



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

(11) PI 0901939-1 B1



(22) Data do Depósito: 23/06/2009

(45) Data de Concessão: 06/03/2019

(54) Título: ANEL DE PISTÃO PARA MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

(51) Int.Cl.: C23C 14/06.

(30) Prioridade Unionista: 26/06/2008 BR PI0803362-5.

(73) Titular(es): MAHLE METAL LEVE S/A.

(72) Inventor(es): JULIANO AVELAR ARAUJO.

(66) Prioridade Interna: PI0803362-5 de 26/06/2008.

(57) Resumo: ANEL DE PISTÃO PARA MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA. A presente invenção refere-se a um anel de pistão para motor de combustão interna, dotado na sua superfície externa de um revestimento de Nitreto de Cromo (CrN e Cr-2~N) e Nitreto de Níbio (NbN e Nb-4~N3-), capaz de oferecer maior resistência à escamação do revestimento, mantendo ainda um excelente nível de resistência ao desgaste e arranhões à camada de Nitreto de Cromo depositada.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "ANEL DE PISTÃO PARA MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA".

A presente invenção refere-se a um anel de pistão para motor de combustão interna, mais particularmente um anel de pistão dotado de revestimentos de Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio, a fim de conferir maior resistência ao desgaste do anel durante a vida útil do motor.

Descrição do Estado da Técnica

Via de regra, o processo de desgaste que um material pode sofrer, ou causar, em contato com outro, é um fenômeno bastante complexo. As propriedades tribológicas do material são uma das principais características envolvidas nesse processo.

As propriedades tribológicas estão relacionadas ao desgaste e à resistência de um material, quando o mesmo está sujeito a forças de deslizamento.

Atualmente, existe uma demanda crescente por materiais e/ou componentes mais resistentes ao desgaste e à corrosão, o que tem fomentado o interesse pela área de engenharia de superfícies.

No que tange à área automobilística, e mais especificamente ao revestimento de anéis de pistão de motores de combustão, estudos e pesquisas recentes estão sendo desenvolvidos com a finalidade de alcançar materiais que ofereçam maior resistência ao desgaste, evitando assim a ruptura/quebra do material de revestimento, o que comprometeria sobremaneira o seu requisito funcional.

Os anéis de compressão de pistão de motores de combustão são empregados para compensar a inevitável folga existente entre o pistão e a parede do cilindro, conferindo uma vedação eficiente para o conjunto durante o funcionamento do motor (sobretudo no momento da compressão do ar ou da mistura ar/combustível), além de um melhor rendimento. Neste caso, o anel evita que os gases provenientes da combustão passem do cilindro para o cárter, além de impedir o acesso do lubrificante à câmara de combustão.

Existem ainda anéis raspadores de óleo, que possuem constitui-

ção e função diversas, pelo que não serão detalhados neste relatório.

Devido à localização dos anéis de compressão no pistão e ao tipo de esforço a que são submetidos, dentre outros fatores, os anéis sofrem processos de desgaste bem acentuados e ataques químicos de subprodutos da queima da mistura ar-combustível.

Modernamente, vem ocorrendo um aumento impressionante na eficiência dos motores de combustão interna, que geram cada vez mais potência com menores deslocamentos. Tal incremento de eficiência é ditado, sobretudo, pelas cada vez mais severas leis limitadoras de emissão de poluentes e pela necessidade na redução de consumo específico dos motores, e está mais em voga do que nunca devido ao cada vez mais discutido aquecimento global advindo das emissões de carbono pela queima de combustíveis fósseis.

Alguns trabalhos e pesquisas recentes objetivam o desenvolvimento de produtos que encontram uma maior resistência ao desgaste, normalmente aplicando um revestimento e/ou um tratamento na superfície dos anéis de pistão.

O documento norte-americano US 5.743.536 descreve um anel de pistão para motor de combustão interna, cuja superfície é revestida por um material de deslizamento composto principalmente por Nitreto de Cromo. O revestimento é formado pela deposição de nitreto de cromo na superfície da peça que se quer aplicar utilizando um processo denominado PVD ou deposição física de vapor.

