

DESCRIÇÃO
DA
PATENTE DE INVENÇÃO

N.º 96582 1

REQUERENTE: MARTIN MARIETTA CORPORATION., americana, industrial e comercial, com sede em 6801 Rockledge Drive, Bethesda, MD 20817. Estados Unidos da América.

EPÍGRAFE: " PROCESSO PARA A PREPARAÇÃO DE LIGAS METÁLICAS A BASE DE ALUMÍNIO COM UMA RESISTÊNCIA MECÂNICA ULTRA-ALTA "

INVENTORES: TIMOTHY JAMES LANGAN, JOSEPH ROBERT PICKENS, FRANK HERBERT HEUBAUM, LAWRENCE STEVENSON KRAMER E ALEX CHO.

Reivindicação do direito de prioridade ao abrigo do artigo 4º da Convenção de Paris de 20 de Março de 1883.

Prioridade nos Estados Unidos da América em 26 de Janeiro de 1990, sob o N.º 07/471,299.

Wifano²

R E S U M O

A presente invenção refere-se ao processo para a preparação de ligas à base de alumínio que contêm Cu, Li, Zn, Mg e Ag que possuem propriedades excelentes, tais como densidade relativamente pequena, elevado módulo, boa combinação de elevada resistência à tracção/ductilidade, intensa resposta ao envelhecimento natural e sem necessidade de serem submetidas a trabalho a frio e elevada resistência à tracção quando envelhecidas artificialmente com e sem trabalho a frio prévio. Além disso, as ligas possuem uma boa soldabilidade, resistência à corrosão, boas propriedades criogénicas e boas propriedades a alta temperatura. As ligas podem compreender entre cerca de 1 e cerca de 7 por cento em peso de Cu, entre cerca de 0,1 e cerca de 4 por cento em peso de Li, entre cerca de 0,01 e cerca de 4 por cento em peso de Zn, entre cerca de 0,05 e cerca de 3 por cento em peso de Mg, entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de Ag, entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhido de Zr, Cr, Mu, Ti, Hf, V, Nb, B e TiB_2 e a parte restante é constituída por Al e eventuais impurezas. As ligas preferidas compreendem cerca de 3,0-6,5 por cento em peso de Cu, cerca de 0,5-2,6 por cento em peso de Li, cerca de 0,05-2 por cento em peso de Zn, cerca de 0,1-1,5 por cento em peso de Mg, cerca de 0,05-1 por cento em peso de Ag, cerca de 0,05-0,5 por cento em peso de um agente para a refinação dos grãos e o restante Al e eventuais impurezas. Nas presentes ligas, podem-se utilizar ainda outros elementos adicionais escolhidos de Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca em adição ao Zn ou em vez do Zn.

Wifama

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a ligas metálicas à base de alumínio, que compreendem cobre, lítio, magnésio, prata e pelo menos um elemento seleccionado de zinco, germânio, estanho, cádmio, índio, berílio, estrôncio e cálcio, as quais se caracterizam por uma única combinação de propriedades físicas e mecânicas. Especificamente, as ligas metálicas da presente invenção possuem propriedades excelentes, tais como uma elevada resistência à tracção quando envelhecidas artificialmente com ou sem trabalho a frio, intensa resposta ao envelhecimento natural com ou sem trabalho a frio prévio, uma boa combinação de elevada resistência à tracção/ductilidade, pequena densidade e um elevado módulo. Além disso, as ligas possuem uma boa resistência à corrosão, uma boa soldabilidade, boas propriedades criogénicas e boas propriedades a alta temperatura. Estas ligas são particularmente adequadas para aplicações aeroespaciais aeronáuticas, blindagem e veículos blindados, em que é importante uma elevada resistência à tracção específica (resistência dividida pela massa específica e é útil uma boa resposta ao envelhecimento natural, devido à impossibilidade, em muitos casos, de se realizar um tratamento térmico completo. Além disso, a soldabilidade das presente ligas permite, que estas sejam usadas em estruturas que são unidas por soldadura.

ENQUADRAMENTO GERAL DA INVENÇÃO

As excelentes propriedades do alumínio e das suas ligas, tais como baixo custo, baixa densidade, resistência à corrosão e facilidade de fabricação, são bem conhecidas.

Um meio importante para elevar a resistência mecânica de al-

Wilson

gumas ligas de alumínio é o tratamento térmico. Convencionalmente, empregam-se três operações básicas no tratamento térmico das ligas à base de alumínio: (1) tratamento térmico de dissolução; (2) a têmpera e (3) envelhecimento. Além disso, recorre-se, muitas vezes, a uma operação de trabalho a frio, anterior ao envelhecimento. O tratamento térmico de dissolução consiste em imergir a liga a uma temperatura suficientemente elevada e durante um intervalo de tempo bastante longo a fim de se conseguir uma solução sólida quase homogênea dos elementos que formam o precipitado no alumínio. O objectivo é introduzir na forma de solução sólida, as quantidades máximas possíveis de elementos solúveis, que provocam o endurecimento. A têmpera envolve o arrefecimento rápido da solução sólida, que se formou durante o tratamento térmico de dissolução, a fim de procozir uma solução sólida super-saturada à temperatura ambiente. A operação de envelhecimento envolve a formação de precipitados que reforçam a resistência à tracção, a partir da solução sólido supersaturadas por arrefecimento rápido. Os precipitados podem-se formar, usando técnicas de envelhecimento natural (temperatura ambiente) ou envelhecimento artificial (alta temperatura). No envelhecimento natural, a liga temperada é mantida à temperatura comprendidas entre -20 a $+50^{\circ}\text{C}$, tipicamente à temperatura ambiente, durante períodos de tempo relativamente longos.

Para certas composições de ligas, o endurecimento por precipitação, que resulta apenas do envelhecimento natural, produz propriedades físicas e mecânicas úteis. No envelhecimento artificial, a liga temperada é mantida a uma temperatura tipicamente comprendida entre 100 a 200°C durante períodos de tempo aproximados de 5 a 48 horas, tipicamente, para se efectuar o endurecimento por precipitação.

A extensão a que a resistência mecânica das ligas de Al pode

5
Wifama

ser aumentada por tratamento térmico está relacionada com o tipo e quantidade de aditivos das ligas usados. A adição de cobre às ligas de alumínio, até um certo ponto, aumenta a resistência mecânica e em alguns casos favorece a soldabilidade. A posterior adição de magnésio às ligas de Al-Cu pode aumentar a resistência à corrosão, intensificar a resposta ao envelhecimento natural sem trabalho a frio prévio, e aumentar a resistência mecânica. Contudo, a níveis de Mg relativamente baixos, isto é, 1,5 por cento, a soldabilidade diminui.

Uma liga de alumínio produzida comercialmente que contém tanto cobre como magnésio é a liga nº. 2024 registada da Aluminum Association, que tem a composição nominal Al-4,4Cu - 1,5 Mg - 0,6 Mn. A liga nº. 2024 é uma liga muito usada com elevada resistência à tracção, uma boa tenacidade, boas propriedades a alta temperatura e uma boa resposta do envelhecimento natural. Contudo, a sua resistência à corrosão é limitada para algumas tâmporas, não proporciona uma resistência mecânica ultra-alta nem uma resposta ao envelhecimento natural excepcionalmente forte obtidas com as ligas da presente invenção, e é minimamente soldável. De facto, as ligações soldadas da liga nº. 2024 não são consideradas comercialmente úteis na maior parte das situações.

Uma outra liga comercial Al-Cu-Mg é a liga 2519 registada da Aluminum Association que tem a composição nominal de Al-5,6 Cu-0,2 Mg-0,3 Mn-0,2 Zr-0,06 Ti-0,05 V. Esta liga foi desenvolvida por Alcoa, como um aperfeiçoamento da liga 2219, que se usa presentemente em várias aplicações aeroespaciais. Embora a adição de Mg ao sistema Al-Cu possa permitir uma resposta do envelhecimento natural sem trabalho a frio prévio, a liga 2519 aperfeiçoou apenas minimamente as resistências mecânicas relativamente a liga 2219 nas tâmporas com as mais elevadas resistências mecânicas.

Wifama

Num trabalho, revisto por Mondolfo, sobre ligas convencionais Al-Cu-Mg, ele indica que os principais agentes de endurecimento são os precipitados do tipo CuAl_2 em ligas em que a relação de Cu para Mg é maior do que 8 para 1. (ver ligas de Alumínio: Structure and Properties, L.F. Mondolfo, Boston: Butterworths 1976, pág. 502).

Polmear, na Patente Norte Americana 4 772 342, adicionou prata e magnésio ao sistema constituído por Al-Cu a fim de aumentar as propriedades a alta temperatura. Uma liga preferida tem a composição Al-6,0 Cu-0,5 Mg-0,4 Ag-0,5 Mn-0,15 Zr-0,10 V-0,05 Si. Polmear associa o aumento observado da resistência mecânica com a "fase omega", que surge na presença de Mg e Ag (ver "Development of an Experimental Wrought Aluminum Alloy for use at Elevated Temperatures", Polmear, Aluminum Alloys: their Physical AND Mechanical Properties, E. A. Strake, Jr. and T. H. Sanders, Jr., editors, Volume I of conference Proceedings of International Conference, University of Virginia, Charlottesville, VA, 15-20 Junho 1986, páginas 661-674, Chamelon Press Londres).

Sabe-se que a adição de lítio às ligas de Al-Mg e às ligas de Al-Cu baixa a densidade e aumenta o módulo elástico, produzindo aperfeiçoamentos significativos na tenacidade específica e intensificando a resposta ao endurecimento por envelhecimento artificial. Contudo, as ligas convencionais constituídas por Al-Li possuem geralmente uma ductilidade relativamente baixa em dados níveis de resistência mecânica e a sua tenacidade é muitas vezes mais baixa do que a desejada, limitando assim o seu uso.

