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

(11) **PI 0716492-0 B1**

(22) Data do Depósito: 07/05/2007

(45) Data de Concessão: 11/09/2018

(54) Título: MATERIAL DE AÇO ALTAMENTE SILICIOFERROSO

(51) Int.Cl.: C22C 37/00; C22C 38/02

(30) Prioridade Unionista: 17/08/2006 DE 102006038670.1

(73) Titular(es): FEDERAL-MOGUL BURSCHEID GMBH

(72) Inventor(es): LASZLO PELSOECZY

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/02/2009

"MATERIAL DE AÇO ALTAMENTE SILICIOFERROSO"

RELATÓRIO DESCRITIVO

1. A presente invenção relaciona-se com um material de aço fundido de liga de silício que é , com maior preferência, apropriado para anéis de pistão e revestimentos de cilindro. A invenção relaciona-se, além disso, com anéis de pistão e revestimentos de cilindro que compreendem esse material de aço como fundição. A invenção relaciona-se, além disso, com um método de fabrico de um material de aço de liga de silício.

2. Os anéis de pistão lacram o intervalo que existe entre a cabeça do pistão e a parede do cilindro contra a câmara de combustão. Durante o movimento do pistão para cima e para baixo, o anel de pistão, por um lado, desliza com a sua face circunferencial exterior em contato continuamente resiliente contra a parede de cilindro, por outro lado o anel de pistão, devido aos movimentos de desvio do pistão, desliza em sua fenda de anel de pistão de uma maneira oscilante, em que os seus flancos alternadamente contatam o flanco de fenda superior ou inferior da ranhura do anel de pistão. Com os companheiros deslizantes, cada um dos quais se desloca contra o outro, ocorre desgaste mais ou menos severo como função do material, cujo desgaste após operação a seco pode conduzir às assim chamadas retenções, estrias e finalmente destruição do motor. A fim de melhorar o comportamento de deslizamento e desgaste dos anéis de pistão em relação à parede do cilindro, o último foi provido de revestimentos de vários materiais sobre a sua superfície circunferencial.

3. Para fabricar partes de motores de combustão interna sujeitos a cargas altas tais como, por exemplo, anéis de pistão, são mais usados materiais de ferro fundido ou ligas de ferro fundido. Em motores sujeitos a cargas elevadas, os anéis de pistão, com maior preferência, anéis de compressão, são sujeitos a cargas crescentes entre esta pressão de pico de compressão, temperatura de combustão, EGR, redução

de filme de lubrificação que influencia decisivamente as suas características operacionais tais como desgaste, resistência à explosão, microssolda e resistência à corrosão.

4. Por exemplo, DE 3717297 descreve um anel de pistão de ferro fundido como material exclusivo com ferro fundido solidificado branco apenas numa região em sua superfície circunferencial exterior causada através da exposição do material de ferro fundido a radiação de elevada densidade de energia e com região intermediária termicamente carregada formada entre o metal de base de ferro fundido e a região solidificada branca.

5. A EP 0821 073 descreve uma liga de ferro fundido com estrutura perlítica e precipitações de grafita esférica e vermicular que, em razão dos valores de resistência, que também são resistentes a temperaturas altas, pode ser usada com maior preferência para aplicações em anéis de pistão.

6. Os materiais de ferro fundido de acordo com a técnica anterior, porém, têm um alto risco de fratura de forma que, quando se usa materiais correntes ocorrem frequentemente fraturas de anel. Cargas mecânico-dinâmicas aumentadas resultam em menores períodos de vida dos anéis de pistão ou revestimentos de cilindro. Ocorre igualmente desgaste intensivo e corrosão sobre a superfície de deslocamento e o flanco.

7. Pressões de ignição mais elevadas, emissões reduzidas, assim como também injeção direta de combustível significam cargas crescentes para os anéis de pistão. A consequência são danos e formação de placas do material de pistão principalmente sobre o flanco do anel de pistão inferior.

8. Em razão das cargas mecânicas e dinâmicas mais elevadas dos anéis de pistão sempre mais fabricantes de motores exigem anéis de pistão de aço de alta qualidade (temperados e de ligas altas tais como, por exemplo, material 1.4112). Os materiais de ferro com menos do que 2,08% em peso de carbono são designados como aço. Se o conteúdo de

carbono for mais alto, é chamado de ferro fundido. Os materiais de aço têm melhores propriedades de resistência e dureza visto que não existe nenhuma interferência através da grafita livre na estrutura básica.

