

(11) *Número de Publicação:* **PT 777845 E**

(51) *Classificação Internacional:* (Ed. 6)
F28D007/10 A

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de depósito: 1995.09.04	(73) Titular(es): SUSTAINABLE ENGINE SYSTEMS LIMITED 51 ARTESIAN ROAD LONDON W2 5DB GB
(30) Prioridade: 1994.09.02 GB 9417623	
(43) Data de publicação do pedido: 1997.06.11	(72) Inventor(es): RICHARD FURNEAUX KINNERSLY GB
(45) Data e BPI da concessão: 1999.12.09	(74) Mandatário(s): ANTÓNIO JOÃO COIMBRA DA CUNHA FERREIRA RUA DAS FLORES 74 4/AND. 1294 LISBOA PT

(54) Epígrafe: PERMUTADORES DE CALOR

(57) Resumo:





DESCRIÇÃO

"Permutadores de calor"

Este invento refere-se a permutadores de calor e elementos permutadores de calor e, em particular, mas não exclusivamente, a tais elementos permutadores de calor para utilização em motores "Stirling".

Os motores "Stirling" necessitam de pequenos permutadores de calor com altas taxas de transferência de calor e podem requerer também alta resistência de modo que os mesmos possam operar de modo confiável a altas pressões. É também importante para os mesmos terem um volume pequeno para o fluido de trabalho do motor, para ajudar a minimizar o espaço morto do motor. As altas taxas de transferência de calor num volume pequeno de fluido conduzem a uma necessidade de uma relação alta entre a superfície de transferência de calor e o volume, dentro do permutador de calor. Estas necessidades aplicam-se ao aquecedor normalmente empregue para transferir o calor dos gases da combustão para um fluido de trabalho e para um arrefecedor transferir o calor do fluido de trabalho numa fase diferente do ciclo do motor "Stirling". Para o aquecedor existe também uma necessidade de operar a altas temperaturas.

É conhecido a partir de GB-A-2 261 280 proporcionar um elemento permutador de calor que compreende um tubo exterior, um tubo interior dentro do tubo exterior, um primeiro percurso de escoamento de fluido, formado entre os tubos interior e exterior, uma ligação de entrada para fornecer o primeiro fluido para uma extremidade de entrada do primeiro percurso escoamento de fluido e uma ligação de saída para recepção do primeiro fluido do primeiro percurso escoamento de fluido, e meios para proporcionarem um segundo fluido de permuta de calor em relação de transferência de calor com a superfície exterior do tubo exterior e/ou a superfície interior do tubo interior.

De acordo com o presente invento um elemento permutador de calor deste tipo é caracterizado por compreender uma manga dentro do primeiro percurso de escoamento de fluido entre os tubos interior e exterior, que define uma interface exterior com a superfície interior do tubo exterior e uma interface interior com a superfície exterior do tubo interior e por compreender ranhuras geralmente longitudinais em cada interface para proporcionarem em conjunto o primeiro percurso de escoamento de fluido.



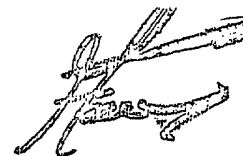
O permutador de calor conhecido proporciona uma área maior para a transferência de calor do que uma folga anelar por meio de nervuras longitudinais nos tubos dentro do primeiro percurso de escoamento de fluido. A proposta anterior proporciona também rupturas nas nervuras, para quebrar o escoamento laminar dentro do primeiro percurso de escoamento de fluido e melhorar ainda a transferência de calor. Existe um limite prático para as possibilidades de melhoramento, desta maneira, das características de transferência de calor. Por exemplo, o aumento do número de nervuras requer uma redução da sua espessura, o que reduz a condução de calor nos próprios tubos, ao longo das nervuras e conduz também a fragilidade e dificuldades de fabrico. O volume do primeiro fluido permanece também relativamente alto.

Proporcionando uma manga adicional e ranhuras, de acordo com o presente invento, pode ser conseguida uma superfície de transferência de calor grande e efectiva com um pequeno volume de fluido interior, que resulta numa relação alta entre a superfície de transferência de calor e o volume.

