



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

(11) PI 0809524-8 B1

(22) Data do Depósito: 06/03/2008

(45) Data de Concessão: 26/06/2018



(54) Título: SEPARADOR DE FLUIDO CICLÔNICO COM UM ALOJAMENTO TUBULAR, E, MÉTODO PARA SEPARAR UMA MISTURA FLUIDA COM O SEPARADOR DE FLUIDO CICLÔNICO

(51) Int.Cl.: B01D 45/16; B04C 3/00

(30) Prioridade Unionista: 26/03/2007 EP 07104888.8

(73) Titular(es): TWISTER B.V.

(72) Inventor(es): MARCO BETTING; MAX ROBERT ANTHONY TER HAAR; FREDERICK ALBERT LAMMERS; CORNELIS ANTONIE TJEENK WILLINK

“SEPARADOR DE FLUIDO CICLÔNICO COM UM ALOJAMENTO TUBULAR, E, MÉTODO PARA SEPARAR UMA MISTURA FLUIDA COM O SEPARADOR DE FLUIDO CICLÔNICO”

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

5 A invenção diz respeito a um separador de fluido ciclônico.

Misturas de gases podem ser separadas expandindo e assim resfriando a mistura de maneira tal que componentes condensáveis se condensem e então separando os componentes gasosos dos componentes líquidos condensados em um separador ciclônico.

10 O pedido de patente internacional WO03029739 revela um separador ciclônico compreendendo uma seção de estrangulamento na qual o fluido pode ser acelerado a uma velocidade transônica ou supersônica, e dispositivo que confere turbilhão para induzir o fluido a turbilhonar através de um espaço anular entre o alojamento e um corpo central, que fica arranjado
15 substancialmente coaxial em relação a um eixo central do alojamento.

A mistura de fluido que escoar a alta velocidade através do espaço anular entre a superfície interna do alojamento e a superfície externa do corpo central pode exercer forças vibracionais no alojamento e no corpo central.

20 É também desejável modernizar o corpo central, que pode envolver configurar o corpo central de maneira tal que ele tenha uma seção dianteira em forma de gotícula e uma seção final delgada alongada. Esta seção final pode ser curta ou comprida, e pode ser suportada ou não suportada pelo alojamento. Vibrações do corpo central podem ter um efeito detrimental
25 no fluxo de fluido e desempenho da separação do dispositivo, e pode danificar e mesmo causar falha do corpo central.

É um objetivo da presente invenção solucionar o problema de vibração do corpo central de um separador de fluido ciclônico.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

De acordo com a invenção, é provido um separador de fluido ciclônico com um alojamento tubular no qual o fluido é acelerado, e dispositivo que confere turbilhão para induzir o fluido a turbilhonar através de um espaço anular entre o alojamento e um corpo central montado dentro do alojamento, corpo central este que é provido com dispositivo de eliminação de ressonância.

Opcionalmente, o dispositivo de eliminação de ressonância é configurado para aumentar a frequência natural do corpo central e/ou amortecer vibrações de pelo menos parte do corpo central.

Para conseguir isto, o corpo central pode compreender uma seção final tubular, que é cheia pelo menos parcialmente com partículas sólidas e/ou um líquido viscoso e que pode ser submetida a uma tração axial predeterminada.

Além disso, uma haste de tração pode ficar arranjada na seção final tubular do corpo central, de maneira tal que uma folga anular esteja presente entre a superfície externa da haste de tração e a superfície interna da seção final tubular do corpo central, cuja folga anular que é cheia pelo menos parcialmente com um líquido viscoso.

Alternativamente, o corpo central pode compreender uma seção final porosa, de maneira tal que diferenças de pressão entre lados opostos da seção final sejam reduzidas e vibração da seção final resultante de quaisquer diferenças de pressão variadas entre os ditos lados opostos da seção final seja inibida.

Em um caso desses, o corpo central pode ter uma seção frontal em forma de gotícula e uma seção final alongada substancialmente cilíndrica que é feita substancialmente porosa pela perfuração da seção final por furos substancialmente radiais que são distribuídos ao longo do comprimento da seção final, cujos furos que são também distribuídos em intervalos tangenciais

regulares ao longo da circunferência da seção final.

Em uma outra modalidade do separador de fluido ciclônico de acordo com a invenção, o corpo central compreende uma abertura longitudinal com um eixo longitudinal que coincide substancialmente com o eixo central, abertura longitudinal esta que é configurada como um duto através do qual, em uso, um fluido de baixa pressão é injetado no alojamento tubular, fluido de baixa pressão este que é misturado com o fluido que escoava através da seção de estrangulamento em uma seção substancialmente cilíndrica do alojamento que está localizada a jusante da seção de estrangulamento e fluido de baixa pressão este que tem uma pressão estática menor que a do fluido que escoava pela seção de estrangulamento para a seção substancialmente cilíndrica do alojamento.

Em tal caso, o alojamento tubular pode compreender uma seção final na qual uma saída de fluido rico em gás central é arranjada, que é envolta por uma saída de fluido rico em líquido anular, e em que um conduto de reciclagem fica arranjado entre a saída de fluido rico em líquido anular e a abertura longitudinal no corpo central para reciclar fluido rico em líquido como um fluido de baixa pressão da saída de fluido rico em líquido anular para a abertura longitudinal no corpo central.

A seção de estrangulamento do separador de fluido ciclônico de acordo com a invenção pode ser configurada de maneira tal que, em uso, o fluido seja acelerado a uma velocidade substancialmente sônica ou supersônica na seção de estrangulamento e seja assim resfriado de maneira tal que um ou mais componentes condensáveis se condensem na seção de estrangulamento.

De acordo com a invenção, é também provido um método para separar uma mistura fluida com o separador de acordo com a invenção, em que o método é usado para obter uma corrente de gás natural purificada a partir de uma corrente de gás natural contaminada, tais como areia e/ou outras

partículas de terra e/ou contaminantes condensáveis, tais como água, condensados, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e/ou mercúrio.

