



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

(11) PI 0910317-1 B1

(22) Data do Depósito: 17/03/2009

(45) Data de Concessão: 06/06/2017



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

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; C22C 38/60; F02F 5/00; F16J 9/26

(30) Prioridade Unionista: 27/03/2008 JP 2008-082340

(73) Titular(es): HITACHI METALS, LTD.

(72) Inventor(es): KATSUHIKO OHISHI; TOSHIHIRO UEHARA; KUNICHIKA KUBOTA

**“MATERIAL DE ANEL DE PISTÃO PARA UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA”
CAMPO TÉCNICO**

[0001] A presente invenção refere-se a um material de anel de pistão usado em um motor de combustão interna, mais especificamente a um material de anel de pistão, tendo excelentes propriedades de roçadora e resistência ao desgaste na superfície deslizante.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[0002] Os anéis de pistão usados em motores de combustão interna, particularmente em motores de carro, foram até agora produzidos de ferro fundido, porém têm sido substituídos pelos chamados anéis de pistão de aço produzidos moldando-se arame, tal como arame plano de aço, em um formato de anel. Isto ocorre por causa da exigência de afinamento dos anéis ou da melhora de sua resistência mecânica para satisfazer a demanda de peso leve, baixo consumo de combustível, elevada velocidade e elevada potência dos motores de combustão interna. Outra causa principal é o avanço de um processo de produção notavelmente encurtado do anel

[0003] A substituição com anéis de pistão de aço está em andamento, primeiro em anéis de topo ou anéis de óleo em uma região de alta carga, e materiais tais como aço Si-Cr e aço inoxidável martensítico contendo 11 a 17 % em massa de cromo têm sido usados. Além disso, os anéis de pistão, preparados submetendo-se tais materiais a galvanização ou nitretação, têm sido usados em muitos casos. Por outro lado, uma vez que os segundos anéis representam um papel auxiliar para os anéis de topo e anéis de óleo, o material pode não ser um aço inoxidável caro e é com frequência diretamente usado sem qualquer tratamento de superfície. Embora os anéis de pistão de aço tenham maior resistência e propriedades antifadiga e resistência ao desgaste mais aperfeiçoadas do que os anéis de pistão de ferro fundido, sua resistência à roçadura é uma das razões por que o aço é difícil de ser usado para segundos anéis.

[0004] Para resolver o problema, o requerente propôs um material de anel de pistão tendo resistência à roçadura, adicionando a um aço de baixa liga, contendo

0,3 a 0,8 % em massa de carbono como um componente principal, com uma apropriada quantidade de enxofre e cálcio em combinação (vide Documento de Patente 1). Nesta técnica, uma vez que o sulfeto tal como MnS é contido no aço, o enxofre forma uma película de sulfeto in situ sobre a superfície de fricção, devido ao calor friccional, e esta película melhora as propriedades lubrificantes. Além disso, o MnS no aço serve como uma fonte de concentração de tensão para o material de base no corte ou esmerilhamento e, assim, tem um efeito de reduzir a energia de corte e, portanto, tanto a resistência à roçadura como a trabalhabilidade são satisfeitas.

DOCUMENTO DE PATENTE 1: JP-A-2001-329345

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

PROBLEMAS A SEREM RESOLVIDOS PELA INVENÇÃO

[0005] O Documento de Patente 1 provê uma excelente técnica para melhorar as propriedades de auto-lubrificação dos materiais de anel de pistão. Entretanto, embora a formação de sulfeto auto-lubrificante, em particular MnS, no aço melhore a resistência à roçadura na periferia de um anel de pistão, não é fácil controlar o formato do anel de pistão porque tal sulfeto é facilmente estendido pelo trabalho quente. Também, uma vez que MnS é uma inclusão macia, ele tem pouca contribuição para a resistência ao desgaste necessária para materiais de anel de pistão. Mesmo embora a resistência à roçadura seja melhorada, as vantagens em relação ao anéis de ferro de fundição são reduzidas se as propriedades de deslizamento, em particular, resistência ao desgaste, forem fracas.

[0006] Um objetivo da presente invenção é prover um material de anel de pistão para um motor de combustão interna, tendo excelente resistência ao desgaste e resistência à roçadura, sem diminuir as excelentes propriedades mecânicas e produtividade dos materiais de anel de pistão de aço. Outro objetivo da presente invenção é prover um material mais adequado, particularmente para um segundo anel e/ou um anel de pistão, sem tratamento de superfície pela obtenção das propriedades acima no campo de um aço de baixa liga.

MEIOS PARA RESOLVER OS PROBLEMAS

[0007] Os inventores conduziram intensos estudos sobre os componentes e estruturas que afetam as propriedades requeridas para anéis de pistão. Como resultado, eles constataram que um sulfeto ou carbossulfeto de titânio ou zircônio é duro e causa pouca mudança de formato pelo trabalho quente e pode ser formado adicionando-se enxofre a um aço de baixa liga contendo 0,3 a 0,8% em massa de carbono como um componente principal e, simultaneamente, adicionando-se titânio ou zircônio, que é mais capaz de formar sulfeto do que manganês. Assim, muita boa resistência ao desgaste e resistência à roçadura podem ser conseguidas sem diminuir as propriedades mecânicas e produtividade dos anéis de pistão.