A manga pode estar em contacto íntimo de permuta de calor com, pelo menos, um dos tubos. Com esta disposição, existe um percurso de escoamento de calor efectivo tal como: primeiro fluido; manga; tubo; segundo fluido ou vice-versa. Para este propósito, a manga pode ser retraída sobre um tubo ou num tubo. Alternativamente, a expansão diferencial pode ser tal, que o contacto entre a manga e o tubo é mais efectivo apenas às temperaturas de operação, quando a transferência de calor efectiva é mais importante. A soldadura por feixe de electrões pode ser utilizada para proporcionar contacto regular mais íntimo. O bom contacto depende em parte da precisão de fabrico, tanto no que se refere ao acabamento de superfície como às dimensões.

Alternativamente, a manga pode ser proporcionada principalmente como um espaçador, para dirigir o fluido através das ranhuras e proporcionar a maioria ou toda a transferência de calor directamente entre o fluido e os tubos.

Além das ranhuras descritas atrás, as quais são referidas como as ranhuras principais, podem ser proporcionadas ranhuras secundárias nos tubos e/ou na manga com uma inclinação em relação às ranhuras principais. Estas ranhuras secundárias podem ser proporcionadas em cada uma das superfícies que formam a interface entre o tubo e a manga. Quando da montagem, estas ranhuras secundárias formam entalhes, por debaixo dos quais pode ser induzido



um grau relativamente pequeno de escoamento de fluido a partir de uma ranhura principal para a seguinte. Este escoamento de fluido pode ser controlado, de modo a criar um grau de escoamento em espiral num sentido desejado para baixo para as ranhuras principais. Isto por sua vez permite o controlo da relação entre o escoamento laminar e turbulento do fluido e contribui assim para a optimização da transferência de calor para as dimensões de permutador dadas, para os parâmetros do primeiro fluido e para as características de arrastamento de fluido.

Pode ser conveniente para proporcionar ranhuras principais numa superfície e ranhuras secundárias na outra superfície na mesma interface. Por exemplo, as ranhuras principais podem prolongar-se axialmente e serem formadas por vazamento ou extrusão ou maquinagem. As ranhuras secundárias podem então ser formadas por maquinagem. Evidentemente, as ranhuras secundárias podem ser maquinadas na mesma superfície na qual as ranhuras principais foram anteriormente vazadas, extrudidas ou maquinadas.

As ranhuras principais podem ser proporcionadas em ambas as superfícies numa interface, caso em que as mesmas podem ficar alinhadas de modo a proporcionarem, efectivamente, ranhuras maiores ou desalinhadas para proporcionarem efectivamente números maiores de ranhuras.

As concretizações do invento são descritas com referência aos desenhos anexos, nos quais:

a fig. 1 é um corte transversal esquemático através de um elemento permutador de calor de acordo com o invento;

a fig. 2 é um corte longitudinal esquemático do elemento permutador de calor da fig. 1;

a fig. 3 representa uma disposição de mangas múltiplas, a qual pode substituir a única manga de um elemento como o da fig. 1;

a fig. 4 é um corte transversal esquemático; e

a fig. 5 é um alçado correspondente de um padrão típico de ranhuras principais e secundárias; e



as figs. 6 e 7 são vistas que correspondem às figs. 5 e 6 de uma disposição de ranhuras alternativa.

As figs. 1 e 2 mostram um elemento permutador de calor que tem um tubo exterior 11 e um tubo interior 12 concêntrico em relação ao tubo exterior e dentro do mesmo. Uma manga 13, tipicamente com a espessura parede de cerca de 0,5 a 1 mm, está posicionada concentricamente entre os tubos interior e exterior, formando uma interface interior 14 entre o tubo interior e a manga e uma interface exterior 15 entre a manga e o tubo exterior. Estas interfaces podem envolver contacto mecânico íntimo entre a manga e o tubo e podem envolver contacto ligeiro ou contacto próximo.

