

(11) Número de Publicação: **PT 2006403 E**

(51) Classificação Internacional:

C22C 21/00 (2007.10) **C22C 21/12** (2007.10)
C22C 21/16 (2007.10) **C22F 1/04** (2007.10)

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: **2007.03.07**

(30) Prioridade(s): **2006.03.27 RU 2006109658**

(43) Data de publicação do pedido: **2008.12.24**

(45) Data e BPI da concessão: **2010.01.20**
079/2010

(73) Titular(es):

**OTKRYTOE AKCIONERNOE OBSCHESTVO
KAMENSK-URALSKY
METALLURGICHESKY ZAVOD" UL.
ZAVOSKAYA, 5 KAMENSK-URALSKY,
SVERDLOVSKAYA OBL. 623405**

RU

(72) Inventor(es):

**VALERIY IVANOVICH POPOV
BORIS VLADIMIROVICH OVSYANNIKOV
VIKTOR MIKHAILOVICH ZAMYATIN**

RU

RU

RU

(74) Mandatário:

**GONÇALO DA CUNHA FERREIRA
AV. ENG. DUARTE PACHECO, TORRE 1 - 3º 1070-101
LISBOA**

PT

(54) Epígrafe: **LIGAS À BASE DE ALUMÍNIO**

(57) Resumo:

RESUMO

LIGAS À BASE DE ALUMÍNIO

A invenção assinala o campo da metalurgia de ligas à base de alumínio, em particular à liga do sistema alumínio-cobre-magnésio-lítio aplicado ao fabrico de produtos semi-acabados e suas partes usados como materiais estruturais para a engenharia aeroespacial. A invenção é direcionada à permissibilidade da ductilidade e processabilidade do sistema de ligas alumínio-cobre-magnésio-lítio, aumento de rendimentos no fabrico de produtos semi-acabados e suas partes, garantia da possibilidade de produzir folhas finas, secções de paredes finas e fundidos por matriz por redução da intensividade de produção de trabalho, por conservar as características de força e operação requeridas exigidas aos materiais estruturais para a engenharia aeroespacial. O resultado técnico indicado é conseguido pelo facto de que a liga contém a seguinte proporção de componentes, % em peso: Lítio 1.6 - 1.9; Cobre 1.3 - 1.5; Magnésio 0.7 - 1.1; Zircónio 0.04 - 0.2; Berílio 0.02 - 0.2; Titânio 0.01 - 0.1; Níquel 0.1 - 0.15; Manganês 0.01 - 0.2; Gálio até 0.001; Zinco 0.01 - 0.3; Sódio até 0.0005; Cálcio 0.005 - 0.02; e pelo menos um elemento seleccionado do grupo incluindo Vanádio 0.005 - 0.01 e Escândio 0.005 - 0.01; alumínio - restante.

DESCRIÇÃO

LIGAS À BASE DE ALUMÍNIO

Uma invenção assinala o campo da metalurgia de ligas à base de alumínio, em particular à liga do sistema alumínio-cobre-magnésio-lítio aplicado ao fabrico de produtos semi-acabados e suas partes usados como materiais estruturais para a engenharia aeroespacial.

Sabe-se que as ligas de alumínio-lítio possuem uma combinação única de propriedades mecânicas, nomeadamente de baixa densidade, módulo de elasticidade aumentado, e características de força suficientemente fortes. A disponibilidade das propriedades indicadas permite usar as ligas deste sistema como material estrutural para a engenharia aeroespacial, que permite melhorar um número de características de desempenho do avião, de veículos aéreos, em particular, a redução do peso do veículo, a economia do combustível, o aumento da capacidade de carga.

Contudo, as ligas de alumínio-lítio têm uma desvantagem - baixa ductilidade em condições próximas da força máxima (N.I. Fridlyander, K.V. Chuistov, A.L. Berezina, N.I. Kolobnev, ligas de Alumínio-lítio. Estrutura e Propriedades, Kiev: Nauk, Dumka, 1992, página 177).