[0008] Por conseguinte, a presente invenção fornece um material de anel de pistão para um motor de combustão interna, compreendendo: % em massa: 0,3 a 0,8% de carbono (C); 0,1 a 3,0% de silício (Si); 0,1 a 3,0% de manganês (Mn); 0,01 a 0,3% de enxofre (S); 0,1 a 2,0 % de cromo (Cr); um total de 0,05 a 2,0% de titânio (Ti) e/ou zircônio (Zr); e o resto sendo ferro (Fe) e impurezas incidentais, em que o titânio (Ti) e/ou zircônio (Zr) e enxofre (S) satisfazem a relação

$$[\text{Ti} (\%) + 1/2\text{Zr}(\%)] / \text{S}(\%) \leq 5,0.$$

[0009] Preferivelmente, o material de anel de pistão para um motor de combustão interna compreende, em massa, um ou mais elementos de cobre (Cu), molibdênio (Mo), alumínio (Al) e níquel (Ni) em uma faixa de não mais do que 1,0 % de cobre. menos do que 3,0 % de molibdênio, não mais do que 1,0% de alumínio e menos do que 2,0 % de níquel.

VANTAGENS DA INVENÇÃO

[0010] De acordo com a presente invenção, os sulfetos de titânio e zircônio ou carbossulfetos têm excelentes propriedades de auto-lubrificação. Uma vez que tais sulfetos ou carbossulfetos são formados por cristalização de aço fundido, eles dificilmente ressentem-se de mudança de formato através de tratamento de refinamento térmico, tal como resfriamento e têmpera, evitando a necessidade de complicado controle de estrutura. Além disso, o sulfeto acima ou carbossulfeto é duro. Assim, o material de anel de pistão da presente invenção, em que partículas de tal sulfeto ou carbossulfeto são dispersas na estrutura, tem resistência à roçadura

e resistência ao desgaste ao longo da periferia, fazendo uma grande contribuição para a melhoria das propriedades dos anéis de pistão.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0011] A Fig. 1 é uma fotografia de microscópio de varredura eletrônica e o resultado da análise da fluorescência de raio-X dispersiva de energia (EDX) do material No. 1 de acordo com a invenção;

[0012] A Fig. 2 é uma fotografia SEM e o resultado da análise EDX do material No. 2 de acordo com a invenção;

[0013] A Fig. 3 é uma vista esquemática ilustrando um método de uma fricção alternada e teste de desgaste usado nos Exemplos;

[0014] A Fig. 4 é uma vista esquemática ilustrando um método de uma fricção de alta pressão e teste de desgaste usado nos Exemplo;

[0015] A Fig. 5 é uma vista ilustrando os resultados da fricção alternada e teste de desgaste dos materiais de acordo com a presente invenção e dos materiais comparativos; e

[0016] A Fig. 6 é uma vista ilustrando os resultados da fricção de alta pressão e teste de desgaste dos materiais de acordo com a presente invenção e dos materiais comparativos.

DESCRIÇÃO DOS NÚMEROS DE REFERÊNCIA

[0017] 1 Espécime (Φ 8 mm x 20 mm L)

[0018] 2 Material de contraparte: ferro cinzento JIS (FC250)

[0019] 3 Óleo de turbina (# 100)

[0020] 4 Material de contraparte: fundição de liga de alumínio JIS (AC8A)

MELHOR MODO DE REALIZAR A INVENÇÃO

[0021] Como descrito acima, um aspecto importante da presente invenção reside na descoberta de que os sulfetos de titânio e zircônio ou carbossulfetos em estrutura têm um grande efeito positivo sobre as propriedades principais dos materiais de anel de pistão, isto é, resistência ao desgaste, em particular, resistência à roçadura. Por conseguinte, é possível prover um material de anel de pistão tendo excelentes propriedades mecânicas e propriedades de deslizamento, adicionando-se um

elemento de liga que forme as inclusões acima e controlando-se rigorosamente seu conteúdo. A seguir, a composição da presente invenção será descrita em detalhes.

[0022] Carbono (C) é um importante elemento na presente invenção. Ele não somente forma carbeto para melhorar a resistência à roçadura e resistência ao desgaste, porém também contribui para a melhoria das propriedades de fadiga, quando uma parte de solutos sólidos de carbono da matriz. Para este fim, pelo menos 0,3% em massa (a seguir simplesmente referido como %) de carbono são necessários. Entretanto, quando for mais do que 0,8%, o processamento dentro de um arame ou anel chato torna-se difícil. Em particular, em razão de ser importante para melhorar a produtividade e, assim, produzi-los a baixo custo para anéis de pistão, o limite superior é 0,8%. O limite inferior do carbono é preferivelmente de 0,4% e o limite superior de carbono é preferivelmente de 0,7%.

[0023] O silício (Si) é genericamente adicionado como um desoxidante e também tem um impacto sobre o comportamento de amolecimento de têmpera do aço, representando um importante papel particularmente em um aço de baixa liga. Para evitar o amolecimento de têmpera e aumentar a resistência ao calor, não menos do que 0,1% de silício é necessário. Entretanto, o limite superior é de 3,0%, porque a adição excessiva causa uma diminuição na trabalhabilidade fria. O limite mais baixo do silício é preferivelmente 0,5%, mais preferivelmente 1,0%. O limite superior do silício é preferivelmente 2,0%, mais preferivelmente 1,5%.

