outras modalidades, o tubo de metal é composto por um tubo de metal convencional possuindo uma resistência ao colapso de aproximadamente 31.752 quilogramas 25 por 6,45 centímetros quadrados (70.000 psi) (X70) ou menor, ou por um tubo de aço de alta resistência tendo uma resistência ao colapso mínima maior que 31.752 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (70.000 psi). O tubo de metal pode compreender uma liga resistente à corrosão. Em uma modalidade, o tubo de metal detém uma rachadura que pode se desenvolver durante o serviço. O tubo de metal pode compreender um tubo desnudo ou 30

revestido, onde o tubo de metal pode ser pré-revestido com um revestimento orgânico ou com um revestimento metálico anódico. Em outras modalidades, o tubo de metal é protegido de corrosão por uma faixa de anodo de alumínio enrolada sobre ele, ou por um sal de pico de pH aplicado à camada de fibras secas. Em outra modalidade, o tubo de metal compreende um tubo degradado.

As fibras secas podem ser selecionadas do grupo consistindo em: fibras de vidro, fibras de carbono, fibras de polietileno de alta densidade, ou fibras de amida, e as camadas de fibras secas podem compreender uma faixa de cordões paralelos múltiplos, com cada corda consistindo em muitos filamentos contínuos. A camisa cilíndrica externa pode compreender uma camisa cilíndrica pulverizada ou enrolada. Em uma modalidade, a camisa cilíndrica externa compreende uma camada elastomérica que compreende poliuréia, poliuretano, ou borracha HNBR (Borracha Nitrílica Hidrogenada). Em outra modalidade, a camisa cilíndrica externa compreende um envoltório de metal soldado moldado em torno das fibras secas. Em ainda outra modalidade, a camisa cilíndrica externa forma uma barreira contra umidade.

O tubo de metal pode compreender uma espessura de parede suficiente para resistir às cargas axiais impostas durante o serviço. Em uma modalidade, a camada de fibras secas possui uma espessura substancialmente igual à espessura do tubo de metal, e a camada de fibras secas pode aproximadamente dobrar a resistência circunferente do tubo de metal. O tubo de metal pode ter um diâmetro nominal na faixa de 162,56 centímetros (64 polegadas) ou menos. Em uma modalidade, o tubo reforçado compreende ainda uma camada de isolamento. Em várias modalidades, um gasoduto, uma tubulação de líquidos, um "riser", ou uma linha de estrangulamento e paralisação inclui a seção de tubo reforçado.

Em outro aspecto, a presente invenção relaciona-se com um método para fabricar uma seção de tubo reforçada compreendendo enrolar uma camada de fibras secas sobre um tubo de metal e cobrir a camada de fibras secas com uma camisa cilíndrica externa, formando assim um primeiro tubo de metal enrolado em fibra seca. Em uma modalidade, cobrir a camada

de fibras secas compreende enrolar como aros uma pluralidade de fibras secas em torno do tubo de metal. Em várias modalidades, cobrir a camada de fibras secas com uma camisa cilíndrica externa compreende pulverizar sobre ela um revestimento ou envolvê-la em uma camisa cilíndrica. Em ainda outra modalidade, o método compreende enrolar uma camada de material isolante sobre a camada de fibras secas. O método ainda pode incluir posicionar um segundo tubo de metal envolto em fibra seca adjacente ao primeiro tubo de metal envolto em fibra seca, conectar o segundo tubo de metal envolto em fibra seca ao primeiro tubo de metal envolto em fibra seca por meio de uma solda, enrolar a solda com uma camada de fibras secas e criar uma camisa cilíndrica externa sobre a camada de fibras secas disposta em torno da solda, formando assim uma área de solda envolvida em fibra seca. Em uma modalidade, o primeiro e o segundo tubo de metal, ambos envolvidos em fibra seca, são preparados em uma instalação de fabricação e a área de solda envolvida em fibra seca é preparada em uma localização de campo.

Em ainda outro aspecto, a presente invenção relaciona-se com um método para reforçar um tubo de metal degradado compreendendo envolver o tubo de metal degradado com uma camada de fibras secas para aumentar a resistência circunferente do tubo de metal degradado, e cobrir a camada de fibras secas com uma camisa cilíndrica externa.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Para uma descrição mais detalhada da presente invenção, serão agora feitas referências aos desenhos anexados, nos quais:

25 A Figura 1 é vista lateral de corte transversal ampliada de um tubo de metal envolvido em fibra seca.

A Figura 2 é uma vista de extremidade ampliada do tubo de metal envolvido em fibra seca da Figura 1.

30 A Figura 3 em uma vista lateral em perspectiva de uma seção de tubo de metal enquanto ela está sendo envolvida com fibras secas de fibra de vidro.

A Figura 4 é uma vista lateral em perspectiva da seção de tubo envolvida em

fibra seca da Figura 3 enquanto ela está sendo pulverizada com um revestimento que forma uma camisa cilíndrica elastomérica externa.

A Figura 5 é uma vista lateral ampliada de duas seções de tubos envolvidas em fibra seca, cada uma envolvida e pulverizada com mostrado nas Figuras 3 e 4, antes de serem soldadas juntas.

A Figura 6 é uma vista lateral em perspectiva das duas seções de tubo mostradas na Figura 5 soldadas juntas, com a área de solda sendo envolvida com fibras de vidro secas.

A Figura 7 é uma vista lateral em perspectiva dos tubos soldados da Figura 6 depois que a área soldada foi envolvida com fibras secas e, em seguida, pulverizada com um revestimento que forma uma camisa cilíndrica elastomérica externa.

A Figura 8 é uma vista lateral em perspectiva dos tubos soldados da Figura 7 depois de serem testados até uma pressão de colapso de aproximadamente duas vezes a pressão de colapso dos tubos soldados sem a fibra de vidro enrolada por cima.

NOTAÇÃO E NOMENCLATURA

Certos termos são usados ao longo da descrição e reivindicações que se seguem para se referir a componentes de montagem específicos. Este documento não pretende estabelecer distinção entre componentes que diferem no nome mas não na função. Na discussão que se segue e nas reivindicações, os termos "incluindo" e "compreendendo" são usados de forma irrestrita e, deste modo, devem ser interpretados como significando "incluindo, mas não limitado a...".

Como utilizado neste documento, o termo "tubo" refere-se a qualquer tubulação que transporta gases ou líquidos pressurizados tal como, por exemplo, um oleoduto, um "riser", uma linha de fluxo, e uma linha de estrangulamento e paralisação.

Como usados aqui, os termos "capacidade de pressão", "classificação de pressão", e "resistência circunferente" de um tubo referem-se todos à quantidade de pressão interna, medida em libras por polegada quadrada (psi), que o tubo é capaz de conter sem entrar em colapso na direção

radial por explosão.

Como usados aqui, os termos "resistência axial" e "capacidade axial" de um tubo referem-se ambos à carga axial medida em por polegada quadrada (psi) que o tubo é capaz de resistir sem se partir axialmente.

- 5 Com usado neste documento, o termo "aço de resistência convencional" refere-se a um aço tendo uma resistência ao colapso mínima de 31.752 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (70.000 psi) ou menor, em outras palavras, aço de grau X70 ou aço de grau menor.

