



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial



## CARTA PATENTE N.º PI 0603394-6

*Patente de Invenção*

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito : PI 0603394-6

(22) Data do Depósito : 22/08/2006

(43) Data da Publicação do Pedido : 24/04/2007

(51) Classificação Internacional : C22C 21/08; C22C 21/06; C22C 1/00

(30) Prioridade Unionista : 22/08/2005 CH 1371/05

(54) Título : LIGA DE ALUMÍNIO RESISTENTE AO CALOR

(73) Titular : ALUMINIUM RHEINFELDEN GMBH, Sociedade Alemã. Endereço: Friedrichstrasse 80, D-79618 Rheinfelden, Alemanha (DE).

(72) Inventor : RÜDIGER FRANKE. Endereço: Theodor-Heuss-Strasse 70, D-79539 Lörrach, Alemanha.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 22/08/2006, observadas as condições legais.

Expedida em : 29 de Julho de 2014.

Assinado digitalmente por  
Júlio César Castelo Branco Reis Moreira  
Diretor de Patentes



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"LIGA DE ALUMÍNIO RESISTENTE AO CALOR"**.

A presente invenção refere-se a uma liga de alumínio do tipo AlMgSi com boa resistência à fadiga térmica para preparação de peças de fundição mecanicamente exigidas.

O aperfeiçoamento de motores a diesel com o objetivo de uma combustão aperfeiçoada do combustível diesel e uma potência específica elevada leva, entre outros, a uma pressão de explosão mais elevada e, em consequência, a uma carga mecânica atuante pulsante no bloco do cilindro, o que lança as mais altas exigências sobre o material. Além de uma elevada resistência à fadiga, uma resistência a trocas a elevadas temperaturas do material é uma outra condição prévia para seu emprego na preparação de blocos de cilindro.

Para peças constituintes termicamente submetidas a esforço, hoje em dia, são usualmente empregadas ligas de AlSi, sendo que a resistência térmica é alcançada por ligas de Cu. Cobre todavia também aumenta a tendência à fissura por calor e atua negativamente na capacidade de fundição. Empregos, nos quais é particularmente exigida uma resistência a calor, encontram-se principalmente no âmbito da cabeça do cilindro na construção de automóveis, ver por exemplo F. J. Feikus, "Optimierung von Aluminium-Silicium-Gusslegierungen für Zylinderköpfe", Prática de Fundição, 1999, caderno 2, páginas 50-57.

Da US-A-3 868 250 é conhecida uma liga de AlMgSi resistente ao calor para preparação de cabeças de cilindro. A liga contém, ao lado dos aditivos usuais, 0,6 até 4,5% em peso de Si, 2,5 até 11% em peso de Mg, e disto 1 até 4,5% em peso de Mg livre, e 0,6 até 1,8% em peso de Mn.

A WO-A- 9615281 descreve uma liga de alumínio com 3,0 até 6,0% em peso de Mg, 1,4 até 3,5% em peso de Si, 0,5 até 2,0% em peso de Mn, no máximo 0,15% em peso de Fe, no máximo 0,2% em peso de Ti e alumínio como restante, com outras impurezas individuais no máximo 0,02% em peso, no total no máximo 0,2% em peso. A liga é apropriada para preparação de constituintes com elevadas exigências quanto às propriedades me-

cânicas. O processamento da liga ocorre de preferência por fundição sob pressão, tixofundição ou tixoforja.

Da WO-A-0043560 é conhecida uma liga de alumínio semelhante para preparação de peças de segurança no processo de fundição sob pressão, processo de fundição por squeeze, processo de tixoformação ou processo de tixoforja. A liga contém 2,5 - 7,0% em peso de Mg, 1,0 - 3,0% em peso de Si, 0,3 - 0,49% em peso de Mn, 0,1 - 0,3% em peso de Cr, no máximo 0,15% em peso de Ti, no máximo 0,15% em peso de Ti, no máximo 0,15% em peso de Fe, no máximo 0,00005% em peso de Ca, no máximo 0,00005% em peso de Na, no máximo 0,0002% em peso de P, demais impurezas individuais no máximo 0,02% em peso e alumínio como restante.

