



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

**(11) PI 0515180-5 B1**

**(22) Data do Depósito:** 14/09/2005

**(45) Data de Concessão:** 18/09/2018



**(54) Título:** CAMISA DE CILINDRO PARA UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA RESFRIADO COM LÍQUIDO, E, BLOCO DE CILINDRO RESFRIADO COM LÍQUIDO PARA UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

**(51) Int.Cl.:** F02F 1/10

**(30) Prioridade Unionista:** 13/09/2005 US 11/225,523, 14/09/2004 US 60/609,906

**(73) Titular(es):** FEDERAL-MOGUL CORPORATION

**(72) Inventor(es):** MIGUEL AZEVEDO

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 13/03/2007

“CAMISA DE CILINDRO PARA UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA RESFRIADO COM LÍQUIDO, E, BLOCO DE CILINDRO RESFRIADO COM LÍQUIDO PARA UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA”

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

**[0001]** Este pedido reivindica prioridade para o pedido provisório US 60/609.906 depositado em 14 de setembro de 2004.

CAMPO TÉCNICO

**[0002]** A invenção em questão diz respeito a uma camisa de cilindro para um motor diesel do tipo que forma uma câmara de combustão em cooperação com um pistão alternado e, mais particularmente, a uma camisa de cilindro diesel que tem um tratamento superficial projetado para superar os efeitos destrutivos de erosão induzida por cavitação.

TECNOLOGIA RELACIONADA

**[0003]** A maior parte dos motores diesel de trabalho pesado tem camisas de cilindro de casquilho molhado que permitem que refrigerante circule no lado de fora dos cilindros para efetivamente dissipar calor. Essas camisas de casquilho molhado são suscetíveis a um mecanismo de falha conhecido como erosão por cavitação.

**[0004]** Cavitação é uma zona de baixa pressão localizada, que se forma ao longo da parede externa de uma camisa de cilindro. Ela é causada pela flexão da parede do cilindro por causa das altas pressões sofridas na ignição do motor diesel. Durante a combustão, a parede do cilindro expande-se rapidamente e em seguida retorna para sua geometria original. A expansão da parede do cilindro é mais pronunciada à medida que a demanda de energia aumenta por causa das maiores pressões do cilindro. Em um nível microscópico, o movimento da parede do cilindro para dentro faz com que uma zona de baixa pressão seja criada no refrigerante adjacente à parede do cilindro. Quando a zona de pressão cai abaixo do ponto da pressão de vapor do refrigerante, uma bolha de vapor é formada. Quando esta zona de baixa pressão retorna para uma zona de alta pressão, a bolha de vapor colapsa, causando uma implosão, que resulta em formação de furos na parede do cilindro.

Esta formação de furos, se continuar sem verificação, pode comprometer a integridade da camisa do cilindro.

**[0005]** Uma tentativa da tecnologia anterior de impedir ou reduzir o fenômeno de cavitação e a formação de furos resultante consiste em formular refrigerantes especiais contendo aditivos. De maneira geral, esses aditivos enquadram-se em duas categorias: aqueles baseados em um sal de borato ou nitreto, e aqueles formulados de um composto químico orgânico (ácidos carboxílicos/graxos). O primeiro grupo funciona pelo princípio de reduzir a tensão superficial do refrigerante, que diminui a pressão de pico atingida no interior da bolha e proporciona uma implosão "suave". As soluções de refrigerante formuladas de compostos químicos orgânicos também reduzem a tensão superficial e, além de revestir a superfície externa da camisa com uma camada de sacrifício de compostos que são continuamente renovados pelo produto químico, constituem o refrigerante.

**[0006]** Tais refrigerantes especialmente formulados, embora moderadamente efetivos no controle da erosão induzida por cavitação, são caros e nem sempre facilmente disponíveis. Por exemplo, se um técnico em manutenção não tiver um refrigerante com esses aditivos especiais para suprimento imediato, é provável que qualquer refrigerante e/ou água seja usado por questão de conveniência.

**[0007]** Dessa maneira, existe uma necessidade de um método melhorado de controlar erosão induzida por cavitação que não depende da disponibilidade de refrigerantes caros especialmente formulados.