A invenção descrita no documento norte-americano sugere o uso de Nitreto de Cromo na forma CrN ou Cr₂N. Uma mistura de CrN e Cr₂N também é possível para compor o revestimento proposto.

Ainda segundo o documento norte-americano US 5.743.536, o revestimento apresenta resistência superior à delaminação da superfície do anel e à abrasão. O revestimento apresenta estrutura cristalina colunar com espessura da ordem de 1 a 80 µm e porosidade na faixa de 1,5% a 20%.

O documento norte-americano US 5.316.321 descreve um anel de pistão para motor de combustão interna fabricado a partir de uma liga de

titânio, cuja superfície externa de deslizamento é revestida por um filme duro, empregando o processo de deposição física de vapor para essa deposição.

O documento norte-americano US 5.316.321 descreve ainda o uso de um ou mais tipos de filmes para o revestimento do anel de pistão, especialmente o TiN (Nitreto de titânio) e o CrN (Nitreto de Cromo).

O documento norte-americano US 5.154.433 descreve um anel de pistão para motor de combustão interna, e, mais particularmente, um anel de pistão de aço inoxidável martensítico revestido com um filme de Nitreto de Titânio. Segundo uma das concretizações da invenção descrita no documento US 5.154.433, o revestimento de Nitreto de Titânio possui uma concentração de Nitrogênio gradualmente decrescente na sua superfície, o que confere ao filme uma dureza Vickers em torno de 1800 HV ou menor.

O documento norte-americano US 2005/0218603 descreve um anel de pistão para motor de combustão interna fabricado em aço, cuja superfície de contato é dotada de um revestimento de nitreto de alumínio e/ou silício e/ou zircônio. O revestimento proposto apresenta espessura menor ou igual a 70 μm , e é aplicado por deposição física de vapor.

Nota-se, a partir dos documentos do estado da técnica, que o filme de Nitreto de Cromo é amplamente utilizado na composição de um revestimento externo para o anel de pistão de motor de combustão, a fim de conferir maior resistência ao desgaste.

Recentemente, porém, observou-se que em motores que trabalham em regime de carga elevada, ou ainda em motores que trabalham sob elevados níveis de pressão de combustão, ocorre uma degradação da camada de Nitreto de Cromo, com a consequente formação de microrrachaduras na sua superfície. As microtrincas propagam-se até o destacamento do recobrimento (fenômeno que é conhecido como delaminação). As partículas duras provenientes da delaminação, soltas no sistema, podem levar a um desgaste elevado do anel de pistão e a uma falha catastrófica no motor.

Assim, a presente invenção oferece uma solução para o problema de delaminação do recobrimento e maior resistência ao desgaste, pro-

pondo um anel de pistão composto por um revestimento metálico externo, incluindo Nitreto de Cromo, nas formas CrN ou Cr₂N, e Nitreto de Nióbio, nas formas NbN ou Nb₄N₃.

Objetivos da Invenção

- 5 Um primeiro objetivo da presente invenção é propor um anel de pistão para motor de combustão interna, dotado de um revestimento de Nitreto de Cromo (CrN e Cr₂N) e Nitreto de Nióbio (NbN e Nb₄N₃) em sua superfície externa, capaz de oferecer maior resistência à delaminação do revestimento (formação de microtrincas e consequente delaminação do recobrimento), mantendo ainda um excelente nível de resistência ao desgaste do recobrimento de Nitreto de Cromo e Nióbio depositado.

Breve Descrição da Invenção

- Uma maneira de alcançar o objetivo da presente invenção é através da provisão de um anel de pistão para motor de combustão interna compreendendo uma base e pelo menos uma superfície externa, a base sendo constituída de uma dada liga metálica, a superfície externa do anel compreendendo um revestimento cerâmico, o revestimento cerâmico sendo constituído por um depósito de Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio. O revestimento é dotado de uma estrutura cristalina colunar e compreende uma combinação de fases de aplicação de Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio, sendo que o elemento Nióbio está presente em uma faixa de 30% a 60% em peso, e o revestimento tendo uma porosidade em uma faixa inferior a 10%.