[0024] O manganês (Mn) é também um elemento essencial usado como um desoxidante como silício. Não menos do que 0,1% de manganês é necessário para obter o efeito, porém a adição excessiva provoca uma diminuição na trabalhabilidade em trabalho quente. Por essa razão, o limite superior do manganês é definido como 3,0%. O limite inferior do manganês é preferivelmente de 0,2%, mais preferivelmente 0,5%. O limite superior do manganês é preferivelmente de 1,5%, mais preferivelmente de 1,0%.

[0025] O enxofre (S) é um dos elementos mais importantes na presente invenção. Como descrito acima, os anéis de pistão de aço têm mais fracas propriedades de roçadura do que os anéis de pistão de ferro fundido, e esta é uma

das razões pelas quais o aço é difícil de ser usado para segundos anéis. Entretanto, quando enxofre é adicionado, as ligações de enxofre ao titânio ou zircônio descritas mais tarde, e a formação de seu sulfeto ou carbossulfeto na estrutura resultam no desenvolvimento de propriedades auto-lubrificantes, melhorando a resistência à roçadura. Também o enxofre é muito eficaz para melhorar as propriedades de corte. Na presente invenção, não menos do que 0,01% de enxofre é necessário para obterem-se estes efeitos. Entretanto, uma vez que a adição excessiva causa uma deterioração na resistência à corrosão ou dureza e ductibilidade no trabalho a frio, bem como trabalhabilidade a quente, o limite superior sendo 0,3%. O limite inferior do enxofre é preferivelmente de 0,05%, mais preferivelmente 0,1%. O limite superior do enxofre é preferivelmente 0,2%.

[0026] Uma parte do cromo (Cr) liga-se ao carbono para formar carbeto e, assim, aumentar a resistência ao desgaste, enquanto uma parte dos solutos-sólidos de cromo na matriz para melhorar a resistência à corrosão. Também, uma vez que o cromo melhora a resistência ao amolecimento na têmpera, é um elemento essencial para melhorar a resistência ao endurecimento permanente térmico dos anéis de pistão e assegurando durabilidade e, assim, obtendo suficiente dureza no tratamento térmico. Para obter-se estes efeitos, pelo menos 0,1% de cromo é necessário. Entretanto, a excessiva adição provoca uma diminuição na condutividade térmica e, assim, causa um aumento na temperatura por deslizamento na face de contato, deteriorando a resistência à roçadura. Além disso, tal excessiva adição resulta em um aumento na quantidade e no tamanho do carbeto, resultando em uma notável diminuição na trabalhabilidade. Portanto, o limite superior é de 2,0%. O limite inferior do cromo é preferivelmente de 0,4%. O limite superior do cromo é preferivelmente de 1,5%, mais preferivelmente 1,0%.

[0027] O titânio (Ti) e zircônio (Zr) são os elementos mais importantes na presente invenção, bem como o enxofre. Estes elementos de liga ligam-se ao enxofre em aço fundido e são cristalizados como sulfeto. Também, após carbeto estável ser formado em mais elevadas temperaturas, uma parte dele é substituída por ou ligada a enxofre e cristalizada como carbossulfeto. Não somente tal sulfeto e

carbossilfeto eficazmente servem como um agente auto-lubrificante por conterem enxofre lubrificante, mas também eles contribuem para resistência ao desgaste como o carbeto faz, porque eles são inclusões duras.

[0028] Além disso, uma vez que eles são menos extensíveis por trabalho quente, comparados com MnS, o controle do formato não é difícil. Além disso, uma vez que os sulfetos de titânio e zircônio são muito estáveis, eles dificilmente ressentem-se de mudança de formato através de tratamento de endurecimento térmico e, assim, o controle da estrutura é fácil. Para obterem-se estes efeitos, um total de não menos do que 0,05% de pelo menos um de titânio e zircônio é necessário. Por outro lado, entretanto, quando estes elementos são excessivamente adicionados, não somente os efeitos acima tornam-se saturados, mas também uma grande quantidade de óxido ou nitreto permanece no aço, contribuindo para uma diminuição notável na resistência à corrosão e dureza, e também causando uma diminuição na dureza e ductibilidade. Portanto, o limite superior é 2,0%. O limite inferior do titânio e/ou zircônio é preferivelmente 0,1%, mais preferivelmente 0,2% no total. O limite superior de titânio e zircônio é preferivelmente de 1,0%, mais preferivelmente 0,8% no total.

[0029] No material de anel de pistão da presente invenção, cada um dos acima titânio e zircônio pode ser adicionado sozinho. Nesse caso, o titânio é um metal altamente ativo e, assim, tem uma mais elevada capacidade para formar óxido, nitreto ou carbeto do que zircônio. Portanto, a fim de estabilizar a estrutura pretendida na presente invenção, em que sulfeto e carbossilfeto são formados, é desejado selecionar zircônio.

[0030] Na presente invenção, a resistência ao desgaste e a resistência à roçadura acima são conseguidas designando-se uma liga para um material de anel de pistão, mais especificamente, adicionando-se enxofre, titânio e zircônio. Portanto, um aspecto de mais melhora da presente invenção situa-se em mutuamente e precisamente ajustar a quantidade de adição destes elementos. A razão será descrita em detalhes abaixo.

