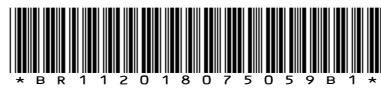




República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112018075059-0 B1**



**(22) Data do Depósito:** 05/06/2017

**(45) Data de Concessão:** 31/05/2022

**(54) Título:** SISTEMA E MÉTODO PARA PREVER A FALHA IMINENTE DE UM RECIPIENTE DE PRESSÃO

**(51) Int.Cl.:** F16L 57/00; F16L 58/00; F16L 55/07; G01M 3/00; F15B 1/08; (...).

**(30) Prioridade Unionista:** 06/06/2016 US 62/346.195.

**(73) Titular(es):** HEXAGON TECHNOLOGY AS.

**(72) Inventor(es):** JOHN EIHUSEN.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2017035942 de 05/06/2017

**(87) Publicação PCT:** WO 2017/214031 de 14/12/2017

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 03/12/2018

**(57) Resumo:** A presente invenção se refere a um sistema (10) e método de previsão de falha iminente de um recipiente de pressão (12) que incluem um recipiente de pressão (12), uma fonte de fluido (16), uma linha (14) acoplada ao recipiente de pressão (12) e à fonte de fluido (16), um aparelho (18), um sensor (24) e um controlador (26). O aparelho (18) inclui um conduto (36) e uma estrutura de contenção (40). A estrutura de contenção (40) inclui uma cavidade (38) separada da parte interna do conduto (36) por uma porção de uma parede de conduto (44) do conduto (36). O sensor (24) é configurado para determinar um valor de uma propriedade física na cavidade (38). O controlador (26) está em comunicação de sinal com o sensor (24) e configurado para detectar uma alteração no valor. O método inclui determinar um primeiro valor de uma propriedade física na cavidade (38), experienciar uma falha da parede do conduto (44), determinar um segundo valor da propriedade física na cavidade (38) e detectar uma diferença entre os primeiros e segundos valores.

## "SISTEMA E MÉTODO PARA PREVER A FALHA IMINENTE DE UM RECIPIENTE DE PRESSÃO"

### FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[001] Os recipientes de pressão são comumente usados para uma variedade de gases ou fluidos sob pressão, como hidrogênio, oxigênio, gás natural, nitrogênio, propano e outros combustíveis, por exemplo. Geralmente, os recipientes de pressão podem ser de qualquer tamanho ou configuração. Os recipientes podem ser pesados ou leves, de uso único (por exemplo, descartáveis), reutilizáveis, sujeitos a pressões altas (maiores que 50 psi, por exemplo), baixas pressões (menos de 50 psi, por exemplo) ou usados para armazenar fluidos em temperaturas elevadas ou criogênicas, por exemplo.

[002] Os materiais de revestimento de recipientes de pressão adequados incluem metais, tais como aço; ou compostos, que podem ser formados por camadas laminadas de filamentos de fibra de vidro enrolados ou outros filamentos sintéticos ligados entre si por uma resina termoplástica ou de consolidação a quente. Um forro ou bexiga é frequentemente disposto dentro de um invólucro de recipiente de pressão para vedar o recipiente, servindo assim como uma barreira de permeação de fluido.

[003] Geralmente, os recipientes de pressão têm vida útil limitada, e é desejável remover um recipiente de pressão de serviço antes que ele falhe, pois as falhas podem ser catastróficas e causar danos ou ferimentos. Tanto a fadiga cíclica quanto a fadiga estática (ruptura de tensão) contribuem para a carga de fadiga e, portanto, para a falha dos recipientes de pressão. A vida útil de um recipiente de pressão, ou o número de ciclos de fadiga ao longo de uma faixa de pressão específica (por exemplo, de quase vazio a cheio), é comumente usada para determinar quando remover um recipiente de serviço. No entanto, em algumas aplicações, a pressão e o número de ciclos aplicados ao recipiente são

inconsistentes e / ou desconhecidos. Além disso, a interação entre a vida de fadiga cíclica e a vida de fadiga estática não é bem compreendida. Os efeitos da oscilação combinam-se de maneiras desconhecidas com os efeitos da duração da pressão que o recipiente gasta em pressão total sem oscilação.

[004] As projeções matemáticas da vida útil o recipiente são comumente usadas para avaliar a vida de fadiga de um recipiente de pressão. Isso requer que o número de ciclos seja contado ou estimado e, em seguida, classificado pelos níveis tensão e pela variação de tensão. Esses ciclos são combinados em um número equivalente de ciclos de alcance total para estimar a vida útil restante do recipiente. Deve então ser determinado como combinar essa informação com a fadiga estática. Incertezas são inerentes ao cálculo e estimativa de ciclos, na combinação de efeitos de ciclo e na avaliação da vida total e restante do recipiente de pressão.

## SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[005] Em um aspecto, esta divulgação descreve um sistema que inclui um recipiente de pressão, uma fonte de fluido, uma linha acoplada ao recipiente de pressão e à fonte de fluido, um aparelho, um sensor e um controlador. O aparelho inclui um tubo e uma estrutura de contenção. O tubo possui uma parede de tubo, onde o tubo é configurado para conexão fluida à linha. A estrutura de contenção inclui uma cavidade separada de um interior do tubo por uma porção da parede do tubo. O sensor é configurado para determinar o valor de uma propriedade física na cavidade. O controlador está em comunicação de sinal com o sensor e configurado para detectar uma alteração no valor.

[006] Em outro aspecto, esta descrição descreve um método de previsão da falha iminente de um recipiente de pressão. O método inclui conexão fluida do recipiente de pressão a uma fonte de fluido pressurizado por meio de uma linha e conexão fluida de um aparelho para a linha entre o recipiente de pressão e a fonte. O aparelho inclui um tubo e uma estrutura de contenção. O tubo possui uma parede

de tubo, onde o tubo é configurado para conexão fluida à linha. A estrutura de contenção inclui uma cavidade separada de um interior do tubo por uma porção da parede do tubo. O método inclui ainda a determinação de um primeiro valor de uma propriedade física na cavidade da estrutura de contenção, sofrendo uma falha da parede do tubo que permite que o fluido flua de dentro do tubo para a cavidade, determinando um segundo valor da propriedade física cavidade e detecte uma diferença entre o primeiro e o segundo valores.