**[0008]** Uma outra tentativa de proteger camisas de cilindros molhados contra erosão induzida por cavitação opera com base no princípio de metalizar, ou de outra forma reforçar, a superfície externa da camisa para que ela possa suportar mais a contento o ataque de bolhas implosivas. Por exemplo, eletrometalização com níquel e níquel-cromo foram usadas no passado. Outros tratamentos superficiais e técnicas de encamisamento também foram propostas para permitir que uma camisa suporte erosão por cavitação. Essas estratégias da tecnologia anterior aumentam substancialmente o custo e a complexidade das operações de fabricação da camisa. Em muitos casos, elas aumentam substancialmente o peso da camisa, ou

introduzem algum outro efeito negativo secundário. Dessa maneira, existe uma necessidade de soluções alternativas para erosão induzida por corrosão que não aumente significativamente as despesas de uma retífica de motor diesel.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

**[0009]** De acordo com um primeiro aspecto da invenção, uma camisa de cilindro para um motor de combustão interna resfriado com líquido compreende um corpo tubular que tem um furo no geral cilíndrico adaptado para receber um pistão alternado e formar uma parte da câmara na qual a energia térmica de um processo de combustão é convertida em energia mecânica. A camisa do cilindro inclui uma extremidade superior e uma extremidade inferior. Uma superfície externa no geral envelopa o corpo tubular e estende-se entre as extremidades superior e inferior. Pelo menos uma parte da superfície externa é adaptada para contato direto com um meio de resfriamento líquido para transferir energia térmica da camisa para o meio de resfriamento líquido. Pelo menos uma parte da superfície externa inclui uma textura superficial consistindo essencialmente em partículas maciças que têm um tamanho médio de 2-8  $\mu\text{m}$ , as partículas sendo cada qual facetadas e envoltas por uma rede de canais. A textura superficial é efetiva para criar uma camada estagnada fina de líquido que efetivamente adere na superfície externa da camisa do cilindro. Esta camada estagnada fina de refrigerante opera como uma blindagem renovável integral que absorve a energia de implosão das bolhas em colapso e então é rapidamente cicatrizada.

**[0010]** De acordo com um segundo aspecto da invenção, um bloco de cilindro resfriado com líquido para um motor de combustão interna compreende um cárter incluindo uma passagem de fluxo de refrigerante. A camisa do cilindro fica disposta no cárter e tem um corpo no geral tubular que define um furo no geral cilíndrico que se estende entre as extremidades superior e inferior. O corpo da camisa do cilindro inclui uma superfície externa exposta pelo menos parcialmente à passagem de fluxo de refrigerante para transferir energia térmica da camisa para o meio de resfriamento líquido que escoar na passagem de fluxo de refrigerante. Pelo menos uma parte da superfície externa, que está na passagem de fluxo de refrigerante,

inclui uma textura superficial que consiste essencialmente de partículas maciças que têm um tamanho médio de 2-8  $\mu\text{m}$ . As partículas são cada qual facetadas e envoltas por uma rede de canais capazes de criar uma camada estagnada fina de líquido aderente na superfície externa da camisa.

**[0011]** Os efeitos da adesão e tensão superficial característicos dos meios de resfriamento, particularmente aqueles que são de natureza polar, são conjugados e tratados como ação capilar. Assim, depois que a camada estagnada é criada, as bolhas resultantes da cavitação são mantidas fora da superfície externa da camisa do cilindro. Além disso, o jato de colisão das cavidades que implodem terá um maior caminho para deslocar e terá que superar o filme tenaz formado pela camada de fluido estagnada. Assim, a camada estagnada forma uma blindagem para dissipar rapidamente a alta energia cinética que chega pelas bolhas que implodem.