Uma liga de fundição conhecida da EP-A- 1 234 893 do tipo AlMgSi contém 3,0 até 7,0% em peso de Mg, 1,7 até 3,0% em peso de Si, 0,2 até 0,48% em peso de Mn, 0,15 até 0,35% em peso de Fe, 0,2% em peso de Ti, à escolha ainda de 0,1 até 0,4% em peso de Ni, assim como alumínio como resíduo e impurezas inerentes ao individuais de no máximo 0,02% em peso, no máximo no total 0,2% em peso, com a outra condição de que magnésio e silício na liga estejam presentes essencialmente em uma proporção em peso de Mg : Si de 1,7 : 1 relativamente à composição do eutético quase-binário com as fases sólidas Al e Mg<sub>2</sub>Si. A liga é apropriada para preparação de peças de segurança na construção de automóveis por fundição sob pressão, reofundição e tixofundição.

A invenção tem como base a tarefa de obter uma liga de alumínio com boa resistência térmica para preparação de peças constituintes termicamente e mecanicamente exigidas. A liga deve sobretudo ser apropriada para a fundição sob pressão, mas também para a fundição em coquilha por força de gravidade, a fundição em coquilha por baixa pressão e a fundição em areia também são apropriadas.

Um objeto especial da invenção é a preparação de uma liga de alumínio para os blocos do cilindro de motores de combustão preparados pelo processo de fundição sob pressão, particularmente motores a diesel.

Os componentes vertidos da liga devem apresentar uma elevada

resistência no composto com elevada ductilidade. As propriedades mecânicas desejadas nas peças de construção são como definidas a seguir:

Limite de estiramento:  $R_p 0,2 > 170 \text{ MPa}$

Resistência à tração  $R_m > 230 \text{ MPa}$

5 Alongamento até a ruptura  $A_5 > 6\%$

A entornabilidade da liga deveria ser comparável com as ligas de fundição AlSiCu empregadas até então, e a liga não deveria mostrar nenhuma tendência a fissuras por calor.

10 Para a solução de acordo com a invenção, a tarefa leva a que os teores dos elementos da liga, magnésio e silício, estejam limitados, em % em peso e em um sistema cartesiano de coordenadas, por um polígono A com as coordenadas [Mg; Si][8,5; 2,7][8,5; 4,7][6,3; 3,4] e a liga ainda contém

0,1 até 1% em peso de manganês

máximo 1% em peso de ferro

15 máximo 3% em peso de cobre

máximo 2% em peso de níquel

máximo 0,5% em peso de cromo

máximo 0,6% em peso de cobalto

máximo 0,2% em peso de zinco

20 máximo 0,2% em peso de titânio

máximo 0,5% em peso de zircônio.

máximo 0,008% em peso de berílio

máximo 0,5% em peso de vanádio

25 assim como alumínio como restante, e com outros elementos e impurezas, inerentes ao processo, individuais de no máximo 0,05% em peso, no total no máximo 0,2% em peso.

Para os elementos da liga principal Mg e Si, as seguintes faixas de teor são preferidas:

Mg 6,9 até 7,9% em peso, particularmente 7,1 até 7,7% em peso

30 Si 3,0 até 3,7% em peso, particularmente 3,1 até 3,6% em peso.

Particularmente preferidas são ligas, cujos teores dos elementos da liga magnésio e silício em % em peso em um sistema cartesiano de coor-

denadas estão limitados por um polígono B com as coordenadas [Mg; Si] [7,9; 3,0] [7,9; 3,7] [6,9; 3,0][6,9; 3,7], particularmente através de um polígono C com as coordenadas [Mg; Si][7,7; 3,1][7,7;3,6][7,1;3,1][7,1;3,6].

Com os elementos da liga Mn e Fe, a colagem das peças moldadas na forma pode ser impedida. Um elevado teor de ferro leva a uma elevada resistência térmica ao custo de um estiramento reduzido. Porta-se essencialmente para endurecimento térmico. Dependendo do âmbito do emprego, os elementos da liga Fe e Mn são, portanto, de preferência determinados um em relação ao outro como se segue:

10 Em um teor de 0,4 até 1% em peso de Fe, particularmente 0,5 até 0,7% em peso de Fe, é ajustado um teor de 0,1 até 0,5% em peso de Mn, particularmente 0,3 até 0,5% em peso de Mn.

Em um teor de no máximo 0,2% em peso de Fe, particularmente no máx 0,15% em peso de Fe, ajusta-se um teor de 0,5 até 1% em peso de Mn, particularmente 0,5 até 0,8% em peso de Mn.