[007] Esta divulgação, nas suas várias combinações, quer em aparelho ou método, pode também ser caracterizada pela seguinte listagem de itens:

1. Um sistema incluindo:

um recipiente de pressão;

uma fonte de fluido;

uma linha acoplada ao recipiente de pressão e uma fonte de fluido;

um aparelho incluindo:

um tubo que tem uma parede de tubo, em que o tubo é configurado para conexão fluida com a linha; e

uma estrutura de contenção que inclui uma cavidade separada de dentro do tubo por uma porção da parede de tubo;

um sensor configurado para determinar um valor de uma propriedade física na cavidade; e

um controlador em comunicação de sinal com o sensor e configurado para detectar uma mudança no valor.

2. O sistema do item 1, em que a propriedade física é selecionada do grupo que consiste de pressão, temperatura, emissão acústica, condutividade, resistência, capacidade, ótica e concentração de substância.

3. O sistema de qualquer um dos itens 1 e 2 incluindo ainda um indicador na comunicação de sinal com o controlador.

4. O sistema de qualquer um dos itens 1-3 incluindo ainda uma válvula disposta entre a fonte de fluido e o recipiente de pressão.

5. O sistema do item 4, em que a válvula está em comunicação de sinal com o controlador.

6. O sistema de qualquer um dos itens 1 a 5 incluindo ainda uma fraqueza localizada na parte da parede do tubo e configurada de tal modo que a parede do tubo falhe na fraqueza para permitir que o fluxo flua de dentro do tubo para a cavidade da estrutura de contenção.

7. Um método de prever a falha iminente de um recipiente de pressão, o método incluindo:

conectar fluidamente o recipiente de pressão a uma fonte de fluido pressurizado através de uma linha;

conectar de forma fluida um aparelho à linha entre o recipiente de pressão e a fonte, o aparelho incluindo:

um tubo tendo uma parede de tubo, em que a conduta está configurado para conexão fluida à linha; e

uma estrutura de contenção incluindo uma cavidade separada de um interior do tubo por uma porção da parede de tubo;

determinar um primeiro valor de uma propriedade física na cavidade da estrutura de contenção; experimentando uma falha da parede do tubo que permite que o fluido flua de dentro do tubo para a cavidade;

determinar um segundo valor da propriedade física na cavidade; e

detectar uma diferença entre o primeiro e o segundo valores.

8. O método do item 7, incluindo também determinar se a diferença excede a diferença de limite pré-determinada.

9. O método do item 8 também incluindo:

determinar que a diferença excede uma diferença de limite pré-determinada,

e

retransmitir uma sinalização para um usuário.

10. O método de qualquer um dos itens 8 e 9 também incluindo:  
determinar que a diferença excede uma diferença de limite pré-determinada;  
e fechar uma válvula entre a fonte e o recipiente de pressão.

11. O método do item 10, em que o fechamento da válvula é realizado automaticamente por um controlador.

12. O método de qualquer dos itens 7 a 11 em que a propriedade física é selecionada de entre o grupo consistindo de pressão, temperatura, emissão acústica, condutividade, resistência, capacidade, ópticos, e da concentração da substância.

13. O método de qualquer um dos itens 7 a 12 incluindo ainda a calibragem da falha da parede do tubo a ocorrer em uma porcentagem pré-determinada de uma vida útil estimada do recipiente de pressão.

[008] Este resumo é fornecido para introduzir conceitos de forma simplificada que são descritos abaixo na Descrição Detalhada. Este resumo não pretende identificar as principais características do assunto relatado ou reivindicado e não pretende identificar recursos chaves ou recursos essenciais da matéria divulgada ou reivindicada e não pretende descrever cada modalidade divulgada ou cada implementação da matéria divulgada ou descrita. Especificamente, as características aqui divulgadas em relação a uma modalidade podem ser igualmente aplicáveis a outra. Além disso, este resumo não se destina a ser usado como auxílio na determinação do escopo do objeto. Muitas outras novidades, recursos e relacionamentos se tornarão aparentes à medida que essa descrição prosseguir. As figuras e a descrição que se seguem mais particularmente exemplificam modalidades ilustrativas.

## BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[009] A matéria divulgada será explicada com referência às figuras em anexo, que, em que a estrutura ou elementos de sistema semelhantes são referidos por numerais de referência semelhantes por todas as várias visualizações.

[010] A Figura 1 uma vista esquemática de um sistema exemplificativo incluindo um recipiente de pressão e um fusível exemplificativo acoplado em série a uma fonte de fluido.

[011] A Figura 2 é uma vista em perspectiva de um fusível exemplificativo.

[012] A Figura 3 é uma vista em perspectiva em corte transversal do fusível tomada ao longo da linha 3-3 da Figura 2.

[013] A Figura 4 é uma vista em perspectiva em corte transversal de uma segunda modalidade exemplificativa de um tubo de um fusível da presente divulgação.

[014] A Figura 5 é uma vista em perspectiva em corte transversal de uma terceira modalidade exemplificativa de um tubo usável no fusível divulgado.

[015] A Figura 6 uma vista em perspectiva em corte transversal de uma quarta modalidade exemplificativa de um tubo para uso no fusível divulgado.

[016] Embora as figuras acima identificadas estabeleçam uma ou mais modalidades da matéria divulgada, outras modalidades também são contempladas, como observado na descrição. Em todos os casos, essa divulgação apresenta o objeto em questão a título de representação e não limitação. Deve ser compreendido que várias outras modificações e modalidades podem ser concebidas por aqueles versados na técnica que se enquadram no escopo e no espírito dos princípios desta divulgação.

[017] As figuras podem não estar desenhadas em escala. Em particular, alguns recursos podem ser ampliados em relação a outros recursos para maior clareza. Além disso, quando esses termos tais como acima, abaixo, sobre, abaixo, em cima, abaixo, lado, direita, esquerda, etc. são usados, entende-se que eles

sejam usados apenas para facilitar a compreensão da descrição. Considera-se que as estruturas podem ser orientadas de outro modo.