[0031] Os anéis de pistão de ferro fundido têm melhor resistência à roçadura dos materiais de anel de pistão do que os anéis de pistão de aço. Isto é grandemente

devido à estrutura cristalina do grafite na estrutura do ferro fundido. Mais especificamente, o cristal de grafite tem uma estrutura de cristal hexagonal, em que os anéis hexagonais compostos de átomos de carbono são empilhados em intervalos iguais. Uma vez que a relação de constante de treliça c/a é maior do que o valor teórico, ocorre facilmente clivagem na base para induzir fratura por clivagem interlamelar, desenvolvendo propriedades lubrificantes. Entretanto, embora as propriedades de lubrificação desenvolvidas por sua própria fratura, como no caso do grafite, têm um efeito benéfico sobre a resistência à roçadura, elas têm o efeito oposto sobre a resistência ao desgaste.

[0032] Por outro lado, as propriedades lubrificantes do material de anel de pistão da presente invenção são desenvolvidas formando-se sulfeto de titânio e zircônio (carbossilfeto) na estrutura. O mecanismo desta ação é presumido que o sulfeto acima (carbossilfeto) forma um depósito entre o material de anel de pistão e o material de contraparte no deslizamento, para desenvolver as propriedades lubrificantes. Pensa-se que estas inclusões têm o efeito de suprimir o desgaste mecânico ou desgaste por difusão, em adição à função lubrificante acima. Assim, elas são também eficazes para resistência ao desgaste.

[0033] O sulfeto de titânio e de zircônio ou carbossilfeto produzem o efeito acima e são grandemente influenciados pelo conteúdo de enxofre, titânio e zircônio constituindo o sulfeto ou carbossilfeto. Portanto, é importante controlar o conteúdo dos três elementos em uma apropriada faixa no aço de baixa liga contendo o conteúdo de carbono e cromo de acordo com a presente invenção. Aqui, o zircônio tem um peso atômico de cerca de duas vezes aquele do titânio, uma vez que o titânio e zircônio pertencem ao mesmo grupo 4 da tabela periódica. Portanto, o nível dos efeitos vantajosos pode simplesmente ser avaliado com base em termos de titânio equivalente na relação de

$$\text{Ti} = 2 \text{ Zr.}$$

[0034] Pelo acima, o teor ótimo dos três elementos acima, de acordo com a presente invenção, pode ser mutuamente controlado com base na seguinte fórmula.

[0035] No material de anel de pistão da presente invenção, é necessário ajustar

a relação do teor de titânio e/ou zircônio ao conteúdo de enxofre no aço, a fim de satisfazer a relação

$$[\text{Ti} (\%) + 1/2\text{Zr} (\%)] / \text{S} (\%) \leq 5,0.$$

[0036] Quando o valor é maior do que 5,0, torna-se difícil para formar o sulfeto ou carbossulfeto acima. Uma vez que o carbeto constitui uma grande parte, torna-se difícil manter a resistência à roçadura. O valor é preferivelmente de não mais do que 4,5, mais preferivelmente não mais do que 3,0. O limite inferior do valor não é particularmente definido contanto que a faixa acima mencionada da adição de enxofre e titânio e/ou zircônio é satisfeita. Entretanto, em consideração do efeito adverso causado pelo enxofre em excesso, o valor é preferivelmente não menor do que 1,0.

[0037] Como descrito acima, ajustando-se apropriadamente as quantidades de adição de enxofre, titânio e zircônio, de modo que a fórmula acima-descrita seja satisfeita, bem como ajustando-se aquelas dos elementos básicos constituindo o aço de baixa liga, de acordo com a presente invenção, um material de anel de pistão, tendo tanto resistência ao desgaste como resistência à roçadura, pode ser obtido sem diminuir outras propriedades de um anel de pistão de aço.

[0038] Os seguintes cobre, molibdênio, alumínio e níquel podem ser adicionados ao material de anel de pistão da presente invenção sozinhos ou em combinação.

[0039] O cobre (Cu) é um elemento que melhora a tenacidade em trabalho frio e também a resistência à corrosão. Não menos do que 0,1% de cobre é preferivelmente adicionado para obter-se o efeito, porém a excessiva adição não somente causa um aumento na quantidade da fase austenítica residual como uma diminuição na dureza da têmpera, porém também reduz a trabalhabilidade quente. Portanto, o limite superior é de 1,0% quando adicionado. O limite inferior do cobre é preferivelmente de 0,2% e o limite superior do Cu é preferivelmente de 0,6%.

[0040] O molibdênio (Mo) não somente contribui para a melhoria da resistência como uma solução sólida fortificando o elemento, mas também liga-se ao carbono para formar carbeto durante a têmpera, fazendo uma contribuição para a melhoria da resistência ao desgaste. Além disso, uma vez que o molibdênio serve como um

elemento de endurecimento secundário na têmpera, ele é eficaz para melhorar a resistência ao endurecimento permanente térmico. Entretanto, uma vez que a adição excessiva causa uma diminuição da tenacidade e ductilidade, o limite superior é menor do que 3,0% quando adicionado. O limite inferior do molibdênio é preferivelmente mais do que 0,01% e o limite superior do molibdênio é preferivelmente de 1,5%.

[0041] O alumínio (Al) é um elemento de desoxidação eficaz, como o silício e o manganês. Além disso, o alumínio tem o efeito de aumentar a dureza de nitruração, quando o tratamento de superfície é realizado. Para obter-se o efeito, preferivelmente não menos do que 0,1%, mais preferivelmente não menos do que 0,2% de alumínio são adicionados. Entretanto, uma vez que a adição excessiva provoca uma diminuição notável na tenacidade e ductilidade, devido à formação de AlN, o limite superior é 1,0% quando adicionado. O limite superior do alumínio é preferivelmente de 0,5%.