- 10 Como aqui usado, o termo "aço de alta resistência" refere-se a um aço tendo uma resistência ao colapso mínima maior que 31,752 quilograma por 6,45 centímetros (70.000 psi), em outras palavras, maior que o aço de grau X70.

- 15 Como usado neste documento, o termo "liga resistente à corrosão" refere-se a materiais contendo elementos de formação de ligas tais como níquel, cromo, titânio, ou cobalto. Estes materiais incluem aços inoxidáveis, ligas à base de níquel, ligas de titânio e similares. Graus comumente usados são os aços inoxidáveis austeníticos, tal como liga 316, aços inoxidáveis martensíticos, tal como liga 13 Cr, aços inoxidáveis duplos, tal como liga 2205, e ligas à base de níquel, tal como liga 625.

20 DESCRIÇÃO DETALHADA

- 25 Serão agora descritas várias modalidades de um tubo envolvido com fibra seca tomando como referência os desenhos anexos, nos quais números de referência similares são usados para características similares em todas as várias exibições. São mostradas nos desenhos e aqui descritas em detalhe, modalidades específicas de tubo envolvido com fibra seca, com o entendimento de que esta descrição é apenas representativa e não pretende limitar a invenção das modalidades aqui ilustradas e descritas. As modalidades de tubo envolvido com fibra seca e os métodos para fabricar tal tubo aqui apresentados podem ser usados em qualquer sistema de tubulação metálica que seja limitado por sua classificação de pressão, seja causada por gás ou por líquido de alta pressão. Aqueles versados correntemente na técnica avaliarão de imediato que as várias modalidades de tubo envolvi-
- 30

do com fibra seca podem ser utilizadas em qualquer tipo de sistema de fluido pressurizado. Mais ainda, os métodos descritos aqui podem ser utilizados para aumentar a classificação de pressão de tubos previamente instalados, que podem ser componentes de uma tubulação, "riser", linha de estrangulamento e paralisação ou de qualquer outro sistema de alta pressão que tenha se degradado devido à corrosão, erosão e/ou desgaste.

A Figura 1 e a Figura 2 representam esquematicamente uma típica seção de tubo reforçada 100, em uma vista de corte transversal e em uma vista de extremidade, respectivamente. A seção de tubo reforçada 100 compreende uma tubulação de metal ou tubo 110, uma camada de fibra seca 120 envolvendo como aro o tubo de metal 110, e uma camisa cilíndrica elastomérica externa pulverizada 130. Aqueles versados na técnica reconhecerão que podem ser incluídas, opcionalmente, outras camadas de material na seção de tubo reforçada 100, tal como uma camada de isolamento térmico como aerogel, por exemplo.

Em uma modalidade, o tubo de metal 110 pode ser fabricado de uma liga resistente à corrosão, para transportar gás ou líquidos corrosivos. Um emprego deste tipo pode ser uma linha de fluxo transportando gás úmido corrosivo, onde tais linhas de fluxo são, caracteristicamente, de 20,32 centímetros (8 polegadas) a 35,36 centímetros (14 polegadas) de diâmetro. Para diâmetros maiores, o tubo de metal 110 pode ser fabricado de tubo de aço-carbono revestido internamente com uma liga resistente à corrosão. Para empregos com gás seco, a tubulação de metal ou tubo 110 pode ser uma típica articulação de tubo de 12,19 metros a 18,29 metros (40 a 60 pés) de comprimento, construída de aço de resistência convencional tal como, por exemplo, X70, que possui 91,44 centímetros (36 polegadas) a 137,16 centímetros (54 polegadas) de diâmetro. O aço de resistência convencional é muito mais desejável que os aços de alta resistência em razão de sua imediata disponibilidade comercial, alta resistência de detenção de rachadura, alta capacidade de deformação plástica e facilidade de solda. A espessura de parede do tubo de metal 110 pode variar. Em uma modalidade, a espessura de parede é determinada com base na carga axial antecipada na seção

de tubo reforçada 100, e a resistência circunferente da seção de tubo reforçada 100 é estabelecida por ambas as espessuras de parede do tubo de metal 110 e da camada de fibra seca 120.

A camada de fibra seca 120 compreende uma faixa de múltiplos cordões paralelos, com cada cordão consistindo em muitos filamentos contínuos, tal como um feixe de fibra de vidro, fibra de carbono, fibra de polietileno de alta densidade, fibra de amida, ou de outros materiais similares. A finalidade da camada de fibra seca 120 é aumentar a resistência circunferente da seção de tubo reforçada 100 e, conseqüentemente, a sua classificação de pressão. Submetida a uma dada carga de pressão interna, a relação entre a tensão circunferente (σ_s) e a tensão axial (σ_a) em um tubo de metal desnudo 110 é estabelecida como mostrado na seguinte equação:

$$\sigma_s = 2 \times \sigma_a$$

Em conseqüência, se a espessura de parede do tubo de metal 110 foi selecionada para satisfazer ao requisito de tensão axial(σ_a), então o tubo de metal 110 pode ser capaz de resistir apenas à metade do requisito de tensão circunferente (σ_s).

Isto significa que a capacidade de um tubo de metal desnudo 110 de resistir à carga interna de pressão é limitada pela sua resistência circunferente. A aplicação de uma camada de fibra seca 120 envolvendo o tubo de metal 110 pode aumentar significativamente a resistência circunferente e a classificação de pressão da seção de tubo reforçada 110. Por exemplo, como discutido na seção Exemplos contida neste documento, testes e análises mostram que a aplicação de uma camada de fibra seca 120 compreendendo fibra de vidro de uma espessura aproximadamente igual à espessura de parede do tubo de metal 110 dobra, de modo aproximado, a resistência circunferente e, em conseqüência, a classificação de pressão da seção de tubo reforçada 100. Aqueles versados na técnica podem verificar de imediato que a espessura da camada de fibra seca 120 pode variar dependendo do material de fibra usado, da espessura de parede do tubo de metal 110, da classificação de pressão desejada da seção de tubo reforçada 100, e de outros fatores.

Uma camisa cilíndrica externa 130 envolve a camada de fibra seca 120 e pode compreender uma camisa cilíndrica elastomérica, tal como poliuréia ou poliuretano, uma borracha, tal como borracha HNBR, ou outro material similar. Em outra modalidade, a camisa cilíndrica externa 130 pode

5 compreender uma cobertura de metal soldada formada em torno da camada de fibra seca 120. Os objetivos da camisa cilíndrica externa 130 são duplicados. Primeiro, a camada de fibra seca 120 pode ser frouxa, de modo que a camisa cilíndrica externa 130, quando pulverizada ou enrolada sobre a camada de fibra seca 120, age para segurar a camada de fibra seca 120 junto

10 com e sobre o tubo de metal 110. Segundo, a camisa cilíndrica externa 130 pode atuar como uma barreira de umidade para evitar que a umidade fique retida dentro da camada de fibra seca 120 e, conseqüentemente, causar corrosão ao longo da superfície externa do tubo de metal 110. Aqueles versados na técnica podem de imediato verificar que a espessura da camisa

15 cilíndrica externa 130 também pode variar. Em várias modalidades, o tubo de metal 110 inicialmente pode ser desnudo, ou pode ser revestido para resistência à corrosão, como, por exemplo, resistência a qualquer umidade que possa impregnar a camada de fibra seca 120 se a camisa cilíndrica externa 130 se danificar. Em uma modalidade, o tubo de metal 110, particularmente

20 aquele feito de aço-carbono, é pré-revestido com um revestimento orgânico, tal como epóxi ou gel de revestimento especial, ou um revestimento metálico anódico, tal como alumínio ou zinco pulverizado sobre a superfície externa do tubo de metal 110. Em outra modalidade, um tubo de metal de aço-carbono 110 pode ser protegido de corrosão enrolando uma faixa de

25 anodo de alumínio sobre o tubo de metal 110, ou incorporando um sal de pico de pH dentro da camada de fibra seca 120, que age para aumentar o pH de qualquer água que se infiltre em torno do tubo de metal 110, reduzindo desta forma a velocidade de corrosão. Em ainda outra modalidade, um revestimento de polietileno pode ser extrudado de modo convencional sobre

30 a superfície externa da tubo de metal 110.

