



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

(11) PI 1005394-8 B1

(22) Data do Depósito: 23/06/2010

(45) Data de Concessão: 21/11/2017



(54) Título: AÇO RESISTENTE AO CALOR PARA VÁLVULAS DE MOTOR COM RESISTÊNCIA A ALTA TEMPERATURA

(51) Int.Cl.: C22C 38/00; C22C 38/58; F01L 3/02

(30) Prioridade Unionista: 24/06/2009 JP 2009-149420

(73) Titular(es): HITACHI METALS, LTD.. HONDA MOTOR CO., LTD.

(72) Inventor(es): KATSUHIKO OHISHI; AKIHIRO TOJI

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"AÇO RESISTENTE AO CALOR PARA VÁLVULAS DE MOTOR COM RESISTÊNCIA A ALTA TEMPERATURA"**.

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a um aço resistente ao calor para válvulas de motor excelentes em resistência à fadiga a alta temperatura e, em particular, a um aço resistente ao calor para válvulas de motor usadas para motores de combustão interna para automóveis.

Técnica Antecedente

[002] Convencionalmente, como aço resistente ao calor para válvulas de exaustão de válvulas de motor de automóveis, tem sido amplamente usado o aço 21-4N (especificação JIS: SUH35), isto é, um aço resistente ao calor de alto teor de Mn e aços melhorados dos mesmos que são bons em resistência à alta temperatura e em resistência à oxidação e baixo custo.

[003] Para a parte da face de válvulas de motores, é necessária uma alta resistência ao desgaste por causa do contato contínuo com uma base de válvula. Consequentemente, para a parte da face de válvulas que usam o aço 21-4N ou aços aperfeiçoados do mesmo, usualmente a formação de Estelite etc. é feita para, desse modo, reforçar a dureza e a resistência ao desgaste a altas temperaturas.

[004] Além disso, como um material para válvula usado para partes expostas a uma carga mais alta, é usada em parte uma liga resistente ao calor do tipo de reforço de precipitação que inclui uma grande quantidade de Ni e que possui uma melhor resistência a alta temperatura por precipitação de γ' (gamma prim) que é um composto intermetálico ou NCF751 que é uma liga super resistente ao calor. No entanto, como estas ligas contêm uma grande quantidade de Ni, há um problema do aumento do custo.

[005] No entanto, como o resultado do aumento de restrições dos

regulamentos ambientais nestes últimos anos, a eficiência e a potência dos motores a gasolina melhoraram para aumentar a temperatura de combustão e, portanto, é colocada uma questão para um aço resistente ao calor para válvulas que sejam de baixo custo e excelentes em resistência à alta temperatura em comparação com as ligas resistentes ao calor descritas acima.

[006] Para responder a esta questão, o Pedido de Patente Japonesa Depositada em Aberto Nº 2001-323323 (Documento de Patente 1) propõe um processo de produção de uma válvula para motor, em que é usado um material base formado pela adição apropriadamente de Mo, Nb e V além de C, N, Mn, Ni e Cr a uma base de um aço barato resistente ao calor à base de Fe e suprimindo tanto quanto possível o uso de matérias-primas onerosas tal como Ni, que é sujeito a um tratamento térmico com solução a 1100 até 1180 °C e, depois disso, é sujeito a forja em uma faixa de temperatura de 700 até 1000 °C para formar uma válvula que foi sujeita a um tratamento de envelhecimento de acúmulo de deformação residual por usinagem com a qual se pretende o endurecimento por envelhecimento com esforço, desse modo melhorando a dureza da parte da face da válvula para motor a 400 HV ou mais e controlando o superenvelhecimento e o amolecimento mesmo no uso em regiões de alta temperatura.

[007] Além disso, o Pedido de Patente Japonesa Depositada em Aberto Nº 2002-294411 (Documento de Patente 2) e o Pedido de Patente Japonesa Depositada em Aberto Nº 3-177543 (Documento de Patente 3) propõem materiais para válvula para motor obtidos por adição, como um material aperfeiçoado de aço 21-4N que é um aço resistente ao calor com alto teor de Mn, fazendo liga com elementos tais como Mo, W, Nb e V para desse modo promover reforço da solução sólida ou reforço de precipitação e para melhorar a resistência à alta temperatura e resistência ao desgaste.