As dificuldades verificadas na fundição e no vazamento têm limitado a receptividade das ligas de Al-Li. Por exemplo, porque o Li é extremamente reactivo, as ligas de Al-Li fundidas podem

Wifano

reagir com os materiais refractários existentes nos revestimentos dos fornos. Também a atmosfera acima da massa em fusão deverá ser controlada a fim de reduzir os problemas de oxidação. Além disso, o lítio baixa a conductibilidade térmica do alumínio, tornando mais difícil remover o calor de um lingote durante o vazamento em coquilha, diminuindo assim os caudais de vazamento. Além disso, nas ligas de Al-Li, fundidas que contenham 2,2 a 2,7 por cento de lítio, típico das ligas Al-Li comercializadas recentemente, há um considerável risco de explosão. Até à data, os benefícios das propriedades atribuídos a estas novas ligas de Al-Li não foram suficientes para compensar o aumento de custos tecnológicos causados pelos problemas já mencionados. Como consequência não foram capazes de substituir as ligas convencionais tais como a 2024 e a 7075. As ligas preferidas da presente invenção não originam problemas de vazamento e de fundição em elevado grau devido ao seu baixo conteúdo de Li.

As ligas de Al-Li que contém Mg são bem conhecidas, mas têm tipicamente baixa ductibilidade e baixa tenacidade. Nestes sistemas insere-se a liga Soviética O1420 de baixa densidade e soldável, revelada na Patente Britânica 1 172 736 concedida a Fridljander et al, de composição nominal Al-5 mg-2 Li. Esta liga é referida como tendo média a elevada resistência mecânica, baixa densidade, e um módulo de elasticidade mais elevado do que as ligas de alumínio padrão.

Um artigo que surgiu no Journal of Japan Institute of Light Metals apresenta uma lista das ligas à base de Al-Li-Mg, às quais se adicionaram quantidades muito pequenas de um dos elementos Ag, Cu ou Zn. (ver "Aging Phenomena of Al-Li-Mg" Alloy Affected by Additional Elements, Hayashi e outros, Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 32, Nº. 7, Julho 1982). Os autores analisaram o efeito de cada elemento da liga indi-

W. Barona

vidualmente, no comportamento de envelhecimento das ligas ternárias Al-Li-Mg. Os autores não combinaram as adições dos elementos de ligas Ag, Cu ou Zn, nem adicionaram elementos de refinação de grãos às suas ligas.

A Patente Norte Americana nº 3 346 370 concedida a Jagaciak et al revela ligas à base de Al-Mg às quais podem ser adicionadas quantidades muito pequenas de Li compreendidas entre 0,01 - 0,8 por cento. As ligas podem conter também até cerca de 0,72 por cento de Cu e até 0,35 por cento de Zn.

As ligas de Al-Li que contenham Cu são também bem conhecidas, tal como a liga 2020, que foi desenvolvida nos anos de 1950 mas foi retirada da produção devido a dificuldades de processamento, baixa ductibilidade e baixa tenacidade à fractura. A liga 2020 insere-se no âmbito da Patente Norte Americana nº 2 381 219 concedida a LeBaron, a qual refere que as ligas são "isentas de magnésio", isto é, as ligas têm menos do que 0,01 por cento de Mg, o qual está presente apenas, como uma impureza. As ligas descritas por LeBaron necessitam também da presença de, pelo menos um elemento seleccionado de Cd, Hg, Ag, Sn, In e Zn. A referência explica que quando se utilizada o zinco, empregam-se níveis inferiores a 0,5 por cento, sendo preferidos níveis compreendidos entre 0,01 e 0,05 % devido à tendência do zinco aumentar a fragilidade a níveis mais elevados.

Para se obterem as resistências mecânicas mais elevadas nas ligas Al-Cu-Li, é necessário introduzir uma operação de trabalho a frio antes do envelhecimento, que envolve tipicamente o estiramento e/ou laminação do material à temperatura ambiente ou a uma temperatura próxima do ambiente. A tensão que é introduzida como resultado de um trabalho a frio, produz deslocação dentro da liga que servem como pontos de nucleação para

Wifama⁹

os precipitados de reforço da resistência mecânica. Especificamente, as ligas convencionais Al-Cu-Li devem ser trabalhadas a frio antes do envelhecimento artificial a fim de se obterem elevadas resistências mecânicas, isto é, resistência de ruptura à tração (UTS), maior do que 483 MPa (70 Ksi). O trabalho a frio destas ligas é necessário a fim de provocar frações de volume elevado dos precipitados de Al_2CuLi (T_1) e Al_2Cu (primário-téta), que devido à elevada relação superfície para volume, originam núcleos muito mais facilmente nas deslocções do que na matriz da solução sólida de alumínio. Sem a operação de trabalho a frio, a formação dos precipitados Al_2Cu e Al_2CuLi lamelares é retardada, o que resulta em resistências mecânicas significativamente inferiores. Além disso, os precipitados não originam facilmente núcleos de forma homogênea, devido à grande barreira de energia que tem de ser vencida em virtude da sua grande área de superfície. O trabalho a frio é também útil, pelas mesmas razões, para produzir as mais elevadas resistências mecânicas em muitas ligas comerciais Al-Cu, tal como a 2219.

A exigência da operação de trabalho a frio para produzir as mais elevadas resistências mecânicas nas ligas de Al-Cu-Li, é particularmente limitada para peças forjadas, onde é muitas vezes difícil introduzir uniformemente o trabalho a frio na parte forjada, depois de ter sido sujeita ao tratamento térmico por dissolução e à têmpera. Como consequência, as ligas de Al-Cu-Li forjadas estão tipicamente limitadas a têmperas não trabalhadas a frio, o que resulta geralmente em propriedades mecânicas pouco satisfatórias.

Recentemente tanto Cu como Mg, foram comercializadas ligas que contêm também Al-Li. Estas incluem as ligas 8090, 2091, 2090 e CP276. A liga 8090 que se descreve na Patente Norte Americana nº. 4 588 553 concedida a Evans et al contém 1,0 - 1,6 Cu,

Wifans

2,2-2,7 Li, e 0,6 - 1,3 Mg. A liga foi indicada com as seguintes propriedades para aplicações aeronáuticas: uma boa resistência à corrosão por esfoliação, boa tolerância aos danos e uma resistência mecânica igual ou maior do que as da liga 2024 nas condições de temperatura T3 e T4. A liga 8090 apresenta uma resposta ao envelhecimento natural sem necessitar de trabalho a frio prévio, mas não é tão intensa como a das ligas da presente invenção. Além disso, as peças forjadas 8090-T6 possuem um baixo alongamento transversal.

A liga 2091, constituída por 1,8 - 2,5 Cu, 1,7 - 2,3 Li, e 1,1 - 1,9 Mg foi designada como uma liga de elevada resistência mecânica e alta ductilidade. Contudo, em condições de tratamento térmico, que produzem uma resistência mecânica máxima, a ductilidade é relativamente baixa numa direcção transversal menor. Além disso, as resistências mecânicas obtidas pela liga 2091 em temperaturas não trabalhadas a frio são, significativamente mais baixa do que as atingidas pela liga em temperaturas trabalhadas a frio. Num recente trabalho sobre as ligas 8090 e 2091, Marchive e Charne referiram resistências razoavelmente elevadas à tracção longitudinais (ver "Processing and Properties" 4th International Aluminum Lithium Conference, G. Champier, B. Dubost, D. Mianoy, and I. Sabetay editors, Proceedings of International Conference, 10-12 Junho 1987, Paris, França, pp. 43-49). No estado de temperatura T6, a liga 8090 possui um limite de elasticidade de 464 MPa (67,3 Ksi) e uma resistência de ruptura à tracção de 510 MPa (74Ksi), enquanto a liga 2091 possui um limite de elasticidade de 440 MPa (63,8 Ksi) e uma resistência de ruptura à tracção de 520 MPa (75,4 Ksi). Contudo, as resistências mecânicas das peças forjadas tanto da 8090-T6 como da 2091-T6 são ainda mais baixas do que àquelas obtidas no estado de temperatura T8, por exemplo, para as extrusões da 8090-T851, as propriedades de tracção são 535 MPa (77,6 Ksi) YS e 580 MPa (84,1 Ksi) UTS, enquanto que para as extrusões 2091-T-851,

Wifano

as propriedades de tracção são 506 MPa (73,3 Ksi) YS e 580 MPa (84,1 Ksi) UTS. Em contraste, as ligas da presente invenção possuem propriedades altamente aperfeiçoadas comparadas às convencionais ligas 2091 e 8090 em têmperas trabalhadas a frio e possuem mesmo um maior aperfeiçoamento em têmperas não trabalhadas a frio.

A liga 2090 compreende 2,4 - 3,0 Cu, 1,9 - 2,6 Li e 0 - 0,25 Mg. A liga foi designada como um substituto de baixa densidade para ligas de elevada resistência mecânica tais como a 2024 e 7075.

Contudo, tem resistências mecânicas de soldadura que são mais baixas do que as das ligas soldáveis convencionais, tal como a 2219, que possui resistências mecânicas de soldadura típica de 241-276 MPa (35-40 Ksi). Como é citado na referência seguinte, a liga 2090 no estado de têmpera T6, não pode apresentar a resistência mecânica, tenacidade e a resistência à formação de fendas provocadas por corrosão sob tensão da 7075-T73. (ver "First Generation Products - 2090", Pretz, Alithalite Alloys: 1987 UPDATE, J. Kar, S. P. Agrawal, W. E. Quist, editors, Conference Proceedings of International Aluminum-Lithium Symposium, Los Angeles, CA, 25-26 Março 1987, páginas 1-40). Consequentemente, as propriedades das peças forjadas da liga corrente 2090 de Al-Cu-Li não são suficientemente elevadas, que justifique o seu uso, em vez das actuais ligas para peças forjadas 7 XXX.