Esses e outros recursos, objetivos, vantagens e modalidades do separador ciclônico e método de acordo com a invenção são descritos nas reivindicações anexas, resumo e descrição detalhada seguinte de modalidades preferidas, nas quais é feita referência aos desenhos anexas.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

10 A figura 1 é uma vista seccional longitudinal esquemática de um separador ciclônico com um corpo central que tem uma seção final alongada;

A figura 2 representa em uma escala ampliada uma vista tridimensional esquemática da construção de fixação, que aplica uma carga de tração na extremidade a jusante da seção final do corpo central mostrado na figura 1;

15 A figura 3 é uma vista seccional transversal de uma seção final tubular segmentada do corpo central mostrado na figura 1, que é cheia com partículas sólidas;

A figura 4 é uma vista seccional longitudinal da seção final tubular segmentada mostrada na figura 3;

20 A figura 5 é uma vista seccional transversal da seção final tubular do corpo central mostrado na figura 1, que é cheia com um líquido viscoso e arranjada em torno de uma haste de tracionamento;

A figura 6 é uma vista seccional transversal de uma seção final alongada perfurada do corpo central mostrado na figura 1;

25 A figura 7 é uma vista seccional longitudinal da seção final alongada perfurada mostrada na figura 6; e

A figura 8 é uma vista seccional longitudinal esquemática de um separador de fluido ciclônico com um corpo central que tem uma abertura central pela qual um fluido de baixa pressão é injetado para inibir vibrações

induzidas por fluido.

DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES REPRESENTADAS

Nas figuras 1-8 anexas, números de referência similares são usados, onde apropriado, para denotar componentes similares de modalidades similares dos separadores de fluido ciclônicos nelas representados.

Referindo-se agora à figura 1, está mostrado um separador de inércia ciclônico que compreende um dispositivo de entrada de turbilhonamento compreendendo um corpo central em forma de gotícula aerodinâmico 1 no qual uma série de pás que conferem turbilhão 2 é montada e que fica arranjado coaxial com um eixo central I do separador e dentro do alojamento do separador 10, de maneira tal que um caminho de fluxo anular 3 seja criado entre o corpo central 1 e o alojamento do separador 10. O separador compreende adicionalmente uma parte de estrangulamento anular 4 da qual, em uso, a corrente de fluido em turbilhão é descarregada em uma câmara de separação de fluido divergente 5 que é equipada com um conduto de saída primário central 7 para componentes gasosos e com um conduto de saída secundário externo 6 para componentes fluidos ricos em condensáveis. O corpo central 1 tem uma seção final alongada substancialmente cilíndrica 8 na qual um conjunto de pás de endireitamento de fluxo 9 é montado. O corpo central 1 preferivelmente tem uma largura ou diâmetro maior $2 R_{n \max}$, que é maior que a largura ou diâmetro interno menor $2 R_{n \min}$ da parte de estrangulamento anular 4.

As pás que conferem turbilhão 2 são orientadas em um ângulo (α) em relação ao eixo central I para criar uma circulação (Γ) na corrente de fluido. É preferível que α seja entre 20° e 50° . A corrente de fluido é subsequentemente induzida a escoar para a área de fluxo anular 3. A superfície seccional transversal desta área é definida como:

$$A_{\text{coroa anular}} = \pi (R_{\text{externo}}^2 - R_{\text{interno}}^2)$$

Os últimos dois sendo o raio externo e o raio interno da coroa

anular em um local selecionado. O raio médio da coroa anular nesse local é definido como:

$$R_{\text{médio}} = \sqrt{[1/2(R_{\text{externo}}^2 + R_{\text{interno}}^2)]}$$

No valor máximo do raio da coroa anular médio $R_{\text{médio,max}}$ a corrente de fluido está escoando entre o conjunto das pás que conferem turbilhão 2 a uma velocidade (U), pás estas que defletem a direção de fluxo da corrente de fluido proporcionalmente ao ângulo de deflexão (α) e assim obtendo um componente de velocidade tangencial que é igual a $U_{\phi} = U \cdot \sin(\alpha)$ e um componente de velocidade axial $U_x = U \cdot \cos(\alpha)$

No espaço anular 3 a jusante das pás que conferem turbilhão 2 a corrente de fluido em turbilhão é expandida a altas velocidades, em que o raio da coroa anular médio diminui gradualmente de $R_{\text{médio,max}}$ para $R_{\text{médio,min}}$.

Deve-se considerar que, durante esta expansão anular, ocorrem dois processos.

(1) O calor ou entalpia (h) no fluxo diminui no valor $\Delta h = 1/2U^2$, condensando assim aqueles constituintes de fluxo que primeiramente atinge o equilíbrio de fases. Isto resulta em um fluxo de névoa em turbilhão contendo pequenas partículas de líquido ou sólido.

O componente da velocidade tangencial U_{ϕ} aumenta inversamente com o raio da coroa anular médio substancialmente de acordo com a equação:

$$U_{\phi,\text{final}} = U_{\phi,\text{inicial}} \times (R_{\text{médio,max}} / R_{\text{médio,min}})$$

Isto resulta em um forte aumento da aceleração centrífuga das partículas de fluido (a_c), que finalmente será da ordem de:

$$a_c = (U_{\phi,\text{final}}^2 / R_{\text{médio,min}})$$

Na parte de estrangulamento tubular 4 a corrente de fluido pode ser induzida a expandir ainda mais a maior velocidade ou ser mantida a uma velocidade substancialmente constante. No primeiro caso, condensação está em andamento e as partículas ganharão massa. No último caso, a

condensação está prestes a parar depois de um tempo de relaxação definido. Em ambos os casos, a ação centrífuga faz com que as partículas sejam levadas para a circunferência externa da área de fluxo adjacente à parede interna do alojamento do separador 20, que é denominada a área de separação. O período de tempo para que as partículas sejam levadas para esta circunferência externa da área de fluxo determina o comprimento da parte de estrangulamento tubular 4.

A jusante da parte de estrangulamento tubular 4 os componentes fluidos "molhados" ricos em condensáveis tendem se concentrar adjacentes à superfície interna da câmara de separação de fluido divergente 5 e os componentes fluidos gasosos "secos" são concentrados no eixo central I, ou próximos a ele, mediante o que componentes fluidos "molhados" ricos em condensáveis molhados são descarregados em uma saída de fluido molhado externa 6 por meio de uma ou de uma série de partes (micro)porosas de fendas, ao passo que componentes gasosos secos são descarregados no conduto de saída de fluido seco central 7.

No conduto de saída de fluido seco central divergente 7 a corrente de fluido é adicionalmente desacelerada de forma que a energia cinética remanescente é transformada em energia potencial. O conduto de saída de fluido seco central divergente 7 pode ser equipado com um conjunto de pás de endireitamento de fluxo 9 para recuperar a energia de circulação.