Descrição Resumida dos Desenhos

- A presente invenção será descrita a seguir em maiores detalhes, com referência aos desenhos anexos, nos quais:

Figura 1 - representa uma vista ilustrativa em perspectiva de um pistão, ou êmbolo, dotado de dois anéis de compressão; e

- Figura 2 - representa uma vista esquemática em corte de uma primeira variação configurativa do anel de compressão objeto da presente invenção instalado na respectiva canaleta de pistão, destacando o revestimento de anel proposto;

Descrição Detalhada das Figuras

A figura 1 ilustra um pistão ou êmbolo qualquer, normalmente empregado em motores de combustão interna e que compreende dois anéis de compressão 1. A figura 2 mostra uma variação configurativa do anel de compressão objeto da presente invenção, instalado na canaleta do pistão e em contato com a parede de um cilindro, compreendendo uma base (ou corpo) 10 e pelo menos uma superfície externa 15.

A base 10 é constituída de uma liga metálica qualquer, como por exemplo ferro fundido ou aço, preferencialmente nitretados, e a superfície externa do anel 1 compreende um revestimento 2, sendo o mesmo constituído por Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio. O revestimento 2 objeto da presente invenção é ilustrado esquematicamente na figura 2.

O Nióbio (Nb) foi acrescentado ao revestimento para aumentar o valor das propriedades mecânicas desejadas do revestimento. Tais vantagens, que serão comentadas mais adiante, advêm do fato de que, atômica-mente falando, o Nitreto de Nióbio apresenta uma distância atômica reduzida, o que confere ao revestimento 2 uma estrutura mais densa, sem apresentar um aumento nas tensões internas.

O Nitreto de Nióbio (NbN ou Nb₄N₃) é reconhecido por ser um lubrificante sólido, e sua utilização em revestimento de anéis de pistão, segundo testes realizados pela depositante, aumenta consideravelmente as propriedades resultantes em relação ao revestimento atualmente utilizado, de Nitreto de Cromo (CrN).

Explicando com maior detalhamento, com o uso de Nitreto de Nióbio (NbN ou Nb₄N₃) é possível alcançar um coeficiente de fricção próximo dos coeficientes existentes nos revestimentos autolubrificantes, tais como aqueles oferecidos por um filme de carbono tipo-diamante ou por um filme de bissulfeto de molibdênio (MoS₂).

Preferivelmente, o revestimento 2 do anel de pistão 1 é dotado de uma estrutura cristalina colunar, compreendendo uma combinação de fases de aplicação de Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio.

Ainda preferivelmente, o revestimento é do tipo monocamada, porém opcionalmente o mesmo pode ser formado por multicamadas.

O Nitreto de Nióbio tem a capacidade de interromper o crescimento dos grãos de Nitreto de Cromo. Neste caso, o tamanho de grãos é reduzido na estrutura de Nitreto de Cromo presente no revestimento 2 quando comparada aos revestimentos de Nitreto de Cromo encontrados no estado da técnica, o que aumenta suas desejadas propriedades de resistência ao desgaste e tenacidade.

Como mencionado anteriormente, tal acréscimo de desempenho do revestimento ocorre porque o Nitreto de Nióbio apresenta uma natureza atômica próxima, ou seja, uma estrutura caracterizada pela maior aproximação entre os átomos aumentando a densidade do revestimento sem aumentar as tensões internas.

A referida estrutura aumenta a resistência ao surgimento de trincas no revestimento 2. O Nitreto de Nióbio e o Nitreto de Cromo são depositados, como mostra os dados apresentados na tabela 1, particularmente no que se refere à espessura do revestimento 2 e porcentagem de Nióbio.