9. Os aços martensíticos de ligas de alto cromo são principalmente usados para a produção de anéis de pistão de aço. Todavia, o uso destes aços tem a desvantagem de que os custos de fabrico comparados com componentes de ferro fundido são significativamente mais elevados. Visto que o aço é comprado como cabo (material analiticamente definido) a partir de fornecedores externos com despesas relativamente grandes, menor valor agregado é alcançado.

10. Os anéis de pistão de aço são fabricados a partir de cabos de perfil. O cabo de perfil fornecido é enrolado em bobinas, cortado aberto e puxado sobre um mandril "não redondo". Neste mandril, o anel de pistão recebe o seu formato pretendido fora do redondo através de um processo de tratamento térmico, como resultado do que as forças tangenciais exigidas são configuradas. Uma desvantagem adicional do fabrico de anéis de pistão de aço é, a partir de um certo diâmetro, o fabrico do anel (enrolamento) a partir de cabo de aço não é mais possível. Em contraste, os anéis de pistão de ferro fundido já são fundidos fora do redondo de maneira que eles têm um formato ideal desde o início.

11. Vantagens adicionais deste método de fabrico de anéis de pistão de aço são a dependência dos fornecedores (visto são apenas alguns) e a inflexibilidade em termos de mudanças de material e composição química.

12. O ferro fundido tem uma temperatura de fusão substancialmente inferior à do aço. Dependendo da composição química, a diferença pode montar a tanto quanto 350°C. O ferro fundido é, deste modo, mais fácil de fundir e conformar visto uma temperatura de fusão mais baixa significa uma temperatura de conformação mais baixa e, deste modo, menos contração devido ao arrefecimento, como resultado do que o material fundido compreende menos orifícios de queima assim como

também calor e fraturas (*cracks*) a frio. Uma temperatura de fundição mais baixa resulta, além disso, em menos carga sobre o material do molde (erosão, porosidades do gás, inclusões de areia) e o forno, assim como também custos de fundição mais baixos.

13. O objetivo da presente invenção, portanto, é tornar disponível um material de aço que, por ser fabricado por fundição por gravidade, excede as propriedades do ferro fundido temperado com grafita esférica em pelo menos um dos seguintes pontos:

14. Propriedades mecânicas tais como o módulo de elasticidade, resistência ao encurvamento.

15. - Resistência a fraturas

16. - Resistência à fadiga

17. - Desgaste dos flancos

18. - Desgaste sobre a superfície de deslocamento.

19. Além disso, o material de aço deve ser apropriado para o fabrico a custo efetivo com as técnicas que são também empregadas para o fabrico de ferro fundido.

20. De acordo com a invenção, o objetivo é resolvido através de um material de ferro fundido de acordo com a Reivindicação 1, um anel de pistão de acordo com a Reivindicação 5, um revestimento de cilindro de acordo com a Reivindicação 7 e um método de acordo com a Reivindicação 9. As modalidades vantajosas da invenção estão contidas nas subreivindicações.

21. A temperatura de fusão do material de ferro não só depende do seu conteúdo de carbono, mas também do "grau de saturação". Aplica-se a fórmula simplificada:

$$S_e=C/(4.26-1/3(Si+P)$$

22. Quanto mais próximo de 1 estiver o grau de saturação, tanto mais baixa é a temperatura de fusão. Com o ferro fundido, o alvo é principalmente um grau de saturação de 1,0, quando o ferro fundido tiver uma temperatura de fusão de 1.150°C. O grau de saturação de

aço é de aproximadamente 0,18 dependendo da composição química. O aço eutético tem uma temperatura de fusão de 1.500°C.

23. O grau de saturação pode ser significativamente influenciado pelo teor de Si e/ou P. Por exemplo, um conteúdo de silício que seja mais alto em aproximadamente 3% em peso tem um efeito semelhante àquele de um conteúdo de C que seja mais elevado em 1% em peso. É, deste modo, possível produzir um material de aço com um conteúdo de C de 1% em peso e 9,78% em peso de silício, que tem a mesma temperatura de fusão que o ferro fundido com um grau de saturação de 1,0 (C:3,26 % em peso, Si:3,0 % em peso).

24. Através do aumento drástico do conteúdo de Si, o grau de saturação do material de aço é aumentado e a temperatura de fusão baixada para o nível do ferro fundido. Deste modo, é possível produzir aço com ajuda da técnica que é também usada para o fabrico do ferro fundido, por exemplo, GOE44.