A mistura de gases entra no separador mostrado na figura 1 na esquerda. O gás é guiado sobre o corpo central 1 através de um duto de fluxo anular estreito, ao mesmo tempo ganhando momento anular induzido pelas pás de guia 2 colocadas em torno do perímetro do corpo central 1. O fluxo em turbilhão é expandido ao longo do duto anular 4. O turbilhão ganha intensidade enquanto expande-se na contração em direção à seção 4. Durante a expansão, componentes gasosos de alto ponto de ebulição começarão condensar entre as pás que conferem turbilhão 2 e a seção de estrangulamento

4, enquanto os componentes de menor ponto de ebulição começarão condensar entre a seção de estrangulamento 4 e o promotor de vórtice da câmara de separação de fluido 5. As gotículas resultantes são transportadas para o perímetro externo da área de fluxo por causa das forças centrífugas impostas no movimento de turbilhonamento. No promotor de vórtice 5 o fluxo é dividido em uma corrente molhada no perímetro externo do fluxo e uma corrente seca no núcleo do fluxo.

Estendendo-se o corpo central 1 com uma seção final alongada 8, o aumento acentuado do momento tangencial em direção ao eixo central do fluxo de vórtice é restrito, evitando assim instabilidade do fluxo (isto é, quebra do vórtice). A presença do corpo central em forma de gotícula colocado centralmente 1 com seção final alongada 8 é benéfica para prover um separador ciclônico supersônico com alta eficiência de separação. Alta eficiência de separação é obtida pela maximização do momento angular no fluxo. Entretanto, o aumento do momento angular é limitado pela ocorrência de quebra do vórtice. Este último diminui fortemente o momento angular. O corpo central em forma de gotícula 1 permite um aumento do momento angular no fluxo na seção transversal – comparado com uma área de fluxo sem o corpo central – sem a ocorrência de quebra do vórtice. Alternativamente, a dita restrição provida pela seção de extremidade final alongada pode ser obtida injetando-se um fluido de baixa pressão através da abertura longitudinal na extremidade do corpo central em forma de gotícula mostrado na figura 8.

Considere um corpo central 1 compreendendo uma seção de extremidade final alongada 8, colocada centralmente em um duto de fluxo cilíndrico no qual um fluxo é estabelecido. Um pequeno deslocamento infinitesimal de uma posição radial inicial $r = (x_0, y_0)$ para uma nova posição radial $r = (x_1, y_1)$ fará com que o fluxo acelere na parte da seção transversal de escoamento para onde o corpo central foi deslocado e desacelerará na parte da

seção transversal de fluxo de onde o corpo central 1 foi deslocado. Claramente, a diferença de pressão estática resultante gerará uma força de elevação, que, por definição, é normal à superfície do corpo central 1. Esta força causará dobramento adicional, levando a uma nova posição radial $r =$

5 (x_2, y_2) , etc., etc. A magnitude do deslocamento final é um resultado da força de fluxo (isto é, força normal), por um lado, contrabalançada pela rigidez de dobramento do corpo central 1 (isto é, força de reação por unidade de deslocamento), por outro lado. Se a rigidez de dobramento do corpo central 1 for suficientemente alta, a força resultante tem uma direção oposta à direção

10 de deslocamento, para o que depreende-se que a estrutura do corpo central comporta-se como um sistema de massa-mola. Entretanto, se a rigidez de dobramento for insuficiente, a força resultante é na direção do deslocamento e o corpo central 1 será deslocado em direção ao limite do alojamento 1, ou até a ruptura do material por causa de uma carga além do limite de resistência

15 máxima. A rigidez de dobramento dependerá meramente de: momentos de inércia (isto é, forma do corpo central), módulo de elasticidade do material (E) e da força de pré-tração imposta no corpo central 1.

Forças exercidas pelo fluxo de fluido em turbilhão no corpo central 1 podem ser calculadas como se segue.

20 Considere um corpo central 1 colocado centralmente em um duto de fluxo cilíndrico, mas agora com um fluxo de vórtice presente. Um pequeno deslocamento infinitesimal de uma posição radial e tangencial inicial $[r, \varphi] = (x_0, y_0)$ para uma nova posição $[r, \varphi] = [x_1, y_1]$, não somente fará com que uma força normal à superfície do corpo central, mas também uma força

25 tangente à superfície do corpo central que causa uma disposição na direção tangencial. Este movimento tangencial do corpo central não é restrito pela sua rigidez de dobramento – que somente funciona na direção radial – conseqüentemente, isto resulta em um movimento pivô em andamento do corpo central. Para evitar um movimento pivô crescente, um mecanismo de

amortecimento é exigido para estabilizar o corpo central.

Sumarizando o exposto, um corpo central estável estático 1 comporta-se como um sistema massa-mola e, conseqüentemente, oscilará em um modo harmônico na sua frequência natural, desde que o fluxo esteja excitando o corpo central 1. A quantidade correspondente de energia de ressonância livre precisa ser removida do sistema (isto é, precisa ser dissipada). Portanto, é necessário um mecanismo de amortecimento para obter estabilidade dinâmica. Alternativamente, a massa-rigidez da estrutura do corpo central pode ser aumentada até o ponto em que sua frequência natural fique muito alta que o período da oscilação seja pequeno, comparado com o tempo de retenção do fluxo de gás. Nesse caso, o fluxo não exercerá uma força de elevação definida no corpo central 1, que, conseqüentemente, não é excitado. Além do mais, as forças elevação no corpo central 1 podem ser suprimidas por aberturas orientadas radialmente através da seção transversal do corpo central que equilibra a pressão entre o lado inferior e superior.

Maneiras adequadas para suportar o corpo central em forma de gotícula 1 com uma seção final alongada 8 de maneira tal que vibrações sejam inibidas são descritas aqui a seguir.

Na modalidade mostrada na figura 1, as pás que conferem turbilhão 2 e as pás de destubilhonamento 9 suportam o corpo central 1 com uma seção final alongada 8 dentro do alojamento do separador tubular 10. Uma vez que as pás que conferem turbilhão 2 e pás de destrubilhonamento 9 salientam-se ao interior do fluxo de fluido, é preferível colocar essas nas áreas de baixa velocidade do fluxo (< 200 m/s) de maneira a evitar perda de pressão desnecessária. Os triângulos 11, 12 e 13 mostram como no separador ciclônico supersônico mostrado na figura 9 o corpo central em forma de gotícula 1 com seção final alongada 8 pode ser suportado dentro do alojamento do separador tubular 10.

