

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

(21) **PI 0713237-9 A2**



(22) Data de Depósito: 05/07/2007
(43) Data da Publicação: 17/04/2012
(RPI 2154)

(51) *Int.Cl.:*
C22C 19/05

(54) **Título:** LIGA RESISTENTE A DESGASTE E VÁLVULA DE MOTOR PARA AUTOMÓVEL

(30) **Prioridade Unionista:** 07/07/2006 US 60/806,743, 05/12/2006 US 60/868,606, 05/12/2006 US 60/868,606, 07/07/2006 US 60/806,743

(73) **Titular(es):** EATON CORPORATION

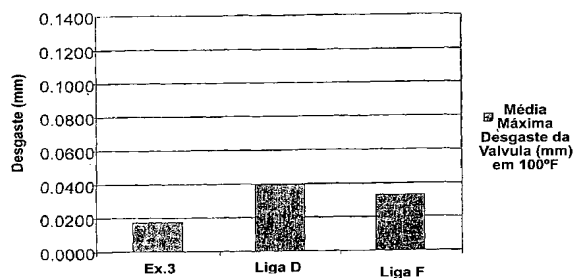
(72) **Inventor(es):** ALOJZ KAZINIC, ANDRZEJ L. WOJCIESZYNSKI, JERYL K. WRIGHT, MARIA K. SAWFORD, SHUBHAYU SINHARROY, SUNDARAM NARASIMHAN

(74) **Procurador(es):** ANTONIO MAURICIO PEDRAS ARNAUD

(86) **Pedido Internacional:** PCT IB2007001860 de 05/07/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/007190de 17/01/2008

(57) **Resumo:** LIGA RESISTENTE A DESGASTE E VÁLVULA DE MOTOR PARA AUTOMÓVEL. A presente invenção provê uma liga baseada em Ferro-Níquel, com maior resistência a desgaste em altas temperaturas em relação superligas baseadas em Níquel. A liga sendo particularmente útil para fabricar válvulas de exaustão, e outros componentes de motores de combustão interna submetidos a corrosão, desgaste, e oxidação.





"LIGA RESISTENTE A DESGASTE E VÁLVULA DE MOTOR PARA AUTOMÓVEL".

Campo Técnico

5 A presente invenção se relaciona a uma liga Ferro-Níquel tendo uma maior resistência ao desgaste em relação às superligas com base em Níquel. A liga Ferro-Níquel é particularmente útil para produzir válvulas de exaustão e outros componentes de alta temperatura para motores de combustão interna.

10 Histórico da Invenção

Resistência a altas temperaturas, resistência a abrasão, e resistência à oxidação e corrosão são requeridas para materiais de válvulas de exaustão que são submetidos geralmente a temperaturas maiores que 800°C. Válvulas de exaustão usadas em motores reciprocantes geralmente são divididas em cabeça, corpo da haste, e ponta da haste. A cabeça e a porção da cabeça ligada à haste são constituídas de uma liga resistente à corrosão, resistente às altas temperaturas, e ademais provendo alta resistência mecânica, tal como uma superliga ou aço inoxidável austenítico. A superfície selante da válvula freqüentemente inclui um material soldado sobreposto, tal como uma liga de alta temperatura a base de Cobalto. O resto da haste freqüentemente é feito de aço de alta temperatura da extremidade da cabeça da válvula.

25 Motores de combustão interna mais avançados recém-projetados atingem patamares de temperaturas elevadas, visando uma maior economia de combustível, emissões reduzidas, e maior eficiência, o que requer novos materiais de custo adequado. Ademais, em virtude da demanda e custos crescentes do Níquel, buscam-se alternativas para ligas com elevado conteúdo de Níquel.

30 Aços inoxidáveis austeníticos, tal como 21-2N, 21-4N-Nb-W e 23-8N, têm sido usados em válvulas de motores por muitas décadas. No entanto, por causa de suas limitações mecânicas, estas ligas não são adequadas para operar em temperaturas acima de 1472°F (800°C), para as atuais

expectativas de durabilidade.

Superligas, incluindo ligas com base em Ferro-Níquel e ligas com base em Níquel, têm sido usadas para válvulas de exaustão, tipicamente quando o aço inoxidável de
 5 válvula com base em Ferro mais barato não provê uma suficiente resistência a altas temperaturas ou resistência a corrosão para uma dada aplicação. Algumas ligas de alto níquel usadas em aplicações de válvula incluem Liga 751, Liga 80A, Pyromet 31 e Ni30,
 10 por exemplo. Ligas 751, 80A, e Pyromet 31 contêm grandes quantidades de Níquel e, por conseguinte, são caras. Válvulas fabricadas a partir destas ligas com conteúdo de Níquel elevado são suscetíveis a desgaste adesivo e desgaste abrasivo na face do assento, devido à falta de
 15 resistência ao desgaste. Por conseguinte, válvulas fabricadas com algumas das ligas alto Níquel devem receber um revestimento duro de liga de Cobalto na face do assento, mas isto acrescenta uma etapa de fabricação, e, por conseguinte, aumenta o custo da válvula. Assim,
 20 é necessária uma válvula de resistência intermediária, com propriedades e custos intermediários àqueles de aços de válvula austeníticos e superligas em Níquel, de modo que a liga apresente suficiente resistência ao desgaste, e, portanto, dispense uma etapa (e custo) adicional de
 25 prover um revestimento duro.

Sumário da Invenção

Em um aspecto da invenção, provê-se uma liga resistente ao desgaste consistindo (em porcentagem em peso) de 0.15% a 0.35% de C; até 1% de Si; até 1% de Mn; mais que
 30 25% a menos que 40% de Ni; 15% a 25% de Cr; até 0.5% de Mo; até 0.5% de W; mais que 1.6% a 3% de Al; 1% a 3.5% de Ti; e saldo sendo Fe e impurezas inevitáveis; onde $Mo + 0.5W \leq 0,75\%$; $Ti + Nb \geq 4.5\%$ e $13 \leq (Ti + Nb)/C \leq 50$, sempre com base em porcentagem em peso.