### DESCRIÇÃO DETALHADA

[018] A divulgação reconhece que é desejável antecipar a falha do recipiente, permitindo remoção antecipada de um recipiente do serviço antes que venha a falhar. Em uma modalidade exemplificativa, um fusível é posicionado em linha com um fluxo de fluido, por exemplo, ao longo de uma linha de fluxo para dentro ou para fora de um recipiente de pressão. O fusível é construído para indicar com segurança uma carga de ciclo máxima permitida. Em uma modalidade, um fusível inclui uma cavidade de contenção e um pequeno tubo que é sulcado ou usinado para ter uma falha tal como um entalhe ou torrão na porção do tubo que percorre através da cavidade de contenção. Em outra modalidade, um fusível inclui um tubo que foi formado com um material e / ou estrutura projetada para falhar antes da falha de um recipiente de pressão conectado. O fluido flui para dentro e para fora do recipiente de pressão através do tubo. Após a exposição a uma carga de ciclo máxima permitida, as tensões resultantes da oscilação de pressão fazem com que o tubo falhe, como no local da falha. Quando o tubo é rompido, ele entra na cavidade de contenção até que uma propriedade física, como a pressão interna da cavidade, coincida com a do tubo. O aumento da pressão na cavidade pode ser usado para disparar alarmes, indicando que a carga do ciclo foi alcançada. Além disso, o vazamento pode ser guiado com segurança para um sistema de ventilação. Consequentemente, os sistemas e métodos divulgados permitem que um usuário preveja a falha iminente de um recipiente de pressão conectado. Em uma modalidade exemplificativa, o fusível é calibrado para falhar a uma percentagem predeterminada da vida útil estimada de um recipiente de pressão.

[019] Figura 1 mostra uma ilustração esquemática de uma modalidade exemplificativa de um sistema indicador de falha do recipiente de pressão 10, que

inclui o recipiente de pressão 12 acoplado (por exemplo, em comunicação fluida) a um tubo tal como a linha fonte 14. A linha fonte 14 pode ser, por exemplo, tubo ou tubulação metálico e / ou polímero. O recipiente de pressão 12 está configurado para conter um líquido ou fluido gasoso sob pressão e inclui construção metálica e / ou composta. Metais adequados incluem, por exemplo, aço inoxidável e ligas de níquel. Materiais compostos adequados incluem, por exemplo, fibra de vidro ou fibra de carbono. A linha fonte 14 permite comunicação fluída do recipiente de pressão 12 com uma fonte de fluido pressurizado 16, que proporciona o fluido com o qual o recipiente de pressão 12 é preenchido. A válvula 34 está disposta na linha da fonte 14 entre a fonte de fluido 16 e o recipiente de pressão 12. Quando a válvula 34 está aberta, o recipiente de pressão 12 e a fonte de fluido 16 estão em comunicação de fluida. Por outro lado, quando a válvula 34 está fechada, não ocorre fluxo entre a fonte de fluido 16 e o recipiente de pressão 12.

[020] Na modalidade ilustrada, o fusível 18 é disposto em série com o recipiente de pressão 12 em relação à fonte 16. No entanto, outras disposições também podem ser adequadas. Tipicamente, recipiente de pressão 12 está acoplado à linha 14 por meio da bossa 13 do recipiente de pressão 12, mas pode ser usado qualquer mecanismo de acoplamento que permita que o fluido em linha 14 possa fluir seletivamente para dentro e para fora do recipiente de pressão 12. Detalhes relevantes para a formação de um recipiente de pressão exemplificativo 12 são divulgados em na Patente U.S. No. 4.838.971, intitulada "Processo e Aparelho de Enrolamento de Filamento"; e Patente U.S. No. 4.369.894, intitulada "Recipientes de Enrolamento de Filamento"; cujas descrições encontram-se aqui incorporadas a título de referência.

[021] Em uma modalidade exemplificativa de sistema 10, um aparelho tal como o fusível 18 pode ser concebido para ter um tempo de falha predeterminado (por exemplo, expectativa de duração de vida) que seja menor do que o tempo de

falha esperado do recipiente de pressão 12 por uma quantidade que permita ao fusível 18 sinalizar uma falha iminente do recipiente de pressão 12. A duração de vida esperada do recipiente 12 pode definida por um número de ciclos de pressão e / ou uma duração de tempo em uma ou mais pressões estáticas, por exemplo, antes que a integridade estrutural do recipiente de pressão 18 seja comprometida o suficiente para causar falha.

[022] Como mostrado na FIG. 3, uma modalidade exemplificativa do fusível 18 inclui o tubo 36a configurado para conexão fluida com o tubo 14, de tal modo que o fluxo que flui através do tubo 14 também flua através do tubo 36a. Enquanto o tubo 36 é ilustrado como um tubo cilíndrico nas Figuras 3 a 5, é contemplado que possam ser também usadas outras formas e formatos de tubo. Em uma modalidade exemplificativa, o tubo 36a tem uma parede de tubo 44a. Pelo menos um ponto fraco 20, tal como um entalhe ou torrão, pode estar localizado na parede de tubo 44a. Assim, a falha mecânica inicia no ponto fraco 20 antes de ocorrer em outro local no fusível 18. Em uma modalidade exemplificativa, o ponto fraco 20 é marcado 20 ou usinado dentro do tubo 36 em uma profundidade precisa em uma parede metálica do tubo 44. O ponto fraco 20 é calibrado de modo que a parede do tubo 44a quebre antes do recipiente de pressão 12 falhar, tal como numa percentagem pré-determinada da vida útil estimada da do recipiente. É contemplado que qualquer ponto fraco 20 pode ser empregue, tal como, por exemplo, uma área da parede de tubo 44a que tenha uma espessura diferente, composição, estrutura, a susceptibilidade à corrosão, ou outras propriedades, que tornem o ponto fraco mais suscetível a falhas do que um remanescente de fusível 18.

[023] Um ou mais sensores 24 podem ser localizados no, sobre, ou conectado ao fusível 18 e ser configurado para detectar uma ou mais condições de fusível 18. Por exemplo, o sensor 24 pode ser configurado para detectar uma ou mais das condições físicas no fusível 18, tal como temperatura, pressão, emissões

acústicas, condutividade, ou qualquer outro indicador de falha da parede de tubo 44, tal como na ponto fraco 20. O sensor 24 pode ser conectado ao controlador 26 através da linha de comunicação de sinal 32.