**[0012]** A textura superficial inédita da invenção em questão fornece proteção de erosão induzida por cavitação para uma ampla variedade de meios de resfriamento líquido, tanto comuns como especialmente formulados. A textura superficial inédita é facilmente criada com materiais e processos comuns

#### DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

**[0013]** Esses e outros recursos e vantagens da presente invenção ficarão mais facilmente aparentes quando considerados com relação à descrição detalhada seguinte e aos desenhos anexos, em que:

A Figura 1 é uma vista seccional transversal simplificada de um bloco de cilindro resfriado com líquido para um motor de combustão interna que inclui um cárter e uma camisa do cilindro molhado disposta nela;

A Figura 2 é uma vista ampliada da área circunscrita em 2 na figura 1, mostrando de maneira exagerada, a formação de bolhas de cavitação na superfície externa de uma camisa de cilindro por causa da flexão da parede;

A Figura 3 é uma vista em perspectiva de uma camisa de cilindro de acordo com a invenção em questão;

A Figura 4 é uma micrografia representativa da aparência da textura superficial inédita amplificada aproximadamente 1.000 x;

A Figura 5 é uma vista seccional transversal fragmentada ampliada que mostra uma parte da camisa do cilindro e a textura superficial de acordo com esta invenção, com as bolhas de cavitação sendo mantidas a uma distância espaçada da superfície externa por uma camada estagnada de líquido; e

A Figura 6 é uma vista em perspectiva de uma modalidade alternativa da invenção, representando uma parte da superfície externa da camisa de cilindro que é tratada com um feixe de laser.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA MODALIDADE PREFERIDA

**[0014]** Referindo-se às figuras, em que números iguais indicam partes iguais ou correspondentes nas diversas vistas, um bloco de cilindro resfriado com líquido para um motor de combustão interna está mostrado no geral em 10 na figura 1. O bloco do cilindro 10 é grosseiramente composto de um cárter 12, tipicamente fundida de ferro ou alumínio. O cárter 12 inclui uma superfície do cabeçote 14 adaptada para receber uma gaxeta do cabeçote (não mostrada). Uma camisa do cilindro, indicada no geral em 16, é adaptada no cárter 12 para que, quando completamente montada, um pistão alternado (não mostrado) possa deslizar dentro de um furo no geral cilíndrico 18 e formar uma parte da câmara na qual a energia térmica de um processo de combustão é convertida em energia mecânica. Um espaço intencional entre a camisa do cilindro 16 e o cárter 12 forma uma passagem de fluxo de refrigerante 20 pela qual um meio de resfriamento líquido circula com propósito de remover energia térmica da camisa do cilindro 16. A camisa do cilindro 16 é definida por um corpo tubular que tem uma extremidade superior 22 associada com a superfície do cabeçote 14, e uma extremidade inferior 24 que se abre em direção a um eixo de manivela (não mostrado) suportado de forma rotativa no cárter 12. A camisa do cilindro 16 inclui uma superfície externa 26 que é fixa nas suas extremidades superior e inferior no cárter 12. Entre esses pontos de fixação, a superfície externa 26 é exposta à passagem de fluxo de refrigerante 20 para transferência de calor por convecção através do meio de resfriamento líquido em movimento que circula na passagem de fluxo de refrigerante 20.

**[0015]** Durante operação normal do motor, e particularmente durante condições

de alta carga, as seções não suportadas da camisa do cilindro, isto é, as partes do corpo tubular expostas à passagem de fluxo de refrigerante 20, são submetidas a flexão causada pelas flutuações de pressão no interior do furo 18. Esta flexão, que está ilustrada de uma maneira exagerada na Figura 2, faz com que refrigerante líquido adjacente à superfície externa 26 percorra em ciclo pelas zonas de baixa e alta pressão. Quando o estágio de baixa pressão cai abaixo do ponto de pressão de vapor do refrigerante líquido, uma bolha de vapor é formada e em seguida colapsa rapidamente à medida que o corpo tubular se expande. Isto ocorre a uma frequência extremamente alta e induz temperaturas muito altas, que resultam na formação de furos no substrato metálico. Formação de furos induzida por cavitação pode eventualmente atravessar a espessura da camisa.

**[0016]** Para proteger a superfície externa 26 da camisa do cilindro 16, uma textura superficial 28 é formada tanto por toda a superfície externa 26 como pelo menos nessa seção da superfície externa 26 que é mais suscetível a erosão induzida por cavitação. Muito frequentemente, a parte central da superfície externa 26 é mais suscetível a erosão induzida por cavitação em virtude de passar pelo maior deslocamento por causa de flutuações de pressão no furo 18. Na figura 3, toda a superfície externa 26 está mostrada coberta com a textura superficial 28.