1) um suporte fixo 11 é provido pelas pás que conferem

turbilhão 1;

2) um suporte de limitação radial 12 é provido pelas nervuras de espaçamento 14 no conduto de saída de gás seco 7; e

3) um suporte fixo 13 no conduto de saída de gás seco 7 a jusante das pás de desturbilhonamento 9.

Escolhendo-se os tipos de suporte e locais de suporte para uma dada geometria do corpo central, a forma de seu modo é determinada, bem como seus momentos de inércia. O número de pontos de suporte pode ser qualquer valor maior ou igual a 2, dependendo da geometria específica do separador ciclônico supersônico.

Aplicando-se uma carga de pré-tração no corpo central 1 com a seção final alongada 8 a rigidez de dobramento aumenta, isto é, a estabilidade estática aumenta e, portanto, sua frequência natural aumenta. Entende-se que o aumento na frequência natural do corpo central também melhorará o amortecimento real. Uma vez que a carga de pré-tração pode chegar até uma tensão de tração média de 5.000 MPa na seção transversal da seção final 8 do corpo central 1. No caso de uma alta carga de pré-tração >1.000 MPa, é preferível evitar conexões de rosca.

Portanto, pode-se utilizar uma construção de fixação especial mostrada na figura 2 para manter a extremidade a jusante e opcionalmente também a extremidade à montante do corpo central 1 8 na posição, e absorver a carga de tração.

A extremidade a jusante da seção final 8 do corpo central 1 é presa em um tubo cônico 20 no qual entalhes longitudinais 21 podem ser formados para prover cunhas cônicas 20A, 20B. Este tubo cônico em cunha 20 é firmemente comprimido entre a superfície externa da seção final 8 do corpo central 1 e a superfície interna do alojamento de fixação 22, tão logo uma carga axial seja aplicada no corpo central 1.

Materiais adequados para construir um corpo central 1 com

uma seção final alongada 8 são:

- materiais com um alto módulo de elasticidade, ou módulo E, a fim de obter rigidez de material suficiente;

- materiais com um alto limite de escoamento a fim de permitir que a alta carga de tração aumente a rigidez;

- carga de impacto a fim de garantir robustez operacional; e

- materiais com uma alta resistência à corrosão e à fragilização pelo hidrogênio para evitar trinca induzida por hidrogênio em uma faixa de baixa temperatura, tipicamente de 0 °C a – 100 °C.

10 Dois tipos de materiais estão em conformidade com essas exigências:

- 1) aços ligas temperados de alta resistência, e

- 2) resinas reforçadas com fibra de carbono unidirecionais.

15 Aços ligas temperados de alta resistência adequados (1) são ligas trabalhadas a frio contendo pelo menos os seguintes componentes: cromo, níquel, molibdênio e cobalto.

20 Resinas reforçadas com fibra de carbono unidirecionais adequadas (2) compreendem fibras de carbono de alto módulo com uma porcentagem de carga de pelo menos 40 % em volume. Opcionalmente, o enchimento dos vazios entre as fibras com nanotubos e reforço adicional da matriz de fibra.

25 Um amortecedor de ressonância pode ser usado para dissipar a energia de vibração extraída do fluxo, a fim de evitar instabilidade dinâmica (isto é, aumento da deflexão/deslocamento). O modo de oscilação é determinado pela forma do primeiro modo do corpo central 1 com seção final alongada 8 e as distâncias entre os pontos de suporte 11, 12 e 13.

Quanto maior a rigidez de dobramento e quanto menor a massa específica do corpo central 1 com a seção final alongada 8, tanto maior sua frequência natural. Para um dado nível de poder de excitação – exercido

no corpo central – uma maior frequência natural leva a uma menor deflexão do corpo central. O limite inferior da deflexão permissível máxima é determinado pela perturbação de fluxo causada pela deflexão e tipicamente varia entre 1 % e 5 % do menor diâmetro do corpo central. O limite superior da deflexão máxima permitida – tipicamente variando de 5 % a 50 % do menor diâmetro do corpo central – é determinado pelo limite de resistência do material e pelo momento de inércia da forma do corpo central, uma vez que um aumento da deflexão causa um aumento na tensão no corpo central nas proximidades dos pontos de suporte. Em geral, pode-se dizer que quanto maior a rigidez de dobramento tanto maior o nível de tensão por unidade de deflexão e, conseqüentemente, tanto menor o limite superior da deflexão permitida. Entretanto, isto é compensado em virtude de quanto maior a rigidez de dobramento tanto maior a frequência natural e tanto menor a deflexão real.

As figuras 3 – 5 ilustram dois conceitos, que diminuem os níveis de ressonância no corpo central 1 com seção final alongada 8 mostrada na figura 1 dentro dos limites de deflexão máxima.

1) Amortecedor de partículas mostrado nas figuras 3 e 4; e

2) Amortecedor de líquido viscoso mostrado na figura 5.

O amortecedor de partículas mostrado nas figuras 3 e 4 compreende uma ou mais cavidades cilíndricas 30 dentro da seção final 8 do corpo central 1, cavidades estas 30 que são cheias pelo menos parcialmente com pequenas partículas 31. O princípio do amortecedor de partículas é que a maior parte da massa de partículas é posta em um movimento por causa da vibração da seção final 8 do corpo central 1 induzida pelas forças de escoamento. A maior parte da massa de partículas deve fazer um movimento oscilatório defasado com a oscilação da seção final 8 do próprio corpo central 1. A energia oscilatória da seção final 8 é então dissipada pela colisão entre partículas e a parede da seção final 8 do corpo central 1 e colisões entre

partículas mutuamente.