35 Em outro aspecto da invenção, provê-se uma válvula de motor automotivo compreendendo uma liga consistindo (em porcentagem em peso) de mais que 0.15% a 0.35% de C;

até 1% de Si; até 1% de Mn; mais que 25% a menos que 40% de Ni; 15% a 25% de Cr; até 0.5% de Mo; até 0.5% de W; mais 1.6% a 3% de Al; 1% a 3.5% de Ti; mais que 1.1% a 3% de Nb e Ta somados; até 0.015% de B; e o saldo remanescente de Fe e impurezas; onde, $Mo + 0.5W \leq 0.75\%$; $Ti + Nb \geq 0,75\%$ e $(Ti + Nb)/C \leq 50$, também com base em porcentagem em peso.

Descrição Resumida dos Desenhos

As figuras 1A e 1B são respectivamente microfotografias da liga do Exemplo 4 da invenção e liga comparativa;

A figura 2 é um gráfico de barras das profundidades de desgaste relativo de uma configuração de válvula de exaustão da invenção e válvulas de exaustão de uma liga comparativa;

A figura 3 é um gráfico de dureza a quente versus temperatura para uma configuração da liga da invenção e diversas ligas comparativas;

A figura 4 é um gráfico de barras do limite de resistência à fadiga, quais barras no gráfico foram estabelecidas a partir de um teste de feixe rotativo, tipo Moore RR padrão a 816°C a 10^8 ciclos, para uma configuração da invenção e diversas ligas comparativas; e

A figura 5 é um gráfico de barras do limite de resistência a fadiga, quais barras no gráfico foram estabelecidas a partir de um teste de feixe rotativo tipo Moore RR padrão a 871°C a 10^8 ciclos, para uma configuração da invenção e diversas ligas comparativas.

Descrição Detalhada

A presente invenção se relaciona a uma liga Ferro-Níquel, cuja dureza a quente, resistência a alta temperatura, e resistência ao desgaste a torna útil para aplicações de alta temperatura. A liga é particularmente útil para válvulas de admissão, válvulas de exaustão, e válvulas de recirculação de gases, de motores de combustão interna. Outras aplicações incluem utilização em componentes de turbina, componentes fixadores, componentes de pós-combustores, blindagens de sensores de

oxigênio de sistemas de exaustão, e outros componentes expostos a temperaturas elevadas de gases de exaustão e condensados.

Ligas com base em Ferro conseguem propriedades mecânicas em altas temperaturas através de endurecimento por precipitação e aumento de resistência de solução sólida. As propriedades desejadas de ligas com base em Ferro são desenvolvidas por seqüências de tratamento térmico, usualmente compreendendo tratamento de solução para dissolver constituintes para conferir resistência, seguido de tratamento térmico de envelhecimento para precipitar fases em morfologias e distribuições que produzirão as desejadas propriedades mecânicas.

As ligas da invenção, a precipitação de uma fase intermetálica estável e ordenada, finamente dispersa (Fe, Ni)₃ (Al, Ti, Nb) comumente chamada "gama asterisco" (γ') que contribui para a resistência de alta temperatura da liga. Em adição, a liga contém carbonitretos e carbeto primários para prover uma maior resistência ao desgaste.

A liga, em uma configuração, em porcentagem em peso compreende mais que 0.15% até 0.35% de C; até 1% de Si; até 1% de Mn; mais que 25% a menos que 40% de Ni; 15% a 25% de Cr; até 0.5% de Mo; até 0.5% de W; mais 1.6% a 3% de Al; 1% a 3.5% de Ti; mais que 1.1% a 3% de Nb e Ta somados; até 0.015% de B; e o saldo remanescente de Fe e impurezas inevitáveis.

O Carbono pode ser encontrado na liga em quantidades de 0,15% a cerca de 0,35% em peso. Em uma configuração, o Carbono está presente em uma quantidade de mais que cerca de 15% até cerca de 0,3%, ou cerca de 0,16% a cerca de 0,3%. Propriedades melhoradas de resistência ao desgaste lhe são atribuídas, pelo menos em parte, para promover a formação de carbeto primários ricos em Nióbio e Titânio durante a solidificação em molde. Em uma configuração da presente invenção, a fração total de volume de carbeto da liga é maior que 1% até 4%.

Os carbetos primários influenciam positivamente a resistência a desgaste por abrasão de liga, particularmente em altas temperaturas.

5 O Cromo pode ser encontrado na liga em uma quantidade de 15% a cerca de 25% em peso. O Cromo provê uma combinação desejável de resistência à corrosão, tal como resistência a ataque ácido, resistência a desgaste, e resistência a corrosão. Acredita-se que a presença de Cromo na liga forme carepas tenazes de óxido de cromo, que impede
10 a formação de uma oxidação progressiva a alta temperatura e minimiza as taxas de oxidação, corrosão, e desgaste.

Adiciona-se Níquel com intuito de estabilizar e promover a formação de fase γ' , que aumenta a resistência em altas temperaturas. O Níquel vantajosamente pode aumentar a
15 resistência ao ataque de ácidos formados a partir de condensados exauridos, a resistência à oxidação, e a corrosão por chumbo (PB), e, ademais, também pode aumentar a dureza. No entanto, o níquel pode aumentar a taxa de desgaste em baixas temperaturas, e adicionar
20 custo à liga. Assim, o conteúdo de Níquel fica dentro da faixa de mais que 25% a menos que 40% em peso. Em uma configuração, o conteúdo de Níquel é maior que 25% a cerca de 35% em peso, ou cerca de 29% a cerca de 35% em peso, ou cerca de 30% a cerca de 35% em peso. Também
25 se constatou que níveis mais altos de Níquel provocam um significativo ataque por sulfitação, devido à grande afinidade do Níquel com constituintes a base de Enxofre, que podem estar presentes no óleo e combustíveis.