25. O silício presente em quantidades mais elevadas influencia a capacidade de endurecimento do material negativamente, visto que a temperatura de conversão da austenita "Ac3" é aumentada. De acordo com a invenção, o níquel é adicionado contra este "efeito de silício" negativo, que, à medida que o agente de formação de austenita expande a área gama e desloca o Ac3 para baixo, como resultado do que se torna possível o endurecimento do aço altamente silicioferroso.

26. Um material de aço de acordo com a invenção é caracterizado pela seguinte composição em % em peso:

C: de 0,5 a 1,2

Si: de 5,91 a 15,0

Ni: de 0,5 a 4,5

P: de 0 a 0,035

S: de 0 a 0,035

Cr: de 0 a 3,0

W (tungstênio) : ausente - 0

restante: Fe e contaminações devidas ao fabrico.

27. É preferível que, além disso, pelo menos um dos componentes de liga de Mo, Mn, Al, Co, Cu, Cr, Nb, Ti, V, Sn ou Mg fique contido no material de aço na quantidade correspondente listada em % em peso:

Mo:	de 0 a 0,5	Nb:	de 0 a 0,01
Mn:	de 0 a 1,0	Ti:	de 0 a 0,05
Al:	de 0 a 0,05	V:	de 0 a 0,05
Co:	de 0 a 0,05	Sn:	de 0 a 0,05
Cu:	de 0 a 0,1	Mg:	de 0 a 0,01

28. O material de aço pode conter, além disso, pelo menos um elemento que seja selecionado do grupo que consiste em tântalo, boro, telúrio ou bismuto ou suas combinações, com maior preferência, numa quantidade de até 0,1% em peso.

29. Além disso, o material de aço pode conter pelo menos um material aditivo que seja selecionado do grupo que consiste em alumínio, zircônio, antimônio, cálcio, estrôncio, lantânio, cério, metais de terras raras ou suas combinações, de preferência numa quantidade de até 1% em peso.

30. Os metais de terras raras, tais como NiMg, NiSiMg, FeMg ou FeSiMg, são também utilizados como agentes de formação de núcleos e/ou para desoxidação. É particularmente preferida a adição de FeSiMg. Os metais de terras raras também englobam misturas de lantanoides com óxidos de outros metais. Estes elementos e materiais aditivos podem ser contaminações devidas ao fabrico ou ser adicionadas

à fusão durante o método de fabrico do material de aço de acordo com a invenção.

31. Os teores são contidos de tal maneira que a soma de todos os materiais de partida mencionados ou não explicitamente mencionados, partes de componentes, materiais de conteúdo, elementos, materiais aditivos sempre produzem 100% em peso. A proporção de materiais de partida, partes de componentes, materiais de conteúdo, elementos e materiais aditivos pode ser configurada por vários métodos conhecidos da pessoa qualificada na técnica. A composição química é, com maior preferência, configurada como função da peça de trabalho a ser fabricada.

32. É preferível que pelo menos uma das partes dos componentes de liga C, Si, Ni, P, S, Mo, Mn, Al, Co, Cu, Cr, Nb, Ti, V, Sn ou Mg fique contida no material de aço na quantidade correspondente listada em % em peso:

C: de 0,5 a 1,2	Mo:	de 0,1 a 0,5	Nb:	de 0 a 0,005
Si: de 5,91 a 10,0	Mn:	de 0,1 a 0,5	Ti:	de 0 a 0,01
Ni: de 2,0 a 3,5	Al:	de 0 a 0,01	V:	de 0 a 0,05
P: de 0 a 0,02	Co:	de 0 a 0,02	Sn:	de 0 a 0,05
S: de 0 a 0,03	Cu:	de 0 a 0,05	Mg:	de 0 a 0,01

33. O material de aço de acordo com a presente invenção é, com maior preferência, apropriado para o fabrico de anéis de pistão e/ou revestimentos de cilindro. Os anéis de pistão e revestimentos de cilindro fabricados são preferivelmente revestidos no flanco e/ou superfícies de curso.

34. O material de aço de acordo com a invenção reduz a propensão das peças de trabalho fabricadas a partir dele de mudarem o seu formato sob calor intenso e, deste modo, assegura uma eficiência continua-

mente elevada e, além disso, reduz o consumo de óleo. Em razão de suas excelentes propriedades, o material de aço de acordo com a invenção é, assim, apropriado para o fabrico de anéis de pistão na área automotiva e LB ou para anéis e guias de sede de válvula. Além disto, pode ser usado para fabricar vedações de mecanismos de curso, (do LWD), placas de retaguarda para blocos de freio de freios de disco bem como também anéis para unidades de arrefecimento, bicos de bomba, assim como também revestimentos de cilindro e dispositivos protetores, assim como também partes para a indústria química.