Deveria ser salientado que a adição de Mg ao sistema constituído por Al-Cu-Li não origina, por si próprio, um aumento da resistência mecânica da liga, em têmperas de elevada resistência mecânica. Por exemplo a liga 8090 (composição nominal Al-1,3 Cu - 2,5 Li - 0,7 Mg) não tem uma resistência mecânica significativamente maior comparada com a liga 2090 nominalmen-

Wifama

te isenta de Mg (composição nominal Al- 2,7 Cu - 2,2 Li - 0,12 Zr). Além disso, a liga 2020 isenta de Mg, com a composição nominal Al-4,5 Cu-1,1 Li-0,4 Mn-0,2 Cd é mesmo mais forte do que a liga 8090 que contém Mg.

A Patente Europeia Nº. 158 571 de Dubost, concedida a Cegedur Société de Transformation de l'Aluminum Pechiney, faz referência a ligas de Al que compreendem 2,75 - 3,5 Cu, 1,9 - 2,7 Li, 0,1 - 0,8 Mg, sendo a parte restante constituída por Al e agente de refina o de grãos. As ligas, que são comercialmente conhecidas como CP276, possuem uma elevada resistência mecânica combinada com uma diminui o na densidade de 6 a 9 por cento, comparada com as ligas convencionais 2 xxx (Al-Cu) e 7 xxx (Al-Zn-Mg). Embora Dubost enuncie elevados limites de elasticidade de 498 - 591 MPa (72-85 Ksi) para as suas ligas em condi es de têmpera T6, os alongamentos realizados são relativamente baixos (2,5 a 5,5 por cento).

A Patente Norte Americana n . 4 752 343 concedida a Dubost e outros, cedida a Cegedur Société de Transformation de l'Aluminum Pechiney, refere-se a ligas de Al que compreendem 1,5 - 3,4 Cu, 1,7 - 2,9 Li, 1,2 - 2,7 Mg, sendo a parte restante constituída por Al e agente de refina o de gr os. A propor o de Mg em rela o a Cu deve situar-se entre 0,5 e 0,8. As ligas possuem características de resistência mecânica e ductilidade equivalentes às ligas convencionais 2 xxx e 7 xxx. Embora o objectivo de Dubost e outros seja produzir ligas que tenham resistências mecânicas e ductilidade comparáveis às ligas convencionais, tais 2024 e 7075, as combina es obtidas de resistência mecânica/ductilidade ficam abaixo daquelas atingidas pelas ligas da presente inven o.

A Patente Norte Americana n . 4 652 314 concedida a Meyer, cedida a Cegedur Société de Transformation de l'Aluminum Pechi-

Wiferna

ney, refere-se a um método de tratamento térmico das ligas Al-Cu-Li-Mg. O processo é referido como transmitindo um elevado nível de ductilidade e isotropia do produto final. O mais elevado limite de elasticidade no sentido longitudinal obtido por Meyer é 504 MPa (73 Ksi) para uma liga trabalhada a frio e envelhecida artificialmente, o que é significativamente inferior aos limites de elasticidade conseguidos nas ligas da presente invenção numa condição de trabalho a frio e envelhecidas artificialmente.

A Patente Norte Americana nº. 4 526 630 concedida a Fielde, cedida a Alcan International Ltd. refere-se a um método de tratamento térmico das ligas Al-Li que contém Cu e/ou Mg. O processo, que constitui uma alteração das técnicas de homogeneização convencionais, envolve o aquecimento de um lingote a uma temperatura, de pelo menos 530°C e mantém-se a temperatura até que as fases intermetálicas sólidas presentes dentro da liga, entrem na solução sólida. O lingote é então arrefecido, de maneira a formar um produto que seja adequado para outro tratamento termomecânico, tais como a laminação, extrusão e forjagem. O processo descoberto elimina as fases indesejáveis do lingote, tal como a fase que contém cobre em grãos grosseiros, presentes nas ligas Al-Li-Cu-Mg da técnica anterior.

O Pedido de Patente Europeia nº. 227 563 de Meyer et al, cedido à Cegedur Sociéte de Transformation de l'Aluminum Pechiney descreve um método de tratamento das ligas convencionais Al-Li a fim de melhorar a resistência à corrosão por esfoliação, enquanto mantém uma resistência mecânica elevada. O processo envolve as operações de homogeneização, extrusão, tratamento térmico de dissolução e trabalho a frio de uma liga Al-Li, seguido por uma operação final de têmpera, que confere à liga uma maior resistência à corrosão por esfoliação, enquanto mantém uma elevada resistência mecânica e uma boa re-

Wifama

sistência aos danos.

As ligas submetidas ao tratamento têm uma sensibilidade ao ensaio de esfoliação EXCO inferior ou igual ao EB (o que corresponde a um bom comportamento na atmosfera natural) e uma resistência mecânica comparável às ligas 2024. Meyer et al fazem enumerações extensas de elementos que constituem ligas, que quando combinados com Al, podem produzir ligas, que podem ser submetidas ao referido tratamento final da têmpera. Os intervalos de valores referidos, incluem 1-4 Li, 0-5 Cu e 0-7 Mg. Enquanto a referência apresenta intervalos de valores muito extensos dos elementos que constituem as ligas, as ligas que na realidade Meyer et al utilizam são as ligas convencionais. 8090, 2091 e CP276. Assim, Meyer e colaboradores não mencionam a formação de novas composições de ligas, mas simplesmente, mencionam um método de preparação das conhecidas ligas Al-Li. O mais elevado limite de elasticidade realizado de acordo com o processo de Meyer e outros é de 525 MPa (76 Ksi) para a liga CP276 (2,0 Li, 3,2 Cu, 0,3 Mg, 0,11 Zr, 0,04 Fe, 0,04 Si, sendo a parte restante constituída por Al) numa condição de trabalho a frio e envelhecida artificialmente. Além disso, o método final de têmpera de Meyer et al melhora a resistência à corrosão por esfoliação nas ligas Al-Li, pelo que a sensibilidade ao ensaio de corrosão de esfoliação EXCO é melhorado para uma cetação inferior ou igual a EB.

Em contraste, as ligas da presente invenção não necessitam da operação final de têmpera a fim de obterem um nível favorável de resistência à corrosão por esfoliação.

O Pedido de Patente U.K. Nº. 2 134 925, cedido a Sumitono Light Metal Industries Ltd. refere-se às ligas Al-Li que possuem uma elevada resistividade eléctrica. As ligas são adequadas para serem usadas em aplicações estruturais, tais como

veículos a motor linear e reactores de fusão nuclear, onde se desenvolvem grandes correntes eléctricas induzidas. A função primária de Li nas ligas de Sumitomo é aumentar a resistividade eléctrica. A referência faz extensas enumerações dos elementos que constituem as ligas que, quando combinados com Al, podem produzir ligas estruturais que tenham uma maior resistividade eléctrica. Os referidos intervalos de valores são 1,0-5,0 Li, um ou mais agentes de refinação de grãos escolhidos de Ti, Cr, Zr, V e W, sendo a parte restante constituída por Al. A liga pode ainda incluir 0-5,0 Mn e/ou 0,05 - 5,0 Cu e/ou 0,05 - 8,0 Mg. Sumitomo revela composições particulares de ligas à base de Al-Li-Cu e Al-Li-Mg, que possuem propriedades eléctricas melhoradas. Sumitomo revela também uma liga de Al-Li-Cu-Mg, com a composição 2,7 Li, 2,4 Cu, 2,2 Mg, 0,1 Cr, 0,06 Ti, 0,14 Zr, sendo a parte restante constituída por alumínio, que possui o aumento desejado em resistividade eléctrica. As resistências mecânicas mencionadas por Sumitomo são muito inferiores àquelas obtidas na presente invenção. Por exemplo, nas ligas mencionadas à base de Al-Li-Cu, Sumitomo indica resistências mecânicas à tracção de cerca de 17 a 35 kg/mm² (24 a 50 Ksi). Nas ligas mencionadas à base de Al-Li-Mg, Sumitomo refere resistências mecânicas à tracção de 43 a 52 kg/mm² (61 a 74 Ksi).

A Patente Norte Americana nº. 3 306 717 concedida a Lindstrand et al refere-se a varetas de metal (eléctrodos) para a soldadura de ligas à base de Al-Zn-Mg. A vareta de metal compreende Al com 2 - 8 por cento em peso de Mg, 0,1 - 10 por cento em peso de Ag, e até 8 por cento em peso de Si. Além disso, a vareta de metal pode conter até 1,0 por cento em peso de cada elemento Mn e Cr, até 0,5 em por cento em peso de cada elemento Cu, Si e V, e até 0,1 por cento em peso de cada elemento Li, Zr e B. O único exemplo dado por Lindstrand et al menciona uma composição para vareta de metal de Al-5 Mg - 0,9 Ag.

1
Wifama

Convém salientar que as ligas de Al-Cu-Li-Mg da técnica anterior têm limitado, quase invariavelmente, a quantidade de Cu a 5 por cento em peso no máximo, devido aos efeitos prejudiciais conhecidos de um conteúdo mais elevado de Cu, tal como um aumento de densidade. De acordo com Mondolfo, as quantidades de Cu acima de 5 por cento em peso não aumentam a resistência mecânica e tendem a diminuir a tenacidade à fractura e a reduzir a resistência à corrosão. (Mondolfo, páginas 706-707). Estes efeitos podem surgir porque nas ligas para fins técnicos, o limite prático de solubilidade sólida de Cu é aproximadamente 5 por cento em peso e por isso qualquer Cu presente acima de cerca de 5 por cento em peso forma a indesejada "fase-teta" primária. Além disso, Mondolfo afirma que no sistema quaternário Al-Cu-Li-Mg, a solubilidade de Cu é ainda mais reduzida. Conclui: "As solubilidades sólidas de Cu e Mg são reduzidas por Li, e as solubilidades sólidas de Cu e Li são reduzidas por Mg, induzindo-se assim o endurecimento por envelhecimento e os VTS obtido" (Mondolfo, página 641). Assim, o Cu adicional não deverá entrar na solução sólida durante o tratamento térmico da dissolução e não pode intensificar a resistência de precipitação, e a presença da fase-teta insolúvel reduz a tenacidade e a resistência à corrosão.