Estado da técnica

Liga à base de alumínio é conhecida tendo % em peso

Lítio	1.7 - 2.0
Cobre	1.6 - 2.0
Magnésio	0.7 - 1.1
Zircónio	0.04 - 0.16
Berílio	0.02 - 0.2
Titânio	0.01 - 0.07
Niquel	0.02 - 0.15

Manganês	0.01 - 0.4
Alumínio	Restante

(Certificado do Inventor de USSR N°. 1767916, IPC C 22 C 21/16, data da publicação 1997.08.20)

As desvantagens da referida liga são a sua baixa processibilidade, alta intensividade de fabrico de trabalho, e baixo rendimento ao fabricar produtos semi-acabados e suas partes, impossibilidade de obter folhas finas, secções de paredes finas e fundidos por matriz na mesma.

As razões que causam a ocorrência das desvantagens acima referidas ao usar a conhecida liga incluem o facto, de que o conteúdo relativamente elevado de cobre na conhecida liga influencia negativamente a fissuração a altas temperaturas e a ductibilidade na formação, o que conduz a uma fissura aumentada, altas rejeições nas dobras e não planas nas operações de acabamento, nomeadamente, no alisamento e no estiramento dos produtos semi-acabados.

A liga à base de alumínio é conhecida - 8093 (designação da liga está em conformidade com os números de ligas e de acordo com as definições registadas pela Associação de Alumínio, Washington, EUA) tendo % em peso:

Lítio	1.9 - 2.6
Cobre	1.0 - 1.6
Magnésio	0.9 - 1.6
Zircónio	0.04 - 0.14
Titânio	até 0.1
Manganês	até 0.1
Zinco	até 0.25
Alumínio	Restante

(Designação internacional de ligas e limites da composição química de alumínio fundido e ligas de alumínio, Associação de Alumínio: 2004, páginas 12, 13).

As desvantagens da liga indicada são os custos aumentados da liga, a sua baixa processibilidade, alta intensividade de fabrico de trabalho e baixo rendimento no fabrico de produtos semi-acabados e suas partes, impossibilidade em obter folhas finas, secções de paredes finas e fundição por matriz na mesma.

As razões que causam a ocorrência das desvantagens acima indicadas ao usar a conhecida liga incluem o facto, de que a conhecida liga tem teor aumentado de lítio, para além disso, o teor aumentado de lítio conduziu à formação de fases de força aumentando ligeiramente as características de força da liga, mas, ao mesmo tempo, reduz consideravelmente a sua ductibilidade à moldagem e formação que conduz a uma fissura aumentada, altas rejeições nas dobras e não planas nas operações de acabamento, nomeadamente, no alisamento e no estiramento dos produtos semi-acabados.

A liga mais próxima da composição e função químicas à liga à base de alumínio reivindicada é a liga tendo % em peso:

Lítio	1.7 - 2.0
Cobre	1.6 - 2.0
Magnésio	0.7 - 1.1
Zircónio	0.04 - 0.2
Berílio	0.02 - 0.2
Titânio	0.01 - 0.1
Níquel	0.01 - 0.15
Manganês	0.001 - 0.05
Gálio	0.001 - 0.05
Zinco	0.01 - 0.3
Sódio	0.0005 - 0.001
Alumínio	Restante

(Patente da Federação Russa No. 2180928, IPC 7 C 22 C 21/00, C 22 C 21/16, data da publicação 2002.03.27; ver também EP-A-1 788 101).

As desvantagens da liga indicada tomadas para um protótipo são as suas relativamente baixa processibilidade, alta intensividade de fabrico de trabalho, e baixo rendimento no fabrico de produtos semi-acabados e suas partes, impossibilidade em obter folhas finas, secções de paredes finas e fundidos por matriz na mesma.

As razões que causam a ocorrência das desvantagens acima referidas ao usar a conhecida liga tomadas para um protótipo referem-se ao facto de que a conhecida liga é caracterizada pelo teor aumentado de cobre, que influencia negativamente a fissuração a altas temperaturas e a ductilidade na formação que conduz a uma fissura aumentada, altas rejeições nas dobras e não planas nas operações de acabamento, nomeadamente, no alisamento e no estiramento dos produtos semi-acabados, e ainda, o teor aumentado de sódio e gálio conduz a um aumento considerável da fissuração a altas temperaturas da liga, a uma muito maior redução das suas características dúcteis (A.V. Kurdvumov, S.V. Inkin, V.S. Chulkov, G.G. Shadrin, Metallurgical Admixtures nas Ligas de Alumínio, M.: Metalurgia, 1988, páginas 90, 99) que complica consideravelmente um objectivo de obter lingotes aceitáveis e para além disso receber produtos semi-acabados de vários tipos de forma, e também de desempenhar o revestimento de qualidade nos produtos semi-acabados laminados, como resultado da formação de áreas substanciais de revestimento não soldado nas suas superfícies.