Como mostrado na região A, as ranhuras principais exteriores 16 são proporcionadas na superfície interior do tubo exterior 11 na interface 15 e prolongam-se longitudinalmente do tubo. Num caso típico para tubos de cerca de 90 mm de diâmetro nas interfaces, pode existir 90 ranhuras principais em forma de D de 3 mm de profundidade radial e de 2 mm de largura circunferencial. Estas ranhuras cooperam com a superfície da manga para formarem passagens longitudinais. Se o tubo é uma de extrusão ou de vazamento, estas ranhuras podem ser formadas por extrusão ou vazamento. Alternativamente, o tubo pode ser maquinado. De um modo semelhante, as ranhuras principais 17 são proporcionadas na superfície exterior do tubo interior na interface 14. Na prática o padrão de ranhuras representado na metade de topo da fig. 1 é repetido em torno de toda a circunferência do elemento, mas por conveniência de representação nem todas as ranhuras ou algumas outras partes do elemento estão representadas. Também, por conveniência de representação, são mostradas as disposições de ranhuras principais alternativas em diferentes pontos em torno da periferia. Na região B, as ranhuras principais nos tubos foram suplementadas por correspondentes ranhuras principais nos tubos. Na região B, para permitir entalhes de profundidade substancial para uma dada espessura de manga, as ranhuras interiores e exteriores estão em posições relativas definidas com precisão, de modo que as ranhuras de manga interiores e exteriores não coincidam. Na prática, com as ranhuras principais na manga, a espessura da manga aumenta para acomodar as ranhuras.

Na região C, a disposição de ranhuras principais corresponde à de B, excepto que a manga foi efectivamente rodada de um ângulo equivalente a



metade do passo entre as ranhuras principais, criando duas vezes mais passagens em C do que as passagens circulares que existem em B.

Como é explicado a seguir em relação à fig. 2, todas as passagens, formadas pelas ranhuras principais nas interfaces 14 e 15 estão ligadas em conjunto nas suas extremidades, para formarem um primeiro percurso de escoamento de fluido para um primeiro fluido de permuta de calor. A disposição das ranhuras principais proporciona um percurso de escoamento de fluido definido com precisão com uma oportunidade para a área de superfície aumentada para a transferência de calor entre o tubo e o fluido, em conjugação com um pequeno volume de fluido. Quando a manga está também em contacto íntimo com um ou ambos os tubos, a manga proporciona ainda mais área superficial efectiva para a transferência de calor.

A superfície interior do tubo interior e a superfície exterior do tubo exterior podem ter ambas aletas integradas 18 e 19, para aumentarem as suas áreas efectivas para a transferência de calor. Um segundo fluido de transferência de calor está, em utilização, em contacto com estas superfícies, de modo que o calor pode ser transferido entre os dois fluidos. É proporcionado um enchimento 20 no interior do tubo interior, para guiar o segundo fluido para a proximidade íntima com o tubo interior. Um alojamento exterior 30 define, de modo semelhante, a região de contacto entre o segundo fluido e o tubo exterior.

Como mostrado na fig. 2, o permutador de calor inclui uma ligação de extremidade superior 21 e uma ligação de extremidade inferior 22. O tubo interior 12 prolonga-se em ambas as extremidades para além do tubo exterior 11 e da manga 13. A ligação superior 21 é um componente anelar que faz a ponte entre o tubo exterior 11 e o tubo interior 12, formando uma câmara 23. A ligação tem também um tubo de entrada/saída 24 para o primeiro fluido de permuta de calor. A ligação inferior 22 corresponde à ligação 21 com a câmara 25 e uma saída/entrada 26. Por meio destas ligações, é proporcionado um percurso de escoamento de fluido comum para o primeiro fluido de permuta de calor através das ranhuras principais tais como 16 e 17. O enchimento está também claramente mostrado na fig. 2.

Conduitas tais como mostrado em 31 e 32, em conjugação com o alojamento exterior 30 proporcionam um percurso de escoamento de fluido para um segundo fluido, como indicado pelas setas 33, 34 e 35, através do interior do



tubo interior e em torno do tubo exterior, a fim de proporcionar um segundo percurso de escoamento de fluido para o segundo fluido de permuta de calor. Uma ligeira modificação do permutador de calor da fig. 2 é mostrada em D, em que as aletas longitudinais 11 foram substituídas por aletas circunferenciais, as quais podem ser mais apropriadas, dependendo dos pormenores do segundo percurso de escoamento de fluido.

Para um aquecedor de motor "Stirling", pode ser empregue um banco de elementos, como mostrado na fig. 1 e na fig. 2 com condutas adequadas que correspondem às condutas 31, 32 para dirigir o segundo fluido de trabalho através e em torno dos elementos. O primeiro fluido é então o fluido de trabalho do motor "Stirling" e o segundo fluido é o gás de combustão para aquecimento do fluido de trabalho.