Uma referência que menciona o uso de mais do que 5 por cento em peso de Cu, é a Patente Norte-Americana nº. 2 915 391 concedida a Crimer, cedida a Alcoa. A referência revela ligas à base de Al-Cu-Mn que contêm Li, Mg e Cd e até 9 por cento em peso de Cu. Crimer explica que Mn é essencial para o desenvolvimento de uma elevada resistência mecânica a alta temperatura e que Cd, em combinação com Mg e Li, é essencial para o aumento da resistência do sistema constituído por Al-Cu-Mn. Crimer não consegue propriedades comparáveis àquelas da presente invenção, isto é, uma resistência mecânica ultra-alta, uma intensa resposta ao envelhecimento natural, elevada ductilidade

W. J. Adams

em vários níveis de resistência à tração utilizados tecnologicamente, soldabilidade resistência à formação de fendas, provocadas por corrosão sob tensão etc.

As seguintes referências revelam outras ligas que contêm Al, Cu, Li e Mg: a Patente Norte-Americana nº. 4 603 029 concedida a Quist e outros; a Patente Norte-Americana nº. 4 601 172 concedida a Skinner e outros; a Publicação do Pedido de Patente Europeia nº. 0188762 de Hout e outros; a Publicação do Pedido de Patente Europeia nº. 0149193; a Patente Japonesa nº. J6-0238439; a Patente Japonesa nº. J6-113358; e a Patente Japonesa nº. J6-1231145. Nenhuma destas referências revela o uso da prata ou do zinco, como adições que fazem parte das ligas.

A Patente Norte Americana nº. 4 584 173 concedida a Gray et al refere-se a ligas à base de Al-Li-Mg que contêm pequenas quantidades de Cu. As ligas compreendem 2,1 - 2,9 por cento de Li, 3,0 - 5,5 por cento de Mg, e 0,2 - 0,7 por cento de Cu. Por outro lado, Gray et al revelaram que pode adicionar-se Zn a estas ligas num intervalo compreendido entre cerca 0 - 2,0 por cento.

A Patente Norte Americana nº. 4 758 285 concedida a Dubost et al faz referência a ligas à base de alumínio que compreendem 0,2 - 1,6 por cento de Cu, 1,8 - 3,5 por cento de Li e 1,4-6,0 por cento de Mg. Dubost et al explicam que até 0,35 por cento de Zn pode ser incluído nas ligas. Contudo, nenhuma das ligas de Al-Cu-Li-Mg produzidas realmente por Dubost et al contêm zinco.

A Patente Norte Americana nº. 4 625 409 concedida a Miller revela ligas à base de alumínio, que compreendem 1,6 - 2,4 por cento de Cu, 2,3 - 2,9 por cento de Li e 0,5 - 1,0 por cento de Mg. Miller explica que pode adicionar-se a estas ligas até

Wifama

2,0 por cento de Zn, mas nenhuma das ligas específicas produzidas por Miller contém zinco.

A Patente Norte-Americana nº. 4 648 913 concedida a Hunt et al cedida a Alcoa, cujo conteúdo é aqui incorporado para referência, refere-se a um método para o trabalho a frio de ligas Al-Li, em que as ligas tratadas termicamente em solução e temperadas são submetidas a um estiramento mecânico maior do que 3 por cento à temperatura ambiente. A liga é então envelhecida artificialmente de forma a produzir um produto final de liga. O trabalho a frio proporcionado pelo processo de Hunt et al faz aumentar a resistência mecânica, embora provoque uma pequena diminuição ou nenhuma da tenacidade à fractura das ligas. As ligas específicas utilizadas por Hunt et al são escolhidas de tal forma, que reagem ao trabalho a frio e ao tratamento de envelhecimento revelados. Isto é, as ligas devem apresentar uma resistência mecânica melhorada com uma perda mínima na tenacidade à fractura, quando sujeitas ao tratamento de trabalho a frio mencionado, (estiramento mecânico maior do que 3 por cento) em contraste, com o resultado obtido com a mesma liga, se for trabalhada a frio com menos de 3 por cento. Hunt et al enumeraram de forma extensa os elementos contidos nas ligas que, quando combinados com Al, podem produzir ligas que respondem a um estiramento superior a 3 por cento. Os intervalos de valores revelados são: 0,5 - 4,0 Li, 0 - 5,0 Mg, até 5,0 Cu, 0 - 1,0 Zr, 0 - 2,0 Mn, 0 - 7,0 Zn, sendo a parte restante constituída por Al. Embora Hunt et al revelem intervalos muito amplos dos vários elementos que constituem as ligas, há apenas uma gama limitada de composições de liga que apresentariam realmente a combinação exigida de uma resistência mecânica melhorada e uma tenacidade à fractura fixa, quando submetida a um estiramento mecânico maior do que 3 por cento. Em contraste, não são necessárias grandes valores de estiramento mecânico, a fim de se produzirem as propriedades favoráveis nas li-

Wifama

— gas da presente invenção.

Além disso, os limites de resistência obtidos nas ligas da presente invenção, estão substancialmente acima daquelas obtidas nas composições das ligas de Hunt et al. Hunt et al indicam ainda que é preferível no seu processo envelhecer artificialmente a liga, depois do trabalho a frio, em vez do envelhecimento natural. Em contraste, as ligas da presente invenção respondem de uma forma extremamente forte, ao envelhecimento natural.

A Patente Norte-Americana nº. 4 795 502 concedida a Alcoa, cujo conteúdo é aqui incorporado por referência, refere-se a um método de preparação de produtos, com forma de folha, de Al-Li forjados e não recristalizados que tenham níveis aperfeiçoados de resistência mecânica e tenacidade e à fractura. No processo de Cho, um lingote homogenizado de liga de alumínio é laminado a quente, pelo menos uma vez, é laminado a frio e submetido a um novo tratamento térmico controlado. O produto reaquecido passa então por um tratamento térmico de dissolução, arrefecimento rápido, tratamento a frio, a fim de induzir o equivalente a um estiramento mecânico superior a 3 por cento, e é envelhecido artificialmente de forma a proporcionar um produto com forma de folha substancialmente não recristalizado que tenha níveis aperfeiçoados de resistência mecânica e tenacidade à fractura. O produto final caracteriza-se por uma microestrutura altamente trabalhada com ausência de grãos bem desenvolvidos. A referência de Cho, parece ser uma modificação da referência anteriormente mencionada, de Hunt et al pelo facto de ser realizado adicionalmente um tratamento de reaquecimento controlado antes do tratamento térmico de dissolução, que evita a recristalização no produto final formado. Cho afirma especificamente, que as ligas à base de alumínio, que se inserem nas seguintes classes de composição, adaptam-se ao

Wifans²

processo mencionado: 0,5 - 4,0 Li, 0 - 5,0 Mg, até 5,0 Cu, 0 - 1,0 Zr, 0 - 2,0 Mn, e 0 - 7,0 Zn.

Como na referência de Hunt et al, as ligas específicas utilizadas por Cho são geralmente escolhidas de tal forma, que apresentam uma combinação de resistência mecânica aperfeiçoada e tenacidade à fractura, quando são submetidas a um trabalho a frio superior a 3 por cento. As ligas de Cho devem ainda ser susceptíveis ao mencionado tratamento de reaquecimento. Embora Cho apresente um processo que pretende fazer aumentar a resistência mecânica nas ligas de Al-Li conhecidas tal como a 2091, as resistências à tracção obtidas são substancialmente inferiores às conseguidas nas ligas da presente invenção. Cho indica também que o envelhecimento artificial deverá ser utilizado no seu processo, de forma a obterem-se propriedades vantajosas. Em contraste, as ligas da presente invenção não necessitam de envelhecimento artificial. Mais, as presentes ligas apresentam uma receptividade extremamente intensa ao envelhecimento natural, o que permite o seu uso em aplicações onde o envelhecimento artificial é impraticável.

O Pedido de Patente Norte-Americano da Série nº. 07/327 666 de Pickens et al, depositado em 23 de Março de 1989, que é uma Continuação parcial do Pedido de Patente Norte-Americano da Série Nº. 07/ 233 705, depositado em 18 de Agosto de 1988, e que é aqui incorporada por referência, revela ligas Al-Cu-Mg-Li, que tenham composições contidas dentro das seguintes gamas: 5 - 7 Cu, 0,1 - 2,5 Li, 0,05 - 4 Mg, 0,01 - 1,5 do agente de refinação dos grãos seleccionado de Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B TiB_2 , e sendo a parte restante constituída por alumínio. O Pedido de Patente Norte-Americano da Série Nº.... 07/327 666 também revela ligas Al-Cu-Mg-Li com um baixo teor de Cu, que têm composições contidas dentro das seguintes gamas: 3,5 - 5 Cu, 0,8 - 1,8 Li, 0,25 - 1,0 Mg, 0,01 - 1,5 de

Wifama

agente de refinação dos grãos seleccionado de Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B e TiB_2 , sendo a parte restante constituída por alumínio.

O pedido 07/327666 menciona ainda que elementos auxiliares tais como Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Ca e Zn podem adicionar-se individualmente ou combinados, em quantidades compreendidas em cerca de 0,01 por cento a cerca de 1,5 por cento em peso.