[0042] O níquel (Ni) pode ser adicionado para melhorar a tenacidade quando o material é usado como um anel de pistão e recebe uma tensão de impacto. Entretanto, uma vez que a adição excessiva provoca uma diminuição notável na trabalhabilidade em recozimento, o limite superior é menor do que 2,0 % quando adicionado. O limite superior é preferivelmente 1,0% ou menos. O efeito acima do níquel é conseguido quando 0,05% ou mais do níquel é contido. Para suficientemente obter-se o efeito, preferivelmente 0,2% ou mais, mais preferivelmente 0,5% ou mais de níquel são adicionados.

[0043] Uma vez que o fósforo (P) é uma impureza, ele é preferivelmente tão baixo quanto possível. Entretanto, é necessário utilizarem-se materiais brutos caros selecionados para reduzir o conteúdo ao extremo, e também fundir e refinar envolvem elevado custo. Na presente invenção, o fósforo pode ser contido na faixa de $P \leq 0,0\%$, contanto que não haja grande problema especial com propriedades e produção.

[0044] O anel de pistão preparado de acordo com a presente invenção mostra a

vantagem da presente invenção mesmo sem tratamento de superfície na superfície, por exemplo, superfície de deslizamento. Entretanto, quando mais elevada resistência à roçadura e resistência ao desgaste são requeridas, o tratamento de superfície com nitreto de titânio ou nitreto de cromo através da nitruração, galvanização de cromo ou PVD (deposição de vapor física) podem ser empregadas.

EXEMPLOS

[0045] Lingotes de 10 kg, tendo composições predeterminadas, foram preparados por fusão em um forno de fusão por indução a vácuo. A Tabela 1 mostra as composições químicas dos materiais Nos. 1 a 9, de acordo com a invenção, e materiais comparativos Nos. 11 a 14. Para aqueles em que titânio e zircônio são adicionados, as relações de titânio, zircônio para enxofre são também mostradas.

Tabela 1

massa (%)									Observações	Presente Invenção	Exemplo Comparativo
Cr	Mo	Cu	Al	Ti	Zr	Fe	Ti+1/2Zr)/S				
0,65	0,01	0,38	0,36	0,20	-	Resto	2,6				
0,65	0,01	0,38	0,35	-	0,19	Resto	2,7				
0,66	0,01	0,39	0,37	0,25	-	Resto	3,6				
0,67	0,01	0,39	0,35	0,44	-	Resto	2,9				
0,66	0,01	0,39	0,41	0,20	0,44	Resto	4,1				
0,66	0,01	0,39	0,41	0,40	0,43	Resto	4,0				
0,65	0,01	0,40	0,42	0,20	0,71	Resto	4,6				
0,65	0,01	0,38	0,41	-	0,42	Resto	1,4				
0,66	0,02	0,39	0,39	0,40	-	Resto	2,7				
0,66	0,02	0,38	0,33	-	-	Resto	-				
0,65	0,02	0,01	0,36	-	-	Resto	-				
0,65	0,01	0,38	0,38	0,42	-	Resto	5,1				
0,66	0,01	0,39	0,35	0,20	0,39	Resto	9,5				

6	1068	16	43	305	
7	1063	17	46	325	
8	860	18	36	239	
9	775	22	50	220	
11	887	21	52	236	Exemplo Comparativo
12	735	26	54	210	
13	763	24	52	214	
14	1099	15	47	298	

[0047] Subsequentemente, os materiais recozidos restantes foram esfriados rapidamente de 1050 °C e então temperados a uma dureza de 40 ou 50 HRC. As Figs. 1 e 2 mostram observação SEM e o resultado da análise EDX dos materiais nos. 1 e 2 dos materiais tratados por calor de acordo com a presente invenção. É confirmado que o carbossulfeto de titânio ou zircônio foi formado nas estruturas dos materiais inventivos.

[0048] Em seguida, espécimes colunares de ϕ 8 mm x 20 mm de comprimento e um espécime retangular de 5 mm quadrados e 10 mm de comprimento foram preparados dos materiais tratados termicamente e foram submetidos a um teste de resistência ao desgaste e um teste de resistência à roçadura para avaliação da resistência ao desgaste e resistência à roçadura, que são propriedades de deslizamento dos anéis de pistão sob as seguintes condições.

[0049] O teste de resistência ao desgaste foi realizado usando-se uma fricção de reciprocção e o testador de desgaste sob as seguintes condições e os espécimes foram avaliados com base na largura do desgaste. A Fig. 3 mostra uma vista esquemática do teste de fricção de reciprocção e de desgaste (Espécime 1, material de Contraparte 2, e óleo de Turbina 3).

[0050] Carga: 490 N

[0051] Taxa: 0,25 m/s

[0052] Material de contraparte: ferro cinza JIS (FC250)

[0053] Número dos ciclos de deslizamento: 500 vezes

[0054] Óleo de lubrificação: óleo de turbina # 100

[0055] (lubrificação: temperatura ambiente)

[0056] Dureza do espécime: 40 HRC

[0057] O teste de resistência à roçadura foi realizado usando-se uma fricção de alta pressão e o testador de desgaste sob as seguintes condições e os espécimes foram avaliados com base na carga de emperramento. A Fig. 4 mostra uma vista esquemática da fricção de alta pressão e teste de desgaste (Espécime 1, material de Contraparte 2 ou 4).