O revestimento 2 é dotado de uma estrutura cristalina colunar e compreende uma combinação de fases de Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio, o elemento químico Nióbio sendo aplicado em uma faixa preferencial de 30 a 60% em peso. Ademais, o revestimento tem uma porosidade inferior a 10%.

A definição do valor de porosidade é muito importante porque ela, em princípio, funciona como um controlador da tensão interna do revestimento 2 e uma barreira para que gases corrosivos cheguem à base 1. No limite inferior (porosidade próxima de zero), o recobrimento é bastante denso e apresenta uma elevação da tensão residual, o que ocasionalmente pode levar a uma fragilização deste. Quando o revestimento 2 apresenta valores de porosidade elevados, pode ocorrer uma redução da resistência ao desgaste, podendo inclusive chegar a permitir que gases corrosivos da câmara de combustão do motor permeiem por esses poros até atingirem a base 1, gerando pontos de corrosão e consequente destacamento da camada.

Resultados de testes de bancada

Inicialmente, procedeu-se a um ensaio experimental significativo,

em bancada, de um anel de pistão conforme definido na presente invenção com 35% a 55% em peso de Nióbio na camada de revestimento. Os valores obtidos podem ser encontrados na Tabela 1 abaixo.

<u>TABELA 1</u>	En- saio	Revesti- mento	Espessu- ra (µm)	Dureza (HV)	Nióbio (% em peso)	Desgaste (µm)
Presente Invenção	1	CrN/NbN	14	2030	45	1,2
	2	CrN/NbN	15	1840	53	1,1
	3	CrN/NbN	15	1930	55	1,6
Estado da Técnica	4	CrN	15	1300	0	3,0

Os testes de bancada foram realizados em um equipamento cor-
 5 respondente ("reciprocating") para comparação do anel com o recobrimento
 NbN/CrN com o anel do estado da técnica, dotado de revestimento de Nitre-
 to de Cromo (CrN). A Tabela 1 ilustra os resultados do teste descrito acima,
 sob as condições de 667 N de carga a 500 rpm durante 50.000 ciclos.

A partir dos dados apresentados na tabela 1, notadamente nos
 10 ensaios de 1 a 3, destaca-se que a dureza alcançada pelo revestimento de
 Nitreto de Nióbio e Nitreto de Cromo é superior à dureza apresentada pelo
 revestimento normalmente empregado no estado da técnica, constituído a-
 penas por Nitreto de Cromo. E, frise-se, tais resultados vantajosos puderam
 ser claramente auferidos neste teste de desgaste, de maneira que os resul-
 15 tados tendem a ser tão mais superiores quanto maior for a duração dos tes-
 tes.

Da mesma forma, o desgaste dos anéis aos quais foi aplicado
 nitreto de nióbio no revestimento foi consideravelmente inferior, ostentando
 valores entre 1,1 µm e 1,6 µm, um resultado superior em pelo menos 50%
 20 se comparados com o desgaste de 3,0 µm apresentado pelo anel conven-
 cional, no mesmo teste e sob as mesmas condições de ensaio.

Uma segunda bateria de testes foi realizada, também ensaiando
 anéis de pistão constituídos de acordo com a presente invenção, mas com
 variações adicionais do percentual de Nióbio presente no revestimento (%
 25 em peso).

Esses testes também foram realizados em bancada, no aludido

- equipamento correspondente ("reciprocating"), e novamente ensaiou-se como contraprova um anel pertencente ao estado da técnica, no qual o revestimento não contém Nióbio, mas somente Nitreto de Cromo (CrN).