[008] Documento de Patente 1: Pedido de Patente Japonesa Depositada em Aberto Nº 2001-323323

[009] Documento de Patente 2: Pedido de Patente Japonesa Depositada em Aberto Nº 2002-294411

[0010] Documento de Patente 3: Pedido de Patente Japonesa Depositada em Aberto Nº 3-177543

Descrição da Invenção

[0011] A liga descrita no Documento de Patente 1 é vantajosa no custo de material porque ela usa um aço resistente ao calor à base de Fe. No entanto, a vantagem do custo pode ser inversamente enfraquecida, pois o acúmulo de esforço no material é necessário no processo de produção da válvula, é necessário um tratamento térmico em solução a altas temperaturas por causa da utilização do reforço de precipitação baseado em nitreto e é necessário um estrito controle de temperatura e controle de produção.

[0012] Além disso, as ligas descritas nos Documentos de Patente 2 ou 3 são dotadas de melhor resistência à alta temperatura do que o aço 21-4N convencional, porém são insuficientes na resistência como uma válvula para material de motor a ser aplicado a elevadas temperaturas de combustão destes últimos anos.

[0013] Uma finalidade da presente invenção é fornecer aço resistente ao calor de baixo custo para válvulas para motores por obtenção de resistência a alta temperatura não inferior àquela de ligas resistentes ao calor à base de Ni por meio de um aço resistente ao calor à base de Fe.

[0014] O presente inventor estudou com afinco a relação entre a resistência a alta temperatura e vários elementos de liga enquanto usa um aço resistente ao calor à base de Fe como uma base e, como resultado, descobriu que, realizando o estrito controle de quantidade de adição de P, Mo, W, Nb e N, assim como exatamente o estrito controle

da relação mútua do mesmo, pode ser obtida uma resistência à alta temperatura muito boa, tendo assim obtido sucesso para a presente invenção.

[0015] Ou seja, a presente invenção é um aço resistente ao calor para válvulas para motores excelentes em resistência à alta temperatura que possui, em % em massa, C: 0,20 a 0,50%, Si: 1,0% ou menos, Mn: 5,0% ou menos, P: 0,1 a 0,5%, Ni: 8,0 a 15,0%, Cr: 16,0 a 25,0%, Cu: 0,5% ou menor, Nb: 1,0% ou menos (inclusive 0%), W: 2,0% ou menos (inclusive 0%), Mo: 2,0% ou menos (inclusive 0%), N: 0,02 a 0,30%, B: 0,01% ou menos e o resto de Fe e impurezas, em que o aço resistente ao calor para válvulas para motores satisfaz as fórmulas a seguir:

$$156,42 P (\%) + 0,91 Mo (\%) + 0,73 W (\%) - 12,27 Nb (\%) + 220,96 N (\%) + 120,59 \geq 170 \quad \text{Fórmula (1)}$$

$$13,70 P (\%) - 6,97 Mo (\%) - 4,32 W (\%) - 3,29 Nb (\%) + 119,10 N (\%) + 27,75 \geq 25 \quad \text{Fórmula (2)}.$$

[0016] Na presente invenção, as faixas preferíveis de P, Mo e Nb são como a seguir.

[0017] P: mais do que 0,15% até 0,5% ou menos

Mo: 0,03 até 1,6%

Nb: 0,03 até 0,2%

Entre estes, para Mo, a faixa mais preferível é de 0,03 até 1,0%.

[0018] O valor preferível de fórmula (1) é 185 ou mais e o valor preferível de fórmula (2) é de 30 ou mais.

[0019] O aço resistente ao calor para válvulas para motores da presente invenção torna possível fazer com que um aço resistente ao calor à base de Fe apresente uma resistência à alta temperatura não inferior àquela de ligas à base de Ni resistentes ao calor e, portanto, contribui largamente para a redução do custo do aço resistente ao ca-

lor para válvulas para motores.

Melhores Modos para a Realização da Invenção

[0020] A presente invenção foi alcançada com base no novo conhecimento mencionado acima. A seguir, será descrita a ação de respectivos elementos na presente invenção.

[0021] Em um aço resistente ao calor para válvulas para motores da presente invenção, as respectivas composições químicas são definidas por causa das razões a seguir. Enquanto isso, elas são representadas por % em massa, a não ser se especificado de outra maneira.