Como mostrado na Figura 1, durante a fabricação da seção de tubo reforçada 100, as extremidades 140 do tubo de metal 110 podem per-

manecer expostas, significando que elas não são envolvidas com uma camada de fibra seca 120, nem pulverizadas com um revestimento que seca para formar uma camisa cilíndrica elastomérica externa 130. Durante o processo de instalação, são unidas por solda seções adjacentes de tubos reforçadas 100 nestas extremidades 140. Portanto, pode ser desejável manter
5 livres as extremidades 140 do tubo de metal 110 de uma camada de fibra seca 120 e de uma camisa cilíndrica elastomérica externa 130 antes da instalação, para se assegurar uma solda eficaz.

Da Figura 3 à Figura 7 é apresentada esquematicamente uma
10 modalidade de um método de fabricação da seção de tubo reforçada 100 da Figura 1 e Figura 2. Como mostrado na Figura 3, o método de fabricação começa com um tubo de metal 110, tal como uma articulação de aço de resistência convencional, sendo montado sobre uma máquina de enrolar fibra 150, onde filamentos contínuos de fibras secas 125 são puxados de uma pluralidade de carretéis (não mostrados) e levados através de um dispositivo
15 de alinhamento 160 para serem enrolados em torno do tubo de metal 110. O tubo de metal 110 pode ser fixado em ambas as extremidades 140 e girar por intermédio da máquina de enrolar fibra 150 enquanto as fibras secas 125 são enroladas em torno do tubo de metal 110 de uma extremidade à outra e
20 novamente de volta, continuando em um modo de enrolamento circunferente até que as fibras secas 125 tenham sido aplicadas na espessura desejada para formar uma camada de fibra seca 120.

Com referência agora à Figura 4, depois que o tubo de metal 110 foi enrolado com uma camada de fibra seca 120 a uma espessura desejada, o tubo de metal enrolado com fibra 110 é, em seguida, removido da
25 máquina de enrolar fibra 150 e as extremidades 140 do tubo de metal 110 podem ser enroladas com fita ou cobertas de outra forma, de modo que um revestimento 135 possa ser pulverizado sobre a camada de fibra seca 120 usando uma pistola de pintura ou outro dispositivo, automático ou manual.
30 Cobrir as extremidades 140 do tubo de metal 110 impede a aplicação do revestimento 135 a estas superfícies, que formarão, ao final de tudo, a área de solda durante a instalação da tubulação. Em uma modalidade, o revesti-

mento pulverizado 135 seca para formar uma camisa cilíndrica elastomérica externa 130 em temperatura ambiente, não requerendo cura. Uma vez seca esta camisa cilíndrica elastomérica externa 130, a fita, ou outra cobertura, pode ser removida das extremidades 140 do tubo de metal 110.

5 Em outras modalidades, a camisa cilíndrica externa 130 é aplicada sobre a camada de fibra seca 120 antes da remoção do tubo de metal 110 da máquina de enrolar fibra 150. Em uma modalidade, a camisa cilíndrica externa 130 é aplicada através do enrolamento de uma fita de borracha HNBR não-curada, ou equivalente, em torno da camada de fibra seca 120, 10 que é, em seguida, submetida à cura através de aquecimento. Em outra modalidade, a camisa cilíndrica externa 130 é aplicada por solda em espiral de uma folha de metal enrolada em torno da camada de fibra seca 120. Em seguida, a seção de tubo reforçada 100 está pronta para transporte ao local da instalação.

15 Ao chegar ao local da instalação, duas seções de tubos reforçadas 100 podem ser posicionadas para soldar uma extremidade 140 com outra extremidade 140, como mostrado na Figura 5. Depois que a solda é completada, cada área de solda 170 pode ser enrolada com uma camada de fibra seca 120 para reforçar a solda, como mostrado na Figura 6 e, em seguida, pulverizada com um revestimento 135 que seca para formar a camisa 20 cilíndrica elastomérica externa 130 em torno da área de solda 170, como mostrado na Figura 7. A Figura 6 mostra a área de solda 170 sendo envolvida com fibras secas 125 por uma máquina de enrolar fibra 150 em uma oficina, porém a área de solda 170 pode também ser enrolada em campo usando uma maquina especial de enrolar que gira em torno das seções de 25 tubo reforçadas soldadas 100, que permanecem estacionárias. Este tipo de máquina de enrolar de campo é usada comumente para fabricar um tubo de compósito contínuo, capaz de ser rebobinado.

30 O uso das seções de tubos reforçadas 100 descritas aqui oferece muitas vantagens quando comparado a alternativas tais como tubo de aço de alta resistência e tubo de aço enrolado de compósito. Um tubo de metal 110 compreendendo aço de resistência convencional está disponível

em muitos fornecedores por todo o mundo, diferente do tubo de aço de alta resistência, que é fabricado apenas por um punhado de laminadores de aço, resultando em altos preços de compra e prazos de entrega de até vários anos. Diferente do aço de alta resistência, o aço de resistência convencional é

5 também auto-detentor, evitando a propagação de rachaduras e eliminando a necessidade de detentores de rachaduras. A camada de fibra seca 120 da seção de tubo reforçada 100 permite pressões internas mais altas com uma parede de tubo mais fina do tubo de metal 110, em consequência reduzindo o peso e o custo de transporte devido a densidade da fibra seca ser menor

10 que 1/3 da densidade do aço. Além disto, a camada de fibra seca 120 age como um isolante térmico, reduzindo os custos de requisitos de aquecimento ou resfriamento. Mais ainda, usar uma parede de tubo mais fina reduz os custos de solda e de fabricação.

A seção de tubo reforçada 100 descrita aqui é também vantajosa

15 em relação ao tubo de aço enrolado de compósito porque ela não requer a aplicação de uma resina nem cura subsequente durante a fabricação, o que também reduz tempo e custos. Em adição, soldar em campo a seção de tubo reforçada 100 é muito menos complicado do que soldar em campo o tubo enrolado em compósito, tendo em vista que o limite de alta temperatura para

20 fibras secas 125 excede a 600° Celsius, enquanto que o limite de alta temperatura para o material de compósito é de aproximadamente 150° Celsius. Ainda, a camada de fibras secas 120 é muito mais leve que um material de compósito, de modo que os custos de transporte são mais baixos.