A taxa de enchimento ou recheio deve ser pelo menos 60 % (excluindo o volume de poros entre as partículas que é tipicamente 25 – 30 % em peso) com uma taxa de enchimento máxima de 95 %. A taxa de enchimento preferida é entre 75 e 85 %. As partículas 31 podem ter diâmetros d que podem variar entre 0,1 e 5 mm e que preferivelmente são entre 0,6 e 2,2 mm. Entretanto, uma melhor medida é a razão $d/D1$ do diâmetro de partícula d dividido pelo diâmetro interno $D1$ da seção final 8, que pode variar entre 0,04 e 0,25. A razão $d/D1$ é preferivelmente selecionada na faixa de 0,12 e 0,2. A densidade de massa do material partícula é escolhida alta, pelo menos acima de 3 kg/m^3 , preferivelmente acima de 8 kg/m^3 . O material das partículas 31 deve ser extremamente resistente ao desgaste. Um material adequado para as partículas 31 é carboneto de tungstênio (WC). Os vazios entre as partículas 31 podem ser cheios com ar ou um outro gás adequado. É também possível usar um líquido com este propósito, desde que a viscosidade não seja extremamente alta.

As dimensões preferidas da cavidade cilíndrica 30 na seção final 8 estão entre $D_{1\min} = 0,4 * D2$ e $D_{1\max} = 0,8 * D2$.

É além disso preferível aplicar uma segmentação na direção longitudinal da seção final 8 de maneira a evitar que partículas 31 concentrem em uma das extremidades externas da cavidade cilíndrica 30, isto é, garantir que a distribuição de partículas seja a mais uniforme possível na escala de comprimento da seção final 8 do corpo central 1.

A figura 5 mostra uma seção final 8 compreendendo uma série de cavidades 30A-30D, que são cheias com partículas 31 e que são separadas pelos discos de separação 32A-32D. A escala de comprimento preferida de cada segmento de cavidade 30A-30D é entre $L1 = 1 * D1$ e $L1 = 4 * D1$. A taxa de enchimento preferida é 75 – 85 % em volume de partículas 30 por segmento 30A-30D.

A figura 5 mostra uma seção final 8 de um corpo central 1, que é equipado com um amortecedor de líquido. O amortecedor de líquido fica arranjado em uma seção final tubular 8 do corpo central 1, que é cheia com um líquido viscoso 50 e no qual uma haste de tração 51 é arranjada. A folga anular entre o diâmetro externo da haste de tração e o diâmetro interno da seção final tubular 8 do corpo central 1 é cheia com um fluido viscoso 50.

A haste de tração 51 é posta sob uma alta força de tração, produzindo uma tensão de tração média entre 1.000 – 5.000 MPa. A seção final 8 do corpo central 1 é montada tanto sem pré-tração quanto com uma pré-tração ligeiramente elevada, produzindo uma tensão de tração média entre 0 – 500 MPa. Em virtude de a frequência natural da haste de tração 51 ser muito maior que a frequência natural da seção final tubular 8 do corpo central 1 propriamente dito, o movimento relativo entre a haste 51 e a seção final 8 existe se a seção final 8 for excitada. Em decorrência disto, o fluido viscoso 50 presente na folga entre a haste 51 e a seção final 8 é deslocado em um modo alternado. Desta maneira, a energia de ressonância, ganha pela seção final alongada 8 do corpo central 1, é dissipada pelas forças viscosas no fluido em movimento alternado 50. O fluido viscoso 50 pode ser qualquer vapor, líquido, emulsão líquido-líquido ou suspensão sólido-líquido com uma viscosidade dinâmica entre 10^{-4} e 10^{-2} Pa.s em uma faixa de temperatura entre 240-270 K. Preferivelmente, o fluido viscoso é não corrosivo e preferivelmente sua viscosidade depende apenas pouco da temperatura. Um fluido viscoso adequado é um fluido não Newtoniano. Por exemplo, um fluido pseudoplástico pode ser aplicado a fim de maximizar o amortecimento na faixa de pequena amplitude, isto é, quando o movimento relativo entre a haste e o corpo central for pequeno.

O material da seção final 8 do corpo central 1 pode ser qualquer liga resistente a corrosão adequada (por exemplo, AISI316, Inconel, Incolloy, MP35N, etc.) ou um material reforçado com fibra (resina/liga). A

haste de tração 51 pode ser feita de um material com um alto limite de resistência, tal como MP35N, Maraging ou uma matriz de epóxi reforçada com fibra de carbono.

5 As dimensões preferidas da folga anular entre a superfície interna da seção final tubular 8 com um diâmetro interno D1 e um diâmetro externo D2 e uma haste de tração com um diâmetro externo D3 são as seguintes:

$$D_{1\min} = 0,60 * D2 : D_{1\max} = 0,95 * D2$$

$$D_{3\min} = 0,70 * D1 : D_{3\max} = 0,95 * D1$$

10 As figuras 6 e 7 mostram uma modalidade da seção final alongada 8, em que a seção final é perfurada por aberturas radiais 60 a fim de criar uma seção final substancialmente porosa 8. As aberturas 60 servem para inibir forças radiais exercidas pelo fluxo de fluido em turbilhão 61 em torno da seção da cauda 8. A fim de evitar desestabilização da seção final 8 do corpo central 1, que fica exposta a forças normais exercidas pelo fluxo de vórtice em turbilhão 61, a superfície da seção final 8 do corpo central 1 é
15 parcialmente porosa, permitindo equalização de perturbações de pressão em torno da seção final alongada 8 do corpo central 1.

Quando se considera uma seção final cilíndrica alongada 8 envolta por um fluxo de vórtice confinado 61, uma deflexão da seção final 8 na direção radial normalmente criaria uma força normal que age na mesma
20 direção da deflexão. Esta força normal resulta da baixa pressão estática P_{baixa} no fluxo de fluido em turbilhão 61 em uma superfície superior da seção final 8, enquanto na superfície inferior oposta da seção final 8 existe uma alta pressão p_{alta} . As aberturas 60 servem para equalizar este diferencial de pressão $\Delta(P_{\text{alta}} - P_{\text{baixa}})$ conectando lados opostos da seção final 8 por meio de
25 aberturas feitas diametralmente.

A figura 6 ilustra uma modalidade em que três aberturas 60A-C são feitas em intervalos tangenciais regulares de 60 graus através da

superfície seccional transversal da seção final 8 para inibir diferenças de pressão entre o fluxo de fluido em diferentes lados da seção final 8.