C: 0,20 até 0,50%

[0022] C se dissolve na matriz na forma de uma solução sólida para estabilizar a estrutura γ e para aumentar a resistência. Além disso, precipita um carboneto por um tratamento de envelhecimento para aumentar a resistência a temperaturas comuns e altas e forma carboneto de Cr na matriz para também contribuir para a resistência ao desgaste.

[0023] Quando Nb, W ou Mo forem adicionados, forma-se carbonetos ricos em Nb, W ou Mo para contribuir mais confiavelmente para a melhoria da resistência ao desgaste. Em particular, como o resultado da combinação de C e Nb, há efeitos tais que seja evitado o crescimento de grãos de cristal na solução de tratamento térmico a altas temperaturas e a resistência em uma faixa de baixas temperaturas é aumentada.

[0024] C de menos do que 0,20% não fornece o efeito descrito acima. Por outro lado, a adição excedendo 0,5% não exibe mais efeito sobre a melhoria das características e, além disso, uma formação demasiadamente grande de carboneto de Cr diminui a resistência à oxidação e a rigidez e diminui a solubilidade sólida de N. Portanto, o C é determinado como sendo a 0,2 até 0,5%. A faixa preferível de C é de

mais que 0,25% até 0,4% ou menos.

Si: 1,0% ou menos

[0025] Si age como um agente desoxidante durante a fusão e aumenta a resistência à oxidação à alta temperatura. Por outro lado, uma adição demasiadamente grande diminui a capacidade de ser trabalhada e a rigidez e encoraja a formação da fase σ . Portanto, Si é determinado como sendo de 1,0% ou menos. A faixa preferível de Si é de 0,6% ou menos. Enquanto isso, para garantir o efeito obtido pela adição de in Si, o limite inferior de Si é de preferência de 0,05% e o limite superior mais preferível é de 0,50%.

Mn: 5,0% ou menos

[0026] Mn é um elemento estabilizador γ , acelera endurecimento de trabalho durante os trabalhos a frio e a quente e aumenta a solubilidade do sólido de N para contribuir para a melhoria da resistência. Por outro lado, uma adição demasiadamente grande do mesmo provoca a diminuição da capacidade de trabalho à quente a altas temperaturas e diminuição da resistência à alta temperatura. Portanto, o Mn é determinado como sendo de 5,0% ou menos. A faixa preferível de Mn é de 3,0% ou menos.

P: 0,1 até 0,5%

[0027] P, juntamente com C, acelera a precipitação de carboneto do tipo $M_{23}C_6$, substitui o C a ser incorporado ao carboneto para assim aumentar a constante do reticulado contribuindo, desse modo, para o reforço de precipitação. Para se obter o efeito, é necessário que P seja de 0,1% ou mais. No entanto, a adição de P de mais do que 0,5% provoca a diminuição da capacidade de trabalho à quente, a resistência limite do grão e a rigidez. Portanto, P é determinado para se de 0,1 até 0,5%. Enquanto isso, para se garantir o efeito descrito acima obtido pela adição de P, é favorável ajustar o limite inferior de P para estar em uma faixa de mais do que 0,15%. O limite superior mais preferível

de P é de 0,4%.

Ni: 8,0 a 15,0%

[0028] Ni estabiliza a estrutura γ da matriz para melhorar a resistência mecânica, a resistência à corrosão e resistência à oxidação e acelera o endurecimento por trabalho em trabalhos à frio e quentes. Para se obter o efeito, é necessário que Ni seja de 8,0% ou mais. Por outro lado, a adição de Ni de mais do que 15,0% não apenas diminui a solubilidade do sólido de N, mas também causa o aumento do custo. Consequentemente, é determinado que o Ni esteja em 8,0 até 15,0%. A faixa preferível de Ni é de desde 9,0 até 11,0%.

Cr: 16,0 até 25,0%

[0029] Cr é um elemento indispensável para melhorar a resistência à corrosão e a resistência à oxidação de válvulas para motores e precisa ser de 16,0% ou mais para formar carbonetos por um tratamento de envelhecimento para aumentar a resistência a temperaturas comuns e altas. Porém a adição de Cr de mais do que 25% causa a formação de uma fase σ prejudicial. Consequentemente, Cr é determinado como sendo de 16,0 até 25,0%. O limite inferior preferível de Cr é de 18,0% e o limite superior preferível do mesmo é de 22,0%.