15 Para os outros elementos da liga são preferidas as seguintes faixas de teor:

Cu 0,2 até 1,2% em peso, de preferência 0,3 até 0,8% em peso, particularmente 0,4 até 0,6% em peso

20 Ni 0,8 até 1,2% em peso

Cr no máx 0,2% em peso, de preferência no máximo 0,05% em peso

Co 0,3 até 0,6% em peso

Ti 0,05 até 0,15% em peso

25 Fe máximo 0,15% em peso

Zr 0,1 até 0,4% em peso

Cobre leva a um aumento adicional de resistência, piora porém o comportamento de corrosão da liga com o crescente aumento do teor.

Através da adição de cobalto, o comportamento de desmoldagem da liga pode ser ainda mais aperfeiçoado.

30 Titânio e zircônio servem para o afinamento do grão. Um bom afinamento do grão importa essencialmente em aperfeiçoamento das propri-

idades de fundição e das propriedades mecânicas.

Berílio em ligação com vanádio reduz a formação de arranhões. Dada uma adição de 0,02 até 0,15% em peso de V, de preferência 0,02 até 0,08% em peso de V, particularmente 0,02 até 0,05% em peso de V, são  
5 menos suficientes do que 60 ppm de Be.

Um âmbito de emprego preferido da liga de alumínio de acordo com a invenção é a preparação térmica e mecânica dos constituintes reivindicados como fundição sob pressão, em coquilhas ou em areia, particularmente para o bloco do cilindro na indústria de automóveis preparado pelo  
10 processo de fundição sob pressão.

A liga de acordo com a invenção satisfaz além disso as propriedades mecânicas exigidas na construção de automóveis para os elementos estruturais após um tratamento térmico de uma etapa sem calcinação de solução em separado.

15 Outras vantagens, características e detalhes da invenção originam-se da descrição que se segue dos exemplos de execução preferidos assim como por meio do desenho; estes indicam na figura 1 um diagrama com os limites de teor para os elementos da liga Mg e Si.

O polígono A representado na figura 1 define o âmbito do teor  
20 para elementos da liga Mg e Si, os âmbitos preferidos referentes aos polígonos B e C. A reta E corresponde à composição do eutético quase binário Al-Mg<sub>2</sub>Si. As composições da liga de acordo com a invenção situam-se assim do lado com um excesso de magnésio.

A liga de acordo com a invenção foi entornada em placas de  
25 moldagem sob pressão com diferentes espessuras de parede. Das placas de fundição sob pressão foram preparadas amostras de tração. Nas amostras de tração determinou-se as propriedades mecânicas limite de estiramento (Rp 0,2), resistência à tração (Rm) e estiramento até a ruptura (A) no estado

30 F estado de fundição  
água/F estado de fundição após a desmoldagem em água por resfriamento brusco

- F > 24 h estado de fundição > 24 h de armazenamento à temperatura ambiente
- água/F > 24 estado de fundição, após a desmoldagem em água por resfriamento brusco > 24 h de armazenamento à temperatura ambiente
- 5 assim como, segundo diversos tratamentos térmicos de diversas etapas únicas a temperaturas na faixa de 250°C até 380°C e após um armazenamento de longo prazo a temperaturas na faixa de 150°C até 250°C.
- As ligas verificadas estão resumidas na tabela 1. A letra A representa ligas com adição de cobre, a letra B ligas sem adição de cobre.
- 10 Na tabela 2 estão os resultados das amostras de tração das ligas da tabela 1 verificadas pelas propriedades mecânicas resumidas.
- Uma liga não considerada nas tabelas 1 e 2 com boa resistência à fadiga térmica apresentou a seguinte composição (% em peso):
- 15 3,4 Si, 0,6 Fe, 0,42 Cu, 0,32 Mn, 7,4 Mg, 0,07 Ti, 0,9 Ni, 0,024 V e 0,004 Be.
- Os resultados dos ensaios de longo prazo satisfazem a boa resistência à fadiga térmica da liga de acordo com a invenção. As propriedades mecânicas após um tratamento térmico de uma etapa a 350°C e 380°C
- 20 durante 90 min deixam além disso reconhecer que a liga de acordo com a invenção também satisfaz as exigências feitas nos constituintes estruturais na indústria de automóveis.