[024] Para facilitar o comentário, será feita referência ao controlador de computador 26, que pode incluir processadores conhecidos, microprocessadores, microcontroladores e controladores lógicos programáveis (PLC), por exemplo. Em uma modalidade exemplificativa, o controlador 26 executa o software e assim se comunica com dispositivos externos, tais como o sensor 24, o indicador 28, válvula 34 e quaisquer outros dispositivos externos, por via das de linhas de comunicação de sinal 32. Em uma modalidade exemplificativa, tal comunicação de sinal pode ser realizada através de interfaces (não mostradas), de modo que uma pessoa usando um protocolo RS-485/Modbus padrão, usando dispositivo de comunicação com fio e / ou sem fio.

[025] O controlador 26 recebe um sinal de um sensor 24 em relação a um ou mais valores detectados de uma condição física e executa o software (não mostrado) para determinar se a falha de tubo 36 ocorreu têm, como uma função do valor do (s) detectado (s). Em uma modalidade exemplificativa, tanto o indicador 28 quanto a válvula 34 estão em comunicação de sinal com o controlador 26 através de linhas de comunicação de sinal 32. O controlador 26 está configurado para responder a uma falha de linha da fonte 14, por exemplo, pelo desencadeamento do indicador 28 para retransmitir um sinal para um usuário e / ou retirando o recipiente de pressão 12 de serviço. Em um exemplo, o indicador de disparo 28 inclui o envio para um sinal do controlador 26 para acionar um sinal ou alarme visível e / ou audível para os usuários que violarem a linha fonte 14 no tubo 36. Em outro exemplo, a remoção do recipiente de pressão 12 de serviço inclui desconectar o recipiente de pressão 12 da fonte de fluido 16 através do envio de um sinal do controlador 26, para fechar automaticamente a válvula 34 entre recipiente de

pressão 12 e a fonte de fluido 16, parando assim o fluxo de fluido entre a fonte de fluido 16 e o recipiente de pressão 12. Além disso, ou alternativamente, o recipiente de pressão 12 pode ser desmontado manualmente ou retirado de serviço de outra maneira antes ou depois de qualquer um alerta de falha, para inspeção.

[026] Com referência às Figuras 2 e 3, em algumas modalidades, o fusível 18 é formado integralmente com a linha da fonte 14. Em outras modalidades, o fusível 18 é formado como um componente separado que pode ser conectado a segmentos de linha de fonte 14, tal como fixadores 22, que incluem porcas e arruelas fixadas de forma roscada ao eixo 30 em uma modalidade exemplificativa. Como mostrado na Figura 3, em uma modalidade exemplificativa, o fusível 18 inclui o tubo 36a tendo uma ponto fraco 20 formado na parede de tubo 44a. O gás que flui através da linha de fonte 14 também flui através do tubo 36. A configuração de ponto fraco 20 e o material de tubo 36a são então calibrados de modo que o tubo 36a quebre no ponto fraco 20 em uma carga de ciclo de pressão pré-determinado, passando através da linha de fonte 14, em que tal ciclo de carga de pressão pré-determinado é calculado para ser o reflexo de uma duração de vida esperado do recipiente de pressão 12 fixado à linha de fonte 14. Em caso do tubo 36a no ponto fraco 20, o gás que flui na linha de fonte 14 escapa a partir da fonte de um lado de dentro do tubo 36a para dentro cavidade 38 da estrutura de contenção 40. Como mostrado nas Figuras 1 e 2, o sensor 24 é conectado à cavidade 38 do fusível 18, através de uma conexão na abertura 42, para detectar um ou mais valores de condições físicas na cavidade 38. Embora uma configuração particular de estrutura de contenção 40 esteja ilustrada, é contemplado que a estrutura de contenção 40 possa diferir em tamanho e forma a partir da modalidade ilustrada. No entanto, qualquer que seja a configuração da estrutura de contenção 40, a comunicação fluida entre a linha de fonte 14 e a cavidade 38 é fornecida pela ruptura do tubo 36a, tal como a ponto fraco 20. Embora pareça nas Figuras 2 e 3 que a estrutura de

contenção 40 esteja aberta na abertura 42, em uma modalidade exemplificativa, o sensor 24 é fixado ao fusível 18 na abertura 42, tal como por um acoplador ou outra conexão conhecida.

[027] Em uma modalidade exemplificativa, "falha" do tubo 36 inclui uma ruptura ou quebra menor que resulte em vazamento de fluido que de uma quantidade maior do que o limite. Tal quantidade limite pode ser definida por um usuário e / ou determinada pelo software executado pelo controlador 26 que tem em conta fatores incluindo, por exemplo, as condições físicas detectadas cujos valores são determinados por um ou mais sensores 24. O sensor 24 está configurado para determinar um valor de uma propriedade física na cavidade 38. Os valores exemplificativos de propriedades físicas incluem, por exemplo, uma leitura de temperatura, um valor de pressão, um valor de condutividade, um comprimento de onda de emissão acústica ou de frequência, e a capacidade elétrica ou valor da resistência, um valor óptico e uma porcentagem de concentração de substância. O controlador 26 está em comunicação de sinal com o sensor 24 através da linha de comunicação de sinal 32. O controlador 26 recebe múltiplas leituras do sensor 24, tal como em intervalos de tempo, por exemplo, e é configurado para detectar uma alteração nos valores detectados pelo sensor 24.

[028] Em um exemplo, o fluido pressurizado no sistema 10 é um fluido criogênico. O sensor 24 retorna um primeiro valor de temperatura da cavidade 38 e um segundo valor de temperatura da cavidade 38. O controlador 26 calcula uma diferença entre o primeiro e o segundo valores. O controlador 26 pode executar o software ou, de outro modo, ser programado para determinar que a ruptura da parede do tubo 44 no ponto fraco 20 tenha ocorrido se a diferença estiver acima de uma diferença de limite pré-determinado. Em outro método, ainda mais simples, o controlador 26 pode determinar que a falha ocorreu no fusível 18 se qualquer um dos valores de temperatura determinados estiver abaixo ou acima dos valores de

limite de temperatura pré-determinados de um ou mais valores de temperatura predeterminados.