Alumínio pode ser encontrado na liga em quantidades
30 maiores que 1,6% até 3% em peso. O Alumínio aumenta a resistência à alta temperatura da liga combinando com Níquel para precipitar a fase γ' . Quando o conteúdo de Alumínio é menor que 1,6%, a fase γ' se torna instável e se transforma em fase η $[(Fe, Ni)_3(Ti, Al)]$ que degrada
35 as propriedades mecânicas da liga. Em uma configuração, o conteúdo de Alumínio é mais que 1,63% até 2,3% em peso. O conteúdo de Titânio na liga é cerca de 1% a cerca de

3,5% em peso. Em uma configuração, o conteúdo de Titânio é cerca de 2,0% em peso a cerca de 3,5% em peso. A resistência à alta temperatura da liga da invenção aumenta com a precipitação da fase γ' que inclui Titânio, Alumínio, Ferro, e Níquel. Se o conteúdo de Titânio for muito alto, a praticidade ao trabalho da liga pode diminuir e deteriorar a resistência e tenacidade em altas temperaturas, por causa de uma precipitação prejudicial da fase γ' . Ademais, o Titânio combina com Carbono e Nióbio para precipitar os carbeto primários, necessários para a resistência ao desgaste.

O Nióbio pode ser encontrado na liga em quantidades maiores que 1,1% até cerca de 3% em peso. Em uma configuração, o Nióbio está presente em quantidades que variam de cerca de 1,8% a cerca de 2,5% em peso. As partições de Nióbio para fase γ' e carbeto primários. Os carbeto primários provêm resistência ao desgaste à liga. Por similaridade química entre Nióbio e Tântalo, este último pode substituir parte do Nióbio. No entanto, por causa do custo elevado do Tântalo, de modo que uma grande quantidade de Tântalo pode se tornar proibitivo. A quantidade somada de Nióbio e Tântalo pode ser cerca de 1,1% a 3,0%, ou cerca de 1,8% a cerca de 2,5% em peso.

Para se obter um alto nível de resistência ao desgaste, a liga deve conter uma quantidade de elementos Titânio e Níquel formadores de carbeto. Em uma configuração, estes elementos satisfazem a equação $Ti+Nb \geq 4,5$, com base na porcentagem em peso dos elementos na liga. Em adição, a quantidade de elementos formadores de carbeto deve ser balanceada com o conteúdo de Carbono, para obter a desejada resistência ao desgaste com a precipitação de carbeto primários. A razão de elementos formadores de carbeto com conteúdo de carbono, em uma configuração, geralmente é $13 \leq (Ti+Nb)/C \leq 50$, com base na porcentagem em peso dos elementos na liga, e em outra configuração, na faixa $15 \leq (Ti+Nb)/C \leq 35$ ou $17 \leq (Ti+Nb)/C \leq 30$.

Pequenas quantidades de Boro podem melhorar a resistência

da liga e melhorar o refino do grão. A distribuição de Boro pode ser intragranular (no grão) e intergranular (nas bordas do grão). Uma quantidade excessiva de Boro segrega as bordas do grão e degrada a tenacidade da liga.

5 O conteúdo de Boro na liga pode ser até cerca de 0,015% em peso. Em uma configuração, o conteúdo de Boro é cerca de 0,010% a 0,015% em peso.

O Molibdênio pode ser encontrado na liga em quantidades até cerca de 0,5% em peso. Em uma configuração,
10 a quantidade de Molibdênio varia entre cerca de 0,05% a cerca de 0,5% em peso. Em uma configuração, o Molibdênio não é adicionado à liga de modo intencional, mas pode ser encontrado como impureza inevitável. O Molibdênio pode ser adicionado em uma quantidade efetiva para promover
15 o endurecimento da solução sólida e proporcionar resistência a fluência, quando exposto a elevadas temperaturas. O Molibdênio também pode combinar com Carbono para formar carbeto primários.

O Tungstênio pode ser encontrado na liga em quantidades
20 de até cerca de 0,5% em peso. Em uma configuração, a quantidade de Tungstênio é cerca de 0,05% a cerca de 0,25% em peso. Em uma configuração, o Tungstênio não é intencionalmente adicionado à liga, mas pode ser encontrado como impureza inevitável. Como o Molibdênio,
25 o Tungstênio pode ser adicionado à liga para promover o endurecimento de solução sólida da liga e prover resistência a fluência da liga, quando exposta a temperaturas elevadas. Em uma configuração, a quantidade (em porcentagem em peso) de Molibdênio e Tungstênio
30 na liga satisfaz a equação: $Mo + 0,5W \leq 0,75\%$.

Nas ligas, o Silício pode ser encontrado em quantidades de até cerca de 1,0% em peso e o Manganês em quantidades até cerca de 1,0% em peso. Os componentes Silício e Manganês podem formar uma solução sólida com Ferro e
35 aumentar a resistência da liga, através do aumento de resistência da solução sólida, assim como aumentar a resistência à oxidação. Quando a liga é usada em peças

fundidas, a adição dos componentes Silício e Manganês ajuda para desoxidação e/ou desgaseificação da liga. O Silício também melhora a fundibilidade do material. No caso de peça fundida, a quantidade de Silício e Manganês pode ser reduzida ou mesmo omitida da liga. O saldo da liga é constituído preferivelmente de Ferro (Fe) e impurezas inevitáveis. A liga pode conter traços de Enxofre, Nitrogênio, Fósforo, e Oxigênio. Outras adições que não afetem adversamente as propriedades de corrosão, desgaste, dureza, podem ser empregadas. Em uma configuração, a liga não contém nenhum Vanádio adicionado de modo intencional. A presença de quantidades significativas de Vanádio pode afetar adversamente as propriedades desejadas da liga, devido à formação de óxido V_2O_5 , que tem baixa temperatura de fusão. Em uma configuração, a liga não contém qualquer quantidade de Cobre adicionada de modo intencional, que é geralmente adicionada, quando a liga deve sofrer um trabalho a frio para chegar na geometria desejada. A liga da presente invenção tem uma boa resistência a desgaste por abrasão de pino. Em uma configuração, a liga tem uma perda de desgaste a abrasão de pino menor que 100 gramas, após tratada e envelhecida em solução. A liga da presente invenção pode ser preparada de modo convencional. Os materiais podem ser fundidos por indução a vácuo, por indução ao ar, Arco/AOD (descarbonetação por Argônio/ Oxigênio), ESR (refundição Electroslog), ou combinação destes. Cada lingote resultante então é imerso em banho e a seguir tem as bordas aparelhadas, então cada lingote é forjado ou trefilado para formar uma barra.