Tabela 1: composição química das ligas em % em peso.

Variante da liga	Amostra plana da Espessura da Parede	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	V	Be
1B	3 mm	3,469	0,1138		0,787	7,398	0,106	0,0221	0,0025
1A	3 mm	3,4	0,117	0,527	0,781	7,151	0,119	0,0223	0,0019
2B	2 mm	3,366	0,0936		0,774	7,248	0,117	0,0263	0,0024
2A	2 mm	3,251	0,0841	0,507	0,76	7,499	0,1	0,0246	0,0023
3B	4 mm	3,352	0,0917		0,774	7,221	0,118	0,026	0,0024
3A	4 mm	3,198	0,0848	0,522	0,747	7,351	0,101	0,0255	0,0023
4B	6 mm	3,28	0,0921		0,766	7,024	0,119	0,0268	0,0024
4A	6 mm	3,181	0,062	0,535	0,745	7,273	0,1	0,0257	0,0023

Tabela 2: Propriedades Mecânicas das Ligas

Variante da liga	Estado de partida	Tratamento térmico	Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]
1	F		210	359	8,6
	Água/F		181	347	9,6
	F>24 h		204	353	8,9
	Água / F>24 h		176	347	13,4
	F>24 h	250°C/10 min	216	352	7,4
		250°C/20 min	218	352	6,8
		250°C/90 min	207	349	10,8
		350°C/10 min	154	315	12,5
		350°C/20 min	158	315	10,6
		350°C/90 min	147	306	11,4
		380°C/10 min	145	304	14,1
		380°C/20 min	139	299	13,9
		380°C/90 min	137	299	16,7
		150°C/100 h	221	365	9,4
		180°C/100 h	214	346	6
		200°C/100 h	211	354	9,4
		250°C/100 h	184	336	11,7
		150°C/500 h	223	353	6
		180°C/500 h	216	357	9,7
		200°C/500 h	202	349	9,2
		250°C/500 h	170	327	12,3
1A	F		234	345	4,2
	Água/F		170	319	4,9
	F>24 h		205	355	7,1
	Água / F>24 h		188	340	5,6
	F>24 h	250°C/10 min	227	355	6,6
		250°C/20 min	217	354	7,5
		250°C/90 min	213	350	7,9
		350°C/10 min	157	328	10,4
		350°C/20 min	151	317	9,3
		350°C/90 min	142	312	12,1
		380°C/10 min	141	315	12,6
		380°C/20 min	137	312	12,4
		380°C/90 min	133	309	12,2
		150°C/100 h	248	370	5
		180°C/100 h	249	373	6,3
		200°C/100 h	215	346	6,2
		250°C/100 h	185	329	7,6
		150°C/500 h	239	368	6,5
		180°C/500 h	227	352	6,9
		200°C/500 h	215	350	7,8
		250°C/500 h	162	317	8,9
2	F>24 h		212	364	10,7
		250°C/90 min	223	358	9,9
		350°C/90 min	152	312	13,9
		380°C/90 min	139	297	17,9
2A	F>24 h		241	394	7,8
		250°C/90 min	234	375	8,5
		350°C/90 min	163	332	9
		380°C/90 min	144	328	13,7



Tabela 2: Propriedades Mecânicas das Ligas (continuação)

Variante da liga	Estado de partida	Tratamento térmico	Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]
3	F>24 h		158	321	9,9
		250°C/90 min	164	324	10,4
		350°C/90 min	143	307	12
		380°C/90 min	129	292	16,4
3A	F>24 h		173	326	6
		250°C/90 min	181	325	5,9
		350°C/90 min	151	315	6,9
		380°C/90 min	137	312	9,5
4	F>24 h		138	304	8,2
		250°C/90 min	145	309	9
		350°C/90 min	133	297	8,4
		380°C/90 min	123	286	12,7
4A	F>24 h		152	284	4,3
		250°C/90 min	163	278	3,7
		350°C/90 min	139	286	5,2
		380°C/90 min	131	285	5,7