**[0017]** Conforme mais bem mostrado na figura 4 bastante amplificada, a textura superficial 28 consiste essencialmente de partículas maciças que têm uma largura média e deslocamento normal de 2-8  $\mu\text{m}$ . As partículas tipo cristal são cada qual facetadas e envolvidas por uma rede de canal que dá a aparência, quando vista de uma imagem de microscópio de varredura eletrônica ampliada 1.000 x, de um arranjo de agregados altamente empacotado, onde cada grão tem diversas superfícies planas e o tamanho de grão médio é entre 2 e 8  $\mu\text{m}$ . A dispersão de partículas é em geral aleatória, mas seu empacotamento apertado resulta em uma distância máxima média de menos de 8  $\mu\text{m}$  entre grãos de partículas adjacentes. Ou seja, a rede de canais, que é formada pelos vales entre partículas cristalinas agrupadas adjacentes, tem uma largura máxima média de menos de 8  $\mu\text{m}$ .

**[0018]** A superfície texturizada 28 é efetiva para criar intencionalmente uma

camada estagnada muito fina de líquido aderente à superfície externa 26. Tipicamente, esta camada de líquido de resfriamento estagnado mede qualquer coisa de 2-20  $\mu\text{m}$  de espessura, dependendo da composição e viscosidade do meio de resfriamento. Nesta ordem de grandeza ( $10^{-6}$ ), forças adesivas ligam fortemente uma substância líquida a uma superfície, especialmente se a substância líquida for de natureza polar, como a água. Também, nesta magnitude, efeitos da tensão superficial tornam-se bastante pronunciados. Os efeitos da adesão e tensão superficial são assim alavancados pela textura superficial 28 e conjugados servem como ação de capilaridade. Assim, as bolhas de cavitação são mantidas por esta camada estagnada fora da superfície externa 26 da camisa 16. Além disso, o jato de colisão das cavidades que implodem terá um caminho mais longo para deslocar e terão que superar o filme tenaz formado pela camada de fluido estagnada. Esta ação de blindagem dissipa rapidamente a alta energia cinética que chega das bolhas que implodem. Se uma bolha que implode romper a camada estagnada, ela é rapidamente cicatrizada e reconstituída no tempo de ciclo necessário para criar uma nova bolha de cavitação. A faixa específica de tamanhos de partícula médio (largura e deslocamento) de 2-8  $\mu\text{m}$ , conjugada com seu espaçamento justo, permite que os efeitos da adesão e tensão superficial dentro do meio de resfriamento líquido conjuguem e ajam como a ação de capilaridade para constituir a camada de fluido estagnada em torno da superfície externa 26.

**[0019]** A textura superficial 28 pode ser formada sobre a superfície externa 26 da camisa do cilindro 16 por uma técnica comercialmente disponível. Por exemplo, técnicas de ataque químico ou laser podem ser usadas para formar a textura superficial 28, bem como técnicas de polimento mecânico, estampagem, laminação ou jateamento abrasivo. Preferivelmente, entretanto, a textura superficial 28 é formada por um revestimento 30 composto de um material que é diferente do material da camisa do cilindro 16. Assim, embora a camisa do cilindro 16 possa ser fabricado de um material de aço ou ferro fundido (ou outro), o revestimento 30 pode ser um material diferente. Este material de camisa pode incluir componentes de fosfato de manganês que são devidamente processados para agir como um labirinto



que ancora as moléculas de água (ou refrigerante do motor) e assim promove a formação da camada de fluido estagnada. Por exemplo, um material de revestimento a base de fosfato de manganês pode incluir hureaulita, normalmente descrita como  $\text{Mn}_5\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Hureaulita é um mineral até certo ponto raro, com uma composição química que substitui um dos quatros oxigênios no grupo de íons fosfato regular com um grupo hidróxido ou OH.