Divulgação da invenção

O objectivo, que a invenção propõe resolver, consiste no desenvolvimento de uma liga à base de alumínio com vista ao fabrico de produtos semi-acabados e suas partes para a engenharia aeroespacial, sem as desvantagens acima listadas e inerente às soluções conhecidas de engenharia. Um resultado técnico obtido por uma concretização de uma invenção compreende a obtenção de uma liga que possua uma ductilidade aumentada, que permita melhorar a sua processibilidade, para aumentar os rendimentos no fabrico de produtos semi-acabados e suas partes, que assegure a possibilidade de produzir folhas finas, secções de paredes finas e fundidos por matriz ao reduzir a produção da intensividade de trabalho, ao conservar a necessária força e as características de operação da liga, e também produtos semi-acabados e suas partes exigidas pelos materiais estruturais para a engenharia aeroespacial.

O objectivo colocado com a obtenção do referido resultado técnico pela concretização da invenção é resolvido pelo facto de a conhecida liga à base de alumínio conter lítio, cobre, magnésio, zircónio, berílio, titânio, níquel, manganês, gálio, zinco, sódio, adicionalmente contém cálcio e, pelo menos, um elemento seleccionado de um grupo incluindo vanádio e escândio, com a seguinte proporção de componentes, % em peso:

Lítio	1.6 - 1.9
Cobre	1.3 - 1.5
Magnésio	0.7 - 1.1
Zircónio	0.04 - 0.2
Berílio	0.02 - 0.2
Titânio	0.01 - 0.1
Níquel	0.1 - 0.15
Manganês	0.01 - 0.2
Gálio	até 0.001
Zinco	0.01 - 0.3
Sódio	até 0.0005
Cálcio	0.005 - 0.02

Pelo menos um elemento seleccionado de um grupo incluindo:

Vanádio	0.005 - 0.01
Escândio	0.005 - 0.01
Alumínio	Restante

A liga à base de alumínio usada para o fabrico de produtos e partes semi-acabados difere da arte anterior quer quantitativamente (reduzido teor de cobre, gálio, e sódio) quer qualitativamente (para além disso contém cálcio, e, pelo menos, um elemento seleccionado de um grupo incluindo vanádio e escândio).

Determinámos que o teor aumentado de cobre resulta na formação de compostos de poros intermetálicos de forma irregular, sendo fases contendo cobre formadas pela cristalização da liga nas áreas com teor de cobre aumentado dentro dos grãos e nos seus limites. Estas fases estão representadas não por partículas separadas, mas por extensas acumulações impedindo deformações no corte no processo de formação, que resulta numa redução considerável da ductilidade da liga.

A redução do teor de cobre na liga até aos limites de 1.3 - 1.5 % em peso permite praticamente a transferência total para a solução sólida que resulta numa redução considerável da inclusão da proporção de volume dos compostos intermetálicos de fases contendo poros como determinados pela análise electrão-microscopial da liga, e, consequentemente, possibilitar a ductilidade da liga. A redução do teor de cobre inferior a 1.3% em peso não terá uma influência de permissibilidade nas características de ductilidade da liga, mas reduzirá consideravelmente as suas características de força.

Adicionalmente, determinámos que o gálio e o sódio não formam fases com o alumínio e acumulam nos limites do grão resultando numa fractura frágil ao longo do limite do grão nos processos de cristalização da liga e da sua forma.

Determinámos que com os teores de gálio e de sódio inferiores a 0.001 e 0.0005 % em peso respectivamente, eles praticamente totalmente se dissolvem na solução sólida resultante da permissibilidade da ductilidade da liga.

O cálcio em quantidade de 0.005 - 0.02 % em peso é um aditivo que liga o excesso de sódio e outros elementos residuais da liga resultando na formação de compostos de forma arredondada de intermetálicos isolados e a sua coagulação resultando em condições mais favoráveis de deformação do corte, e, consequentemente, na permissibilidade da ductilidade do processo da liga.

A introdução de um ou mais elementos de um grupo de vanádio, escândio nas quantidades indicadas facilita a formação de uma estrutura homogénea de grãos finos que promovem a intensificação do papel de zircónio como um agente modificador que assegura a força estrutural dos produtos semi-acabados e partes da liga, que permite obter o necessário nível de propriedades de força da liga.