## REIVINDICAÇÕES

1. Liga de alumínio do tipo AlMgSi com boa resistência à fadiga em temperaturas elevadas para preparação de peças de fundição sujeitas a elevado estresse térmico e mecânico, caracterizada pelo fato de que os teores dos elementos de liga de magnésio e silício em % em peso estão limitados a um sistema de coordenadas cartesiano por um polígono A com as coordenadas [Mg; Si] [8,5;2,7] [8,5; 4,7] [6,3; 2,7] [6,3; 3,4], e a liga ainda contém
- 0,1 a 1% em peso de manganês
- 0 a 1% em peso de ferro
- 0 a 3% em peso de cobre
- 0 a 2% em peso de níquel
- 0 a 0,5% em peso de cromo
- 0 a 0,6% em peso de cobalto
- 0 a 0,2% em peso de zinco
- 0 a 0,2% em peso de titânio
- 0 a 0,5% em peso de zircônio
- 0 a 0,008% em peso de berílio
- 0 a 0,5% em peso de vanádio
- assim como alumínio como restante, com outros elementos e impurezas inerentes ao processo individualmente máximo 0,05% em peso, no total máximo 0,2% em peso.
2. Liga de alumínio de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que contem 6,9 a 7,9% em peso de Mg, de preferência de 7,1 a 7,7% em peso de Mg.
3. Liga de alumínio de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizada pelo fato de que contem de 3,0 a 3,7% em peso de Si, de preferência de 3,1 a 3,6% em peso de Si.
4. Liga de alumínio de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que os teores dos elementos de liga magnésio e silício em % em peso em um sistema de coordenadas cartesiano estão limitados por um polígono B com as coordenadas [Mg; Si] [7,9; 3,0] [7,9; 3,7] [6,9; 3,0]

[6,9; 3,7].

5 5. Liga de alumínio de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato de que os teores dos elementos de liga de magnésio e silício em % em peso em um sistema de coordenadas cartesiano estão limitados por um polígono C com as coordenadas [Mg; Si] [7,7; 3,1] [7,7; 3,6] [7,1; 3,1] [7,1; 3,6].

10 6. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 5, caracterizada pelo fato de que contém 0,4 a 1% em peso de Fe, de preferência 0,5% a 0,7% em peso de Fe e 0,1 a 0,5% em peso de Mn, de preferência 0,3 a 0,5% de Mn.

15 7. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 5, caracterizada pelo fato de que contém máximo 0,2% em peso de Fe, de preferência 0,15% de Fe, e 0,5 a 1% em peso de Mn, de preferência 0,5 a 0,8% em peso de Mn.

8. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, caracterizada pelo fato de que contém de 0,2 a 1,2% em peso de Cu, de preferência de 0,3 a 0,8% em peso de Cu, em particular de 0,4 a 0,6% em peso de Cu.

20 9. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 8, caracterizada pelo fato de que contém de 0,8 a 1,2% em peso de Ni.

10. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 9, caracterizada pelo fato de que contém no máximo 0,2% em peso de Cr, de preferência no máximo 0,05% em peso de Cr.

25 11. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 10, caracterizada pelo fato de que contém de 0,3 a 0,6% em peso de Co.

30 12. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 11, caracterizada pelo fato de que contém de 0,05 a 0,15% em peso de Ti.

13. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 12, caracterizada pelo fato de que contém de 0,1 a 0,4% em

peso de Zr.

14. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 13, caracterizada pelo fato de que contém de 0,02 a 0,15% em peso de V, de preferência de 0,02 a 0,08% em peso de V, em particular
- 5 de 0,02 a 0,05% em peso, e menos do que 60 ppm de Be.