[0058] Taxa de fricção: 2 m/s

[0059] Pressão na superfície de fricção: inicial 5 kgf/cm² (aumentada em 5 kgf/cm² por minuto)

[0060] Óleo de lubrificação: óleo de turbina #100 (lubrificação: temperatura ambiente), por somente o primeiro 1 minuto.

[0061] Material de contraparte: ferro cinza JIS (FC250), fundição de liga de alumínio JIS (AC8A)

[0062] Dureza do espécime: 40 HRC (material de contraparte: FC250), 50 HRC (material de contraparte: AC8A).

[0063] A Fig. 5 mostra os resultados da avaliação da resistência ao desgaste, com base no teste de fricção recíprocante e desgaste. Os resultados mostram que os materiais de acordo com a invenção, a que titânio e/ou zircônio foi adicionado, têm uma menor largura de desgaste do que os materiais comparativos e, assim, têm excelente resistência ao desgaste como materiais de anel de pistão. Apesar da adição de titânio e/ou zircônio, os materiais comparativos No. 13, 14 têm uma grande quantidade de desgaste, uma vez que os valores $(Ti + 1/2Zr) / S$ são elevados.

[0064] A Fig. 6 mostra os resultados da avaliação da resistência à roçamento, baseados no teste de fricção de alta pressão e desgaste. Os materiais de acordo com a invenção, a que titânio ou zircônio foram adicionados, têm uma grande pressão de superfície de roçamento para tanto materiais de contraparte de AC8A, projetados para um material de pistão e FC250, projetados para um material de revestimento de cilindro. Isto prova que os materiais têm excelentes propriedades

anti-roçadura. O material comparativo No. 13, a que titânio foi adicionado e que tem um elevado valor de titânio/enxofre, tem uma excelente resistência à roçadura contra FC250, porém uma notavelmente reduzida resistência à roçadura contra ACBA. É altamente provável que o material comparativo No. 3 adira a um pistão sob contato quando realmente usado como um anel de pistão.

REIVINDICAÇÕES

1. Material de anel de pistão para um motor de combustão interna caracterizado por consistir, em massa, de:

0,3 a 0,8% de carbono;

0,01 a 3,0% de silício;

0,1 a 3,0% de manganês;

0,01 a 0,3% de enxofre;

0,1 a 2,0% de cromo;

opcionalmente não mais de 1,0% de cobre;

opcionalmente menos de 3,0% de molibdênio;

opcionalmente não mais de 1,0% de alumínio;

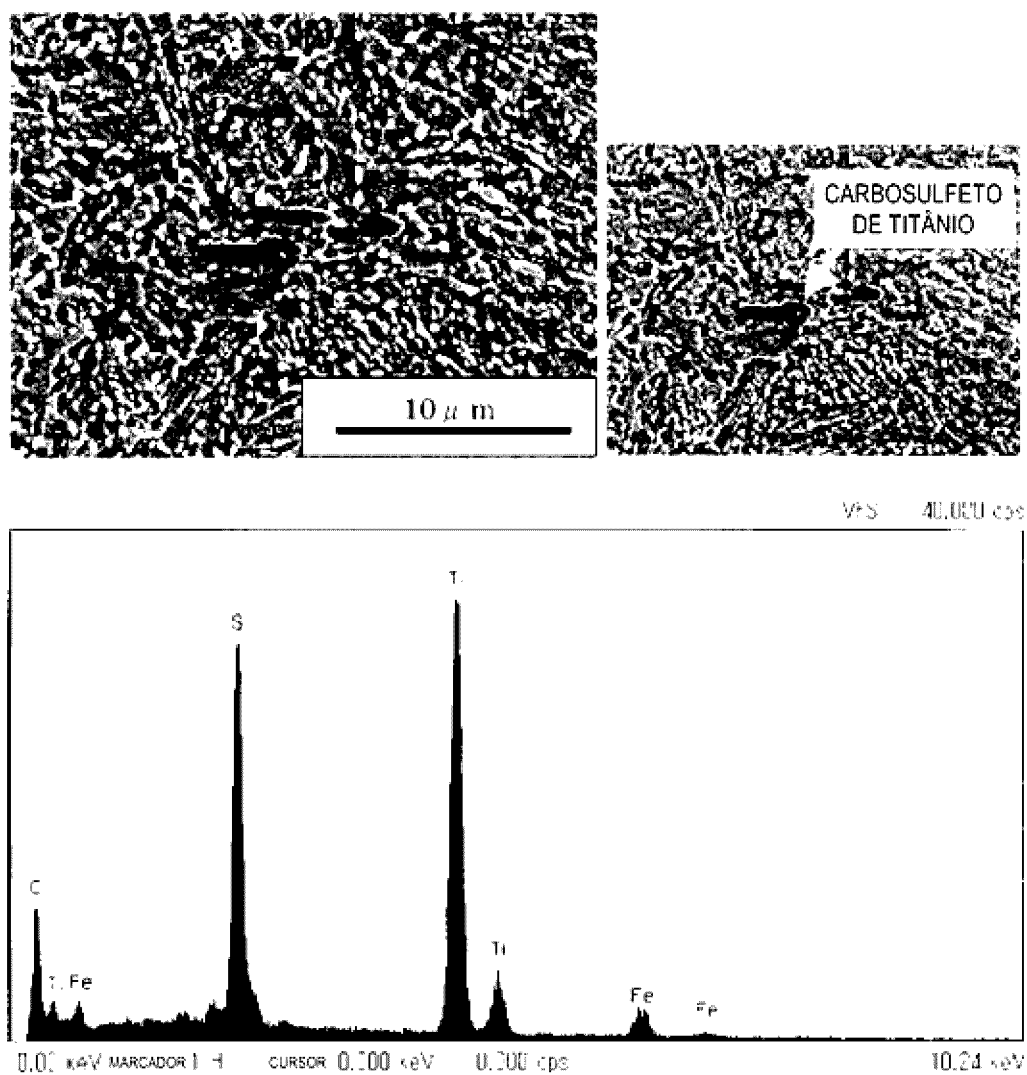
opcionalmente menos de 2,0% de níquel;