**[0020]** Na formação da textura superficial 28 de acordo com a técnica de revestimento de fosfato de manganês, a camisa do cilindro 16 terá sua superfície externa 26 preparada usando práticas padrões conhecidas pelas ramificações específicas da indústria de acabamento de metais. Entretanto, as modificações seguintes em tais práticas padrões podem ser introduzidas. O revestimento 16 pode ser primeiramente submetido a um estágio de decapagem ácida, consistindo de ácido sulfúrico a uma concentração de 12-15 % em volume e uma temperatura máxima de 38 °C. Outros ácidos podem também ser usados, já que a decapagem ácida é apenas uma via preferida. Além disso, um estágio de refino de grão é usado em concentrações na faixa de 0,3-0,8 oz/gal (0,002 – 0,006 kg/l). O banho de fosfato de manganês deve ter uma razão de ácido total/ácido livre de não menos que 6,5, com um teor de ferro de 0,3 % máximo. Um estágio de vedação com óleo quente (por exemplo, 50-70 °C) é usado, preferivelmente, com um óleo solúvel em água a uma concentração de 10-15 % em volume, para proteger a camisa do cilindro 16 durante o tempo de armazenamento em prateleira.

**[0021]** O revestimento resultante 30, se analisado pelo microscópio eletrônico de varredura a 1.000 x (Figura 4), deve apresentar uma estrutura uniforme consistindo de tamanho de cristal (partícula) de 2-8 µm, de natureza maciça, claramente facetada, sem nenhuma formação tipo "couve-flor" e uma rede de canal discernível envolvendo os cristais, isto é, as partículas. Em virtude de revestimentos de fosfato de manganês do tipo aqui descrito terem sido usados na indústria por um longo tempo, elas demonstraram ser bastante robustas no sentido de que elas são reproduzíveis. Em segundo lugar, o processo de revestimento com fosfato de manganês é um processo muito caro e ambientalmente agressivo no contexto de

processos de acabamento de metal.

**[0022]** A Figura 6 representa uma técnica alternativa para produzir uma camisa de cilindro 16' cuja superfície externa 26' é aprimorada para suportar melhor o ataque de erosão induzida por cavitação. De acordo com esta modalidade, refusão/resfriamento local restrito da superfície externa 26' é conseguida por um feixe laser 32'. Aqui, um laser industrial 34' colide na superfície externa não reflexiva 26' e assim gera uma fusão/resfriamento altamente controlável que, em virtude do substrato metálico, age como um dissipador de calor e resfria rapidamente e como uma estrutura fundida coquilhada. A superfície coquilhada resulta do endurecimento por transformação do material do substrato, e é altamente resistente ao desgaste e fadiga. Tais superfícies metálicas refundidas/coquilhadas têm bom desempenho sob altas tensões hertzianas, que é exatamente o mecanismo fundamental que erode a camisa de cilindro típico sob condições de cavitação. A profundidade radial desta camada coquilhada é tipicamente entre 20 e 200  $\mu\text{m}$  e é criada in situ nas áreas propensas a cavitação da superfície externa 26' da camisa 16'. É inteiramente possível modular o laser 34' de uma maneira a criar zonas tratadas 36' em lugar de uma cobertura geral da superfície externa 26'.

**[0023]** Preferivelmente, o laser 34' é do tipo  $\text{CO}_2$  ou ND:YAG ou diodo. Em operação, a camisa do cilindro 16' é afixada em uma plataforma indexável adequada (não mostrada) que tem a provisão para pelo menos girar a camisa 16', e preferivelmente também para transladar a camisa 16'. O laser 34' irradia na superfície externa 26' e gera uma poça fundida que se solidifica rapidamente pela ação do substrato como um dissipador de calor. A estrutura coquilhada resulta disto. Nesse ínterim, os movimentos de rotação e translação produzidos pela plataforma combinam-se para gerar bandas refundidas que englobam as zonas propensas a cavitação, tanto como uma área contínua como padronizada 36'.