Exemplos

As ligas da invenção da Tabela 1 são produzidas para formar lingotes de 50 libras (22,7 kg) por fundição por indução a vácuo e a seguir são forjados em barras octogonais com diâmetro de 1 polegada. Amostras de testes mecânicos foram cortadas a partir das barras e tratadas em solução a 1650°F (900°C) por 30 minutos, resfriadas

a ar ou água, e então envelhecidas a 1350°F (730°C), e então resfriadas ao ar. Os Exemplos 1 a 8 são configurações da presente invenção e as Ligas A a G são ligas comparativas. As Ligas Comparativas A, C, D são
5 superligas comercialmente disponíveis e as Ligas Comparativas E a G são aços de válvula austeníticos, comercialmente disponíveis. A Liga B é uma modificação da Liga A, onde se aumenta a quantidade de Carbono para revelar o efeito deste sobre as propriedades mecânicas da
10 Liga A.

Tabela 1

L	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Ti	Nb	Mo	W	Fe	B	**	***
1	0,193	0,162	0,02	15,06	30,61	1,63	2,72	2,01	0,005	0,003	47,587	0,01	4,73	24,5
2	0,2			15,07	30,8	1,77	2,62	2,04	0,004	0,004	S	0,008	4,73	24,5
3	0,185		0,035	15,463	30,7	1,71	2,67	2,12	0,004		S	0,001	4,66	23,3
4	0,21	0,21	0,19	15	30,6	1,62	2,68	1,98	0,003		S	0,01	4,79	25,9
5	0,23	0,15	0,19	15,01	30,9	1,62	2,71	1,92	0,004		S	0,008	4,66	22,2
6	0,21	0,14	0,19	15,03	30,5	1,65	2,64	1,9	0,003		S	0,001	4,63	20,1
7	0,27	0,15	0,2	17	33	2,1	3,25	2	0,5	0,25	S	0,008	4,54	21,6
8	0,35	0,15	0,2	19	35	2,3	3,5	2,5	0,2	0,2	S	0,008	5,25	19,4
A	0,04			14,3	31,3	1,9	2,6	0,66	0,66	0,002	S	0,003	6,0	17,1
B	0,1			15,9	31,4	1,8	2,5	0,76	0,51	0,26	S	0,008	3,36	81,5
C	0,06	0,35	0,35	20	S	1,25	2,35				7,5		3,26	32,6
D	0,08	0,3		15	S	1,2	2,5	1			8		2,35	39,2
E	0,5	0,25	9	21	4						S		-3,5	43,8-
F	0,5	0,45	9	21	4			2		1	S		-	-
G	0,35	0,75	2,5	23	8				0,5	0,5	S		-	-

Notas da Tabela 1

* Ti+Nb

** (Ti+Nb)/C

Para Ligas C, E, F, G,

faz-se ainda referência a outros elementos

0,05 Cu para Liga C/ 1 Co para Liga E/ 0,45N para Liga F/

0,5N e 0,45N para Liga G.

Tratamento Térmico

As ligas da presente invenção requerem um tratamento em solução a 1650°F (899°C) por 30 minutos e envelhecimento a 1350°F (732°C) por quatro horas para produzir uma dureza de 36/39 HRC. A temperatura de tratamento de solução é mais baixa que a temperatura tipicamente usada para tratar em solução superligas comercialmente disponíveis incluindo Ligas A, C, D. Estas superligas tipicamente são tratadas em solução a 1950°F (1066°C) e acima, e geralmente requerem um processo de envelhecimento de duas etapas para produzir a dureza pretendida. As ligas da presente invenção podem ser envelhecidas em uma única etapa, em uma temperatura, para uma resposta de dureza adequada.

Avaliação de Micro-Estrutura

Uma micro-estrutura reagida da liga do Exemplo 4 da presente invenção tratada em solução em 1650°C (899°F) e envelhecida em 1350°F (732°C) por quatro horas é mostrada na figura 1A. A micro-estrutura reagida da Liga Comparativa A tratada em solução em 1950°C (1066°C) por três minutos e envelhecida em 1380°C (749°C) é mostrada na figura 1B. Estas micro-estruturas consistem de carbeto primários em matriz austenítica. Os carbeto primários são aqueles que precipitam durante solicitação do lingote.

Os carbeto primários transmitem resistência ao desgaste à liga. À medida que a fração de volume de carbeto primários aumenta, a resistência ao desgaste da liga também aumenta. A fração de volume de carbeto primários nas ligas do Exemplo 4 e Liga Comparativa A também é mostrada na figura 1. A fração de volume de carbeto na liga do Exemplo 4 é cerca de 2,1%. A fração de volume de carbeto da Liga Comparativa A é cerca de 0,4%.

Resistência ao Desgaste

A resistência ao desgaste abrasivo da liga foi avaliada através de um teste de desgaste abrasivo de pino, de acordo com ASTM G132. Este teste usa amostras com

diâmetro de $\frac{1}{4}$, tratadas termicamente para ganhar dureza. Uma carga de 15 libras é aplicada à amostra girando a 22 rpm. A amostra transversa 500 polegadas (12,7 m) em um modelo não-sobreposto em papel granado de malha 150. O peso da amostra tomado antes e depois do teste é usado para determinar a perda de peso por abrasão de pino. Quanto menor a perda, mais resistente ao desgaste abrasivo será a liga. Os dados são dados na Tabela 2. O Exemplo 4, mostra uma perda de peso de 93 mg, menor que das superligas, Ligas A a D. A resistência ao desgaste é diretamente relacionada à quantidade de carbeto primários na liga (e, por conseguinte, ao conteúdo de Titânio e Nióbio somados). Por exemplo, o Exemplo 4 e a Liga A têm uma fração de volume total de carbeto de cerca de 2,1% e 0,4%, respectivamente, e o Exemplo 4 apresenta maior resistência ao desgaste. O conteúdo de carbono maior da Liga A não resulta em suficiente aumento de resistência ao desgaste, como evidenciado pela perda de peso de abrasão de pino de Ligas A e B. Uma adição de Titânio e Nióbio é necessária para prover a liga de resistência ao desgaste suficiente. Os aços de válvula austeníticos comerciais Ligas E e F têm suficiente resistência ao desgaste para válvulas automotivas, por conseguinte não sendo necessário aplicar um revestimento duro. A resistência ao desgaste do Exemplo 4 é similar à resistência da Liga E, que sugere que as válvulas de exaustão fabricadas com liga similar à liga do Exemplo 4 não precisam de revestimento duro.