35. O material de aço de acordo com a invenção tem, além disso, a vantagem de que fica possível o fabrico, por exemplo, de anéis de pistão de aço e revestimentos de cilindro com as máquinas e tecnologias necessárias para o fabrico de peças de trabalho de ferro fundido. Além de, os custos industriais correspondem àqueles dos anéis de pistão de ferro fundido ou revestimentos de cilindro, que oferecem ao fabricante uma vantagem de custo e valor agregado melhorado. Os parâmetros materiais podem ser igualmente liberados do fornecedor.

36. De acordo com a invenção, é adicionalmente fornecido um método para o fabrico de um material de aço em que um fundido compreende de preferência as composições químicas mencionadas acima.

37. Durante o processo de fusão num forno, preferencialmente um forno de cúpula, a composição química do fundido é adaptada conforme exigido pela adição de ligas. A temperatura de vazamento do fundido está entre 1.480 e 1.640°C. As propriedades do fundido podem ser controladas mesmo antes da fundição ou durante a fundição por inoculação do fundido. De preferência, são empregados 650g de FeSiMg e/ou 130g de Al e/ou 650g de FeSiZr para cada 130 kg de fundido como agente de formação de núcleos.

38. Subsequente a isto, é produzido um fundido sujeito à solidificação do fundido. Aqui, o fundido pode ser fundido com os métodos conhecidos do estado da técnica, como, por exemplo, fundição centrífuga, fundição contínua, método da prensagem de vedação, formação de

croning (envelhecimento) ou *greensand* como branco único ou múltiplo, subsequentemente tratado termicamente e, além disso, processado num anel de pistão ou um revestimento de cilindro. Com base no propósito pretendido do fundido e com ajuda de seu *know-how* geral técnico, a pessoa qualificada na técnica escolherá o método apropriado.

39. Preferencialmente, o tratamento de calor compreende a austenitização do material de aço a 900 a 1.000°C por uma hora, têmpera do material de aço em óleo ou outro meio de arrefecimento apropriado e recozimento do material de aço de 420 a 470°C por uma hora.

40. O exemplo seguinte explica a invenção sem a restringir.

Exemplo

(de acordo com a invenção).

41. Aplicando o método de acordo com a invenção, é produzido um material tendo a seguinte composição (% em peso):

C: 1.05	Mo:	0,487	Nb:	0,0027
Si: 5,91	Mn: 0,464		Ti:	0,0074
Ni: 2,94	Al:	0,0082	V:	0,0148
P: 0,0171	Co:	0,0141	Sn:	0,0082
S: 0,0285	Cu:	0,0433	W:	0
Cr: 0,0331				

restante: Fe e contaminações devidas ao fabrico.

42. A temperatura de vazamento é de 1.560°C. A temperatura de fundição é de 1.448°C. O fundido é inoculado com 650 g de FeSiMg para cada 130 kg de fundido. A Tabela 1 MO fundido mostra as propriedades mecânicas do branco de acordo com a invenção no estado

temperado.

43. Nas Figuras, mostra-se:

44. **Figura 1** - um detalhe aumentado (100:1) de um material produzido com o método de acordo com a invenção;

45. **Figura** 2 - um detalhe aumentado (500:1) do material da Figura 1;

46. **Figura** 3 - um detalhe aumentado (1.000:1) do material da Figura 1.

Tabela 1

Propriedades Mecânicas no Estado Temperado

(de acordo com a DIN EN 10083-1, 10/96)

Diâmetro [mm]	<16	>16-40	>40-100	>100-160	*>160-250*
Espessura [mm]	<8	8<t<20	20<t<60	60<t<100	*100<t<160*
Ponto de Rendimento Re [N/mm2)	min.900	min.750	min. 650	min. 550	*min. 500*
Resistência tênsil RM [N/mm^2]	*1.100 - 1.000*	*900 - 1.200*	*900 - 1.100*	*750 - 950*	*1.400 - 1.300*

Alongamento à Rotura A [%]	min. 9	min. 10	min. 11	min. 12	min. 13
Constrição da Fratura Z %	min. 40	min. 45	min. 50	min. 50	*min. 55*
Trabalho de impacto de Entalhe ISO-V (J)	*min. 30*	*min. 35*	*min. 35*	*min. 35*	*min. 35*