[029] Em outro exemplo, se o fluido pressurizado no sistema 10 for hidrogênio, o controlador 26 pode determinar que a falha de linha da fonte 14 tenha ocorrido se o sensor 24 retornar um valor de concentração de hidrogênio na cavidade 38 da estrutura de contenção 40 que está acima de uma concentração de hidrogênio limite pré-determinada ou que uma diferença nos valores de concentração de substância exceda uma diferença de limite predeterminada. Em ainda outro exemplo, o controlador 26 pode determinar que a falha de linha da fonte 14 tenha ocorrido se o sensor 24 retornar um valor de pressão de gás na cavidade 38 da estrutura de contenção 40 que está acima de uma pressão limite pré-determinada, ou que uma diferença nos valores medidos excedam uma diferença limite pré-determinada. O software executado pelo controlador 26 pode também ser programado para considerar qualquer combinação de valores de condição física retomados pelos sensores 24 para determinar se ocorreu falha na linha de fonte 14.

[030] As Figuras 4 a 6 ilustram modalidades exemplificativas de outras configurações de tubos 36 que podem ser usadas no fusível 18. Como mostrado na Figura 4, em uma modalidade exemplificativa, o conduta 36b inclui uma parede de tubo 44b que pode ser formada por um material tal como um polímero. A camada de invólucro 46 que circunda a parede do tubo 44b pode ser formada como um material composto com filamentos enrolados que podem ser semelhantes na construção e composição para um material de revestimento composto do recipiente de pressão 12 protegido. A camada de invólucro protegido 46 é configurada em sua composição e / estrutura para falhar antes de uma falha esperada do recipiente de pressão 12. Diferente de do tubo 36a da Figura 3, o tubo 36b da Figura 4 não tem um ponto distinto de fraqueza, mas sim em qualquer ponto poderia falhar ao longo da parede de tubo e / ou camada de invólucro 46. Assim, uma estrutura de contenção 40 para

uso com o tubo 36b pode incluir uma cavidade maior 38 que envolva todas as partes do tubo 36b entre fixadores 22. Um tubo 36b, como mostrado na Figura 4 pode ser mais útil para prever o limite de fadiga estática no revestimento composto do recipiente de pressão 12. Em contraste, o tubo 36a da Figura 3, que tem um ponto fraco usinado distinto 20 em uma parede de tubo 44a, pode ser muito útil para prever falhas em relação a um número predeterminado de ciclos de pressurização.

[031] O tubo 36c da Figura 5 combina as características do tubo 36a da Figura 3 e tubo 36b da Figura 4. Uma estrutura de contenção 40 para uso com o tubo 36b iria, em uma modalidade exemplificativa, incluir uma cavidade 38a. Isso incluiria todo o conduta 36c entre os fixadores externos 22. É esperado que, em uso, parede de tubo 44b fosse rompida quando um limite de fadiga estática da camada de invólucro 46 fosse atingido, que é calibrado para estar antes de um ponto de falha de um recipiente de pressão invólucro composto 12. Além disso, espera-se que a parede de tubo 44a seja rompida no ponto fraco 20 quando um número definido de ciclos de pressurização tenha tido experiência na parede de tubo 44a. Assim, o tubo de combinação 36c é eficaz para proteger o recipiente de pressão 12 contra limites de fadiga estática e de ciclo de pressurização esperados.

[032] Como mostrado na Figura 6, o tubo 36d é semelhante em composição ao tubo 36b da Figura 4. No entanto, a forma estrutural da parede de tubo 44c e camada de invólucro 46c não se limita às estruturas tubulares mostradas nas Figuras 3 a 5. Pelo contrário, como mostrado na Figura 6, um tubo 36d pode ter uma geometria esférica. Além disso, considera-se que os tubos 36 que têm ainda outras configurações geométricas possam ser adequadas e a presente divulgação não se limita às modalidades ilustradas. Além disso, como na Figura 5, o tubo 36d da Figura 6 pode ser também combinado com um dispositivo preditivo de ciclo de pressão similar à parede de tubo 44a com o ponto fraco 20 formada nele. Como comentado nas outras modalidades, é contemplado que uma estrutura de contenção 40 poderia

circundar o tubo 36d e ser equipada com outros componentes tais como o sensor 24, o controlador 26, o indicador 28 e a linha comunicação de sinais 32 como comentado acima.

[033] Em algumas modalidades, a geometria de um tubo 36 pode ser utilizada para gerar locais de falha tensão na parede do tubo 44c e / ou na camada de invólucro 46c que desempenha de forma semelhante ao ponto fraco 20 da parede de tubo 44a.

[034] Embora os fusíveis 18 divulgados com diferentes tubos 36 tenham sido descritos como incluindo uma estrutura de contenção 40 configurada para funcionar tal como descrito com referência ao sistema indicador de falha 10 da Figura 1, é também contemplados que os tubos divulgados 36 possam adicional ou alternativamente ser colocados em comunicação fluida com um sistema de ventilação. Esse sistema de ventilação poderia liberar com segurança e de forma controlada o fluido pressurizado de um recipiente sob pressão 12 e / ou fonte de fluido 16, para prevenir uma liberação descontrolada de fluido ou ruptura do recipiente de pressão.

[035] Embora o assunto desta divulgação tenha sido descrito com referência a várias modalidades, aqueles versados na técnica irão reconhecer que podem ser feitas alterações na forma e detalhe sem se afastar do escopo da divulgação. Além disso, qualquer característica divulgada em relação a uma modalidade pode ser incorporada em outra modalidade, e vice-versa.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema (10) que inclui:
  - um recipiente de pressão (12);
  - uma fonte de fluido (16);
  - uma linha (14) acoplada ao recipiente de pressão (12) e à fonte de fluido (16), em que fluido pressurizado flui através da linha (14);  
**CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende um aparelho (18) que inclui:
    - um tubo (36) conectado na linha (14) de modo que o fluido pressurizado flui através do tubo (36) entre o recipiente de pressão (12) e a fonte de fluido (16), o tubo (36) tendo uma parede de tubo (44) que é exposta a oscilação de pressão do recipiente de pressão (12);
    - uma estrutura de contenção (40) incluindo uma cavidade (38) separada de um interior do tubo (36) por uma porção da parede de tubo (44); e
    - um ponto fraco (20) da porção da parede de tubo (44) configurada tal que a oscilação de pressão causa a falha da parede de tubo (44) no ponto fraco (20) para permitir que o fluido flua de dentro do tubo (36) para a cavidade (38) da estrutura de contenção (40);
    - um sensor (24) configurado para determinar um valor de uma propriedade física na cavidade (38); e
    - um controlador (26) em comunicação de sinal com o sensor (24) e configurado para detectar uma alteração no valor.