Cu: 0,5% ou menos

[0030] Cu estabiliza a estrutura γ da matriz, melhora a rigidez em um trabalho a frio e melhora a resistência à alta temperatura pela precipitação de um composto de fase diminuta de Cu. Porém, o aumento na quantidade de adição de Cu diminui a processabilidade a quente e a resistência à oxidação. Consequentemente, é determinado que o Cu seja de 0,5% ou menor. O limite inferior preferível de Cu é de 0,03% e o limite superior mais preferível é de 0,35%.

Nb: 1,0% ou menos (inclusive 0%)

[0031] Nb se combina com C e N para evitar o crescimento do grão em um tratamento térmico de solução a altas temperaturas e para

melhorar a resistência à fadiga. Portanto, o Nb pode ser adicionado até 1,0% como o limite superior. Porém, o aumento em quantidade de adição de Nb aumenta a quantidade de C e N em solução sólida, para causar desse modo inversamente à diminuição da resistência à fadiga e a diminuição da capacidade de se trabalhar a frio por causa da formação de muitos carbonetos e nitretos. Consequentemente, o limite inferior de Nb pode ser o limite de ser livre de aditivo (isto é, inclusive de 0%). Enquanto isso, para garantir o efeito descrito acima obtido pela adição de Nb é favoravelmente determinado como sendo de 0,03%. O limite superior mais preferível é de 0,50% e, além disso, o limite superior preferível é de 0,20%.

Mo: 2,0% ou menos (inclusive 0%)

[0032] Mo é um elemento que forma uma solução sólida em uma matriz como um átomo de substituição a ser reforçado e, ao mesmo tempo, uma parte do mesmo forma carbonetos para melhor a resistência à alta temperatura. Mo pode ser adicionado até 20% como o limite superior. Porém, o aumento na quantidade de adição de Mo pode causar a geração de enfraquecimento da liga. Consequentemente, o limite inferior de Mo pode ser o limite de ser livre de aditivo (isto é, inclusive de 0%). Enquanto isso, para garantir o efeito obtido pela adição de Mo, o limite inferior de Mo é determinado favoravelmente como sendo 0,03%. O limite superior preferível de Mo é de 1,6% ou menos e a faixa mais preferível de Mo é de 1,0% ou menos.

[0033] Além disso, Mo é um elemento que fornece a mesma função e vantagem como W a ser descrito a seguir, porém para obter uma excelente resistência à fadiga necessária para materiais para válvula para motor, a adição de Mo é vantajosa.

[0034] Da mesma maneira que Mo, W forma uma solução sólida na matriz como um átomo de substituição a ser reforçado e, ao mesmo tempo, uma parte do mesmo forma carbonetos para melhorar a resis-

tência a alta temperatura. W basicamente possui as mesmas funções que Mo, porém, em relação à resistência à oxidação, W é mais vantajoso. W tem um peso atômico duas vezes o de Mo e, portanto, possui uma pequena taxa de difusão a altas temperaturas e um grande efeito de melhoria da resistência à fluência. Portanto, no caso de melhoria de resistência à fluência, a adição de W é eficaz. Porém, o aumento na quantidade de adição de W causa a formação de carbonetos e de nitretos e não fornece um efeito suficiente para a resistência à alta temperatura. Portanto, é determinado que seja de 2,0% ou menos. O limite inferior de W pode ser o limite de ser livre de aditivo (isto é, inclusive 0%), como é o caso para Mo.

[0035] N, como é o caso para C, é um elemento que estabiliza a estrutura γ e a maior parte do mesmo forma solução sólida na matriz como um átomo intersticial para contribuir para o reforço da mesma. Para se obter o efeito, é necessário 0,02% ou mais. Porém quando for adicionado mais do que 0,30% de N, o endurecimento de trabalho em um processo de estiramento se torna significativo para desse modo provocar a diminuição da rigidez. Consequentemente, a faixa de N é determinada como sendo de 0,02 até 0,30%.

[0036] B reforça limites do grão γ e é eficaz para melhorar a resistência à alta temperatura e às propriedades de resistência à fluência. Por outro lado, uma adição demasiadamente grande do mesmo diminui a temperatura de fusão de limites de grão e deteriora a capacidade de se trabalhar a quente. Consequentemente, B é determinado como sendo de 0,01% ou menos.

[0037] Os componentes sem serem os elementos descritos acima são Fe e impurezas.