REIVINDICAÇÕES

1 - Material de Aço Altamente Silicioferroso, com maior preferência, para anéis de pistão e revestimentos de cilindro, **caracterizado** pela seguinte composição em % em peso:

C: de 0,5 a 1,2

Si: de 5,91 a 15,0

Ni: de 0,5 a 4,5

P: de 0 a 0,035

S: de 0 a 0,035

Cr: de 0 a 3,0

W (tungstênio): ausente - 0

restante: Fe e impurezas;

e pelo menos um dos componentes de liga, selecionado do grupo que consiste em:

Mo:	de 0 a 0,5	Nb:	de 0 a 0,01
Mn:	de 0 a 1,0	Ti:	de 0 a 0,05
Al:	de 0 a 0,05	V:	de 0 a 0,05
Co:	de 0 a 0,05	Sn:	de 0 a 0,05
Cu:	de 0 a 0,1	Mg:	de 0 a 0,01.

2 - Material de Aço Altamente Silicioferroso, com maior preferência, para anéis de pistão e revestimentos de cilindro, de acordo com a

Reivindicação 1, **caracterizado** por que pelo menos um dos componentes de liga, selecionado do grupo que consiste em C, Si, Ni, P, S, Mo, Mn, Al, Co, Cu, Cr, Nb, Ti, V, Sn e Mg é contido no material de aço na quantidade correspondente listada em % em peso

C: de 0,5 a 1,2	Mo: de 0,1 a 0,5	Nb: de 0 a 0,005
Si: de 5,91 a 10,0	Mn: de 0,1 a 0,5	Ti: de 0 a 0,01
Ni: de 2,0 a 3,5	Al: de 0 a 0,01	V: de 0 a 0,05
P: de 0 a 0,02	Co: de 0 a 0,02	Sn: de 0 a 0,05
S: de 0 a 0,03	Cu: de 0 a 0,05	Mg: de 0 a 0,01

3 - Material de Aço Altamente Silicioferroso, com maior preferência, para anéis de pistão e revestimentos de cilindro, de acordo com qualquer das Reivindicações precedentes, **caracterizado** por que, além disso, contém pelo menos um elemento numa quantidade de até 0,1% em peso cada, selecionado do grupo que consiste em tântalo, boro, telúrio e bismuto.

4 - Material de Aço Altamente Silicioferroso, com maior preferência, para anéis de pistão e revestimentos de cilindro, de acordo com qualquer das Reivindicações precedentes, **caracterizado** por que, além disso, contém pelo menos um material aditivo numa quantidade de até 1% em peso cada, selecionado do grupo que consiste em alumínio, zircônio, antimônio, cálcio, estrôncio, lantânio, cério, metais de terras raras, NiMg, NiSiMg, FeMg e FeSiMg.

5 - Material de Aço Altamente Silicioferroso, de acordo com a Reivindicação 1, **caracterizado** por que o anel de pistão é, além disso, revestido sobre o flanco e/ou superfícies de curso.

6 - Material de Aço Altamente Silicioferroso, de acordo com a Reivin-

dicação 1, **caracterizado** por que o revestimento de cilindro é, além disso, revestido sobre as superfícies de curso.

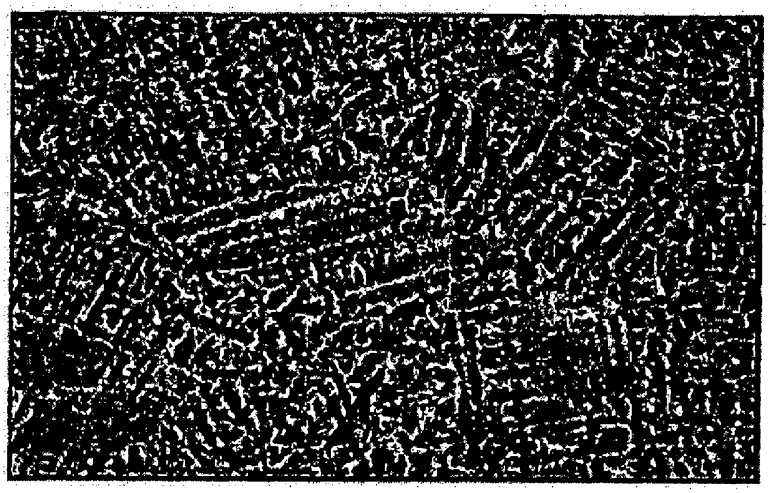


Figura 1



Figura 2



Figura 3