Tipicamente, o número (n) de aberturas 60 por seção transversal da seção final 8 pode variar de um mínimo de 2 até 40, dependendo do tamanho característico da abertura 60. Quanto menor a razão d/D1 entre o diâmetro da abertura 60 e o diâmetro da seção final 8, tanto maior n pode ser. É preferível restringir o valor mínimo de $d/D1 \geq 0,03$ e o valor máximo de $d/D1 \leq 0,3$. O valor mínimo de d/D1 é determinado pelo risco de entupimento dos furos com detritos ou gelo/hidratos que aumenta se d diminuir, enquanto o máximo é governado pela perturbação da descontinuidade superficial no fluxo de vórtice que aumenta quando d aumenta. Uma vez que a razão d/D1 é escolhida, a supressão das forças de fluxo normais é determinada com o número total de furos (N) que segue o número de furos por seção transversal (n) vezes o número de seções transversais perfuradas ao longo da escala de comprimento (i). A porosidade superficial total definida como $P = n * (d^2/D1) * (i/L)$ pode variar entre $0,1 \leq P \leq 0,8$, embora seja preferivelmente entre 0,3 e 0,6.

A figura 8 mostra uma modalidade do separador ciclônico de acordo com a invenção, em que a funcionalidade da seção final alongada 8 dos separadores mostrados nas figuras 1-7 é substituída pela injeção de um fluido de baixa pressão 80 por uma abertura central 82 do corpo central 1 no núcleo do vórtice 81 que se segue no alojamento tubular 10 do separador. Um movimento em turbilhão pode ser imposto no fluido de baixa pressão antes da injeção através da abertura central 82. Este movimento em turbilhão pode ser tanto cocorrente quanto contracorrente no movimento em turbilhão com o fluxo de alta pressão.

O momento de entrada do fluido de baixa pressão 80 será baixo, comparado com o momento do fluxo de alta pressão 81 que passa ao longo da superfície externa do corpo central 1. Troca de momento extensivo

ocorrerá na seção de separação de fluido tubular alongada 4 do dispositivo onde o fluido de baixa pressão 80 é impulsionado pelo fluido em turbilhão de alta pressão 81. Similarmente ao corpo central 1, o momento tangencial no fluido de alta pressão em turbilhão é limitado pela presença de um fluxo de baixo momento no núcleo da seção do tubo 4. Como o fluxo de fluido em turbilhão de alta pressão 81 perderá momento tangencial, o fluxo de fluido de baixa pressão 80 ganhará momento tangencial. O fluxo de fluido de baixa pressão 80 no total misturará com o fluxo de fluido de alta pressão em turbilhão 81 e será acelerado na seção de separação tubular 4.

10 Os líquidos formados pela nucleação e condensação terão tempo de retenção suficiente na seção de separação tubular 4 para que eles sejam separados no fluxo de vórtice para a periferia externa do tubo.

O fluido de baixa pressão pode ser uma fração do fluido "molhado" rico em líquido que escoar do conduto de exaustão de gás molhado anular 6, que é recirculado para a abertura 82 dentro do corpo central 1 por meio do conduto de reciclagem de gás molhado 84. O conduto de reciclagem de gás molhado 84 é equipado com uma válvula de controle 85 para controlar a vazão de fluido de baixa pressão 80 de maneira tal que fique entre 5 e 80 % da vazão de fluido do fluido de alta pressão 81. É preferível que a vazão de fluido de baixa pressão 80 seja entre 25 e 60 % da vazão de fluido de alta pressão.

REIVINDICAÇÕES

- 5 1. Separador de fluido ciclônico com um alojamento tubular no qual o fluido é acelerado, e um dispositivo que confere turbilhão para induzir o fluido a turbilhonar através de um espaço anular entre o alojamento e um corpo central montado dentro do alojamento, em que o corpo central é provido com dispositivo de eliminação de ressonância.
2. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de eliminação de ressonância é configurado para aumentar a frequência natural do corpo central.
- 10 3. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o corpo central compreende uma seção final tubular que é cheia pelo menos parcialmente com partículas sólidas e/ou um líquido viscoso.
- 15 4. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de eliminação de ressonância compreende dispositivo de amortecimento de vibração, que inibe vibração de pelo menos parte do corpo central.
- 20 5. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que uma haste de tração fica arranjada na seção final tubular do corpo central, de maneira tal que uma folga anular esteja presente entre a superfície externa da haste de tração e a superfície interna da seção final tubular do corpo central, cuja folga anular que é cheia pelo menos parcialmente com um líquido viscoso, tal como um fluido não Newtoniano pseudoplástico.
- 25 6. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o corpo central compreende uma seção final porosa, de maneira tal que diferenças de pressão entre lados opostos da seção final sejam reduzidas e vibração da seção final resultante de qualquer diferença de pressão variável entre os ditos lados opostos da seção final seja

inibida.

5 7. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a seção final do corpo central estende-se através de pelo menos uma parte substancial do comprimento do alojamento tubular e é provida com furos que têm uma orientação substancialmente radial em relação a um eixo longitudinal da seção final, e cujos furos que fornecem comunicação fluida entre lados opostos da seção final do corpo central.

10 8. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o corpo central tem uma seção dianteira em forma de gotícula e uma seção final alongada substancialmente cilíndrica que é feita substancialmente porosa pela perfuração da seção final por furos substancialmente radiais que são distribuídos ao longo do comprimento da seção final, cujos furos que são também distribuídos em intervalos tangenciais regulares ao longo da circunferência da seção final.

15 9. Separador de fluido ciclônico de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que o corpo central estende-se de uma seção de entrada do alojamento tubular até uma seção de saída do alojamento tubular e é suportado pelo alojamento tubular de maneira tal que o corpo central seja submetido a uma tração axial predeterminada.

20 10. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o corpo central é submetido a uma carga de tração axial de mais de 1.000 MPa e é em pelo menos uma extremidade deste conectado no alojamento tubular por um encaixe de pressão em forma de cunha.

25 11. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o corpo central compreende uma seção em forma de gota, que tem um eixo longitudinal de simetria que é substancialmente coaxial com um eixo central do alojamento tubular, de maneira tal que um canal de fluido anular seja criado entre a superfície

externa do corpo central e a superfície interna do alojamento tubular, em cujo canal de fluido anular uma série de pás que conferem turbilhão é arranjada, cujas pás que conferem turbilhão que são arranjadas em torno de uma seção média de grande diâmetro da seção em forma de gota e cujo canal de fluido anular fornece uma seção de estrangulamento que fica arranjada em torno de uma seção do corpo central que tem um menor diâmetro externo do que a seção média do corpo central.

12. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que o corpo central compreende uma abertura longitudinal que tem um eixo longitudinal que coincide substancialmente com o eixo central, cuja abertura longitudinal é configurada como um duto através do qual, em uso, um fluido de baixa pressão é injetado no alojamento tubular, fluido de baixa pressão este que é misturado com o fluido que escoar através da seção de estrangulamento em uma seção substancialmente cilíndrica do alojamento que fica localizada a jusante da seção de estrangulamento e fluido de baixa pressão este que tem uma menor pressão estática do que o fluido que escoar por meio da seção de estrangulamento para a seção substancialmente cilíndrica do alojamento.

13. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que o duto no corpo central compreende pás que conferem turbilhão para induzir o fluido de baixa pressão a escoar para a seção de estrangulamento tanto em uma direção cocorrente quanto contracorrente em relação ao movimento de turbilhonamento do fluido de alta pressão.

14. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que o alojamento tubular compreende uma seção final na qual uma saída de fluido rica em gás central fica arranjada, que é envolta por uma saída de fluido rico em líquido anular e em que um conduto de reciclagem fica arranjado entre a saída de fluido rico

em líquido anular e a abertura longitudinal no corpo central para reciclar fluido rico em líquido como um fluido de baixa pressão da saída de fluido rico em líquido anular para a abertura longitudinal no corpo central.

5 15. Separador de fluido ciclônico de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de que a seção de estrangulamento é configurada de maneira tal que, em uso, o fluido é acelerado a uma velocidade substancialmente sônica ou supersônica na seção de estrangulamento e dessa forma resfriado de maneira tal que um ou mais componentes condensáveis se condensem na seção de estrangulamento.

10 16. Separador de fluido ciclônico de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o dispositivo de eliminação de ressonância compreende um ou mais dos seguintes recursos:

15 - dispositivo de tracionamento (20, 22) que aplica uma carga de tração a uma seção final alongada (9) do corpo central (1) de maneira tal que a frequência natural do corpo central (1) seja aumentada:

- dispositivo de amortecimento de vibração, que inibe vibração de pelo menos parte do corpo central;

- partículas sólidas (31) arranjas em uma seção final tubular segmentada (8) do corpo central (1);

20 - um líquido viscoso (50) arranjado entre uma seção final tubular (8) do corpo central (1) e uma haste de tracionamento (51);

- aberturas (60) perfuradas radialmente em uma seção final (8) do corpo central (1); e/ou

25 - um fluido de baixa pressão (80) injetado através de uma abertura central (82) no corpo central (1).

17. Método para separar uma mistura fluida com o separador de fluido ciclônico como definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 16, caracterizado pelo fato de que o método é usado para obter uma corrente de gás natural purificada a partir de uma corrente de gás natural contaminada

compreendendo contaminantes sólidos, tais como areia e/ou outras partículas de terra e/ou contaminantes condensáveis, tais como água, condensados, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e/ou mercúrio.

18. Método de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o separador de fluido ciclônico compreende dispositivo de eliminação de ressonância compreendendo um ou mais dos seguintes recursos:
- dispositivo de tracionamento (20, 22) que aplica uma carga de tração a uma seção final alongada (8) do corpo central (1) de maneira tal que a frequência natural do corpo central (1) seja aumentada:
 - dispositivo de amortecimento de vibração, que inibe vibração de pelo menos parte do corpo central;
 - partículas sólidas (31) arranjadas em uma seção final tubular segmentada (8) do corpo central (1);
 - um líquido viscoso (50) arranjado entre uma seção final tubular (8) do corpo central (1) e uma haste de tracionamento (51);
 - aberturas (60) perfuradas radialmente em uma seção final (8) do corpo central (1); e/ou
 - um fluido de baixa pressão (80) injetado através de uma abertura central (82) no corpo central (1).