O Pedido de Patente Norte-Americano da Série Nº. 07/327 927 de Pickens et al, depositado em 23 de Março de 1989, que é uma continuação parcial do Pedido de Patente Norte-Americana da Série Nº. 07/083 333, depositado em 10 de Agosto de 1987, e que é aqui incorporado por referência, revela uma liga Al-Cu-Mg-Li-Ag, com composições contidas na seguinte gama de valores ampla: 0 - 9,79 Cu, 0,05 - 4,1 Li, 0,01 - 9,8 Mg, 0,01-2,0 Ag, 0,05 - 1,0 de agente de refinação dos grãos seleccionado de Zr, Cr, Mn, Ti, B, V, Hf e TiB_2 e sendo a parte restante constituída por Al. Nenhuma referência é mencionada no pedido 07/327 927 da adição do zinco, ou qualquer dos elementos germânio, estanho, cádmio, índio, berílio, estrôncio, escândio, ítrio e cálcio, em relação às ligas Al-Cu-Mg-Li-Ag. De acordo com a presente invenção, as adições de Zn podem usar-se para reduzir os níveis de Ag presentes nas ligas referidas no pedido 07/327 927. Assim, Zn pode substituir-se por uma porção de Ag, reduzindo assim os custos. As propriedades de resistência à tracção são aperfeiçoadas nas ligas da presente invenção, que contêm Zn. Além disso, a resistência à formação de fendas provocadas por corrosão sob tensão podem também ser melhorada.

2
Wifama

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Um objecto da presente invenção é revelar uma nova composição de liga metálica à base de alumínio.

Um outro objecto da presente invenção é revelar uma liga à base de alumínio com excelentes propriedades de envelhecimento natural, trabalhada a frio tanto com o estado de têmpera (T3) como sem o estado de têmpera (T1), o que inclui uma elevada ductilidade, soldabilidade, excelentes propriedades criogénicas, e boas propriedades a alta temperatura.

Um outro objecto da presente invenção consiste em revelar uma liga à base de alumínio, com propriedades substancialmente melhoradas, no estado de têmpera (T6) envelhecido artificialmente e não trabalhado a frio, tais como uma resistência mecânica ultra-alta combinada com elevada ductilidade, soldabilidade, excelentes propriedades criogénicas, e boas propriedades a temperatura elevada.

Um outro objecto da presente invenção consiste em revelar uma liga à base de alumínio com excelentes propriedades no estado de têmpera (T8), tal como uma resistência mecânica ultra-alta combinada com elevada ductilidade, soldabilidade, excelentes propriedades criogénicas, boas propriedades a alta temperatura, e uma boa resistência à formação de fendas, provocadas por corrosão sob tensão.

Um outro objecto da presente invenção consiste em revelar uma liga à base de alumínio que compreenda entre cerca de 1 e cerca de 7 por cento em peso de Cu, entre cerca de 0,1 e cerca de 4 por cento em peso de Li, entre cerca de 0,01 e cerca de 4 por cento do peso total de, pelo menos, um elemento seleccionado de Zn, Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y, e Ca, entre cerca

W. J. ...

de 0,05 e cerca de 3 por cento em peso de Mg, entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de Ag, entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhido de Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB_2 e as suas combinações sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

Um outro objectivo da presente consiste em obter uma liga à base de alumínio que contenha entre cerca de 1 e cerca de 7 por cento em peso de Cu, entre cerca de 0,1 e cerca de 4 por cento em peso de Li, entre cerca de 0,1 e cerca de 4 por cento em peso de Zn, entre cerca de 0,05 e cerca de 3 por cento em peso de Mg, entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de Ag, entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhido de Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB_2 e suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

É um outro objecto da presente invenção revelar uma liga à base de alumínio que contenha Cu, Li, Mg, Ag, pelo menos um elemento seleccionado de Zn, Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca, pelo menos um agente de refinação dos grãos escolhido de Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, B e TiB_2 , sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas, em que a proporção em peso entre Cu e Li é relativamente elevada, por exemplo, maior do que cerca de 2,5 ou 3.

A não ser que seja afirmado o contrário, todas as composições são apresentadas em percentagem em peso.

2
Wilson

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 representa uma curva de envelhecimento, onde figuram a resistência mecânica e o alongamento versus. O tempo para uma liga da presente invenção trabalhada a frio. A liga é constituída por uma composição de 4,75 por cento de Cu, 1,3 por cento de Li, 0,5 por cento de Zn, 0,4 por cento de Mg, 0,4 por cento de Ag, 0,14 por cento de Zr, sendo a parte restante constituída por alumínio.

A Figura 2 representa uma curva de envelhecimento, onde figuram a resistência mecânica e o alongamento versus o tempo para a mesma liga, num estado não trabalhada a frio.

DESCRIÇÃO PORMENORIZADA DA INVENÇÃO

As ligas da presente invenção contém os elementos Al, Cu, Li, Mg, Ag, pelo menos, um elemento escolhido de Zn, Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca, e um agente de refinação dos grãos ou a combinação de agentes de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Ti, Cr, Mn, B, Nb, V, Hf e TiB_2 . Estes elementos estão presentes dentro das seguintes gamas: 1 - 7 Cu, 0,1 - 4 Li, 0,35 - 3 Mg, 0,01 - 2 Ag, 0,01 - 4 X 0,01 - 2 de agente de refinação de grãos, sendo a parte restante constituída por Al e eventuais impurezas, em que Δ representa Zn, Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y, Ca ou uma sua combinação.

O zinco é a adição na liga mais altamente preferida, além do grupo já mencionado constituída por Zn, Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca. Por conseguinte, a presente exposição incidi-

Wifama

rá principalmente nas composições da liga que contém o elemento Zn. Contudo, convém frisar que o uso das adições de liga constituídas por Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca está dentro do âmbito da presente invenção, e que a substituição parcial ou total de Zn, por um ou mais destes elementos, foi contemplada. De acordo com a presente invenção, as gamas preferidas são entre cerca de 3,0 e cerca de 5,5 de Cu, entre cerca de 0,5 e cerca de 2,5 de Li, entre cerca de 0,05 e cerca de 2 de Zn, entre cerca de 0,1 e cerca de 1,5 de Mg, entre cerca de 0,05 e cerca de 1 de Ag, entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 de agente(s) de refinação de grãos, sendo a parte restante constituída essencialmente por Al. As gamas mais preferidas estão compreendidas entre cerca de 3,5 e cerca de 5,5 de Cu, entre cerca de 0,8 e cerca de 2,0 de Li, entre cerca de 0,2 e cerca de 1,5 de Zn, entre cerca de 0,2 e cerca de 0,8 de Mg, entre cerca de 0,1 e cerca de 0,5 de Mg, entre cerca de 0,08 e cerca de 0,2 de um agente(s) de refinação de grãos, sendo a parte restante constituída essencialmente por Al. As gamas da maior preferência estão compreendidas entre cerca de 4,0 e cerca de 5,0 de Cu, entre cerca de 1,0 e cerca de 1,6 de Li, entre cerca de 0,25 e cerca de 7,5 de Zn, entre cerca de 0,3 e cerca de 0,5 de Ag, entre cerca de 0,1 e cerca de 0,4 de Ag, entre cerca de 0,08 e cerca de 0,2 de um agente(s) de refinação de grãos, sendo a parte restante constituída essencialmente por Al. Os agentes de refinação de grãos compreendem Zr e Ti, sendo Zr o de maior preferência, visto que Zr pode também servir como um potente inibidor de recristalização. Se Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca fossem usados em vez de Zn, ou além deste, a percentagem do peso total destes elementos coincidirá com a gama mais ampla mencionada anteriormente, entre cerca de 0,01 e cerca de 4 por cento. Quando Zn está presente na gama preferida entre cerca de 0,05 e cerca de 2 por cento, as ligas da presente invenção podem compreender ainda uma gama preferida entre cerca de 0,01 e cerca de 1,5 por cento de pelo

Wifama

— menos um dos elementos Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca. A Tabela I menciona as gamas da composição, para as ligas da presente invenção.

T A B E L A I

	<u>Gamas da Composição</u>				<u>Agente de refinação</u>	
	<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Zn</u>	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	<u>de Grãos</u>
Larga	1-7	0,-4	0,01-4	0,05-3	0,01-2	0,01-2 Parte restante
Preferida	3,0-6,5	0,5-2,6	0,05-2	0,1-1,5	0,05-1	0,0-5-0,5 Parte restante
Mais pre-ferida	3,5-5,5	0,8-2,0	0,2-1,5	0,2-0,8	0,1-0,5	0,08-0,2 Parte restante
A mais preferida	4,0-5,0	1,0-1,6	0,25-0,75	0,3-0,5	0,1-0,4	0,08-0,2 Parte restante

P. Silva

As eventuais impurezas associadas ao alumínio, tais como Si e Fe, podem estar presentes, especialmente quando a liga foi vazada, laminada, forjada, submetida a extrusão, comprimida ou trabalhada e tratada termicamente de qualquer outro modo.

De acordo com a presente invenção, o uso de Cu em concentrações relativamente elevadas entre cerca de 1 e cerca de 7 por cento e preferivelmente em quantidades maiores do que cerca de 3,0 por cento, provoca um aumento da resistência à tracção e do limite de elasticidade e da resistência à tracção superior às ligas convencionais Al-Li. O uso de mais do que cerca de 3,5 por cento de Cu é necessário, a fim de originar a soldabilidade das ligas, sendo a soldabilidade extremamente boa acima de cerca de 4,5 por cento de Cu. A soldabilidade define-se como a resistência ao fendilhamento a quente, por solidificação. As concentrações de Cu superiores a cerca de 3,0 por cento são também úteis, a fim de proporcionarem quantidades suficientes de Cu e formarem fracções volumétricas elevadas de precipitados de aumento da resistência mecânica no estado de ténpera T_1 (Al_2CuLi) em ténperas envelhecidas artificialmente. Estes precipitados actuam de forma a melhorar a resistência mecânica nas ligas da presente invenção, substancialmente superiores, às resistências mecânicas obtidas nas ligas convencionais Al-Li. Embora as concentrações de Cu superiores a cerca de 3,0 por cento sejam preferidas, podem-se usar quantidades inferiores de Cu, até cerca de 1 por cento, por exemplo, a fim de reduzir a densidade. Além disso, embora as concentrações de Cu até 7 por cento tenham sido apresentadas nas gamas gerais da composição da presente invenção, é possível exceder esta quantidade, embora o cobre adicional acima de 7 por cento, possa resultar numa diminuição da resistência à corrosão e da tenacidade à fractura, enquanto a densidade aumenta.