[0038] No aço resistente ao calor para válvulas para motores da presente invenção, é usado um aço resistente ao calor à base de Fe que não é oneroso como uma base, ao qual se adicionam elementos

de liga que contribuam para o reforço da solução sólida e o reforço da precipitação são adicionados apropriadamente para fornecer grande resistência à temperatura. Além disso, para se obter um estado de grande resistência, é importante controlar apropriadamente a quantidade de P e de N a serem adicionados que são elementos formadores de liga e a quantidade de Mo, W ou Nb adicionada seletivamente. Aqui a seguir, a razão dos mesmos será descrita em detalhe.

[0039] Em relação à resistência à alta temperatura, que é uma propriedade particularmente necessária em materiais para válvula para motores, no caso de ligas resistentes ao calor à base de Ni e superligas resistentes ao calor, a resistência à alta temperatura pode ser melhorada variando a quantidade de precipitação de γ' ou a composição do mesmo. No entanto, no caso de ligas resistentes ao calor à base de Fe, o mecanismo de reforço do mesmo é limitado à resistência à precipitação principalmente por carbonetos, nitretos etc. e reforço da solução sólida por elementos formadores de liga. Consequentemente, quando se experimenta utilizar o mecanismo de reforço tal como a resistência à precipitação e o reforço da solução sólida de uma maneira compósita, as propriedades podem ser inversamente diminuídas pela interação dos respectivos elementos. Consequentemente, como o resultado do estudo em vários elementos da liga de modo que estes mecanismos de reforço possam ser exercidos tanto quanto possível, tornou-se evidente que P, N, Mo, W e Nb fornecem grande influência sobre a resistência à alta temperatura. Além disso, a correlação de propriedades dos respectivos elementos foi avaliada pela relação baseada em coeficientes corretos pelo uso da técnica da análise de regressão linear múltipla. Então, foi descoberto que é necessário o controle restrito da relação.

[0040] Isto é, é necessário que seja controlado o teor de P, N, Mo, W e Nb em um aço de modo a satisfazer a correlação de Fórmula (1):

$156,42 P (\%) + 0,91 Mo (\%) - 0,73 W (\%) - 12,27 Nb (\%) + 220,96 N (\%) + 120,59 \geq 170$, em uma relação que usa coeficientes.

[0041] Quando o valor for menor do que 170, o mecanismo de reforço dos respectivos elementos para de agir efetivamente, para assim causar a diminuição da resistência à alta temperatura e, além disso, a diminuição da dureza a altas temperaturas. Enquanto isso, pelo ajuste do valor de Fórmula (1) para 185 ou mais, a dureza a alta temperatura a 800 °C se torna facilmente 180 HV ou mais, o que permite que seja suprimida a diminuição da resistência e da dureza a altas temperaturas.

[0042] Além disso, por controle do teor de P, Mo, W, Nb e N no aço de modo a satisfazer a correlação da Fórmula (2): $13,70 P (\%) - 6,97 Mo (\%) - 6,97 Mo (\%) - 4,32 W (\%) - 3,29 Nb (\%) + 119,10 N (\%) + 27,75 \geq 25$, pode ser evitada a diminuição da resistência à alta temperatura, e, além disso, a diminuição da resistência à fluência a altas temperaturas.

[0043] Quando o valor se tornar menor do que 25, a interação dos respectivos elementos diminui o mecanismo de reforço original para, desse modo, diminuir a resistência à alta temperatura. Uma faixa preferível é tal que o valor de acordo com a Fórmula (2) seja de 30 ou mais.

[0044] Pelo controle apropriado de P, N, Mo, W e Nb de modo a satisfazer as duas fórmulas descritas acima, torna-se possível utilizar reforço da solução sólida e reforço da precipitação, sobre as quais estes elementos agem, até uma extensão máxima em uma maneira compósita. Como um resultado, pode ser fornecido um aço resistente ao calor para válvulas para motores que seja equipado com excelente resistência à alta temperatura em combinação. Enquanto isso, quando não for adicionado o elemento de Mo, W ou Nb, as respectivas quantidades são consideradas como zero no cálculo das Fórmulas (1) e (2).

[0045] Com o aumento das temperaturas de combustão destes últimos anos, o aço resistente ao calor para válvulas para motores da presente invenção se torna possível de ser aplicado, por causa das propriedades de excelente resistência à alta temperatura, em regiões em que não pode ser aplicado aço 21-4N ou aços aprimorados dos mesmos, por exemplo, em uma parte da região que utilizou uma liga resistente ao calor do tipo reforço de precipitação γ' até agora e assim pode se conseguir uma significativa redução dos custos.