	Ensaio	Revestimento	Propriedades				Performance			Parâmetros Operacionais					
			Espessura (µm)	Dureza (HV)	Nióbio (% em peso)	Oxigênio (% em peso)	Porosidade (%)	Desgaste (µm)	Teste de arranhamento [carga de deformação (N)]	Teste motor HDD - 500hr	Rotação (%)	Pressão total (mBar)	Escoamento N2 (scm)	Alvos de distribuição (Nb/Cr)	Tensão de polarização (V)
Presente Invenção	Ensaio HC 1 Monolayer	CrN/NbN/Nb4N3	20	1700	55	0	3	1.2	131	-	15	0,06	1940	2/2	-17
	Ensaio HC 2 Monolayer	CrN/NbN/Nb4N3	30	1740	46	0	5	1.3	180	-	15	0,06	1940	2/2	-17
	Ensaio HC 3 Monolayer	CrN/NbN/Nb4N3	29	2200	49	0	6	1.4	180	Sem desta-camento	15	0,06	1940	1/3	-17
	Ensaio HC 4 Multilayer	/NbN/CrN	30	2100	35	0	4	1.1	180	Sem desta-camento	9	0,06	940	2/2	-17
	Ensaio HC 5 Multilayer	CrN//NbN/Nb4N3	30	2200	40	3	5	2.0	177	Sem desta-camento	6	0,06	940	2/2	-17

Continuação

Estado da Técnica	Ensaio HC6	CrN	Propriedades				Performance		Parâmetros Operacionais						
			Espessura (µm)	Dureza (HV)	Níbio (% em peso)	Oxigênio (% em peso)	Porosidade (%)	Desgaste (µm)	Teste de arranhamento [carga de delaminação (N)]	Teste motor HDD - 500hr	Rotação (%)	Pressão total (mBar)	Escoamento N2 (sccm)	Alvos de distribuição (Nb/Cr)	Tensão de polarização (V)
			25	1300	0	0	4	3.8	100	Destaca-mento	15	0,08	1180	0/4	-15

A tabela 2 acima ilustra os resultados do teste descrito acima, sob mesmas as condições de 667 N de carga a 500 rpm (rotações por minuto) durante 50.000 ciclos.

Os ensaios apresentados na tabela 2 foram obtidos com uso de anéis de pistão de acordo com a presente invenção, dotados de revestimento 2 com a porcentagem de Nitreto de Nióbio no revestimento de 35% a 55% em peso.

O ensaio 1 utilizou um anel com percentual de Nióbio em peso de 55%, ao passo que nos ensaios 2 a 5 o percentual foi respectivamente de 46%, 49%, 35% e 40%.

Como contraprova, o ensaio 6 foi efetuado em um anel do estado da técnica, com revestimento de Nitreto de Cromo sem a presença de Nióbio. A porosidade de todas as amostras ficou entre 3% e 6%.

Percebe-se nitidamente as vantagens de desempenho dos anéis dotados de Nióbio na composição da camada de revestimento, que apresentam um desgaste entre 1,1 μm e 2,0 μm , muito reduzidos em comparação aos 3,8 μm de desgaste apresentados pelo anel do estado da técnica.

Adicionalmente, foi realizado um ensaio em equipamento de Riscamento ("*Scratch Tester*") que avalia a resistência à delaminação do recobrimento. O resultado deste teste é alcançado aplicando-se uma força normal a um sistema recobrimento-substrato ao mesmo tempo em que a amostra é movida a uma velocidade constante. A carga mais baixa na qual a primeira falha ocorre é chamada de Carga Crítica (Lc). O equipamento utilizado provê dados para referência cruzada da carga crítica gravando ao mesmo tempo os efeitos de: variação de força tangencial, profundidade de penetração do endentador e detecção de emissão acústica. Após o teste, efetua-se uma análise microscópica de cada risco para confirmação da ocorrência da falha. Quanto maior a carga que ocorre a falha, mais resistente é o recobrimento à delaminação.

Os riscos são feitos com o uso de uma ponta de diamante, com geometria Rockwell C (ângulo de 120 graus e extremidade esférica), consoante os seguintes parâmetros:

- raio da extremidade esférica é 200 μ m;
- taxa de deslocamento da ponta de 4 mm/min em direção à amostra; e
- carga de 180 N/min, aplicada progressivamente.