Tabela 2

LIGA	Tratamento Térmico	Perda de peso (mg)
Ex 4	1650°F/30 min, resfriada em água 1350°F/ 4 horas	93
B	1920°F/30 min, resfriada ao a r 1350°F/ 4 hrs	115
C	2050°F/1 hora, resfriada ao ar 1580°F/ 4 hrs, resfriada ao ar 1345°F/ 4 hrs, resfriada ao ar	100
D	2050°F/1 hora, resfriada ao ar 1580°F/ 4 hrs, resfriada ao ar 1345°F/ 4 hrs, resfriada ao ar	99
E	2150°F/1 hora, resfriada em água 1500°F/ 10 horas	94
F	2130°F/1 hora, resfriada em água 1500°F/ 10 horas	80

Resistência ao Desgaste (Válvulas de Exaustão)

Válvulas de exaustão feitas com a liga do Exemplo 3 e Ligas Comparativas D e F foram submetidas a um teste de

5 desgaste em alta temperatura. As válvulas de exaustão foram testadas em uma temperatura de face de assento de válvula de 1000°F (540°C) sob uma carga de 500-550 libras, para simular as cargas de combustão, em um motor de combustão interna de ignição por faísca.

10 As profundidades médias de desgaste (mm) foram medidas nas válvulas de exaustão do Exemplo 3 e Ligas Comparativas D e F. Os resultados na figura 2 mostram que a profundidade média de desgaste da válvula de exaustão da presente invenção é menor que das válvulas de exaustão

15 comparativas. Acredita-se que a maior resistência ao desgaste da liga da presente invenção se deve à maior dureza e à presença de carbeto primários.

Dureza a Quente

A dureza a quente é a dureza medida em uma dada

20 temperatura elevada. A dureza a quente de uma liga influencia a resistência ao desgaste do material. Quanto maior a dureza a quente, mais resistente ao desgaste será a liga. As medições de dureza a quente são tomadas à temperatura ambiente e em temperaturas entre 1100°F

25 (593°C) e 1400°F (760°C). Este teste é feito colocando

um forno em torno da amostra, e elevando a temperatura do forno para a temperatura de teste. As amostras são mantidas na temperatura de teste, por 30 minutos, para garantir aquecimento uniforme ao longo da amostra antes
5 de tomar as medições. As medições de dureza foram tomadas na escala Rockwell A (HRA). A dureza a quente das ligas da invenção e ligas comparativas que são comercialmente disponíveis, estão mostradas na figura 3. A dureza a quente da liga da invenção é maior que a dureza
10 a quente das Ligas Comparativas A, B, C, D, e muito maior que das ligas de válvula de aço austenítico E e F. A significativa diminuição na dureza a quente nos aços de válvula austeníticos se relaciona a mudanças micro-estruturais. Estes dados, ademais, indicam maior
15 resistência ao desgaste das ligas da invenção.

Resistência a Oxidação

Com o motor em operação, as válvulas de exaustão podem ser expostas a temperaturas até 1600°F (871°C), por conseguinte as válvulas de exaustão devem ser resistentes
20 à oxidação. Amostras da liga do Exemplo 2 e Liga A foram expostas a uma temperatura de 1500°F (816°C) por 500 horas. A profundidade de oxidação para liga do Exemplo 2 resultou 0,0174 em 500 horas. A profundidade de oxidação da Liga A resultou 0,0333 mm em 500 horas. Isto
25 indica que a liga do Exemplo 2 tem uma resistência a oxidação maior em relação à Liga A - uma superliga de válvula, comercialmente disponível.

Propriedades de Resistência Mecânica em Temperaturas Elevadas.

30 As propriedades de resistência mecânica em temperaturas elevadas a 1500°F (816°C) da liga do Exemplo 2 e ligas de válvula comparativas estão na Tabela 3. O limite de escoamento da liga do Exemplo 2 é maior que das Ligas A e B, e muito maior que de aços de válvula austeníticos,
35 Ligas F e G. Um limite de escoamento suficiente é necessário para evitar que a válvula se deforme com o motor em operação. O limite de escoamento das ligas da

invenção, como a liga do Exemplo 4, é maior que de ligas de válvula comparativas com base em Ferro, comercialmente disponíveis, que indica que as ligas da invenção têm resistência suficiente. A resistência à tração da liga do Exemplo 2 é maior que das Ligas B a G, e similar àquela da Liga A, que indica que as ligas da invenção podem ser submetidas a altos níveis de tensão antes de sofrerem uma falha catastrófica.

Tabela 3

LIGA	Tratamento Térmico	Dureza como tratado HRC	Resistência a Tração (816°C)			
			YS MPa	UTS MPa	%El	%Ra
EX 2	1650F/ 30 minutos Resfriado aotab ar 1350F / 4 horas	39	356	590	55	77,5
A	1950F + 1380F/ 4 hrs	31,5	256	490	22	25,9
B	1650F/ 30 minutos Resfriado ao ar 1350F/ 4 horas	37	322	601	32	72,5
C	1975F/ 8 hrs + 1300F/ 16 hrs			496	21	19
D	2100 F/ 4 hrs + 1550F/ 24 hrs 1300F/ 20 hrs		526	554	26	35,9
F	2130F + 1500 F	32,5	114	365	35	54,5
G	2130F + 1500 F		174	318	50	71,7

10 YS MPa Limite de escoamento em MPa

UTS MPa Resistência a tração em MPa

%El Alongamento em %

%Ra Razão em %

Tensão de Ruptura por Fluência

15 Uma certa resistência à fluência é necessária para evitar falhas relativas à fluência na área de filete da válvula. A tensão de fluência necessária para romper as ligas da invenção e diversas ligas comparativas em 100 horas a 1500°F (816°C) está mostrada na Tabela 4. A tensão de

20 ruptura de fluência da liga do Exemplo 2 é comparável à tensão de ruptura das Ligas A e B, e muito melhor que de aços de válvula austeníticos F e G. Os aços de válvula austeníticos têm uma resistência à ruptura por fluência

suficiente para aplicações em válvulas de exaustão para evitar falhas provocadas por fluência na área de filete da válvula. Portanto, as ligas da invenção também devem ter resistência a fluência suficiente para evitar falhas.