A seção de tubo reforçada 100 descrita neste documento é tam-

25 bém de custo compensador quando o tubo de metal 110 compreende uma liga resistente à corrosão, uma vez que apenas a metade da espessura de parede é requerida para se obter a mesma classificação de pressão usando um sobre-envolvimento de fibras secas 125, que são muito mais leves e menos onerosas que as ligas resistentes à corrosão. Por exemplo, fibras de

30 fibra de vidro possuem uma resistência quatro vezes maior que a do aço inoxidável duplo, uma densidade de menos de 1/3 da do aço inoxidável duplo, e um custo de aproximadamente um décimo do aço inoxidável duplo.

EXEMPLOS

Foram conduzidos vários testes para demonstrar a viabilidade de se usar um tubo de aço de resistência convencional enrolado com fibras secas como uma alternativa ao aço de alta resistência ou aço enrolado em compósito em aplicações de alta pressão.

Um tubo X70 de seção de diâmetro nominal de 30,48 centímetros (12 polegadas), com uma espessura de parede de 0,635 centímetro (0,25 polegada), foi enrolado de modo circunferente com 0,89 centímetro (0,35 polegada) de fibra de vidro seca e em seguida pulverizado com uma camada de 0,254 centímetro (0,1 polegada) de poliuréia, que secou para formar uma camisa cilíndrica elastomérica. Foi aplicada uma pressão interna de 2.041,2 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (4.500 psi) à seção de tubo por aproximadamente 5 minutos e em seguida aliviada. Em seguida, a pressão interna foi aumentada até o colapso, que ocorreu a aproximadamente 3.538,08 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (7.800 psi) em uma cinta de solda.

Este teste indica que a camada de fibra de vidro seca aumentou significativamente a classificação de pressão do tubo X70 e também mudou o modo de colapso, de circunferente (explosão) para colapso axial. Sem o envolvimento de fibra de vidro, o tubo X70 de 30,48 centímetros (12 polegadas) com uma espessura de parede de 0,635 centímetro (0,25 polegada) deveria ter entrado em colapso por pressão de explosão a aproximadamente 1.769,04 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (3.900 psi), que é a pressão na qual era esperado a tensão axial no tubo X70 alcançar a resistência de tensão final do tubo X70, que é de 42.456,96 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (93.600 psi). Em consequência, a camada de espessura de 0,89 centímetro (0,35 polegada) de fibra de vidro seca dobrou aproximadamente a classificação do tubo X70.

Para fins de comparação, este teste foi repetido com outra seção de diâmetro nominal de 30,48 centímetros (12 polegadas), porém, em vez de ser enrolada com fibras secas, esta seção de tubo foi enrolada de modo circunferente com um laminado de compósito compreendendo fibra de vidro

em uma resina epóxi e, em seguida, a seção foi colocada em um forno para curar o compósito. Foi aplicada uma pressão interna de 2.041,2 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (4.500 psi) à seção de tubo por aproximadamente 5 minutos e em seguida aliviada. Em seguida, a pressão interna foi aumentada até o colapso, que ocorreu a aproximadamente 3.356,64 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (7.400 psi) na cinta de solda. Este teste indica que as fibras secas pelo menos são tão eficazes quanto a cobertura de compósito em termos de aumento da classificação de pressão do tubo X70.

10 Para testar a resistência de uma área de solda enrolada no campo, duas seções de 30,48 centímetros (12 polegadas) de diâmetro nominal de um tubo X70, cada uma com aproximadamente 0,61 metro (2 pés) de comprimento e cada uma tendo 0,635 centímetro (0,25 polegada) de espessura de parede, foram pré-enroladas com 0,89 centímetro (0,35 polegada) de fibra de vidro seca e pulverizada com uma camada de 0,254 centímetro (0,1 polegada) de poliuréia, deixando uma área soldada exposta de aproximadamente 7,62 centímetros (3 polegadas) em uma extremidade de cada seção de tubo.

 As duas seções de tubo foram em seguida soldadas juntas, e a
20 área soldada exposta foi envolvida com aproximadamente 0,89 centímetro (0,35 polegada) de fibra de vidro seca e pulverizada com uma camada de 0,254 centímetro (0,1 polegada) de poliuréia para formar uma camisa cilíndrica elastomérica sobre a solda, como mostrado na Figura 7. Foram soldadas tampas de extremidade ao outro lado de cada seção de tubo. Foi aplicada uma pressão interna de 2.041,2 quilograma por 6,45 centímetros quadrados (4.500 psi) às duas seções de tubo soldadas por aproximadamente 5 minutos e em seguida aliviada. Em seguida, a pressão interna foi aumentada até o colapso, que ocorreu a aproximadamente 3.538,08 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (7.800 psi) na cinta de solda entre as seções de
25 tubo. No entanto, o colapso não foi catastrófico. Em vez disto, como mostrado na figura 8, o dano se localizou na área da cinta de solda 170, onde uma seção da camada de fibra seca 120 se expandiu e rasgou-se em pedaços,

criando deste modo um pequeno rasgo na camisa cilíndrica externa 130 e expondo as fibras secas rasgadas 120. Este teste indica que as áreas soldadas enroladas no campo são tão eficazes quanto as seções de tubo pré-enroladas em termos de aumento da classificação de pressão do tubo X70.

- 5 Ao mesmo tempo em que foram mostradas e descritas várias modalidades da seção de tubo reforçada compreendendo um tubo de metal enrolado com fibra seca e métodos correspondentes de fabricação de tais seções de tubo reforçadas, nelas podem ser feitas modificações por aqueles versados na técnica sem se apartar do espírito ou ensinamento desta inven-
- 10 ção. As modalidades descritas aqui são apenas representativas e não são limitantes. São possíveis muitas variações e modificações do aparelho e dos métodos e elas estão dentro do escopo da invenção. Conseqüentemente, o escopo de proteção não é limitado às modalidades aqui descritas, porém é limitado apenas pelas reivindicações que se seguem, cujos escopos deverão
- 15 incluir todas os equivalentes do assunto objeto das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Seção de tubo reforçada, compreendendo:
um tubo de metal;
uma camada de fibras secas disposta em torno do tubo de me-
5 tal; e
uma camisa cilíndrica externa cobrindo a camada de fibras se-
cas.
2. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizada pelo fato de que a camada de fibras secas aumenta a resis-
10 tência circunferente do tubo de metal.
3. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizada pelo fato de que o tubo de metal compreende um tubo de aço
convencional tendo uma resistência ao colapso de aproximadamente 31.752
quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (70.000 psi) (X70), ou menos.
15 4. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizada pelo fato de que o tubo de metal compreende um tubo de aço
de alta resistência tendo uma resistência ao colapso mínima maior que
31.752 quilogramas por 6,45 centímetros quadrados (70.000 psi).
5. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1,
20 caracterizada pelo fato de que o tubo de metal compreende uma liga resis-
tente à corrosão.
6. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizada pelo fato de que o tubo de metal detém uma rachadura que
pode se desenvolver durante o serviço.
25 7. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizada pelo fato de que o tubo de metal compreende um tubo desn-
do.
8. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizada pelo fato de que o tubo de metal compreende um tubo revesti-
30 do.
9. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 8,
caracterizada pelo fato de que o tubo de metal é pré-revestido com um re-

vestimento orgânico.

10. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que o tubo de metal é pré-revestido com um revestimento metálico anódico.

5 11. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o tubo de metal é protegido de corrosão.

12. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que uma faixa de anodo de alumínio é enrolada sobre o tubo de metal.

10 13. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 11, caracterizada pelo fato de que um sal de pico de pH é aplicado à camada de fibras secas.

15 14. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o tubo de metal compreende um tubo degradado.

15. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que as fibras secas são selecionadas do grupo consistindo em: fibras de vidro, fibras de carbono, fibras de polietileno de alta densidade, ou fibras de amida.

20 16. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a camada de fibras secas compreende uma faixa de cordões paralelos múltiplos, com cada cordão consistindo em muitos filamentos contínuos.

25 17. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a camisa cilíndrica externa compreende uma camisa cilíndrica pulverizada ou enrolada.

18. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a camisa cilíndrica externa compreende uma camisa cilíndrica elastomérica.

30 19. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 18, caracterizada pelo fato de que a camisa cilíndrica elastomérica compreende poliuréia, poliuretano, ou borracha HNBR.

20. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a camisa cilíndrica externa compreende um invólucro de metal soldado formado em torno das fibras secas.

5 21. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a camisa cilíndrica externa forma uma barreira contra umidade.

22. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o tubo de metal compreende uma espessura de parede suficiente para resistir às cargas axiais impostas durante o servi-
10 ço.

23. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 22, caracterizada pelo fato de que a camada de fibras secas possui uma espessura substancialmente igual à espessura de parede do tubo de metal.

24. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 23,
15 caracterizada pelo fato de que a camada de fibras secas aproximadamente dobra a resistência circunferente do tubo de metal.

25. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o tubo de metal tem um diâmetro nominal na faixa de 162,56 centímetros (64 polegadas) ou menos.

20 26. Seção de tubo reforçada, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo ainda uma camada de isolamento.

27. Gasoduto compreendendo a seção de tubo reforçada como definido na reivindicação 1.

25 28. Tubulação para líquido compreendendo a seção de tubo reforçada como definido na reivindicação 1.

29. "Riser" compreendendo a seção de tubo reforçada como definido na reivindicação 1.

30. Linha de estrangulamento e paralisação compreendendo a seção de tubo reforçada como definido na reivindicação 1.

30 31. Método de fabricação de uma seção de tubo reforçada compreendendo:

enrolar uma camada de fibras secas sobre um tubo de metal; e

cobrir a camada de fibras secas com uma camisa cilíndrica externa, formando assim um primeiro tubo de metal enrolado em fibra seca.

32. Método, de acordo com a reivindicação 31, caracterizado pelo fato de que enrolar a camada de fibras secas compreende envolver de modo circunferente uma pluralidade de fibras secas em torno do tubo de metal.

33. Método, de acordo com a reivindicação 31, caracterizado pelo fato de que cobrir a camada de fibras secas com uma camisa cilíndrica externa compreende pulverizar um revestimento.

34. Método, de acordo com a reivindicação 31, caracterizado pelo fato de que cobrir a camada de fibras secas com uma camisa cilíndrica externa compreende enrolar uma camisa cilíndrica.

35. Método, de acordo com a reivindicação 31, compreendendo ainda enrolar uma camada de material isolante sobre a camada de fibras secas.

36. Método, de acordo com a reivindicação 31, compreendendo ainda:

posicionar um segundo tubo de metal enrolado com fibra seca adjacente ao primeiro tubo de metal enrolado com fibra seca;

conectar o segundo tubo de metal enrolado com fibra seca ao primeiro tubo de metal enrolado com fibra seca através de uma solda;

enrolar a solda com uma camada de fibras secas; e

criar uma camisa cilíndrica externa sobre a camada de fibras secas disposta em torno da solda, formando desta maneira uma área de solda enrolada com fibra seca.

37. Método, de acordo com a reivindicação 36, caracterizado pelo fato de que o primeiro e o segundo tubo de metal enrolados com fibra seca são formados em uma instalação de fabricação e a área de solda enrolada em fibra seca é formada em uma localização de campo.

38. Método para reforçar um tubo de metal degradado compreendendo:

enrolar o tubo de metal degradado com uma camada de fibras

secas para aumentar a resistência circunferente do tubo de metal degradado; e

cobrir a camada de fibras secas com uma camisa cilíndrica externa.