Como uma alternativa a um segundo percurso de escoamento de fluido efectivamente dirigido, podem existir algumas situações em que o elemento permutador de calor é simplesmente imerso num segundo fluido, o qual tenderá a escoar-se por meios de convecção ou outros, para proporcionar o movimento suficiente para a efectiva transferência de calor.

A fig. 3 mostra uma disposição de manga alternativa. As mangas concêntricas 41 a 47 estão cada uma delas munidas de ranhuras principais exteriores longitudinais, tal como 48. As ranhuras principais nas mangas de 1 mm de espessura têm na ordem de 0,7 mm de profundidade (radialmente) e 0,5 mm transversalmente (circunferencialmente) e estão espaçadas entre si de modo a proporcionarem espaços entre si para a condução de calor. As mangas estão todas em contacto íntimo entre si. Durante a montagem, sucessivamente as mangas são tipicamente feitas deslizar ajustadas sobre um tubo interior 49 e um tubo exterior 50 é então retraído ajustado sobre as mesmas. Uma soldadura por feixe de electrões pode ser empregue em vez do deslizamento e/ou do ajustamento por retracção, de modo a conseguir o contacto íntimo requerido.

Na disposição de mangas múltiplas da fig. 3, as mangas são feitas de um subconjunto interior 41 a 43 e de um subconjunto exterior 44 a 47. Todas as mangas do subconjunto interior têm o mesmo número de ranhuras principais que têm as outras na superfície exterior do tubo interior. Assim os espaços entre as ranhuras principais estão alinhados radial e directamente a partir de uma manga para a seguinte e a partir da manga 41 para o tubo interior 49, para proporcionar



um percurso de condução de calor directo e efectivo para ou a partir do mesmo número de ranhuras do que num outro, mas um número maior do que o subconjunto interior 41 a 44, comensurado com o diâmetro de manga maior para serem conseguir larguras de espaço amplamente semelhantes nos subconjuntos interiores e exteriores. Os espaços dos subconjuntos exterior 44 a 47 são, de modo semelhante, dispostos em alinhamento directo, para proporcionar a condução efectiva do calor para o tubo exterior, o qual está em contacto directo com o segundo fluido.

Numa disposição alternativa, todas as mangas têm o mesmo número de ranhuras do que as outras e os espaços de todas as mangas estão alinhados radialmente, proporcionando a maior resistência possível.

Esta disposição de mangas múltiplas pode ser empregue em vez de uma manga simples 13 da fig. 1, com o ajustamento adequado do tamanho dos tubos interior e exterior, de modo a acomodar as mangas. Como na fig. 1, a disposição de ranhuras principais pode variar, quer com um quer com dois conjuntos de ranhuras principais, em cada interface entre as mangas e em cada interface entre uma manga e um tubo. Uma disposição de mangas múltiplas deste tipo pode proporcionar um elemento permutador de calor compacto de elevado rendimento, o qual é, em particular, adequado para utilização como o arrefecedor de um fluido de trabalho num motor "Stirling".

As figs. 4 e 5 mostram uma disposição de ranhuras alternativa, na qual as ranhuras principais tais como as da fig. são suplementadas por ranhuras secundárias inclinadas. As ranhuras principais longitudinais 51 na superfície interior de um tubo exterior 52 são suplementadas por ranhuras secundárias inclinadas 53 na superfície exterior da manga 54. Estas ranhuras secundárias formam entalhes, os quais se prolongam a partir de uma ranhura principal 51 para a seguinte. O fluido de permuta de calor escoar-se ao longo das ranhuras principais 51, o mesmo encontra as ranhuras secundárias inclinadas 53 e tende a ser deflectido através dos entalhes em virtude do seu movimento para diante. Dependendo das condições de entrada e de saída para cada entalhe, cada ou ambos tendem a induzir tal escoamento. Este escoamento através dos entalhes tende a conferir escoamento em espiral dentro de cada ranhura principal, aumentando por meio disso a transferência efectiva de calor. Na concretização das figs. 4 e 5, as ranhuras secundárias 53 atravessam as ranhuras principais 51, adicionando um potencial adicional de turbulência em oposição ao escoamento

laminar. A configuração de ranhuras secundárias, por exemplo, o ângulo, o tamanho ou o espaçamento, podem variar de uma parte do elemento para uma outra.