5 Tenacidade ao Impacto com Entalhe-U

Com o motor em operação, a face de assento de válvula impacta o inserto. Requer-se uma tenacidade suficiente para evitar a formação de trincas na face do assento. Testou-se a tenacidade ao impacto com entalhe-U (especificação JIS Z2202) da liga do Exemplo 2 e diversas ligas comparativas depois de sofrerem um tratamento térmico e uma exposição de 400 horas a 1472°F (800°C). Os resultados estão na Tabela 4. Depois de exposição de 400 horas, as superligas da invenção, como mostrado no Exemplo 2, apresentaram uma tenacidade ao impacto muito melhor que da Liga F, e similar àquela da Liga A. Os resultados, ademais, mostraram que a tenacidade das ligas da invenção é adequada para aços de válvulas de automoveis.

20

Tabela 4

Liga	Tratamento Térmico	Rup. de Fluência 100Hrs/ 1600F	Tenacidade		Dureza Após 800C/ 400H HRC
			Tratado J/cm2	800C/400H J/cm2	
Ex 2	1650F/ 30 minutos Resfriado ao ar 1350F / 4 horas	158	88	56	33
A	1950F + 1380F/ 4 hrs	168	108	55	32
B	1650F/ 30 minutos Resfriado ao ar 1350F/ 4 horas	167	151	ran100	31,5
C	1975F/ 8 hrs + 1300F/ 16 hrs	196		76	29,5
D	2100 F/ 4 hrs + 1550F/ 24 hrs 1300F/ 20 hrs	205		114	28
F	2130F + 1500 F	120	13	12	32,5
G	2130F + 1500 F	107			

Resistência à Fadiga

A resistência à fadiga é necessária para impedir falhas relativas à fadiga na área de filete da haste de uma válvula. Testes de fadiga rotativos foram conduzidos em ligas da invenção e Ligas A, B, D a 1500°F (816°C) em 10⁸ ciclos com tensões de 25 a 45 ksi. Os resultados estão mostrados na figura 4. A resistência à fadiga da liga do Exemplo 3 da invenção é pouco melhor que das Ligas A e B. Por conseguinte, as ligas da invenção como exemplificado no Exemplo 3, tem uma resistência à fadiga suficiente para válvulas automotivas. Os limites de resistência à fadiga da liga do Exemplo 3 e das Ligas Comparativas B e D a 1600°F (871°C) em 10⁸ ciclos, estão mostrados na figura 5. Nesta temperatura, a resistência à fadiga da liga do Exemplo 3 é melhor que da Liga Comparativa B.

As ligas da presente invenção podem ser usadas para produzir válvulas de motores. Em uma configuração, provê-se uma válvula de motor compreendendo uma liga que essencialmente consiste de 0.15% a 0.35% de C; até 1% de Si; até 1% de Mn; mais que 25% a menos que 40% Ni; 15% a 25% de Cr; até 0.5% de Mo; até 0.5% W; mais que 1.6% a 3% de Al; 1% a 3.5% de Ti; e mais que 1,1% a 3% de Nb e Ta somados; até 0,015B, e o saldo remanescente de Ferro e impurezas inevitáveis. A liga de válvula de motor pode conter elementos que satisfaçam a seguinte equação: $Mo + 0.5W \leq 0,75$ com base em porcentagem em peso dos elementos na liga. A liga pode conter carbeto contendo elementos de Titânio e Nióbio em quantidades de acordo com as equações: $Ti + Nb \geq 4,5\%$ e $13 \leq (Ti + Nb) / C \leq 50$, com base em porcentagem em peso.

Resistência a desgaste de válvulas de exaustão.

Válvulas de exaustão feitas com a liga do Exemplo 3 foram submetidas a 100 horas de dinamômetro em motor V8 a gasolina e 500 horas de dinamômetro em motor diesel para serviço pesado, mostrando uma resistência ao desgaste aceitável em cada teste.

Conquanto a invenção tenha sido explicada em relação

às configurações preferidas, deve ser entendido que várias modificações serão aparentes àqueles habilitados na técnica a partir de uma leitura minuciosa desta especificação. Por conseguinte, deve ser entendido que

5 a invenção descrita aqui pretende cobrir as modificações que caiam dentro do escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

- 1- Liga resistente a desgaste, caracterizada pelo fato de consistir essencialmente, em porcentagem em peso, de 0.15% a 0.35% C; até 1% de Si; até 1% de Mn; mais que
 5 25% a menos que 40% de Ni; 15% to 25% de Cr; até 0.5% de Mo; até 0.5% de W; mais que 1.6% a 3% de Al; 1% a 3.5% de Ti; e o saldo remanescente de Fe e impurezas; onde $Mo+0.5W \leq 0,75\%$; $Ti+Nb \geq 4.5\%$ e $13 \leq (Ti+Nb)/C \leq 50$, com base em porcentagem em peso.
- 10 2- Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de os seguintes elementos serem encontrados nas seguintes quantidades: mais que 0.15% a 0.3% de C; 1.7% a 2.5% de Nb e Ta somados (em porcentagem em peso).
- 3- Liga, de acordo com a reivindicação 2, caracterizada
 15 pelo fato os elementos W, Mo, V não serem encontrados na liga em quantidade maior que de impurezas inevitáveis.
- 4- Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato a fração de volume de carbeto primário total ser maior que 1% até 4%.
- 20 5- Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato a liga ter uma boa resistência ao desgaste de pino, que é medida por uma perda de desgaste por abrasão de pino menor que 100 mg após tratamento e envelhecimento da solução.
- 25 6- Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato os elementos da liga satisfazerem a equação:
 $15 < (Ti + Nb)/C \leq 35$, com base em porcentagem em peso.
- 7- Liga, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato os elementos da liga satisfazerem a equação:
 30 $17 \leq (Ti + Nb)/C \leq 30$, com base em porcentagem em peso.
- 8- Liga resistente a desgaste, caracterizada pelo fato de consistir essencialmente de, em porcentagem em peso, mais que 0.15% a 0.35% de C; até 1% de Si; até 1% de Mn; mais que 25% a menos que 40% de Ni; 15% a 25% de Cr;
 35 até 0.5% de Mo; até 0.5% de W; mais que 1.6% a 3% de Al; 1% a 3.5% de Ti; mais que 1.1% a 3% de Nb e Ta somados; até 0.015% de B; e o saldo remanescente de Fe e impurezas

inevitáveis; e $Ti+Nb \geq 4.5\%$ e $13 \leq (Ti+Nb)/C \leq 50$, com base em porcentagem em peso.