5 Identicamente, a resistência à delaminação do anel dotado de Nióbio na composição da camada de revestimento é bastante superior à resistência apresentada pelo anel da técnica anterior. Enquanto os anéis com Nióbio suportam uma carga entre 131 N (Newtons) a 180 N antes de delaminar (variando em função do percentual de Nióbio em massa), no anel da
10 técnica anterior a máxima carga suportada é de 100 N. Desta forma, o anel objeto da presente invenção tem um rendimento pelo menos 30% superior.

 Os dados da tabela 2 corroboram os testes iniciais, isto é, destaca-se as propriedades vantajosas dos anéis que utilizam Nitreto de Nióbio na composição de sua camada de revestimento em relação ao anel do estado
15 da técnica.

 E, frise-se, tais resultados vantajosos puderam ser claramente auferidos nesses testes de desgaste, feitos em bancada, de maneira que os resultados tendem a ser tão mais superiores quanto maior for a duração dos testes ou durante toda a vida útil de um motor de combustão interna equipa-
20 do com os anéis ora descritos.

 Os dados das tabelas 1 e 2 mostram ainda que o revestimento formado por Nitreto de Nióbio e Nitreto de Cromo apresenta uma dureza superior ao revestimento encontrado no estado da técnica, porém abaixo do valor de 2300 HV, que não deve ser ultrapassado sob pena de alto desgaste
25 da parede do cilindro.

 A esse respeito, cumpre notar que o valor de dureza em torno de 2300 HV é aquele máximo considerado razoável por aqueles envolvidos com projetos de motores de combustão interna e seus componentes. Anéis de pistão com revestimentos duros em demasia tendem a desgastar severa-
30 mente a parede dos cilindros, ocasionando baixa e lenta acomodação inicial e ainda uma reduzida vida útil do motor.

 Por isso, salvo em aplicações específicas, deve-se objetivar re-

vestimentos com dureza próxima a 2300 HV (ou pouco menos) e que não apresentem microtrincas e fissuras, justamente o que foi conseguido com o revestimento 2 objeto da presente invenção.

5 O valor da dureza encontrado para o revestimento 2 objeto da presente invenção, em cada um dos ensaios, faz referência ao teste de dureza Vickers. A medição de dureza Vickers é um método de classificação da dureza dos materiais, baseada em um ensaio laboratorial.

10 Os dados apresentados nas tabelas permitem destacar o menor desgaste sofrido pelo revestimento de Nitreto de Nióbio e Nitreto de Cromo, objeto da presente invenção, em relação ao revestimento formado apenas por Nitreto de Cromo.

15 Especialmente na faixa de 35 a 55% de peso do revestimento 2, o desgaste sofrido pelo revestimento proposto na presente invenção alcança valores próximos a um terço do valor de desgaste encontrado no estado da técnica, tornando essa composição bastante vantajosa.

20 De modo a comprovar a maior resistência à formação de microtrincas e consequente delaminação do revestimento da presente invenção foram realizados testes em um motor Diesel de 450 kW e 6 cilindros em dinamômetro sob carga elevada e em situações de choque térmico acelerado, por 500 horas.

25 Nestes testes, em cada par de cilindros foi utilizada uma variante de anel com diferente percentual de Nióbio, em peso, na camada de revestimento. Simultaneamente, foram ensaiados anéis do estado da técnica. Enquanto os anéis do estado da técnica (CrN) apresentaram destacamento do recobrimento, os anéis da presente invenção, que continham percentual em peso de Nióbio de 45, 53 e 55% não apresentaram destacamento.

30 Destaca-se assim o considerável aumento na resistência à delaminação e durabilidade do anel de pistão 1 proposto na presente invenção, revestido por um depósito de Nitreto de Nióbio e Nitreto de Cromo, em relação aos anéis pertencentes ao estado da técnica.

A aplicação do Nitreto de Nióbio traz resultados vantajosos não somente na proporção acima mencionada, de 35% a 55%, mas também em

outras proporções, como na faixa de 30 a 60% de peso do revestimento 2, que é capaz de desenvolver valores de dureza e resistência ao desgaste similares ao revestimento testado.