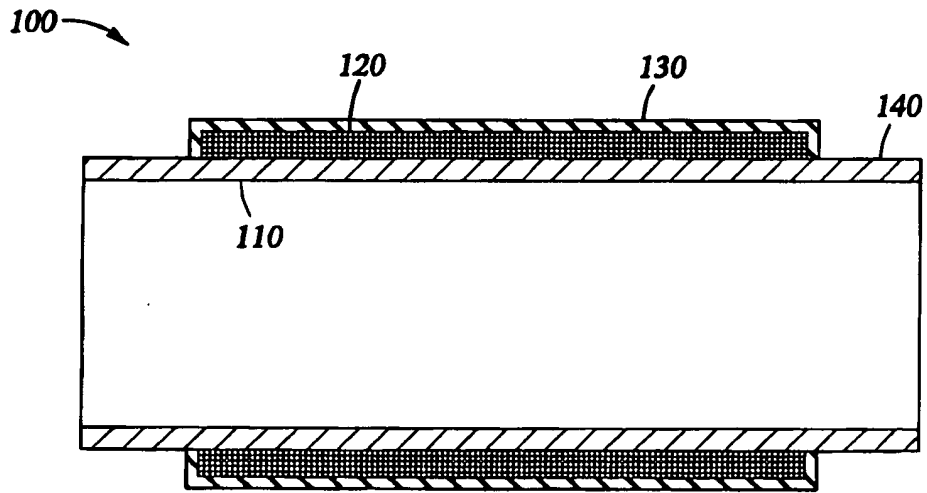


Fig. 1

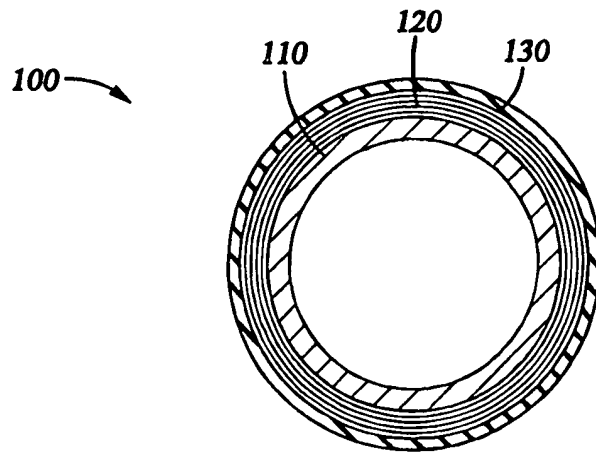
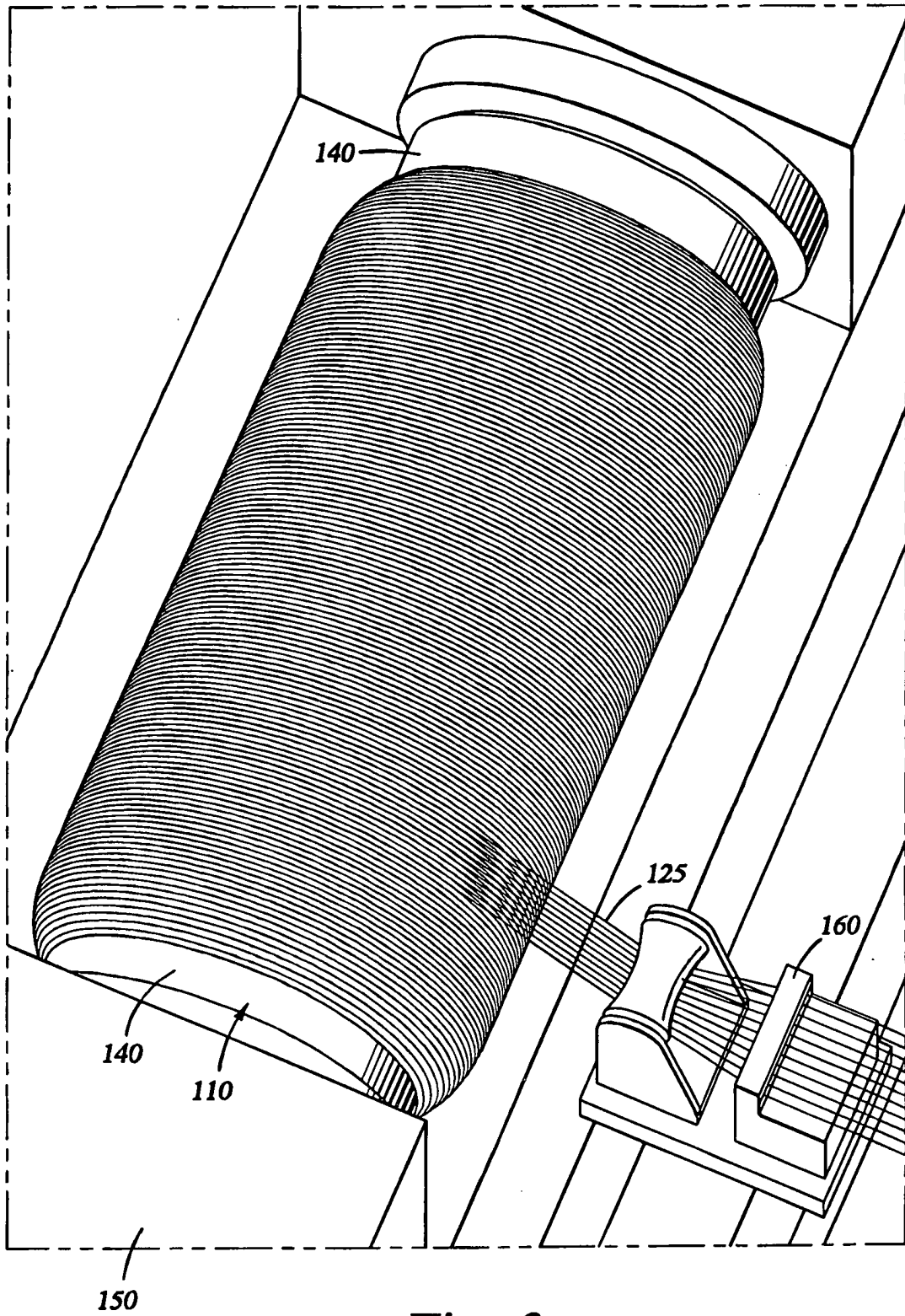