- 9- Liga, de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de os elementos W e Mo não serem encontrados na
5 liga em quantidade maior que das impurezas inevitáveis.
- 10- Liga, de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de os elementos da liga satisfazerem a equação $15 \leq (Ti+Nb)/C \leq 35$, com base em porcentagem em peso.
- 10 11- Liga, de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de os elementos da liga satisfazerem a equação $17 \leq (Ti+Nb)/C \leq 30$, com base em porcentagem em peso.
- 12- Válvula de motor para automóvel, caracterizada pelo fato de compreender uma liga consistindo essencialmente em porcentagem em peso: 0.15% até 0.35% de C; até 1% de
15 Si; até 1% de Mn; mais que 25% a menos que 40% de Ni; 15% a 25% de Cr; até 0.5% de Mo; até 0.5% de W; mais que 1.6% a 3% de Al; 1% a 3.5% de Ti; mais que 1.1% a 3% de Nb e Ta somados; até 0.015% de B; e o saldo de Fe e impurezas; onde $M+0.5W \leq 0.75\%$; $Ti+Nb \geq 4.5\%$ e $13 \leq (Ti+Nb)/C \leq 50$, com
20 base em porcentagem em peso.
- 13- Válvula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de os seguintes elementos serem encontrados na liga nas seguintes quantidades: mais que 0.15% a 0.3% de C; 1.7% a 2.5% de Nb e Ta somados.
- 25 14- Válvula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de os elementos W, Mo e V não serem encontrados na liga em quantidades maiores que de impurezas inevitáveis.
- 15- Válvula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de a fração de volume de carvão primário da liga ser mais que 1% até 4%.
- 30 16- Válvula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de os elementos da liga satisfazerem a equação $15 \leq (Ti+Nb)/C \leq 35$, com base em porcentagem em peso.
- 35 17- Válvula, de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de os elementos da liga

satisfazerem a equação $17 \leq (Ti+Nb)/C \leq 30$, com base em porcentagem em peso.