5 A manipulação do percentual em peso do elemento Nióbio dentro da faixa de 30% a 60% deve ser realizada em função do tipo de anel que se objetiva, considerando todas as variáveis aplicáveis a cada caso (projeto e tipo de motor, perfil de utilização esperado, combustível com o qual o motor operará, vida útil estimada, custo desejado, etc.).

10 É possível afirmar ainda que outros percentuais de Nióbio em massa têm a característica de alterar as propriedades do anel, podendo vir a ser utilizadas em função do tipo de especificação do motor e das condições prováveis de sua operação.

De maneira preferível, o depósito de Nitreto de Nióbio e Nitreto de Cromo é feito por deposição física de vapor por arco catódico, sendo
15 possível, entretanto, a aplicação de outras técnicas de deposição quaisquer.

Preferivelmente, o Nitreto de Cromo aplicado no revestimento 2 compreende a forma CrN, porém é possível utilizar a forma Cr₂N. Analogamente, o revestimento 2 compreende preferivelmente a forma NbN para o Nitreto de Nióbio, porém, é possível aplicar a forma Nb₄N₃.

20 O revestimento 2 é constituído de uma espessura na faixa de 10 a 70 µm. Verifica-se que, nos produtos ensaiados, a espessura era de cerca de 30 µm.

Cumpra ainda notar que a base 10 do anel de pistão 1 proposto na presente invenção é preferivelmente composta por ferro fundido. Para o
25 caso da base 10 ser formada por aço, sua constituição compreende preferivelmente Cromo em uma faixa de 10 a 17%. Opcionalmente, o material constituinte da base pode ser nitretado.

Uma concretização possível do anel 1 compreende uma camada intermediária com função adesiva composta por Cromo, níquel ou cobalto,
30 depositada entre a base 10 e o revestimento 2.

Ainda de maneira opcional, o revestimento 2 pode compreender adicionalmente não mais de 10% de Oxigênio (O) e/ou Carbono (C) em pe-

so.

Por fim, cumpre ainda notar que o Nióbio pode ser substituído por pelo menos um dos metais Titânio (Ti), Zircônio (Zr), Háfnio (Hf), Vanádio (V), Tantálio (Ta), Molibdênio (Mo) e Tungstênio (W), sem que a invenção deixe de estar incluída no escopo de proteção definido pelas reivindicações apenas.

Tendo sido descritos exemplos de concretizações preferidos, deve ser entendido que o escopo da presente invenção abrange outras possíveis variações, sendo limitado tão-somente pelo teor das reivindicações apenas, aí incluídos os possíveis equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) compreendendo uma base (10) e pelo menos uma superfície externa (15), a base (10) sendo constituída de uma dada liga metálica, a superfície externa do
5 anel (1) compreendendo um revestimento cerâmico (2), o revestimento cerâmico (2) sendo constituído por um depósito de Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio (5), o anel (1) sendo caracterizado pelo fato de que o revestimento (2) tem uma porosidade em uma taxa inferior a 10%, é dotado de uma estrutura cristalina colunar e compreende uma combinação de fases de aplicação
10 de Nitreto de Cromo e Nitreto de Nióbio, o elemento Nióbio sendo aplicado em uma faixa de 30 a 60% de peso do revestimento (2).

2. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o Nióbio é aplicado em uma faixa de 35 a 55% em peso.

15 3. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o revestimento (2) é monocamada.

4. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o revestimento (2) é
20 multicamadas.

5. Anel de pistão para motor de combustão interna (1), de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o depósito (5) é formado por um processo de deposição física de vapor.

6. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o Nitreto de Cromo
25 compreende as formas CrN e/ou Cr₂N.

7. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o Nitreto de Nióbio compreende as formas NbN e/ou Nb₄N₃.

30 8. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o revestimento (2) é constituído de uma espessura na faixa de 10 a 70 µm.