2. Sistema (10), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a propriedade física é selecionada do grupo que consiste em pressão, temperatura, emissão acústica, condutividade, resistência, capacitação, óptica e concentração de substância.

3. Sistema (10), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo

fato de que inclui adicionalmente um indicador (28) em comunicação de sinal com o controlador (26).

4. Sistema (10), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente inclui uma válvula (34) disposta entre a fonte de fluido (16) e o recipiente de pressão (12).

5. Sistema (10), de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a válvula (34) está em comunicação de sinal com o controlador (26).

6. Sistema (10), de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o ponto fraco (20) é uma estrutura discreta situada na parte da parede de tubo (44).

7. Método para prever a falha iminente de um recipiente de pressão (12), o método **CARACTERIZADO** pelo fato de incluir:

conectar fluidamente o recipiente de pressão (12) a uma fonte (16) de fluido pressurizado (14) através de uma linha (14) de modo que fluido pressurizado flui através da linha (14);

conectar fluidamente um aparelho (18) à linha (14) entre o recipiente de pressão (12) e a fonte (16),

o aparelho (18) incluindo:

um tubo (36) conectado na linha (14) de modo que o fluido pressurizado flui através do tubo (36), o tubo (36) tendo uma parede de tubo (44) que é exposta à oscilação de pressão do recipiente de pressão (12); e

uma estrutura de contenção (40) incluindo uma cavidade (38) separada de uma parte interna do tubo (36) por uma porção da parede de tubo (44);

determinar um primeiro valor de uma propriedade física na cavidade (38) da estrutura de contenção (40);

experimentar uma falha da parede de tubo (44) que permita que o fluido pressurizado flua de dentro do tubo (36) para a cavidade (38);

determinar um segundo valor da propriedade física na cavidade (38);  
detectar uma diferença entre os primeiro e segundo valores; e  
calibrar a falha da parede de tubo (44) para ocorrer antes de uma vida útil estimada do recipiente de pressão (12).

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente inclui determinar se a diferença excede uma diferença limite pré-determinada.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente inclui:

determinar que a diferença excede uma diferença limite pré-determinada; e  
retransmitir uma sinalização para um usuário.

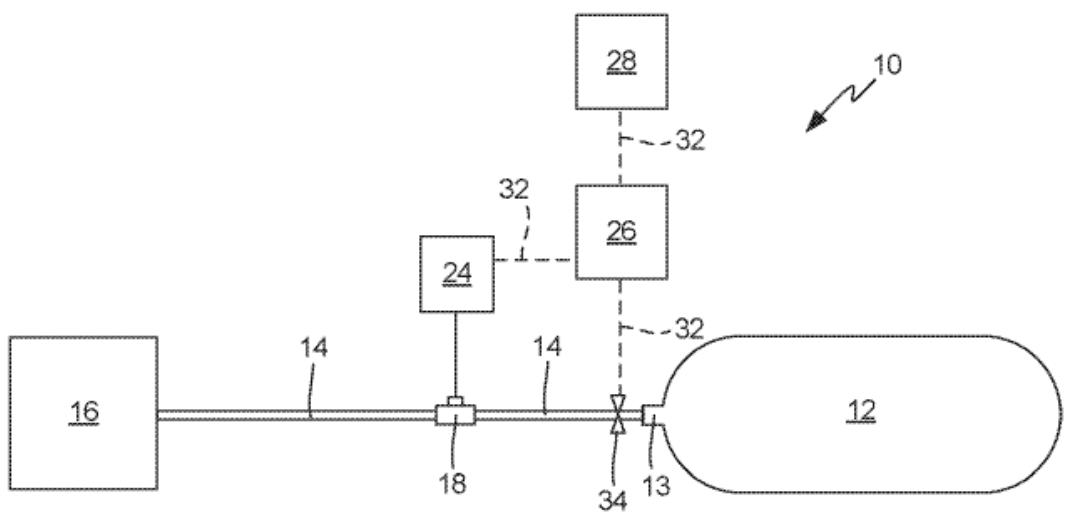
10. Método, de acordo com a reivindicação 8, **CARACTERIZADO** pelo fato de que adicionalmente inclui:

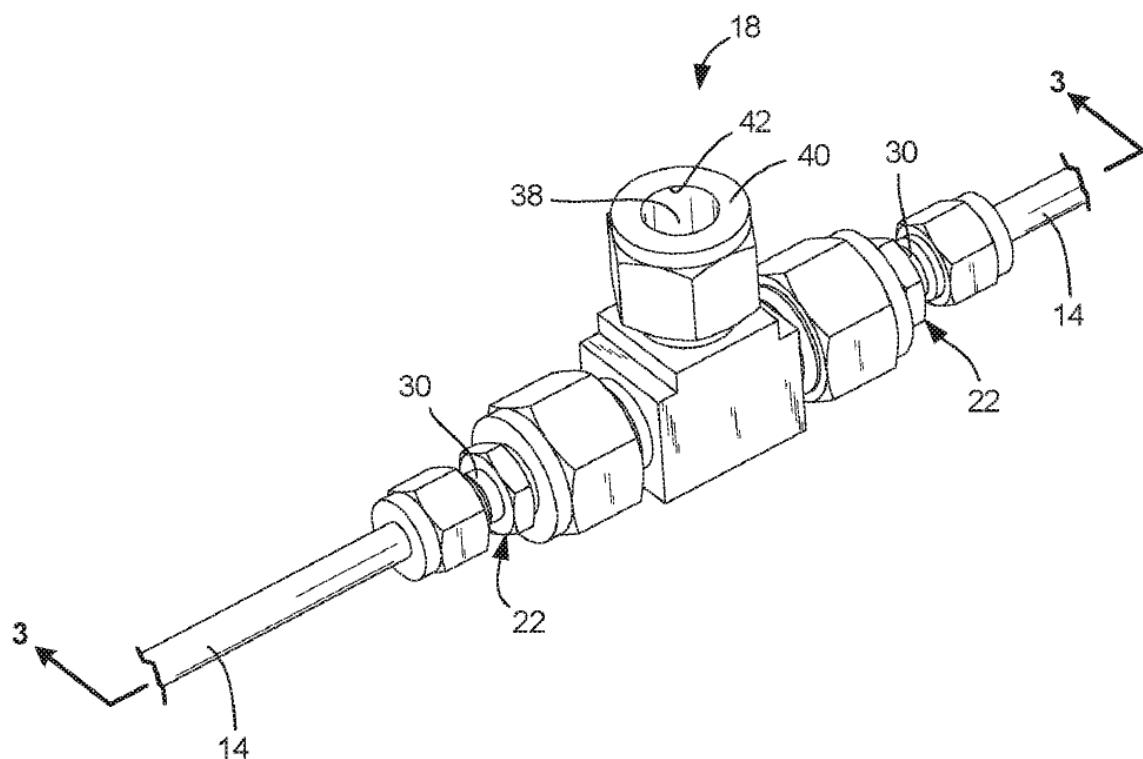
determinar que a diferença excede uma diferença limite pré-determinada; e  
fechar uma válvula (34) entre a fonte (16) e o recipiente de pressão (12).