**[0024]** Obviamente, muitas modificações e variações da presente invenção são possíveis sob a luz dos preceitos apresentados. Portanto, deve-se entender que, de acordo com o escopo das reivindicações anexas, a invenção pode ser praticada de outra forma além das especificamente descritas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Camisa de cilindro (16) para um motor de combustão interna resfriado com líquido (10), a dita camisa de cilindro (16) compreendendo:

um corpo tubular tendo um furo geralmente cilíndrico adaptado para receber um pistão alternado e formando uma parte da câmara na qual a energia térmica de um processo de combustão é convertida em energia mecânica;

uma extremidade superior (22);

uma extremidade inferior (24);

uma superfície externa (26) que envelopa o dito corpo tubular e que se estende entre as ditas extremidades superior e inferior, pelo menos uma parte da dita superfície externa (26) adaptada para contato direto com um meio de resfriamento líquido para transferir energia térmica da dita camisa (16) para o dito meio de resfriamento líquido;

caracterizada pelo fato de que pelo menos uma parte da dita superfície externa (26) inclui uma textura superficial (28) que consiste essencialmente de partículas maciças que têm um tamanho médio de 2-8  $\mu\text{m}$ , as ditas partículas sendo cada qual facetadas e envoltas por uma rede de canais.

2. Camisa de cilindro (16), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o dito corpo tubular é composto de um primeiro material e a dita textura superficial (28) compreende um revestimento composto de um segundo material diferente do dito primeiro material.

3. Camisa de cilindro (16), de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de que o dito revestimento inclui fosfato de manganês.

4. Camisa de cilindro (16), de acordo com a reivindicação 3, caracterizada pelo fato de que o dito revestimento consiste essencialmente de  $\text{Mn}_5\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

5. Camisa de cilindro (16), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a distância máxima entre partículas adjacentes das ditas partículas é menos que 8  $\mu\text{m}$ .

6. Bloco de cilindro resfriado com líquido (10) para um motor de combustão interna, o dito bloco compreendendo:

um cárter (12) que inclui uma passagem de fluxo de refrigerante (20);

uma camisa de cilindro (16) disposta no dito cárter (12), a dita camisa de cilindro (16) tendo um corpo geralmente tubular que define um furo que se estende entre suas extremidades superior e inferior;

o dito corpo da dita camisa de cilindro (16) incluindo uma superfície externa (26) exposta pelo menos parcialmente à dita passagem de fluxo de refrigerante (20) para transferir energia térmica da dita camisa (16) a um meio de resfriamento líquido que escoar na dita passagem de fluxo de refrigerante (20);

caracterizado pelo fato de que pelo menos uma parte da dita superfície externa exposta à dita passagem de fluxo de refrigerante inclui uma textura superficial (28) que consiste essencialmente de grãos cristalinos tendo um tamanho médio de 2-8  $\mu\text{m}$ , os ditos grãos sendo cada qual facetados e envoltos por uma rede de canais.

7. Bloco de cilindro (10), de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o dito corpo tubular é composto de um primeiro material e a dita textura superficial (26) compreende um revestimento composto de um segundo material diferente do dito primeiro material.

8. Bloco de cilindro (10), de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o dito revestimento inclui fosfato de manganês.

9. Bloco de cilindro (10), de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o dito revestimento consiste essencialmente de  $\text{Mn}_5\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

10. Bloco de cilindro (10), de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a distância máxima entre os grãos adjacentes dos ditos grãos cristalinos é menos que 8  $\mu\text{m}$ .