1/3

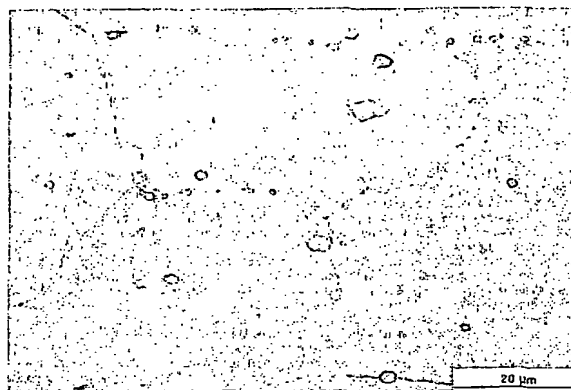


FIG.1A

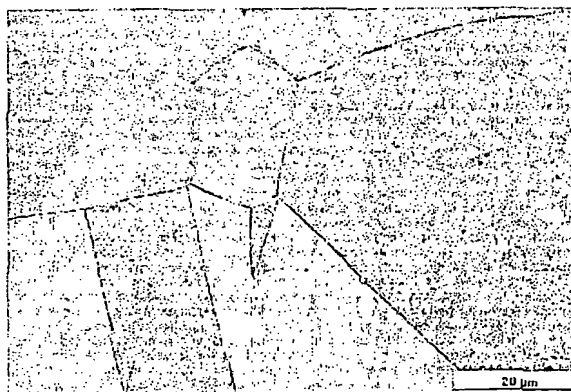


FIG.1B

2/3

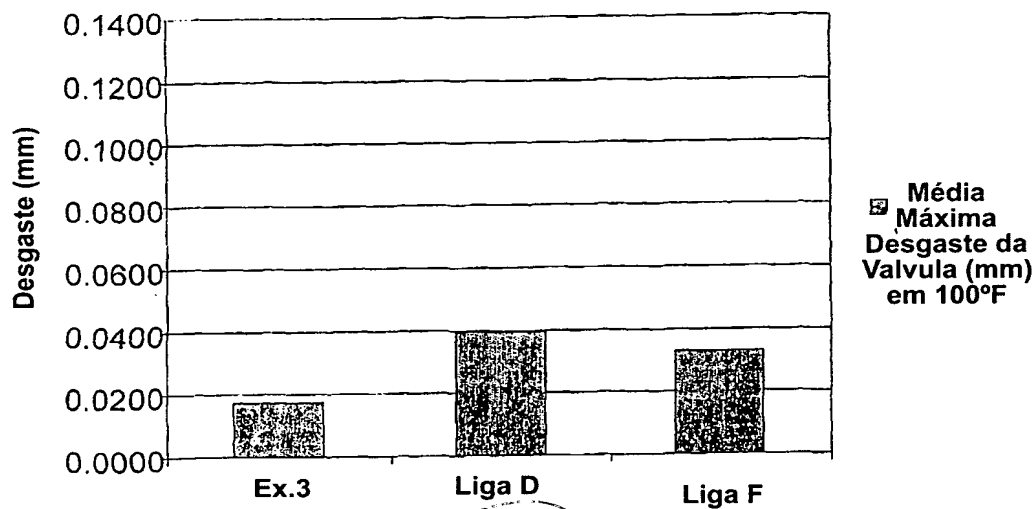


FIG.2

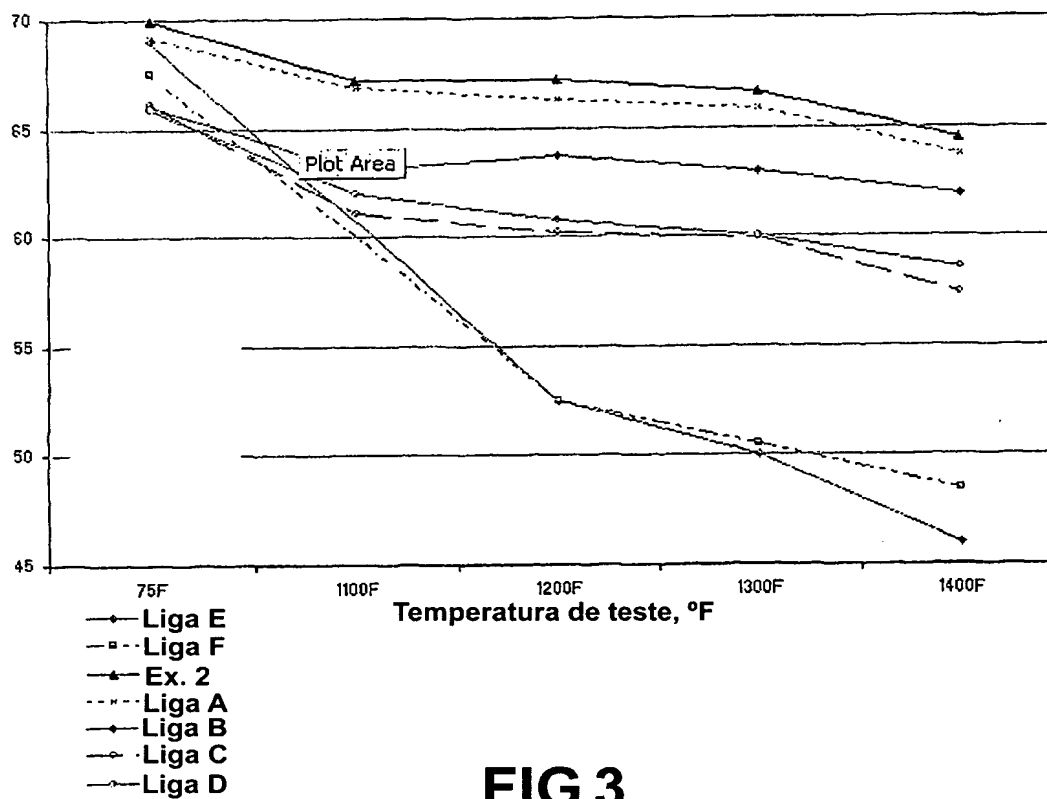


FIG.3

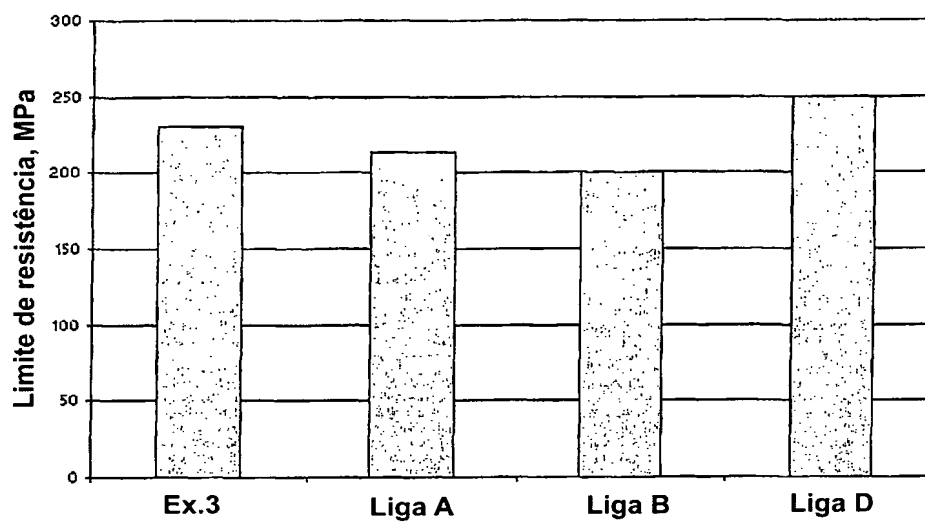


FIG.4

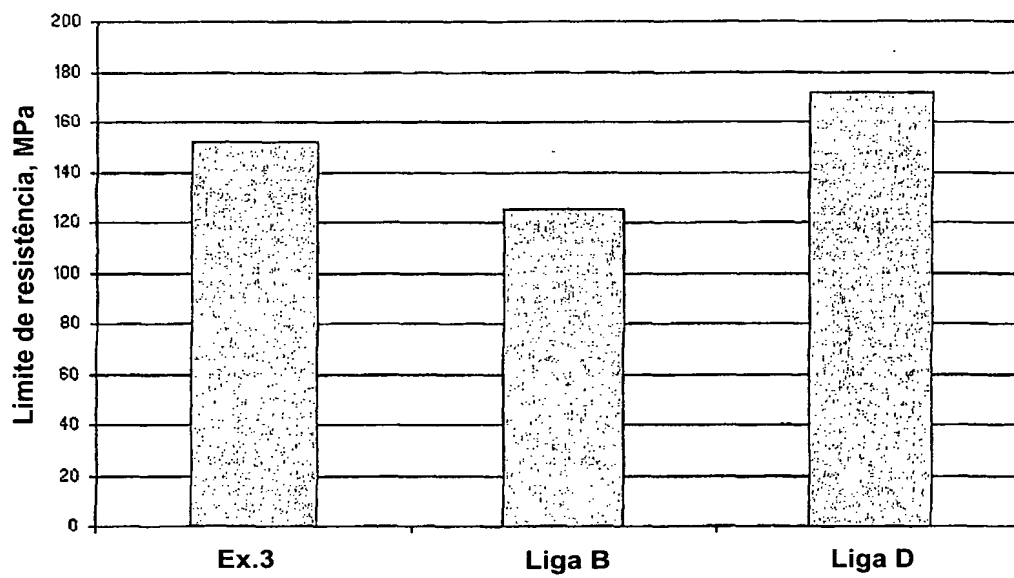


FIG.5

RESUMO

"LIGA RESISTENTE A DESGASTE E VÁLVULA DE MOTOR PARA AUTOMÓVEL".

A presente invenção provê uma liga baseada em Ferro-
5 Níquel, com maior resistência a desgaste em altas temperaturas em relação superligas baseadas em Níquel. A liga sendo particularmente útil para fabricar válvulas de exaustão, e outros componentes de motores de combustão interna submetidos à corrosão, desgaste, e oxidação.