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o fechamento da válvula (34) é realizado automaticamente por um controlador (26).

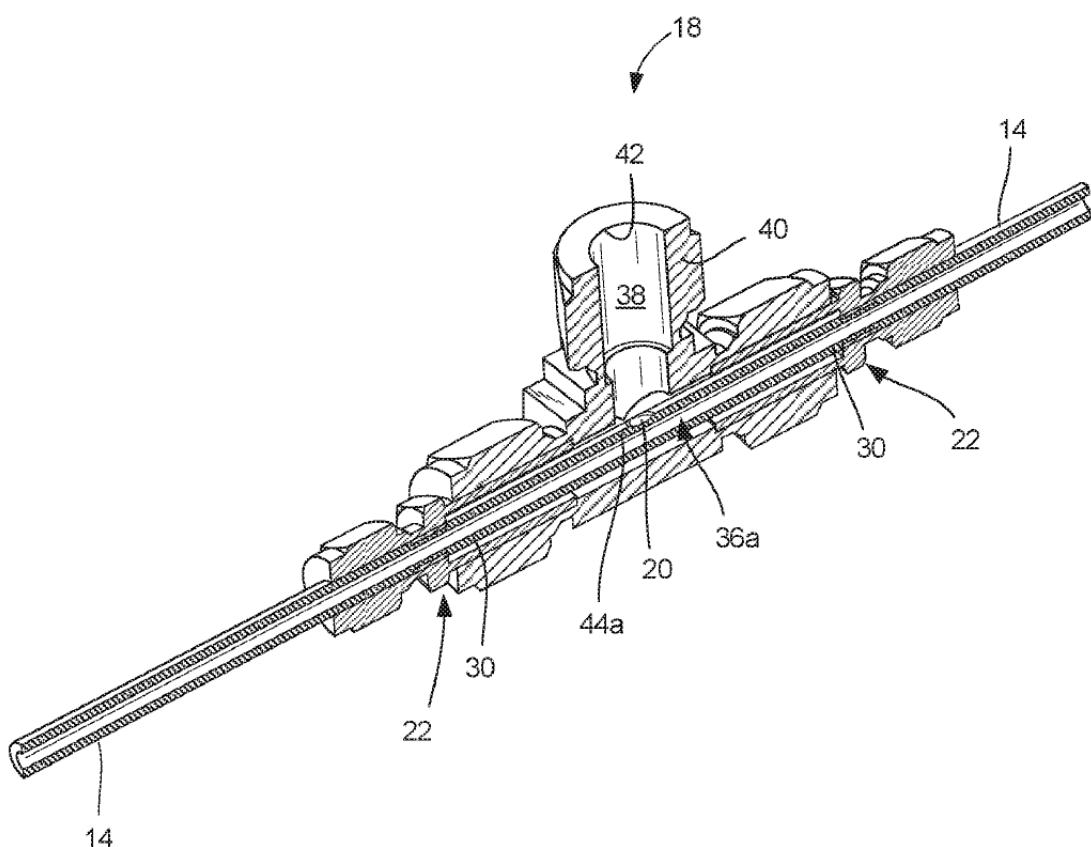
12. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a propriedade física é selecionada do grupo que consiste em pressão, temperatura, emissão acústica, condutividade, resistência, capacidade, óptica, e concentração de substância.

13. Método, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que calibrar a falha da parede de tubo (44) inclui cálculo de uma porcentagem pré-determinada da vida útil estimada do recipiente de pressão (12).