Wifama

O uso de Li nas ligas da presente invenção permite uma redução significativa da densidade sobre as ligas convencionais de Al. Também o Li aumenta a resistência mecânica e melhora o módulo elástico. Podem obter-se propriedades mecânicas e físicas vantajosas com as concentrações de Li compreendidas entre cerca de 0,1 e entre cerca de 4 por cento. Abaixo de 0,1 por cento não se obtém reduções significativas na densidade, enquanto acima de cerca de 4 por cento, o limite de solubilidade do Li pode ser excedido. Os limites de elasticidade são maximizados com os níveis de Li compreendidos entre cerca de 0,9 e cerca de 1,6 por cento, reduzindo-se as resistências mecânicas abaixo e acima desta gama. As resistências mecânicas máximas são obtidas com valores que estão compreendidos entre cerca de 1,1 e cerca de 1,4 por cento.

Para as aplicações com limitação da densidade, níveis mais elevados de Li, isto é, 1,8 ou 2,0 por cento e ainda mais elevados, podem usar-se para reduzir a densidade, embora as resistências mecânicas inferiores possam realizar-se a estes níveis mais elevados.

Proporções elevadas de percentagem em peso entre Cu e Li podem ser utilizadas nas ligas da presente invenção a fim de proporcionar propriedades mais satisfatórias. Por exemplo, as proporções de percentagem em peso entre Cu e Li maiores do que cerca de 2,5 ou 3,0 podem-se usar nas ligas que contêm mais do que cerca de 0,8 por cento de Li, de forma a produzir porções volumétricas altas de precipitados de aumento da resistência mecânica no estado de têmpera T_1 , num estado de têmpera T_8 .

O uso de Zn nas ligas da presente invenção aumenta significativamente as propriedades da resistência à tracção. Por exemplo, a resistência mecânica e a ductilidade transversal peque-

30
Wifam

na sofrem aumento em algumas têmperas. Também a presença de Zn pode intensificar a resistência   corrosão.

O uso de Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e/ou Ca podem ajudar, por exemplo na nuclea o e na refina o de precipitados.

O uso de Mg nas ligas da presente inven o favorece a nuclea o, aumentando assim, a resistência mecânica. Mg também intensifica a resposta ao envelhecimento natural sem trabalho prévio a frio. As resistências   trac o das presentes ligas podem variar, dependendo do teor de Mg. As propriedades físicas e mecânicas favoráveis obt m-se com concentra es de Mg compreendidas entre 0,05 e 3 por cento, sendo as resistências mecânicas máximas obtidas com valores compreendidos entre cerca de 0,2 e cerca de 0,8 por cento.

O uso de Ag nas ligas da presente inven o melhora a soldabilidade e pode, até certo ponto, intensificar a resistência mecânica. As mais elevadas resistência mecânicas podem-se obter nas presentes ligas com concentra es de Ag compreendidas entre cerca de 0,1 e cerca de 0,4 por cento.

De acordo com a presente inven o, prepararam-se várias ligas, que têm as seguintes composi es, como está fixado na Tabela II.

Wilson

T A B E L A II

Composições Nominais das Ligas (% em peso)

<u>Comp.</u>	<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Zn</u>	<u>Mg</u>	<u>Ag</u>	<u>Zr</u>	<u>Al</u>
I	4,75	1,3	0,25	0,4	0,4	0,14	Parte restante
II	4,75	1,3	0,5	0,4	0,4	0,14	Parte restante
III	4,75	1,3	0,75	0,4	0,4	0,14	Parte restante
IV	4,75	1,3	1,0	0,4	0,4	0,14	Parte restante
V	4,75	1,3	1,5	0,4	0,4	0,14	Parte restante
VI	4,75	1,3	2,0	0,4	0,4	0,14	Parte restante
VII	4,75	1,3	0,75	0,4	0,2	0,14	Parte restante
VIII	4,75	1,3	0,75	0,4	0,1	0,14	Parte restante
IX	4,0	1,5	0,5	0,4	0,4	0,14	Parte restante
X	4,5	1,25	1,0	0,4	0,4	0,13	Parte restante
XI	4,5	1,25	1,0	0,4	0,25	0,13	Parte restante
XII	2,7	2,2	1,0	0,4	0,4	0,12	Parte restante
XIII	2,7	2,2	1,0	0,4	0,25	0,12	Parte restante
XIV	1,2	2,4	1,0	0,7	0,4	0,12	Parte restante

*Wifana*²

As ligas I a IX referidas na Tabela II, foram submetidas a vazamento e extrusão, em que se usaram as seguintes técnicas. Os elementos foram fundidos por indução sob uma atmosfera inerte de árgon e vazadas em lingotes de 23 kg (50 lb) com um diâmetro de 160 mm (6 1/4 in.). Os lingotes foram homogeneizados a fim de se afectar a uniformidade de composição do lingote, em que se usou um tratamento de homogeneização em duas operações. Na primeira operação, os lingotes foram aquecidos durante 16 horas a 454°C (850°F) de forma a pôr as fases de baixa temperatura de fusão em solução sólida, e na segunda operação os lingotes são aquecidos durante 8 hras a 504°C (940°F). A primeira operação realizou-se abaixo do ponto de fusão de quais quer fases de temperatura de fusão baixa longe do equilíbrio que formam estruturas tal como vazadas, devido ao facto da fusão destas fases poder produzir propriedade no lingote e/ou fraca aptidão para o trabalho mecânico. A segunda operação realizou-se à mais elevada temperatura possível sem fusão, a fim de assegurar a difusão rápida para homogeneizar as composições. Os lingotes foram limpos e depois submetidos a extrusão a uma velocidade de 25 mm/s aproximadamente a 370°C (700°F) a fim de formar barras rectangulares que tenham secções transversais com 10 mm por 102 mm (3/8" por 4"). As ligas extrudiram bastante bem, não provocam fendas nem estragos na superfície. As barras rectangulares extrudidas foram posteriormente submetidas a tratamento térmico de dissolução a 504°C (940°F) durante 1 hora e a arrefecimento rápido em água. Alguns segmentos da extrusão foram alinhados por estiramento aproximadamente 3 por cento. Este processo de alinhamento por estiramento alinha as extrusões e também realiza o trabalho a frio. Alguns dos segmentos, tanto com trabalho a frio como sem trabalho a frio, foram envelhecidas naturalmente aproximadamente a 20°C (68°F). Outros segmentos foram envelhecidos artificialmente a 150°C (320°F) se foram trabalhados a frio, ou a 180°C (356°F) se não foram trabalhados a frio.

As ligas X a XIV referidas acima foram vazadas e laminadas, usando-se as seguintes técnicas. Os elementos foram fundidos por indução sob uma atmosfera inerte de argon e vazados para formarem lingotes de 13,6 kg (30 lb). Os lingotes foram homogeneizados a 499°C (930°F) durante 24 horas, usando-se uma taxa de aquecimento lento de 28°C (50°F) por hora. Os lingotes homogeneizados foram reduzidos a aproximadamente 82,5 por 127 mm em seção transversal por laminação primária e então laminados a quente na forma de uma chapa de 12,7 mm (0,5") de espessura nominal a uma temperatura compreendida entre 482°C (900°F) e entre 371°C (700°F). As chapas laminadas foram submetidas a tratamento térmico da dissolução a 504°C (940°F) durante 1 hora e arrefecidas rapidamente em água fria. Algumas das chapas sofreram um estiramento de 3 por cento e foram envelhecidas artificialmente a cerca de 150°C (320°F) durante 24 horas a fim de se obter 1 chapa com o estado de têmpera T8. As outras chapas foram envelhecidas artificialmente a cerca de 177°C (350°F) sem sofrerem estiramento, a fim de se obter uma chapa com o estado de têmpera T6.

Para facilidade de referência, as designações de têmpera para as várias combinações de tratamento de envelhecimento e presença ou ausência de trabalho a frio foram reunidas na Tabela 3.

Wilson

TABELA III

Designações de Têmpera

<u>Têmpera</u> *	<u>Descrição</u>
T3	tratada termicamente por dissolução trabalhada a frio ** Envelhecida naturalmente até uma condi- ção substancialmente estável.
T4	tratado termicamente por dissolução Envelhecida naturalmente até uma condi- ção substancialmente estável.
T6	tratado termicamente por dissolução Envelhecida artificialmente
T8	tratado termicamente por dissolução trabalhada a frio. Envelhecida artificialmente.

* Sempre que aparecem números adicionais depois da designação normal de têmpera, tal como T31, isto indica simplesmente um tipo específico de têmpera T8, por exemplo, a uma certa temperatura de envelhecimento ou durante um certo período de tempo.

** Embora uma têmpera T4 ou têmpera T6 possam ter trabalho a frio para promover a integridade geométrica, este trabalho a frio não influencia significativamente as respectivas propriedades de envelhecimento.

A Tabela IV representa as propriedades da resistência à tracção

Wifanus

envelhecido naturalmente, para a liga da composição II da presente invenção. A não ser que seja afirmado o contrário, as propriedades da resistência à tracção da presente Memória Descritiva são tomadas no sentido longitudinal. Em alguns exemplos, as propriedades no sentido transversal longa (2T) são também dadas e designadas dessa maneira.