As figs. 6 e 7 mostram uma variação na disposição das figs. 4 e 5. Neste caso, tanto as ranhuras principais como as ranhuras secundárias, que formam os entalhes, são proporcionadas no tubo exterior.

A disposição das figs. 4 e 5 ou das figs. 6 e 7 podem ser proporcionada em qualquer interface e deve normalmente ser proporcionada em todas as interfaces. Estas disposições podem ser também aplicadas, com a modificação óbvia às disposições de ranhuras diferentes das mostradas na fig. 1 em A.

Excepto no caso em que a manga é utilizada principalmente como um separador, os materiais para os tubos e mangas devem ser seleccionados para proporcionarem as propriedades de condução de calor requeridas.

Em geral, a disposição de ranhura e manga pode ser utilizada para se conseguirem elementos permutadores de calor com passagens de escoamento de baixo volume com áreas com grande transferência de calor, tendo como resultado áreas de elevada transferência de calor para pequeno volume de fluido com uma resistência aceitável ao escoamento através das passagens. Os custos de fabrico podem também ser mantidos dentro de limites aceitáveis.

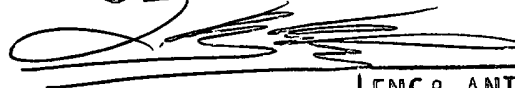
A disposição de mangas múltiplas é, em particular, adequada para um arrefecedor de motor "Stirling", o qual opera a uma temperatura inferior e a um diferencial de temperaturas inferior do que um aquecedor do motor "Stirling".

Lisboa, -3. MAR. 2000

Por SUSTAINABLE ENGINE SYSTEMS LIMITED

- O AGENTE OFICIAL -

O ADJUNTO



ENG.º ANTÓNIO JOÃO DA CUNHA FERREIRA Ag. Of. Pr. Ind. Rua das Flores, 74 - 4.º 1200 LISBOA
--

REIVINDICAÇÕES

1 - Elemento permutador de calor que compreende um tubo exterior (11), um tubo interior (12) dentro do tubo exterior, um primeiro percurso de escoamento de fluido para um primeiro fluido de permuta de calor, formado entre os tubos interior e exterior, uma ligação de entrada (21 ou 22) para fornecer o primeiro fluido a uma extremidade de entrada do primeiro percurso de escoamento de fluido e uma ligação de saída (22 ou 21), para receber o primeiro fluido a partir do primeiro percurso de escoamento de fluido, e meios para proporcionar um segundo fluido de permuta de calor (33, 34, 35) em relação de transferência de calor com a superfície exterior do tubo exterior e/ou a superfície interior do tubo interior; caracterizado por compreender uma manga (13) dentro do primeiro percurso de escoamento de fluido, entre os tubos interior e exterior, que define uma interface exterior (15) com a superfície interior do tubo exterior e uma interface interior (14) com a superfície exterior do tubo interior, e por compreender ranhuras geralmente longitudinais (16, 17) em cada interface, de modo a proporcionar em conjunto o primeiro percurso de escoamento de fluido.

2 - Elemento de permutador de calor de acordo com a reivindicação 1, em que a manga (13) está em contacto efectivo de transferência de calor com, pelo menos, um dos tubos (11 ou 12).

3 - Elemento permutador de calor de acordo com a reivindicação 1 ou com a reivindicação 2, em que as ranhuras (51, figs. 4 e 5) que formam o primeiro percurso de escoamento de fluido de permuta de calor são ranhuras principais e em que são proporcionadas ranhuras secundárias (53), com uma inclinação em relação às ranhuras principais, numa interface, de modo a proporcionar entalhes entre as ranhuras principais para induzir o escoamento de fluido de uma ranhura principal para a ranhura principal adjacente.

4 - Elemento permutador de calor de acordo com a reivindicação 3, em que as ranhuras principais (51) estão numa superfície na interface e as ranhuras secundárias (53) estão na outra superfície na interface.

5 - Elemento permutador de calor de acordo com a reivindicação 3, que tem as ranhuras principais (em B, C, fig. 1) em ambas as superfícies numa interface.

6 - Elemento permutador de calor de acordo com a reivindicação 5, em que as ranhuras principais numa superfície de uma interface estão alinhadas com as ranhuras principais da outra superfície da mesma interface, para proporcionarem efectivamente maiores ranhuras principais (em B, fig. 1).