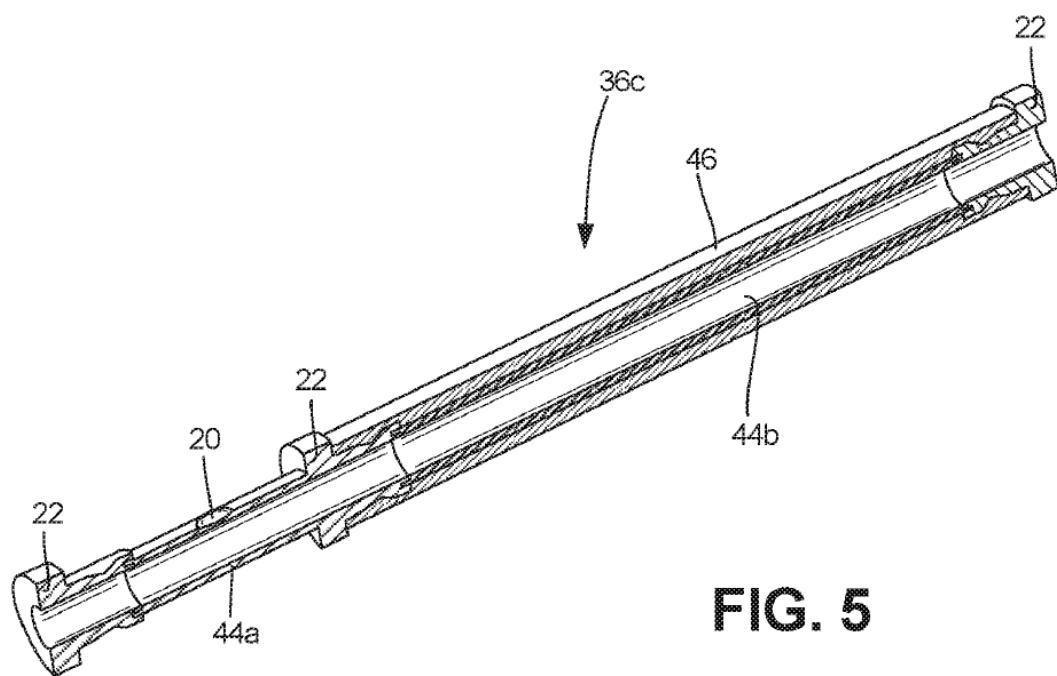
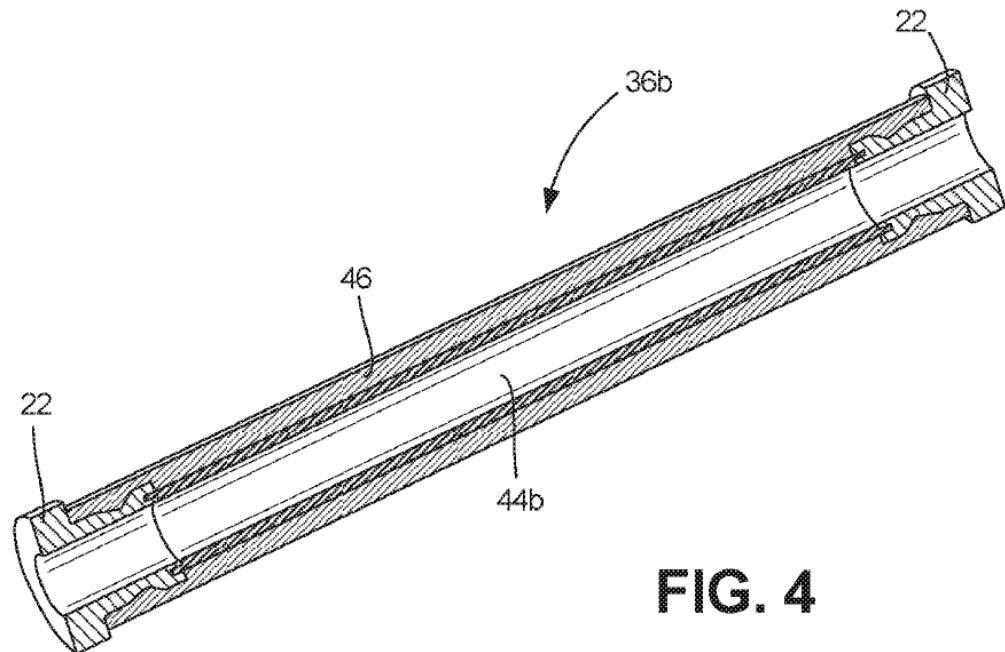
**FIG. 1**

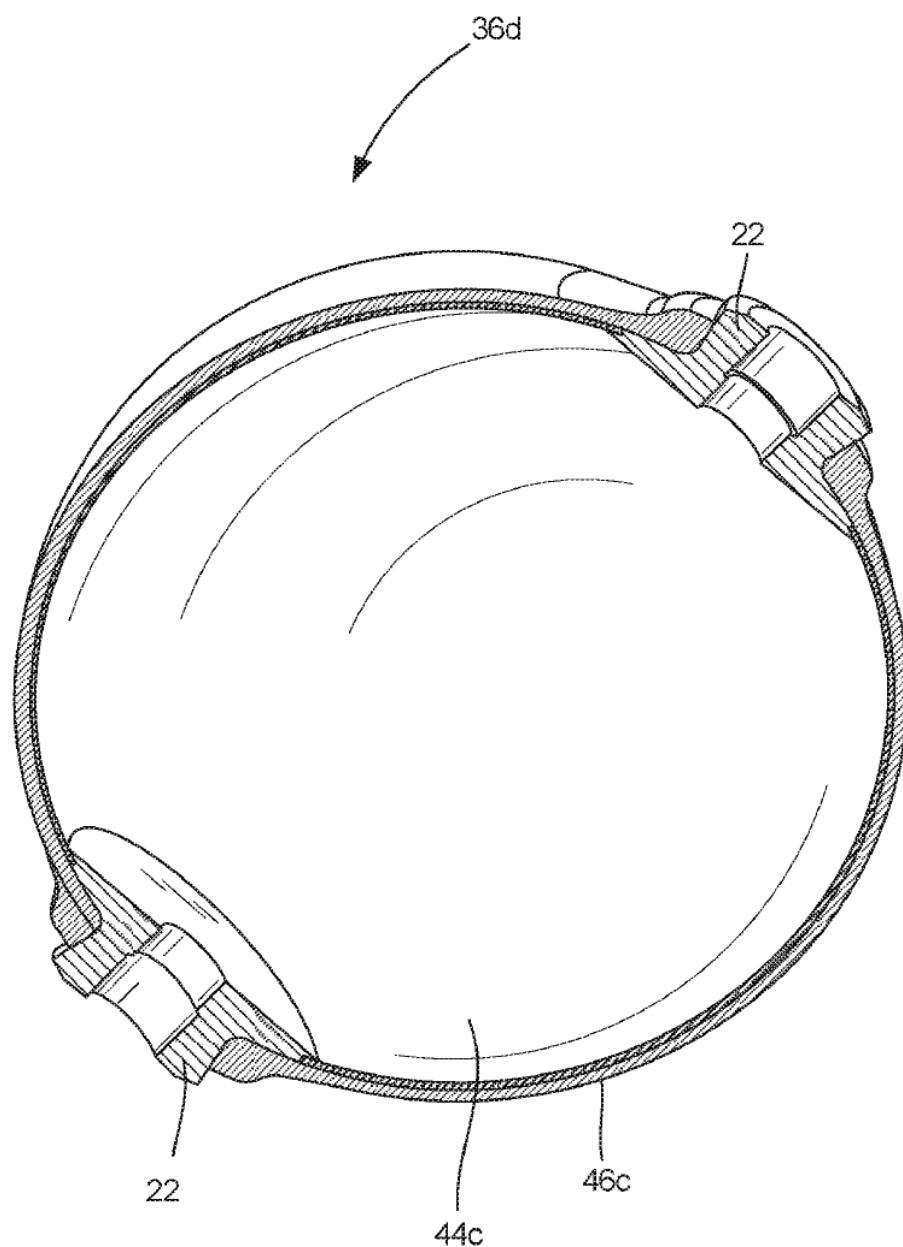


**FIG. 2**



**FIG. 3**





**FIG. 6**