T A B E L A IV

PROPRIEDADES DA RESISTENCIA A TRACÇÃO COM
ENVELECIMENTO NATURAL

Composição da liga	Têmpera	Orientação	Limite de elasticidade (MPa)	Resistência de ruptura à tracção (MPa)	Alongamento %
II	T3	L	397	534	17,0
	T3	LT	361	500	19,8
	T4	L	472	613	14,9
	T4	L	465	622	17,0

Como é evidenciado pelas propriedades referidas acima, a liga de composição II da presente invenção apresenta uma resposta fenomenal ao envelhecimento natural. As propriedades da resistência à tracção da Composição II na condição de envelhecimento natural sem trabalho a frio prévio no estado de têmpera T4, são mesmo superior àquelas da liga 2219 na condição de envelhecimento artificial com trabalho a frio prévio, isto é, em condição de tratamento térmico pleno ou no estado de têmpera T81. É significativo que esta excepcional resposta ao envelhecimento natural exista sem trabalho a frio prévio, porque proporciona uma via, para intensificar a resistência mecânica

36
Wifama

das soldaduras e das peças forjadas, no qual a indução do trabalho a frio não é possível. As propriedades mínimas especificadas para extrudidor de 2219-T81, a liga aeroespacial standard corrente, são 303 MPa (44,0 Ksi) para limite de elasticidade, 421 MPa (61,0) para resistência à ruptura à tracção, e 6 % de alongamento. O estado de têmpera T81 é a têmpera padrão de mais elevada resistência mecânica para as extrusões 2219, de geometria semelhante à liga da Composição II. As Composições II nas têmperas envelhecidas naturalmente têm também vantajosas propriedades sobre a liga 2024, no estado de têmpera T81, de elevada resistência mecânica, uma das principais ligas usadas na aviação, que tem 400 MPa (58 Ksi) YS, 455 MPa (66 Ksi) UTS e 5 por cento de alongamento com mínimos estabelecidos. A liga 2024 apresenta uma resposta ao envelhecimento natural isto é, no estado de têmpera T42, mas é muito menor do que àquela da Composição II. As propriedades superiores da Composição II sobre as ligas convencionais 2219 e 2024 estão representadas na Tabela V.

Dever-se-ia salientar que as condições de envelhecimento natural nos estados de têmpera T3 e T4 para a Composição II são comparadas a condições óptimas de elevadas resistências mecânicas num estado de têmpera T8, para as ligas convencionais 2219 e 2024, assim como em relação ao estado de têmpera T4 para a liga 2024.

37
Wifama

T A B E L A V

PROPRIEDADES DA RESISTÊNCIA MECÂNICA

À TRACÇÃO

Liga	Tempera	Limite de Elasticidade (MPa)	Resistência de Ruptura à tracção (MPa)	Alongamento (%)
Comp.				
II	T4	472	612	14,9
	T4	465	621	17,0
	T3	397	534	17,0
2219	T81 mínima	303	421	6,0
	T81 típicas	252	455	10,0
2024	T42 mínima	262	393	12,0
	T81 mínima	400	453	5,0

Estudos sobre o envelhecimento indicam que se podem obter resistências mecânicas próximas do máximo em períodos de tempo realizados tecnologicamente, como se segue: entre cerca de 160°C para o material submetido a estiramento, ou cerca de 180°C para o material não submetido a estiramento. A temperatura mais baixa é escolhida para o material sujeito a estiramento, porque as deslocções introduzidas pelo trabalho a frio aceleram a cinética de envelhecimento. Contudo, reconhece-se que estas temperaturas podem ser variadas.

Numa condição de envelhecimento artificial, as ligas da presente invenção atingem uma resistência mecânica ultra-alta. De particular importância é o facto de as máximas resistências à tracção (UTS) bem superiores a 690 MPa (100 Ksi) com alonga-

38
Wifama

mentos de 5 por cento podem ser obtidos tanto em têmperas no estado T8 como no estado T6. Isto indica que o trabalho a frio não   necessário para se obterem resistências mecânicas ultra-altas nas ligas da presente inven o, como acontece tipicamente nas ligas convencionais 2xxx. De facto, a dureza Rockwell B (uma medida de dureza da liga, que corresponde aproximadamente um por um com o valor UTS para estas ligas) atinge substancialmente o mesmo valor final para as presentes ligas, independentemente da quantidade de trabalho a frio (alongamento) após um período suficiente de envelhecimento. Isto deveria proporcionar uma considerável liberdade nos processos de fabrica o associados a estrutura na avia o e na tecnologia aeroespacial. Além disso, alongamentos até 25 por cento e mais elevados realizam-se em certas têmperas sub-envelhecidas, isto  , invertidas.

As têmperas com elevada ductilidade, tal como esta, podem ser extremamente úteis na fabrica o de componentes estruturais aeroespaciais devido aos limites amplos de labora o a frio.

A Tabela VI indica as propriedades da resistência mecânica   trac o com envelhecimento artificial, para as várias ligas da presente inven o.

TABELA VI

Propriedades da resistência à tração com envelhecimento artificial

Comp. da liga	Tempera	Descrição da Tempera	Orientação	Tempo de envelhe- cimento (h)	Tempera- tura de envelhe- cimento (°C)	YS (MPa)	UTS (MPa)	El. (%)
II	T8	inversão	L	0,25	160	329	487	22,1
	T8	inversão	L	0,5	160	338	505	20,1
	T8	sub-enve- lhçada	L	6	160	644	680	8,2
	T8	sub-enve- lhçada	L	6	160	632	679	8,1
	T8	sub-enve- lhçada	L	16	160	696	712	5,7
	T8	sub-enve- lhçada	LT	16	160	654	672	4,1
	T8	sub-enve- lhçada	LT	16	160	647	674	4,3
	T8	sobre-enve- lhçada	L	18	160	719	739	6,0



TABELA VI (continuação)

Propriedades da resistência à tração com envelhecimento artificial

Comp. da liga	Tempera	Descrição da Tempera	Orientação	Tempo de envelhecimento (h)	Temperatura de envelhecimento (°C)	YS (MPa)	UTS (MPa)	El (%)
II	T8	próximo do pico	L	18	160	719	739	6,0
	T8	próximo do pico	L	18	160	715	731	5,9
	T8	próximo do pico	L	20	160	710	728	5,4
	T8	próximo do pico	L	20	160	733	752	7,5
	T8	próximo do pico	LT	20	160	654	677	4,1
	T8	sobre envelhecida	L	22	160	690	714	5,7
	T8	sobre envelhecida	L	22	160	736	749	6,7
	T8	sobre envelhecida	LT	22	160	656	677	3,7

Wilson

TABELA VI (continuação)

Propriedades da resistência à tração com envelhecimento artificial

Comp. da liga	Tempera	Descrição da	Tempera	Orientação	Tempo de envelhecimento (h)	Temperatura de envelhecimento (°C)	YS (MPa)	UTS (MPa)	El. (%)
II	T8	sobre envelhecimento	L		24	160	717	737	5,7
	T8	sobre envelhecimento	L		24	160	708	726	7,0
	T6	Inversão	L		0,25	180	277	483	22,8
	T6	Inversão	L		0,5	180	271	479	25,3
	T6	sub-envelhecimento	L		6	180	643	697	6,2
	T6	sub-envelhecimento	L		6	180	617	672	7,8
	T6	sub-envelhecimento	L		16	180	717	739	3,5
	T6	sub-envelhecimento	L		16	180	708	732	4,5

*Wilmar*⁴¹

TABELA VI (continuação)

Propriedades da resistência à tração com envelhecimento artificial

Comp. da liga	Tempera	Descrição da Tempera	Orientação	Tempo de envelhecimento (h)	Temperatura de envelhecimento (°C)	YS		UTS		El. (%)
						(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
II	T6	sub-envelhecida	LT	16	180	658	677	658	677	2,0
	T6	sub-envelhecida	LT	16	180	655	675	655	675	2,6
	T6	próximo do pico	L	20	180	731	759	731	759	2,8
	T6	próximo do pico	L	20	180	744	759	744	759	2,9
	T6	sobre-envelhecida	L	32	180	710	735	710	735	1,7
	T6	sobre-envelhecida	L	32	180	717	737	717	737	2,6
X	T8	sub-envelhecida	L	8	160	614	646	614	646	6,0
	T8	próximo do pico	L	24	160	628	657	628	657	4,0

Wilson

TABELA VI (continuação)

Propriedades da resistência à tração com envelhecimento artificial

Comp. da liga	Tempera	Tempera	Descrição da	Orientação	Tempo de envelhecimento (h)	Temperatura de envelhecimento (°C)	YS (MPa)	UTS (MPa)	El. (%)
X	T6	sub-envelhecida	L	L	8	177	597	646	4,0
	T6	próximo do pico	L	L	24	177	667	669	2,5
XI	T8	próximo do pico	L	L	24	160	621	652	8,0
	T6	sub-envelhecida	L	L	8	177	500	569	6,0
	T6	próximo do pico	L	L	24	177	633	656	2,5

*Wifano*¹³

Wifama

A Figura 1 representa a resposta de envelhecimento da Composição da liga II na condição de trabalho a frio. A resistência de ruptura à tracção, o limite de elasticidade e alongamento são representados graficamente contra o tempo de envelhecimento a 160°C. Os valores mais à esquerda do gráfico, isto é, o tempo = 0, representam as propriedades no estado de t₃ envelhecidas naturalmente. A Figura 2 representa a resposta ao envelhecimento da liga da Composição II numa condição não trabalhada a frio. A resistência de ruptura à tracção, o limite de elasticidade e o alongamento são representados graficamente contra o tempo de envelhecimento a 180°C. As propriedades no estado de t₄ com envelhecimento natural são representadas no lado esquerdo do gráfico.