7 - Elemento permutador de calor de acordo com a reivindicação 5, em que as ranhuras principais numa superfície estão desalinhadas em relação à ranhuras principais na outra superfície, de modo a proporcionar ranhuras principais separadas (em C, fig. 1).

8 - Elemento permutador de calor de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, que compreende, pelo menos, duas mangas concêntricas (41, 42, 43, etc., fig. 3) entre os tubos interior e exterior, com interfaces entre as mangas adjacentes bem como entre a manga exterior e o tubo exterior e entre a manga interior e o tubo interior, com ranhuras principais geralmente longitudinais (48) em cada interface.

9 - Elemento permutador de calor de acordo com a reivindicação 8, que tem um subconjunto interior de mangas com um número comum de ranhuras principais em alinhamento radial entre si e um subconjunto exterior de mangas com um número comum maior de ranhuras principais em alinhamento radial entre si.

10 - Motor "Stirling", que compreende um elemento permutador de calor de mangas múltiplas de acordo com a reivindicação 9, utilizado como um arrefecedor para o fluido de trabalho do dito motor "Stirling".

11 - Motor "Stirling", que compreende um banco de elementos permutadores de calor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, utilizados com um aquecedor para o fluido de trabalho do dito motor "Stirling".

Lisboa, -3. MAR. 2000

Por SUSTAINABLE ENGINE SYSTEMS LIMITED

- O AGENTE OFICIAL -

O ADJUNTO



ENG.º ANTÓNIO JOÃO DA CUNHA FERREIRA Ag. Of. Pr. Ind. Rua das Flores, 74 - 4.º 1200 LISBOA
--



FIG 1

[Handwritten signature]