Exemplos

[0046] A presente invenção será descrita com mais detalhe baseado nos exemplos a seguir.

[0047] Um aço resistente ao calor para válvulas para motores foi fundido em um forno de fusão por indução a vácuo para formar um lingote de 10 kg, que foi então aquecido até 1100 °C e sujeito a uma forjagem à quente para fornecer um estoque de bastão forjado de 30 mm quadrados. Além disso, o produto foi mantido a 1130 °C durante 20 minutos, sujeito a um tratamento térmico em solução de têmpera com óleo e então mantido a 750 °C durante 100 minutos para realizar um tratamento de envelhecimento por resfriamento com ar. A tabela 1 apresenta a composição química do mesmo.

Tabela 1

No	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	W	Mo	Cu	Nb	N	B	Fórmula (1)	Fórmula (2)	Observações
1	0,34	0,30	1,02	0,28	10,47	20,08	-	0,49	0,20	0,10	0,157	0,0068	198	47	Invenção
2	0,35	0,30	1,90	0,30	10,60	20,03	-	0,49	0,21	0,10	0,155	0,0052	201	47	Invenção
3	0,35	0,30	1,03	0,31	10,60	20,15	-	0,50	0,21	0,10	0,175	0,0058	207	49	Invenção
4	0,34	0,31	1,00	0,27	10,56	20,08	-	-	0,21	-	0,169	0,0054	198	51	Invenção
5	0,34	0,31	1,06	0,26	10,58	20,32	-	0,76	0,21	0,10	0,186	0,0065	202	48	Invenção
6	0,34	0,30	1,00	0,26	10,63	20,06	-	1,52	0,21	0,10	0,188	0,0066	203	43	Invenção
7	0,35	0,30	1,08	0,12	10,59	20,53	1,8	1,80	0,22	0,21	0,194	0,0074	183	31	Invenção
11	0,32	0,27	1,00	0,19	10,56	20,16	-	2,18	0,20	-	0,042	0,0062	162	20	Ex. Comp.
12	0,34	0,30	0,99	0,02	10,51	20,31	-	0,50	0,21	0,10	0,086	0,0061	142	34	Ex. Comp.

(Nota): "-" representa livre de aditivo.

Os restantes são Fe e impurezas inevitáveis.

Fórmula (1): calculada baseada em $156,42 P(\%) + 0,91 Mo(\%) + 0,73 W(\%) - 12,27 Nb(\%) + 220,96 N(\%) + 120,59$.

Fórmula (2): calculada baseada em $13,70 P(\%) - 6,97 Mo(\%) - 4,32 W(\%) - 3,29 Nb(\%) + 119,10 N(\%) + 27,75$

Nas fórmulas (1) e (2), quando W e/ou Nb não forem adicionados, W e/ou Nb é considerado como zero no cálculo.

[0048] Para os nove materiais de N° 1 a 7 e de N° 11 a 12 apresentados na tabela 1, a dureza foi medida à temperatura comum e 800 °C, um teste de ruptura por fluência foi realizado sob a condição de 800 °C e 180 MPa e foi realizado um teste de fadiga de flexão em rotação sob a condição de 800 °C e 250 MPa. A dureza foi medida com um testador para dureza de Vickers. Para o teste de ruptura por fluência, um corpo de prova que possui um diâmetro da peça paralela de 30,0 mm foi aquecido até 800 °C, ao qual foi aplicada uma carga de tração de 180 MPa e foi medido um tempo até que ocorresse a ruptura. Para o teste de fadiga de flexão com rotação, de acordo com JIS Z2274, foi usado um corpo de prova que possui um diâmetro da peça paralela de 8 mm e um número de repetição de ruptura (vezes) do corpo de prova foi procurado em um número de rotação de 3300 rpm. A tabela 2 apresenta resultados de vários testes. Enquanto isso, os dados dos N° 4 a 7 e N° 12 apresentados nas tabelas 1 e 2 são recém-adicionados àqueles da aplicação básica.