9. Anel de pistão para motor de combustão interna (1), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o revestimento (2) compreende uma dureza Vickers na faixa de 1500 a 2300 HV.

5 10. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a base (10) é formada por ferro fundido, preferivelmente nitretado.

10 11. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a base (10) é formada por aço com Cromo em uma faixa de 10 a 17%, preferencialmente nitretado, e/ou aço carbono.

12. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende uma camada intermediária com função adesiva composta por Cromo, Níquel ou Cobalto, depositada entre a base (10) e o revestimento (2).

15 13. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o revestimento (2) pode compreender adicionalmente não mais de 10% de Oxigênio (O) e/ou Carbono (C) em peso.

20 14. Anel de pistão para motor de combustão interna (1) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o elemento Nióbio pode ser substituído por pelo menos um dos metais Titânio (Ti), Zircônio (Zr), Háfnio (Hf), Vanádio (V), Tantálio (Ta), Molibdênio (Mo) e Tungstênio (W).

1/1

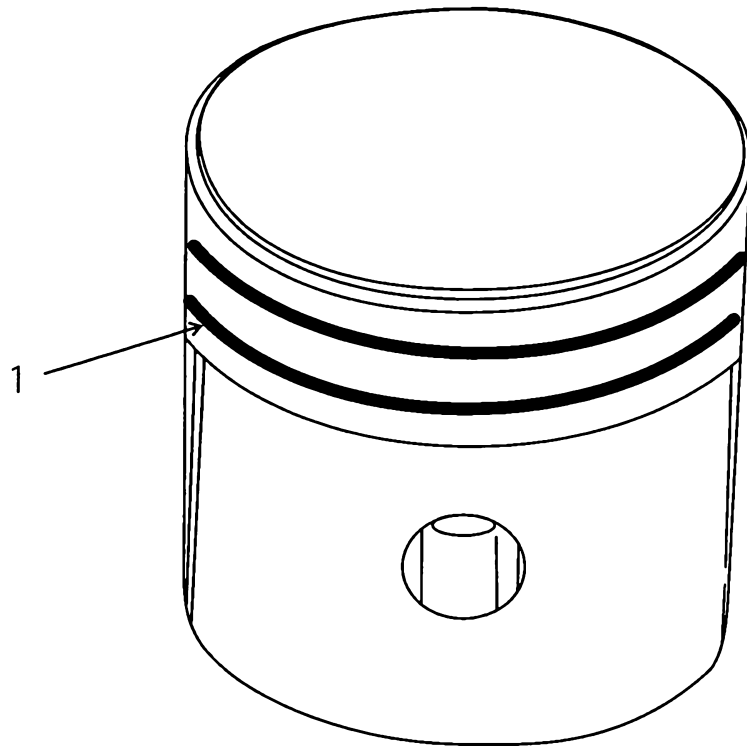


Fig.1

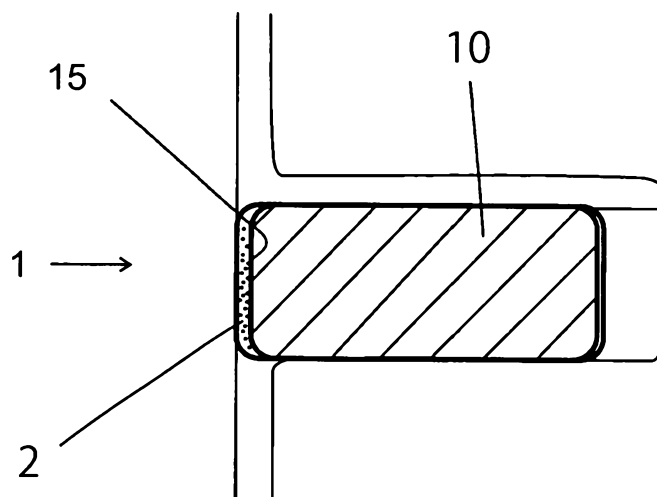


Fig.2