Fig. 2

**Fig. 3**

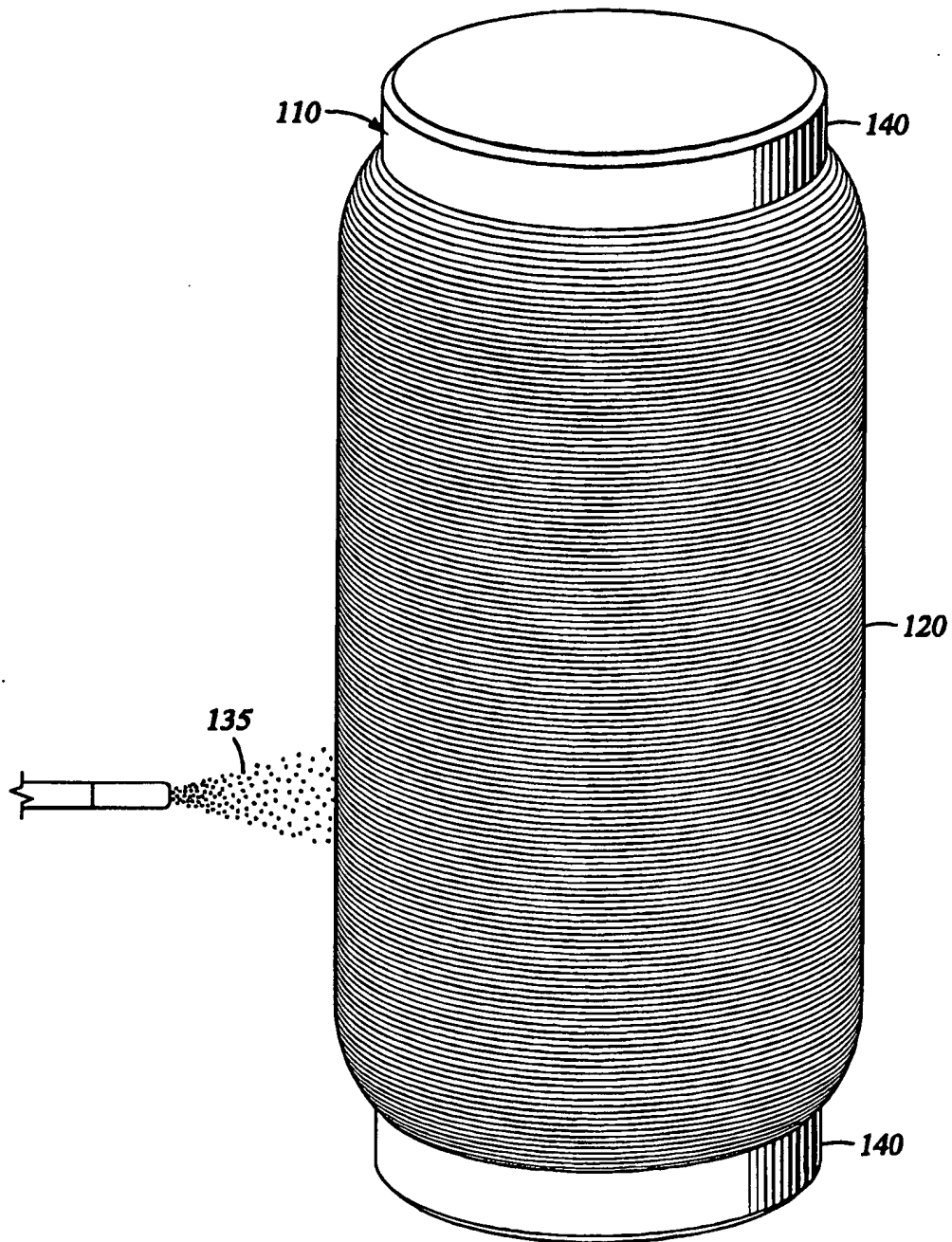


Fig. 4

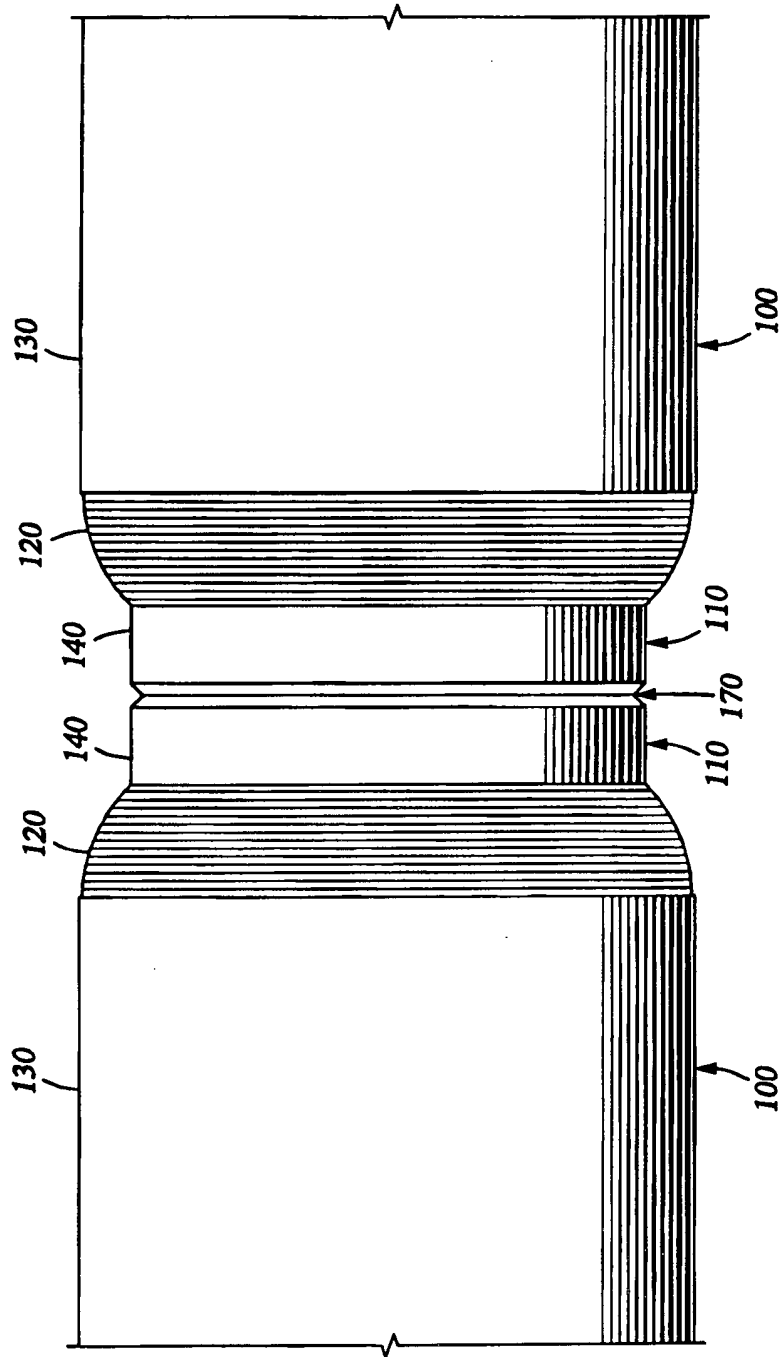
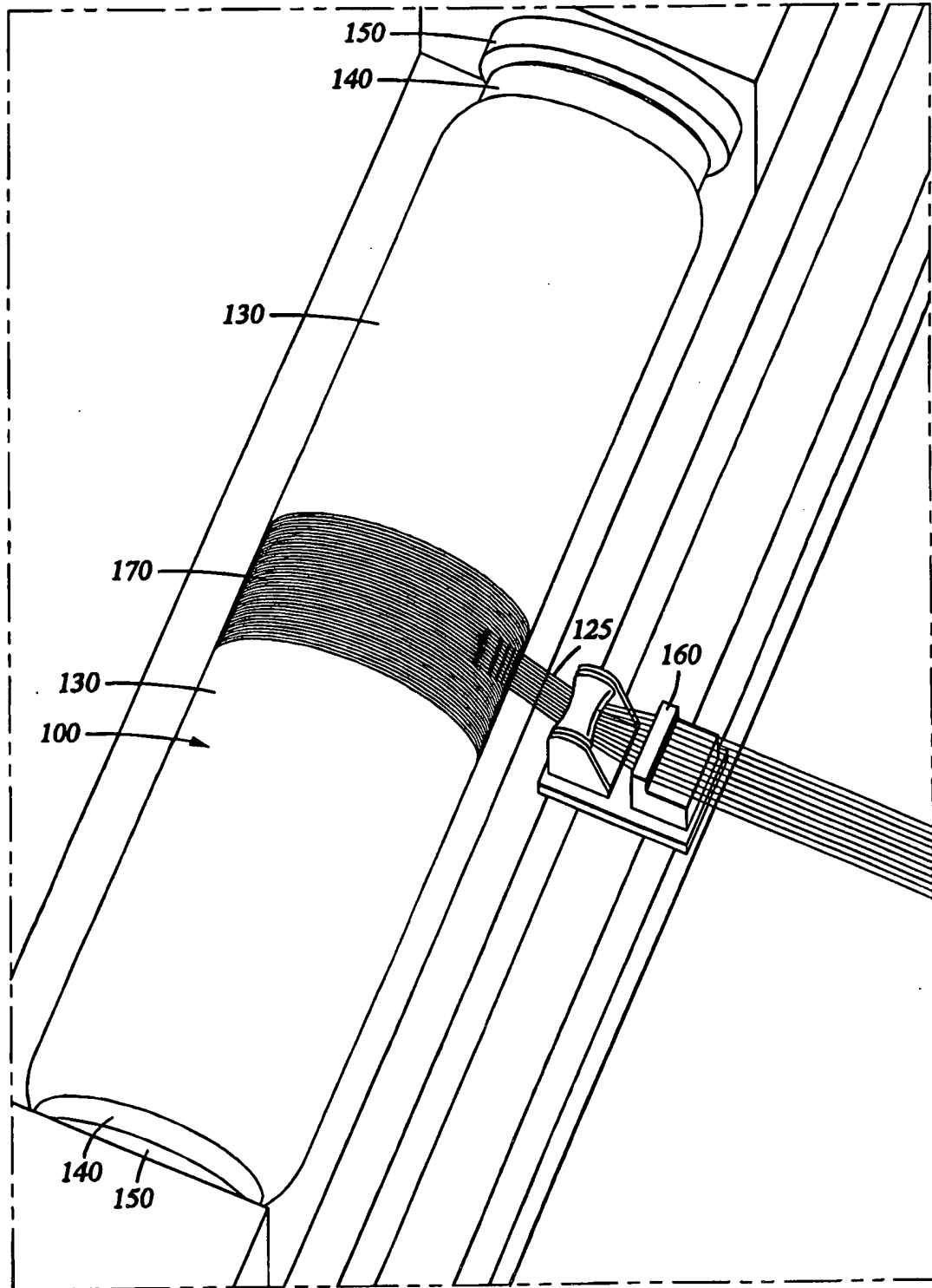
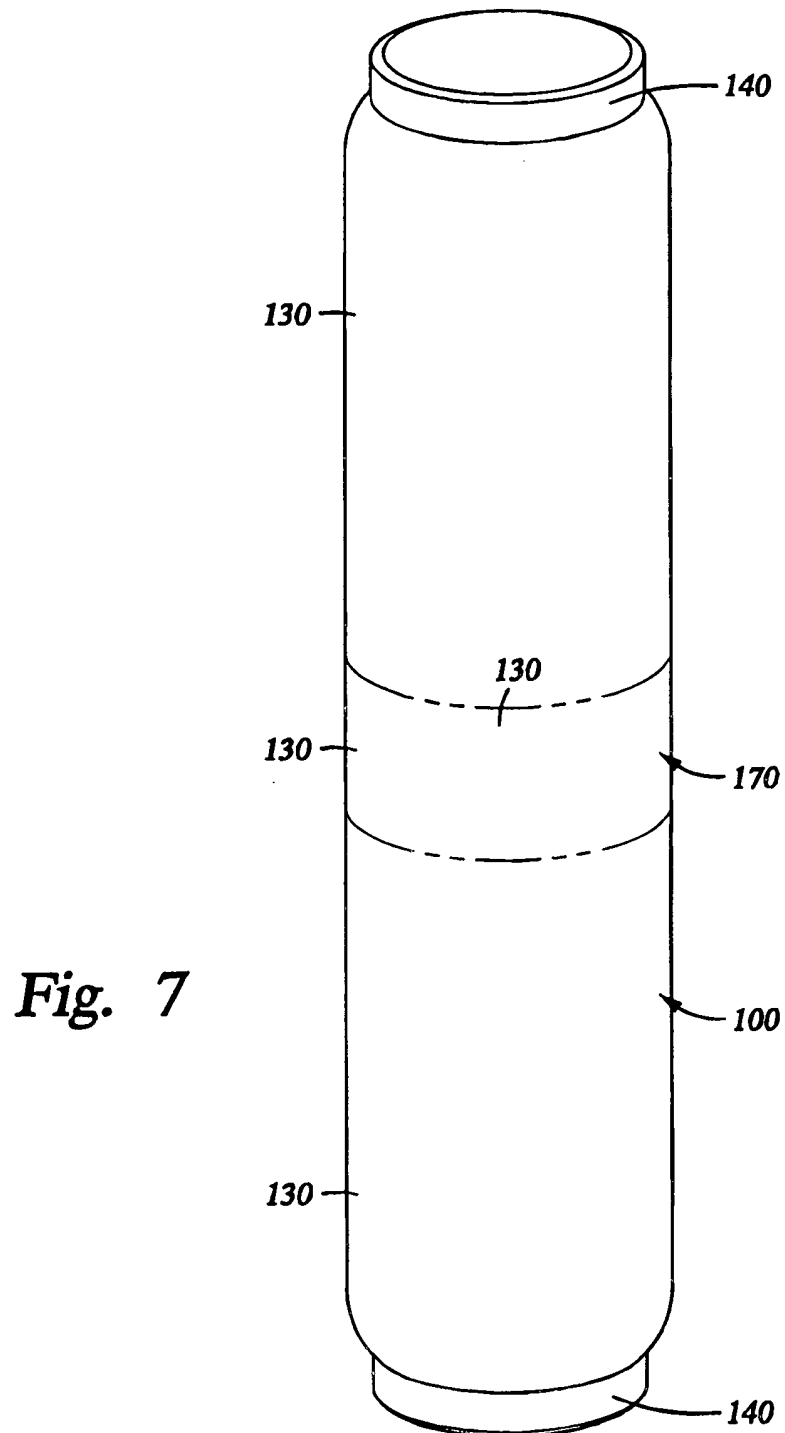