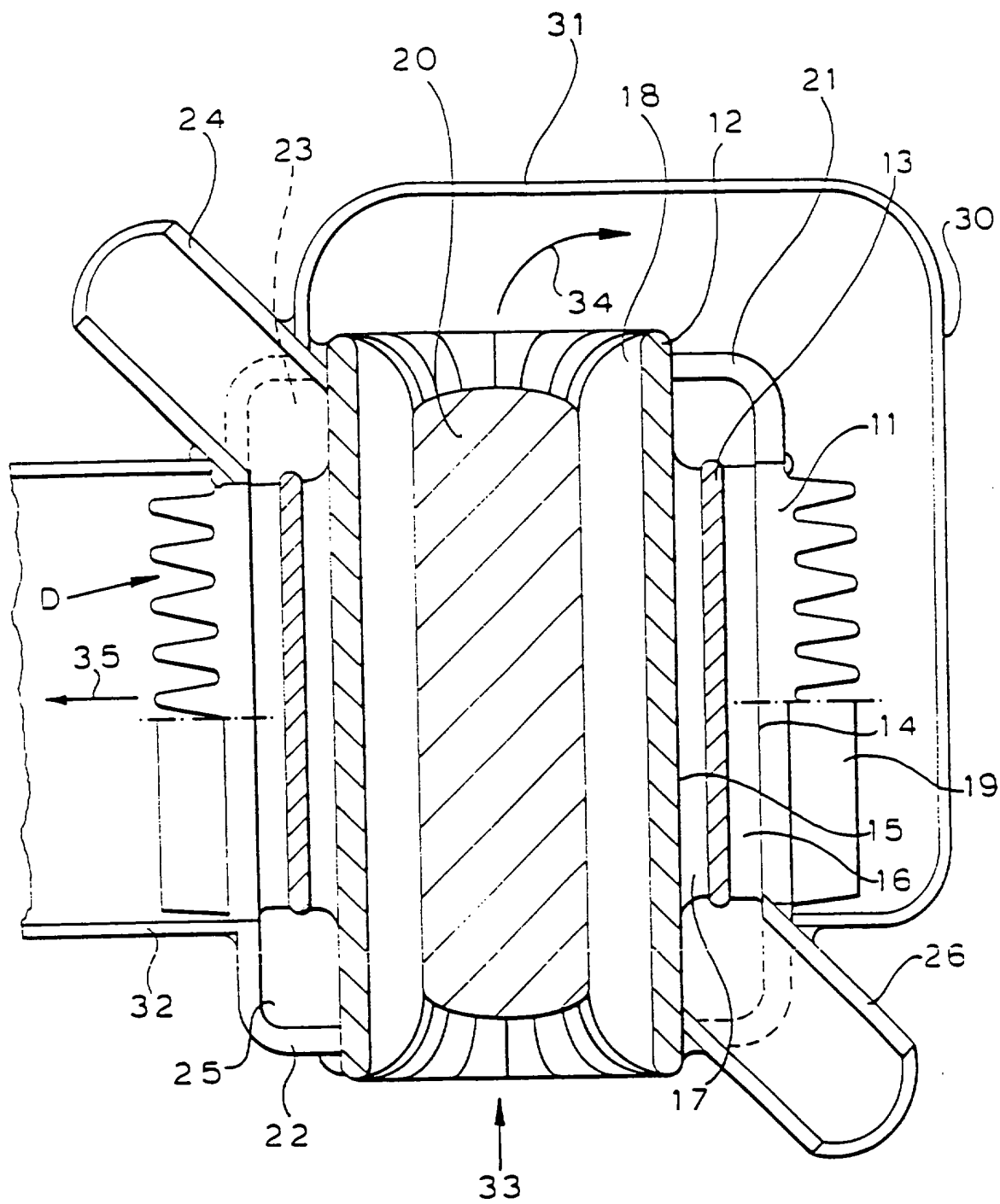


FIG 2

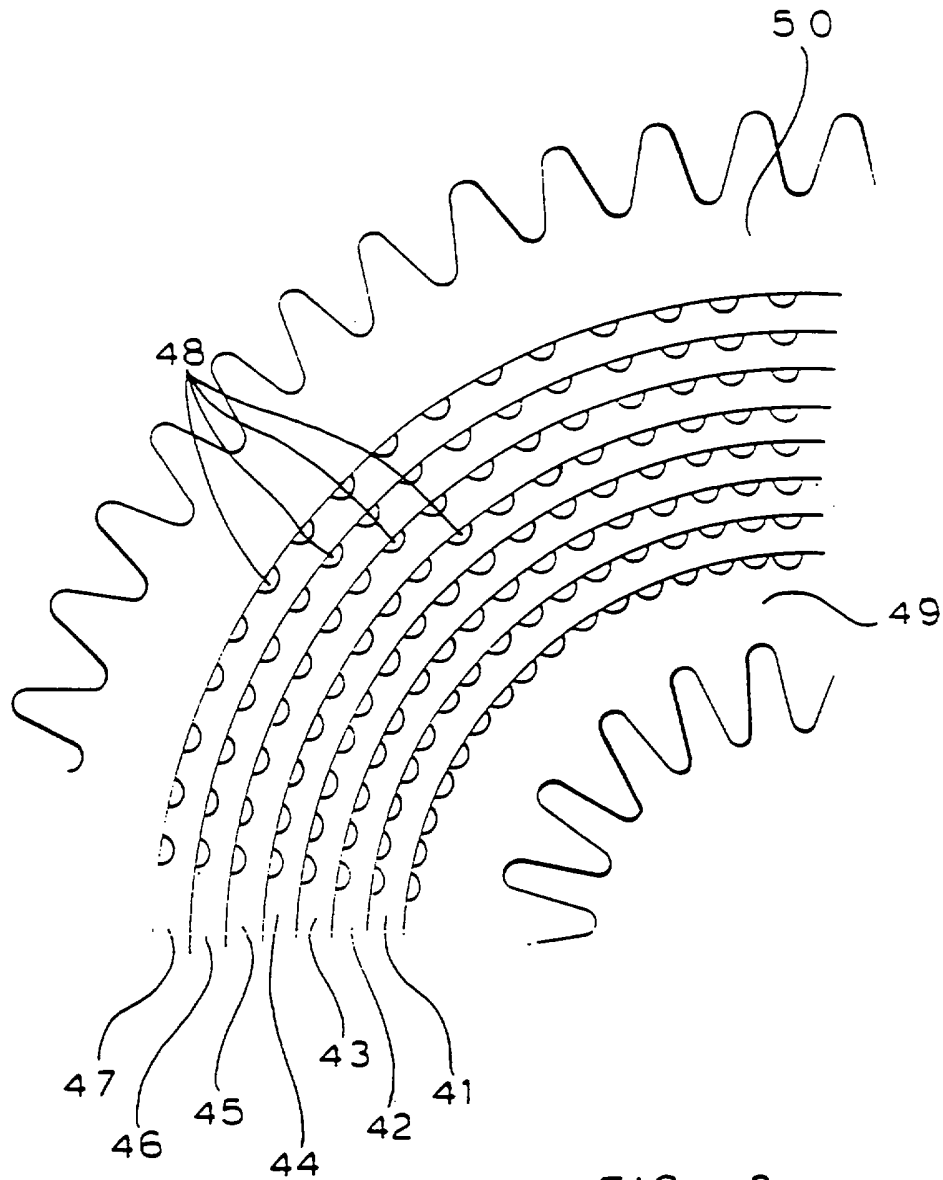


FIG 3

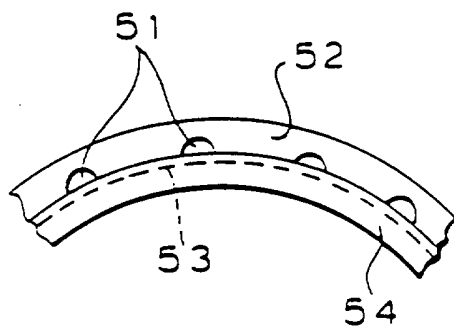
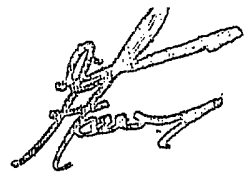