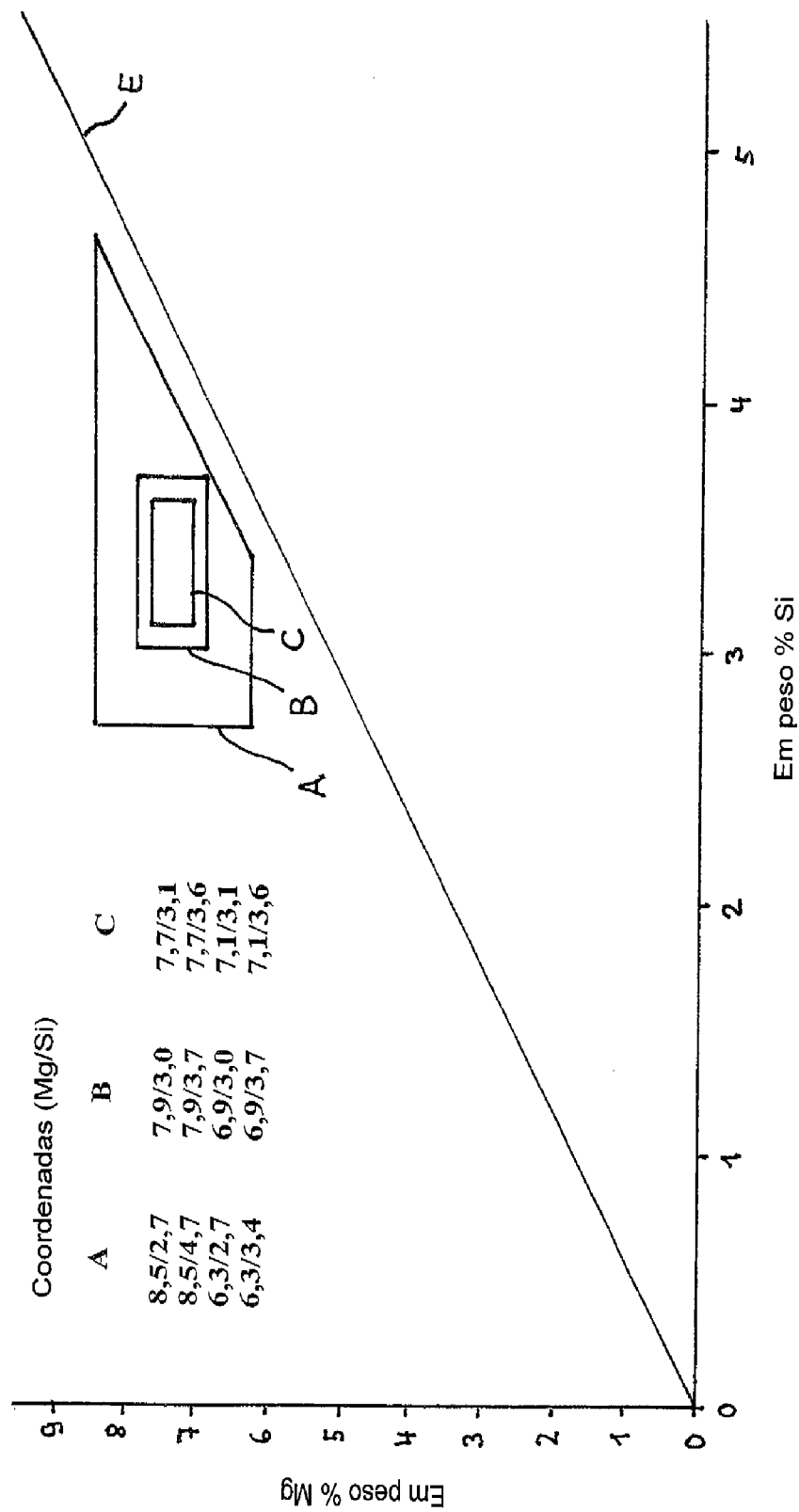


Fig. 1

## RESUMO

Patente de Invenção: **"LIGA DE ALUMÍNIO RESISTENTE AO CALOR"**.

- A presente invenção refere-se a uma liga de alumínio do tipo AlMgSi com boa resistência à fadiga térmica para preparação de partes
- 5 constituintes de fundição, termicamente e mecanicamente exigidas, os teores dos elementos da liga são magnésio e silício em % em peso em um sistema de coordenadas cartesianas limitado por um polígono A com as coordenadas [Mg; Si][8,5; 2,7][8,5; 4,7][6,3; 2,7][6,3; 3,4] e a liga contém ainda 0,1 até 1% em peso de manganês
- 10 máximo 1% em peso de ferro  
máximo 3% em peso de cobre  
máximo 2% em peso de níquel  
máximo 0,5% em peso de cromo  
máximo 0,6% em peso de cobalto
- 15 máximo 0,2% em peso de zinco  
máximo 0,2% em peso de titânio  
máximo 0,5% em peso de zircônio  
máximo 0,008% em peso de berílio  
máximo 0,5% em peso de vanádio
- 20 assim como alumínio, como radical com outros elementos e impurezas devido às preparações individuais de no máximo 0,05% em peso, no total no máximo 0,2% em peso.

A liga é particularmente bem apropriada para preparação de blocos de cilindro no processo de fundição sob pressão.