Da liga à base de alumínio proposta é possível fabricar vários produtos semi-acabados: folhas e pratos, fundidos por matriz, extrudidos. Dos produtos semi-acabados da liga proposta é possível obter várias partes, por exemplo, painéis para revestimento de estruturas de fuselagem de aviões, elementos de estrutura de protecção, tanques de combustível soldados, e outros elementos de engenharia aeroespacial.

Exemplos de concretizações da invenção

Sob condições industriais um lingote plano com corte transversal de 300 x 1,100 mm e lingotes redondos com diâmetros de 190 mm e 350 mm foram moldados em cada uma das ligas, cuja composição química é dada no Quadro 1.

A liga nº1 corresponde à liga tomada como um protótipo, as ligas nºs. 2, 3, 4 correspondem aos propostos.

A fusão de desgasificação e moldagem em lingote do material de carga foi feita à temperatura de 170-730°C.

Exemplo 1

Mais tarde, as folhas compósitas foram fabricadas dos lingotes planos em cada uma das ligas. As folhas foram fabricadas com base num processo de fluxo por meio de laminagem à temperatura de 430°C até 6.5 mm de espessura com enrolamento de bobinas, e posteriormente, após a temperatura de 400°C, por meio de laminagem a frio.

Deverá mencionar-se que se conseguiu laminar uma folha na liga nº. 1 apenas até 0.9 mm de espessura e a continuação da laminagem foi parada devido à presença de fissuras de 30 mm de profundidade nos bordos das folhas e à presença de 2 rupturas na bobina.

As folhas nas ligas nº. 2, 3, 4 foram laminadas sem rupturas até 0.5 mm de espessura.

As operações de acabamento seguintes, as folhas de alisamento e estiramento nas ligas Nºs.2,3,4 em comparação com a liga Nº1 e apesar da sua espessura baixa, foram feitas com mais sucesso e com menos rejeições na fase de inspecção de deficiências, dobras, não planas e fissuras.

Quadro 1

Liga	Composição c da liga nº.	Teor do componente, % em peso											Restante			
		Li	Cu	Mg	Zr	Bé	Ti	Ni	Mn	Ga	Zn	Na	Ca	V	Sc	Al
Protótipo	1	1.9	1.7	0.9	0.10	0.03	0.02	0.04	0.08	0.002	0.015	0.0007	-	-	-	0.006
	2	1.9	1.5	1.0	0.11	0.02	0.02	0.05	0.06	0.0004	0.014	0.0003	0.005	0.007	0.007	
Reivindicado	3	1.8	1.3	0.9	0.11	0.03	0.02	0.04	0.07	0.0002	0.014	0.0001	0.02	0.01	-	-
	4	1.8	1.4	0.8	0.10	0.04	0.02	0.04	0.07	0.0001	0.015	0.0002	0.01	-	0.009	

O rendimento por folhas de fabrico nas ligas nº. 2, 3, 4 foram superiores a 30% do que na liga nº 1.

Mais tarde, as amostras das folhas nas ligas 1, 2, 3, 4 foram testadas em tensão estática com determinação da força de tracção (σ_B) força de rendimento ($\sigma_{0.2}$) alongamento ($\delta, \%$).

As espécies foram cortadas nas direcções longitudinal e transversal, e a um ângulo de 45° relativos à direcção de laminar.

Os resultados dos testes mecânicos estão apresentados no Quadro 2.

O Quadro 2 mostra que a liga proposta substitui a conhecida liga (o protótipo) nas características de ductilidade com conservação das características de força solicitadas.

Exemplo 2

As secções (ângulos com espessura da flange superior a 5 mm) foram fabricadas a partir de lingotes redondos com um diâmetro de 190 mm em cada liga.

As secções das diferentes ligas foram fabricadas com base num processo de fluxo por meio de extrusão a uma temperatura de 400°C, com outra secção de água de témpera, e envelhecimento à temperatura de 150°C em 24 horas.

O rendimento pelas folhas de fabrico nas ligas nos. 2, 3, 4 foi superior a 15% quando comparado à liga nº. 1.

Exemplo 3

Os fundidos por matriz com espessura de parede de 40 mm foram fabricados a partir de lingotes redondos com um diâmetro de 350 mm em cada liga.