FIG 4

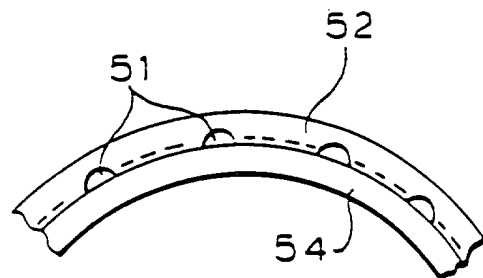


FIG 6

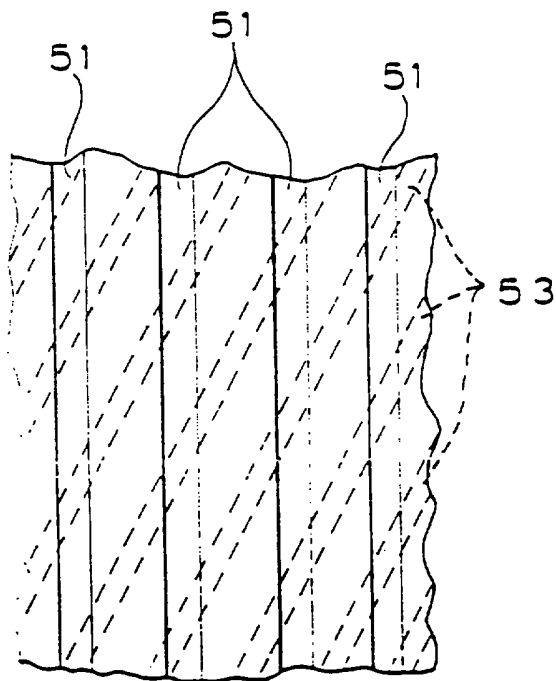


FIG 5

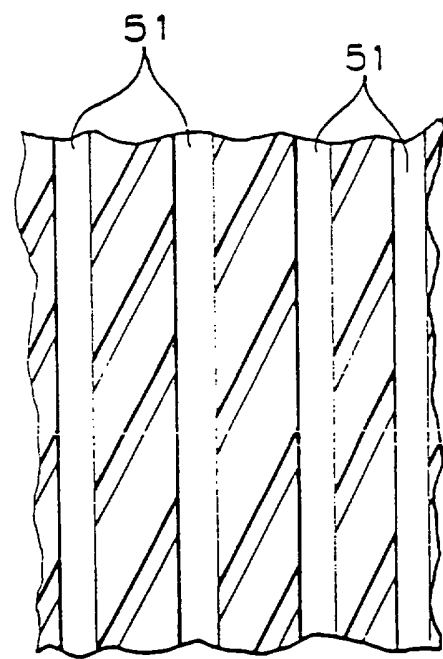


FIG 7