Fig. 5

**Fig. 6**



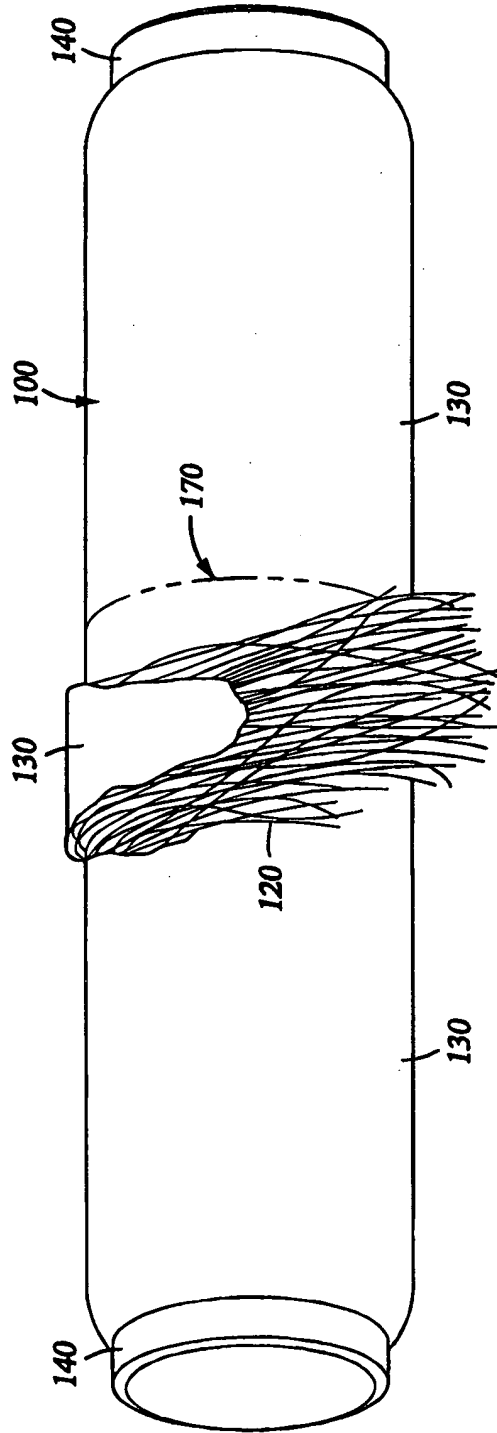


Fig. 8

RESUMO

Patete de Invenção: **"TUBO ENROLADO COM FIBRA SECA"**.

A presente invenção refere-se a uma seção de tubo reforçada (100) que compreende um tubo de metal (110), uma camada de fibras secas (120) disposta em torno do tubo de metal (110), e uma camisa cilíndrica externa (130) cobrindo a camada de fibras secas (120). Um método para fabricar uma seção de tubo reforçada (100) que compreende enrolar uma camada de fibras secas (120) sobre um tubo de metal (110), e cobrir a camada de fibras secas (120) com uma camisa cilíndrica externa (130), formando desta maneira um primeiro tubo de metal (120) envolvido em fibra seca (110). Um método para reforçar um tubo de metal degradado (110) que compreende enrolar o tubo de metal degradado (110) com uma camada de fibras secas (120) para aumentar a resistência circunferente do tubo de metal degradado (110), e cobrir a camada de fibras secas (120) com uma camisa cilíndrica externa (130).