Quadro 2

Liga	Composição da Liga Nº.	Direcção de amostra	Propriedades mecânicas		
			$\sigma_{B, MPa}$	$\sigma_{0.2, MPa}$	$\sigma, \%$
Protótipo	1	longitudinal	432	347.5	13.5
		transversal	440	343	10.7
		a um ângulo de 45°	419	323	13.9
Reivindicado	2	longitudinal	430	349	14.6
		transversal	438	352	13.8
		a um ângulo de 45°	424	328	14.5
	3	longitudinal	431	351	14.8
		transversal	438	345	13.9
		a um ângulo de 45°	425	329	14.9
	4	longitudinal	432	345	14.9
		transversal	439	339	14.1
		a um ângulo de 45°	423	328	15.1

Os fundidos por matriz nas diferentes ligas foram fabricados num processo de fluxo por meio de fundição por supressão a uma temperatura de 410°C, fundição preliminar a uma temperatura de 410°C e após gravação por meio da fundição final a uma temperatura de 400°C, com témpera a uma temperatura de 500°C durante 2 horas e envelhecimento à temperatura de 150°C durante 24 horas.

O rendimento do fabrico de fundidos por matriz na liga nº.2, 3, 4 foi superior à liga nº.1 em 10%.

Assim, a liga sugerida assegura a obtenção do objectivo colocado - melhoramento das características da ductilidade da liga, e consequentemente, melhoramento da sua processibilidade, aumento de rendimentos pelo fabrico de produtos semi-acabados e suas partes, segurança da possibilidade de produzir folhas finas, secções de parede finas e fundidos por matriz ao reduzir a produção da intensividade de trabalho, conservação da força requerida e características de operação da liga e suas partes exigidas aos materiais estruturais para a engenharia aeroespacial.

Lisboa, 20 de Abril de 2010.

REIVINDICAÇÕES

1. A liga à base de alumínio contendo lítio, cobre, magnésio, zircónio, berílio, titânio, níquel, manganês, gálio, zinco, sódio, que difere pelo facto de que contém adicionalmente cálcio, e pelo menos, um elemento seleccionado de um grupo incluindo vanádio e escândio, com a seguinte proporção de componentes, % em peso:

Lítio	1.6 - 1.9
Cobre	1.3 - 1.5
Magnésio	0.7 - 1.1
Zircónio	0.04 - 0.2
Berílio	0.02 - 0.2
Titânio	0.01 - 0.1
Níquel	0.01 - 0.15
Manganês	0.01 - 0.2
Gálio	até 0.001
Zinco	0.01 - 0.3
Sódio	até 0.0005
Cálcio	0.005 - 0.02

e pelo menos um elemento seleccionado de um grupo incluindo:

Vanádio	0.005 - 0.01
Escândio	0.005 - 0.01
Alumínio	Restante

2. O produto semi-acabado, tal como folha, placa, prato, fundido por matriz ou extrudido manufacturado a partir da liga à base de alumínio de acordo com a reivindicação 1.

3. Peça fabricada a partir de um produto semi-acabado de acordo com a reivindicação 2, tal como um painel de revestimento de uma estrutura de fuselagem de um avião, um elemento de uma estrutura de protecção, um tanque de combustível soldado ou qualquer outro elemento de engenharia aeroespacial.

4. Método de fabrico de uma liga à base de alumínio de acordo com a reivindicação 1, incluindo fusão da desgaseificação e moldagem em lingote do material de carga realizada a uma temperatura de 710-730°C.

5. Método de acordo com a reivindicação 4, compreendendo o fabrico de uma folha de lingotes planos, sendo as folhas fabricadas com base num processo de fluxo por meio de laminagem a quente à temperatura de 430°C, até 6.5 mm de espessura com enrolamento de bobinas, e posteriormente, após recozimento à temperatura de 400°C, por meio de laminagem a frio.

6. Método de acordo com a reivindicação 5 incluindo o fabrico de fundidos por matriz com espessura de parede de 40 mm a partir de lingotes redondos com um diâmetro de 350 mm.

7. Método de acordo com a reivindicação 5, compreendendo o fabrico de fundidos por matriz num processo de fluxo por meio de fundição por supressão à temperatura de 410°C, fundição preliminar à temperatura de 410°C, e após repuxamento por meio de fundição final à temperatura de 400°C, e com têmpera adicional à temperatura de 500°C durante duas horas e envelhecimento à temperatura de 150°C durante 24 horas.

Lisboa, 20 de Abril de 2010.