Tabela 2

N°	Dureza (HV)		Tempo de ruptura (horas)	800°C-250 MPa Número de repetição de ruptura (vezes)	Observações
	Temperatura comum	800°C			
1	364	205	51,5	8052100	Invenção
2	370	206	46,5	6578900	Invenção
3	377	198	50,7	8856100	Invenção
4	373	197	30,5	6937500	Invenção
5	370	201	64,8	13109900	Invenção
6	364	201	88,5	16948300	Invenção
7	275	152	7,9	4426700	Invenção
11	290	157	7,5	2268400	Ex. Comp.
12	222	115	0,6	11600	Ex. Comp.

[0049] Pela tabela 2, pode ser observado que o aço da presente

invenção exibe valores mais altos da dureza à temperatura habitual e a 800 °C e do tempo de ruptura no teste de ruptura por fluência, apresentando desse modo propriedades superiores a altas temperaturas. Para válvulas para motores, de modo geral, como a resistência à fadiga é particularmente importante entre as propriedades mecânicas, pode ser observado que o aço da presente invenção exibe um ótimo desempenho porque ele exibe uma maior resistência à fadiga do que os aços comparativos.

[0050] Um aço que possui um valor mais alto de Fórmula (1) tende a ser superior na dureza e na resistência à fadiga a altas temperaturas, o que demonstra que a influência da precipitação de P e N ou o reforço da solução sólida é grande. Além disso, o valor da Fórmula (2) na tabela 1 é um indicador que representa o padrão grosseiro do tempo de ruptura no teste de ruptura por fluência e o valor é bastante influenciado por P e N.

[0051] Como descrito acima, para se obter a resistência à alta temperatura, por controle apropriado dos valores das Fórmulas (1) e (2) pelo uso da quantidade de elementos formadores de liga a serem adicionados, torna-se possível utilizar o reforço de precipitação e o endurecimento da solução sólida até uma extensão máxima sem provocar a diminuição das propriedades devido à influência das respectivas interações.

Aplicabilidade Industrial

[0052] Como descrito acima, o aço resistente ao calor para válvulas para motores de acordo com a presente invenção é com resistência à alta temperatura e, como o aço está baseado em um aço resistente ao calor à base de Fe, isto contribui para a redução dos custos e para a economia de recursos. Além disso, quando o aço for usado para válvulas para motores de automóveis, isto pode melhorar bastante o desempenho do motor.

REIVINDICAÇÕES

1. Aço resistente ao calor para válvulas para motores com resistência à alta temperatura, que consiste em % em massa, C: 0,20 a 0,50%, Si: 1,0% ou menos, Mn: 5,0% ou menos, P: 0,1 a 0,5%, Ni: 8,0 a 15,0%, Cr: 16,0 a 25,0%, Cu: 0,5% ou menos, Nb: 1,0% ou menos (inclusive 0%), W: 2,0% ou menos (inclusive 0%), Mo: 2,0% ou menos (inclusive 0%), N: 0,02 a 0,30%, B: 0,01% ou menos e o resto de Fe e impurezas, em que o aço resistente ao calor para válvulas para motores satisfaz as fórmulas a seguir:

$$156,42 P (\%) + 0,91 Mo (\%) + 0,73 W (\%) - 12,27 Nb (\%) + 220,96 N (\%) + 120,59 \geq 170 \quad \text{Fórmula (1)}$$

$$13,70 P (\%) - 6,97 Mo (\%) - 4,32 W (\%) - 3,29 Nb (\%) + 119,10 N (\%) + 27,75 \geq 25 \quad \text{Fórmula (2);}$$

caracterizado pelo fato de que
o teor de Nb é de 0,03 a 0,2%.

2. Aço resistente ao calor para válvulas para motores com resistência à alta temperatura, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o teor de P é maior do que 0,15%.

3. Aço resistente ao calor para válvulas para motores com resistência à alta temperatura, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o teor de Mo é de 0,03 a 1,6%.

4. Aço resistente ao calor para válvulas para motores com resistência à alta temperatura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o teor de Mo é de 0,03 a 1,0%.

5. Aço resistente ao calor para válvulas para motores com resistência à alta temperatura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o valor de Fórmula (1) representado por $156,42 P (\%) + 0,91 Mo (\%) + 0,73 W (\%) - 12,27 Nb (\%) + 220,96 N (\%) + 120,59$ é de 185 ou mais.

6. Aço resistente ao calor para válvulas para motores com resistência à alta temperatura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o valor de Fórmula (2) representado por $13,70 P (\%) - 6,97 Mo (\%) - 4,32 W (\%) - 3,29 Nb (\%) + 119,10 N (\%) + 27,75$ é de 30 ou mais.