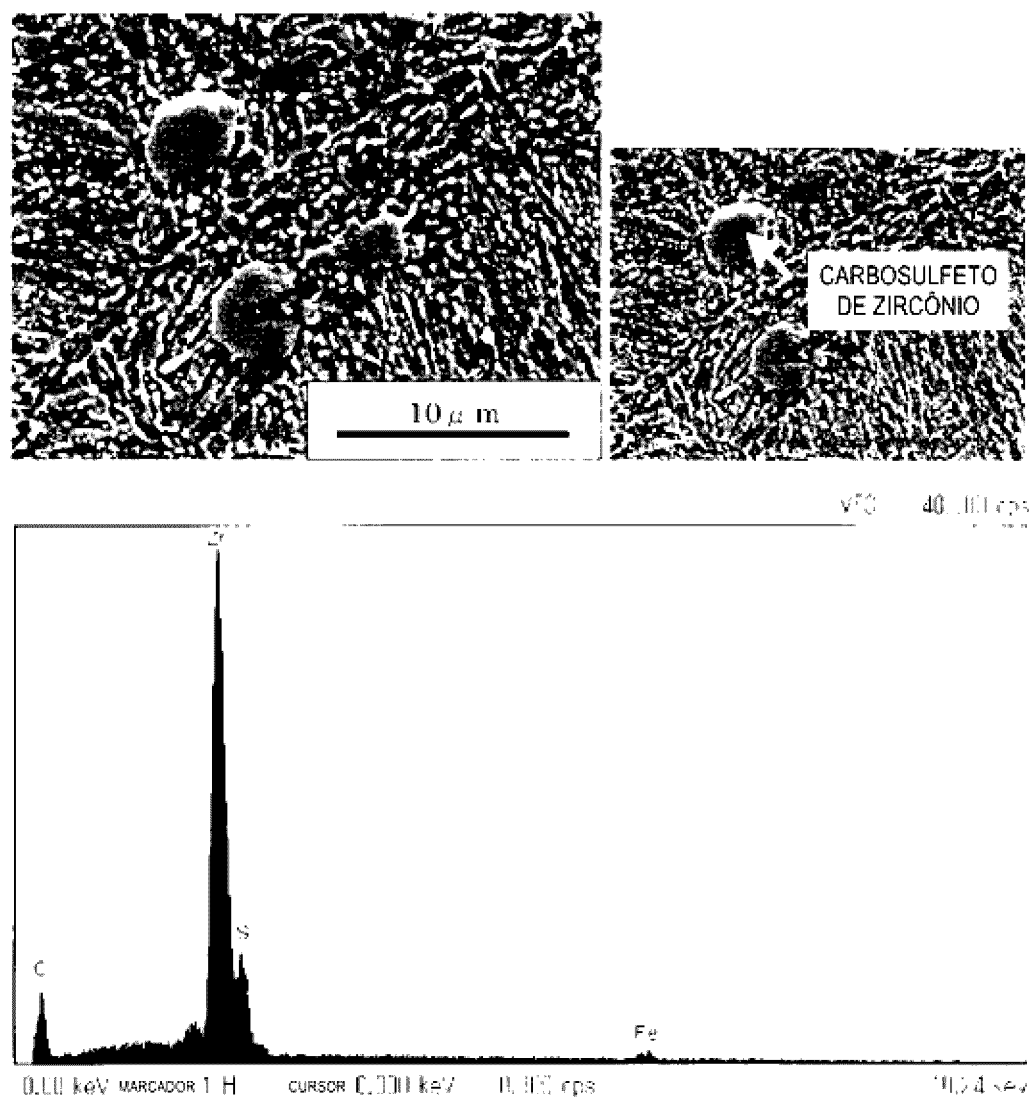
um total de 0,05 a 2,0% de titânio e/ou zircônio; e

o resto sendo ferro e impurezas incidentais, em que o titânio (Ti) e/ou zircônio (Zr) e enxofre (S) satisfazem a relação:

$$[\text{Ti} (\%) + 1/2\text{Zr} (\%)] / \text{S} (\%) \leq 5,0.$$

2. Material de anel de pistão de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do teor de silício ser de 0,1 a 3,0% em massa.