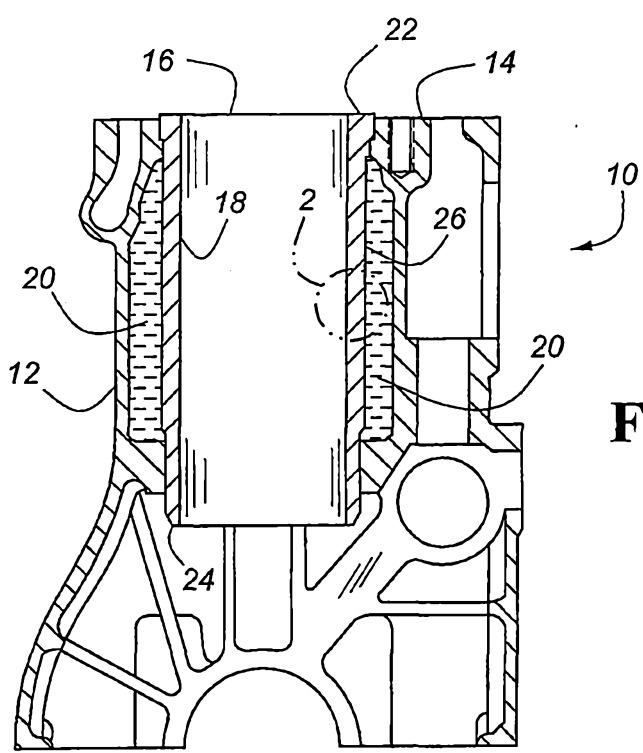
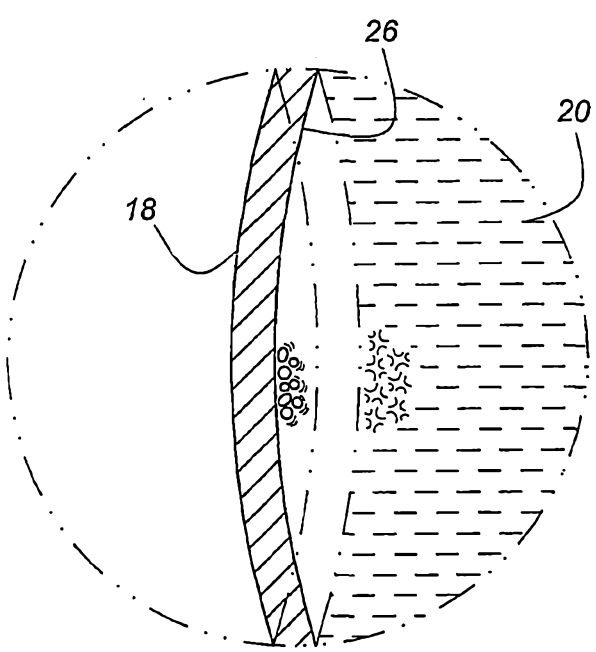
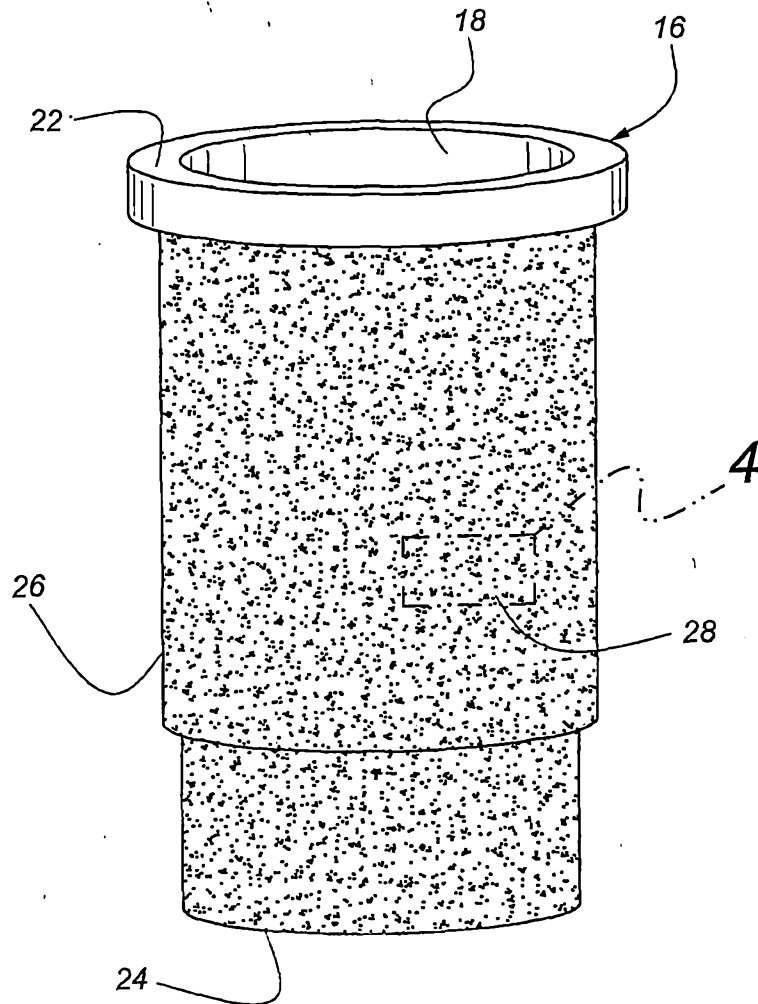