Fig.1

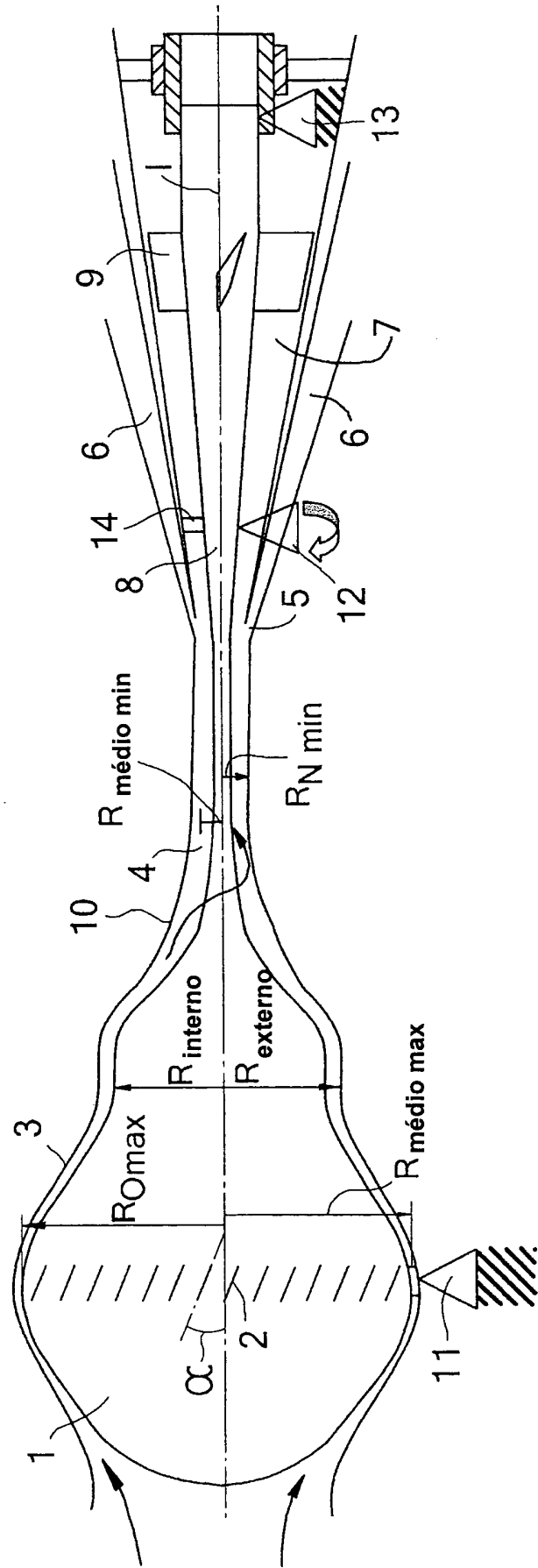


Fig.2

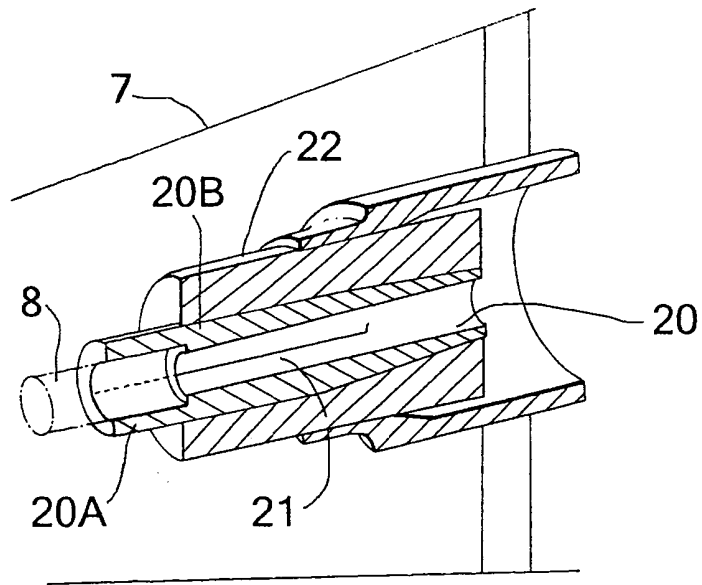


Fig.3

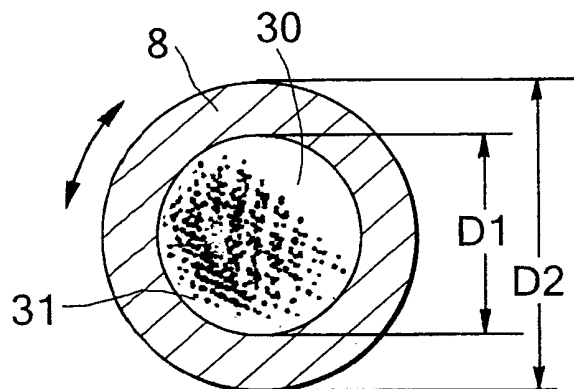


Fig.4

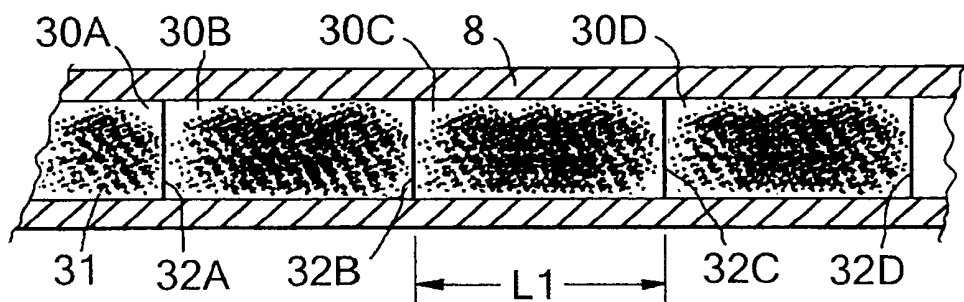


Fig.5

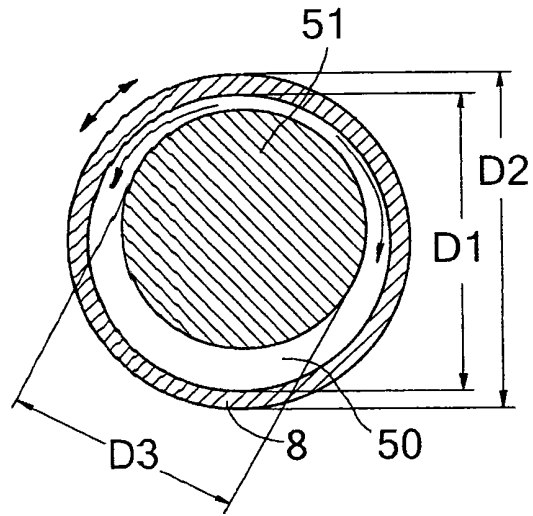


Fig.6

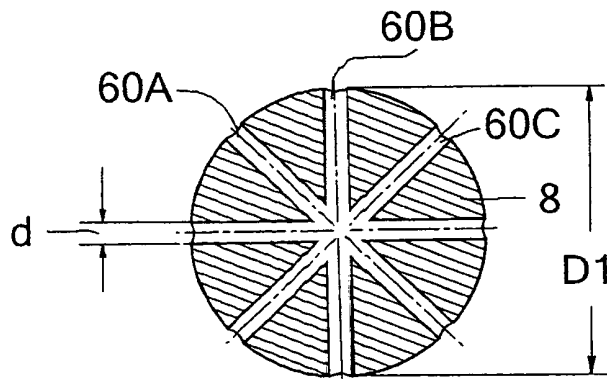


Fig.7

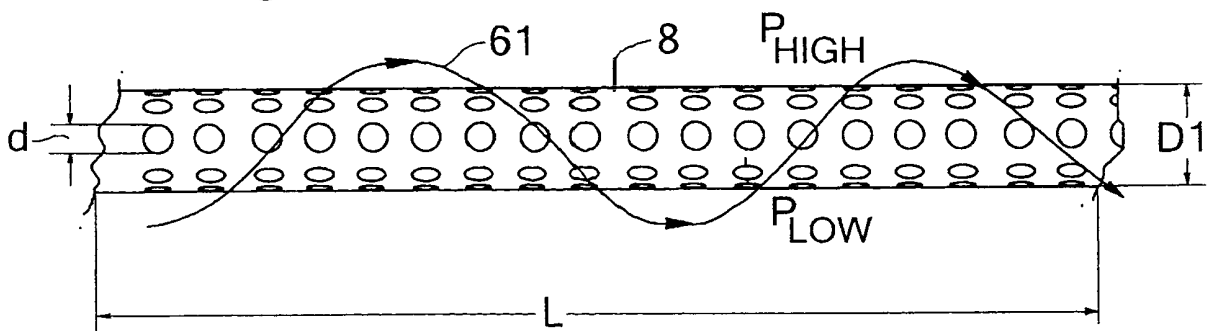


Fig.8