**FIG. 1**

**FIG. 2**

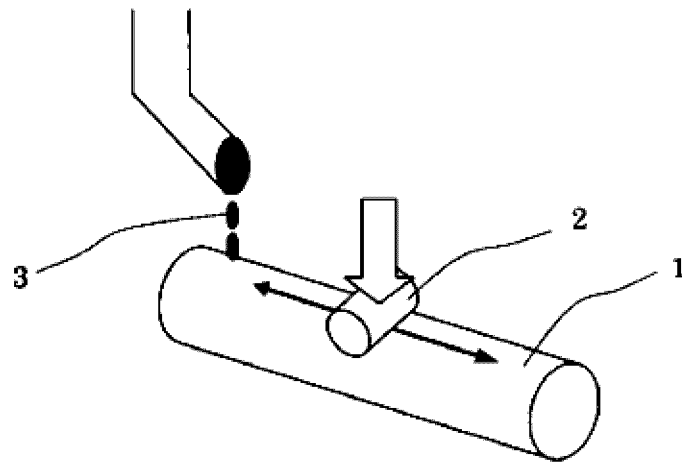


FIG. 3

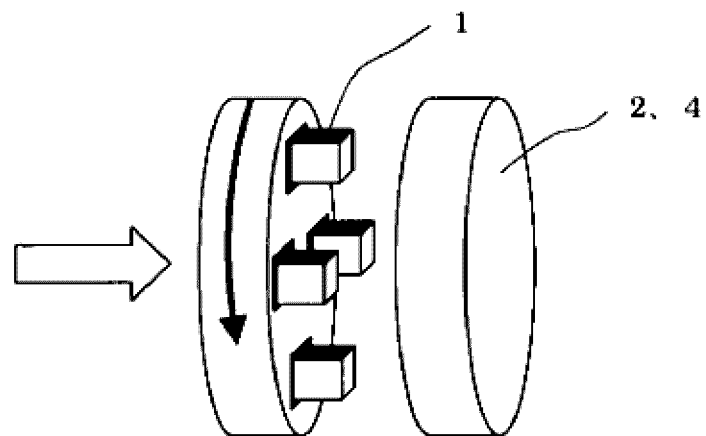
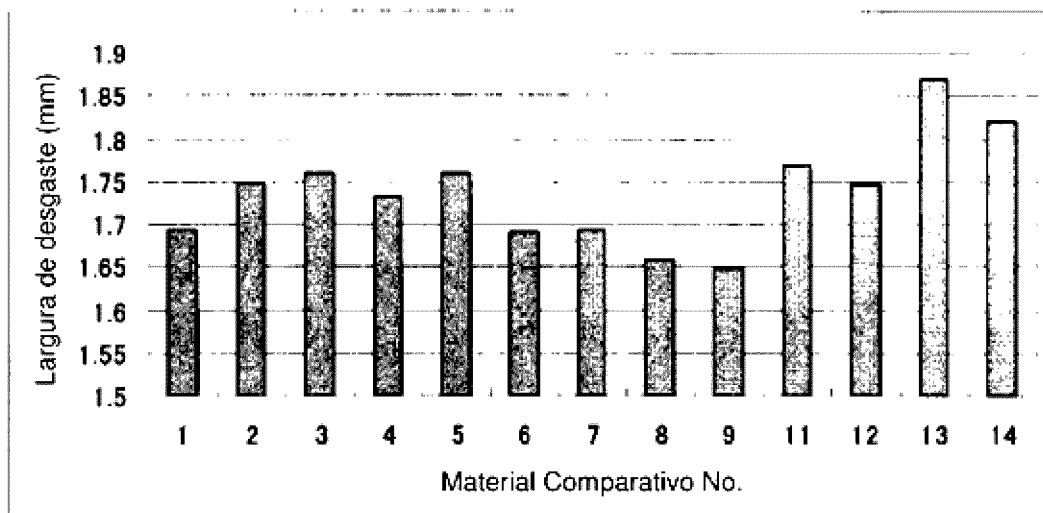
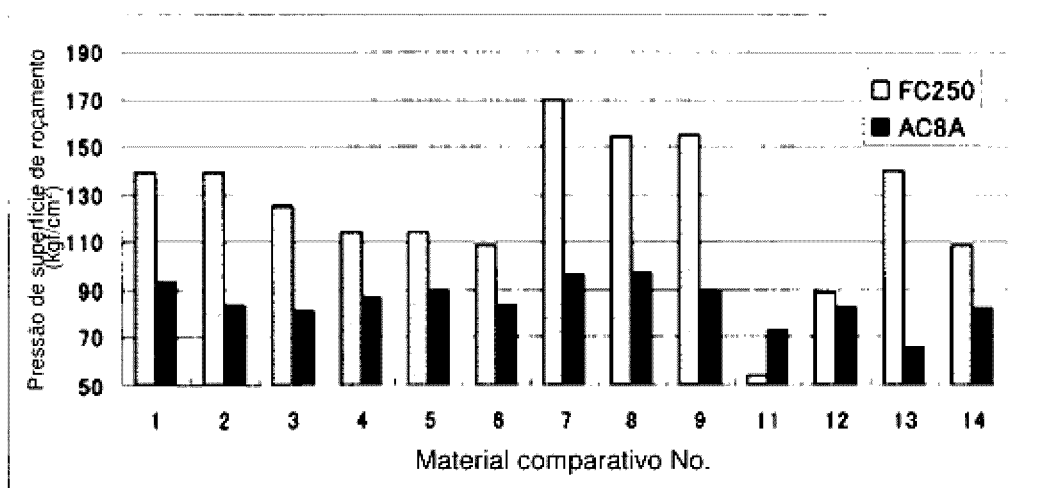


FIG. 4

**FIG. 5****FIG. 6**