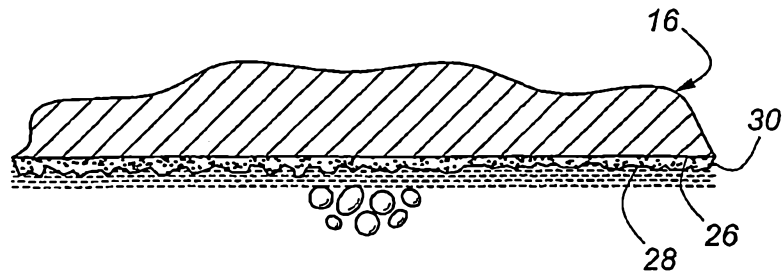
FIGURE 2



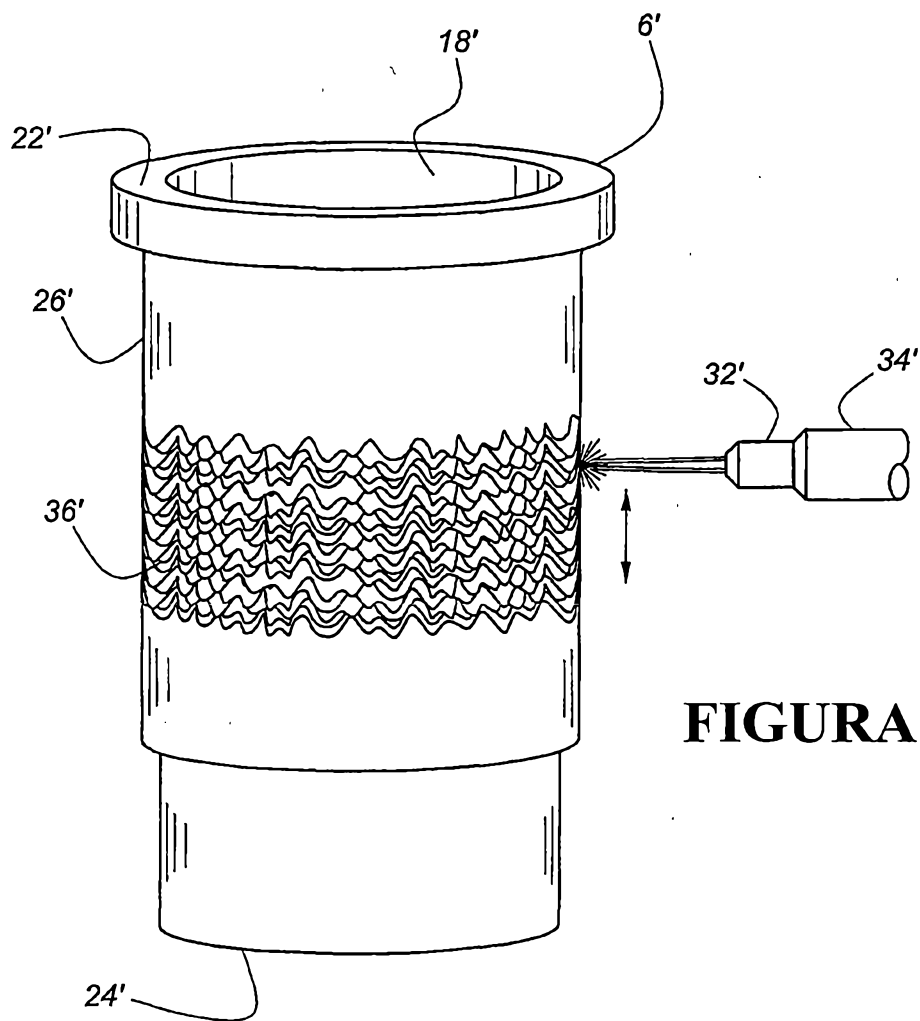


**FIGURE 3**





**FIGURE 5**



**FIGURE 6**