Geralmente as ligas produzidas de acordo com a presente invenção têm composições compreendidas entre cerca de 4,0 e cerca de 5,5 de Cu, entre cerca de 0,9 e cerca de 1,6 de Li, entre cerca de 0,2 e cerca de 1 de Zn, entre cerca de 0,2 e cerca de 0,5 Mg, entre cerca de 0,1 e cerca de 0,5 de Mg, entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 de um agente de refinação de grãos, sendo a parte restante constituída por Al, possuem alongamentos e resistências mecânicas longitudinais extremamente úteis. Por exemplo, no estado de t₃, as ligas que se inserem nas Composições já mencionadas (isto é, nas gamas de Composição já mencionadas) podem apresentar um limite de elasticidade longitudinal compreendido entre cerca de 345 MPa (50 Ksi) e cerca de 517 MPa (75 Ksi), uma resistência de ruptura à tracção longitudinal compreendida entre cerca de 448 MPa (65) e cerca de 607 MPa (88 Ksi), e um alongamento longitudinal compreendido entre cerca de 8 e cerca de 25 por cento. No estado de t₄, as ligas que se inserem nestas gamas de Composição podem apresentar um limite de elasticidade longitudinal compreendido entre cerca de 379 MPa (55) e cerca de 531 MPa (77 Ksi), uma resistência de ruptura à tracção longitudinal

*W. J. ...*⁵

compreendida entre cerca de 462 MPa (67) e cerca de 690 MPa (100 Ksi), e um alongamento longitudinal compreendido entre cerca de 8 e cerca de 25 por cento. Além disso, no estado de têmpera T6, estas ligas podem apresentar um limite de elasticidade longitudinal compreendido entre cerca de 483 MPa (70) e cerca de 759 MPa (110 Ksi), uma resistência de ruptura   trac o longitudinal compreendida entre cerca de 552 e 814 MPa (80 e 118 Ksi) e um alongamento longitudinal compreendido dentro do intervalo de cerca de 1 a cerca de 10 por cento. Ainda no estado têmpera T8, as ligas que se inserem nas gamas de composi o mencionada anteriormente, apresenta um limite de elasticidade compreendido entre cerca de 483 MPa e cerca de 759 MPa (70 e 110 Ksi) uma resistência de ruptura   trac o compreendida entre cerca de 552 MPa e cerca de 814 MPa (80 e 118 Ksi), e um alongamento compreendido dentro do intervalo de cerca de 2 a cerca de 15 por cento. Convém frisar que as propriedades anteriormente mencionadas em têmperas envelhecidas naturalmente no estado de têmpera T3 e T4 são para períodos de tempo de envelhecimento praticados tecnologicamente, isto  , de 600 a 12 00 horas, e que as resistências mecânicas intensificar-se- o indefinidamente com um envelhecimento natural de longa dura o. Também pode ser possível aumentar os limites de elasticidade e as resistências de ruptura   trac o já mencionadas em têmperas trabalhadas a frio, no estado de têmpera T3 e T8, trabalhando-se com elevadas rela es de redu o, isto  , elevadas rela es de extrusão.

As ligas da presente inven o podem ser rapidamente produzidas por técnicas de produ o   escala comercial. Para exemplificar, um lingote de 4500 kg foi submetido a vazamento e lamina o usando-se os seguintes processos. Uma liga de alumínio que   constituída entre cerca de 4,3 por cento em peso de Mg, cerca de 0,37 por cento em peso de Ag, e cerca de 0,14 por cento em peso de Zn, sendo a parte restante constituída essen-

cialmente por alumínio e impurezas, foi vazada num lingote com aproximadamente 4500 kg que tem uma secção transversal de 305 mm de espessura por 1143 mm de largura. O lingote foi homogeneizado num forno a uma temperatura de 471°C (880° F) durante 8 horas, seguida por uma temperatura de 499°C (930° F) durante 36 horas e foi arrefecido ao ar. O lingote foi limpo e cortado até 250 mm de espessura, 1016 mm de largura e 3429 mm de comprimento. O lingote foi então previamente aquecido num forno durante 2 horas a 482°C (900° F) e laminado a quente na forma de uma chapa com 12,7 mm de espessura. A chapa foi tratada termicamente em dissolução a 504°C (940° F) durante 1,5 hora e foi arrefecida rapidamente em água fria. A chapa foi então, estirada cerca de 6 por cento no sentido da laminação à temperatura ambiente. O estiramento foi seguido por um envelhecimento artificial a 154°C (310° F) durante 4 e 8 horas. Os resultados do ensaio da resistência à tracção e os resultados do ensaio da tenacidade à fractura por meio de amostras de resistência à tracção compactas, são mencionados na Tabela VIII. Os valores da propriedade mecânica dados, são os valores médios a partir dos duplicados.

TABELA VII

<u>Tempo de Envelhecimento (h)</u>	<u>Orientação</u>	<u>Resistência de limite de elasticidade (Ksi)</u>	<u>Resistência de ruptura à tracção (Ksi)</u>	<u>Alongamento (%)</u>	<u>Kr(max)* (Ksi-v)</u>
4	L	564	598	12,2	---
	LT	538	589	11,4	59,2
8	L	617	638	9,3	---
	LT	590	627	7,8	32,1

* Usaram-se amostras compactas de resistência à tracção W-6

Williams

Wifama

Convém notar que embora certas operações de processamento sejam reveladas para a produção dos produtos das ligas da presente invenção, estas operações podem-se modificar a fim de se obter os vários resultados desejados.

Por exemplo, os períodos de envelhecimento artificial e/ou as temperaturas podem-se alterar os tempos e/ou temperatura de homogeneização podem variar, e a quantidade de trabalho a frio que foi empregada pode-se variar. Assim, as operações que incluem vazamento, homogeneização, trabalho, tratamento térmico e envelhecimento podem-se alterar, ou podem-se adicionar outras operações, para afectar, por exemplo, as propriedades mecânicas e físicas do produto final formado.

As características tais como o tipo, tamanho e distribuição dos precipitados da resistência mecânica podem, assim, ser controlada até certo ponto, o que depende das técnicas utilizadas na sua preparação. Também o tamanho do grão, a proporção do aspecto do grão, e a quantidade de recristalização do produto final, podem-se controlar até certo ponto. Além disso, durante a preparação, as temperaturas de envelhecimento e o período de envelhecimento podem-se alterar de forma a aumentar as taxas de produção. Por conseguinte, além das técnicas de processamento contidas na presente memória, podem-se usar várias modificações na preparação das ligas da presente invenção.

Embora na formação dos lingotes das ligas presentes, a técnica de vazamento seja a preferida, as ligas podem também ser preparadas numa forma de lingote consolidado a partir de finas partículas. O pó ou o material formado de partículas pode ser preparado por processos tais como atomização, vazamento mecânico e fiação da massa fundida. Nestas técnicas do processamento do pó, pode ser possível aumentar o nível de um agente

Wilson

de refinação de grãos e/ou os elementos de liga presentes dentro das ligas. Por exemplo, os níveis de Zr podem ser aumentados em quantidades de cerca de 2 ou cerca de 3 por cento em peso, ou mais.

Adicionalmente às técnicas convencionais de trabalho, dos metais, tais como extrusão, forja, laminação, de formação plástica, e de formação semi-sólida, as ligas da presente invenção podem ser submetidas a técnicas de solidificação rápida, que incluem a formação por pulverização, atomização, arrefecimento, fiação de massa fundida e semelhantes. As técnicas adequadas de formação por pulverização incluem o processo de Osprey e a compactação dinâmica líquida.

As ligas da presente invenção possuem propriedades que as tornam excelente para aplicação com soldadura. A sua capacidade de atingirem elevadas resistências mecânicas sem necessitarem de trabalho a frio, é muito vantajosa em operações de soldadura, em que a utilização do trabalho a frio não é muitas vezes praticável. Também a resposta intensa ao envelhecimento natural das presentes ligas permite o seu uso em aplicações com soldadura, onde o envelhecimento artificial, depois da operação de soldadura não é possível. As presentes ligas são altamente resistentes à formação de fendas a quente que podem ocorrer durante a soldadura, e podem ser soldadas usando tanto varetas convencionais como varetas do metal de origem, ou as suas modificações. Para exemplificar a soldabilidade das presentes ligas, uma chapa da Composição II foi soldada com um fio de vareta à base de alumínio que tem a seguinte composição: 5,0 por cento em peso de Cu, 1,3 por cento em peso de Li, 0,4 por cento em peso de Mg, 0,4 por cento em peso de Ag, 0,14 por cento em peso de Zr, 0,1 por cento em peso de Ti, sendo a parte restante constituída por alumínio. Uma soldadura de arco de plasma com polaridade variável (VPPA) de uma passagem, for-

50
Wifama

temente forçada foi realizada com uma corrente de 160 A e com uma tensão igual a 20V a uma velocidade de deslocação igual a 5,5 ipm. e uma taxa de alimentação do eléctrodo de soldadura igual a 50 ipm. A liga da Composição II foi facilmente soldada, sem mostrar vestígios de fendas a quente, apesar da forte regressão a que foi sujeita.

As técnicas de soldadura convencionais, tais como o arco de plasma de polaridade variável (VPPA), o arco de tungsténio protegido com gás, o arco de metal protegido com gás, o feixe electrónico, a fricção etc, são apropriados para soldarem as ligas da presente invenção.

As presentes ligas, nomeadamente aquelas que contêm mais do que cerca de 4 ou 4,5 por cento de Cu, são adequadas para serem utilizadas como ligas de varetas de soldadura. Assim, as presentes ligas podem-se usar como ligas de vareta de soldadura para soldar as ligas à base de alumínio, que incluem as ligas mencionadas pela presente invenção, assim como as ligas convencionais à base de alumínio. Para exemplificar o uso das presentes ligas como ligas de soldadura, realizou-se um ensaio de soldadura, em que se usou a chapa da composição II. O ensaio, conhecido como ensaio circular, processa-se fazendo uma soldadura circular na chapa da liga, e mede-se o comprimento da fenda na soldadura. Esta geometria propositadamente solicita fortemente soldadura em solidificações o que pode causar a formação de fendas a quente por solidificação. Numa soldadura circular a autogénio com cerca de 5 cm de diâmetro foi depositada (gota sobre a chapa) numa chapa da liga da Composição II, de espessura 9,5 mm.

Não originou nenhuma fenda, isto é, comprimento de fenda igual a 0, na vareta da Composição II, o que indica que a liga da Composição II é extremamente adequada como uma liga de solda-

Wifan

dura. Em contraste, o mesmo ensaio realizou-se utilizando as ligas comerciais 2090 e 2091, e desenvolveu-se um comprimento de fenda cerca de 0,71 mm numa soldadura 2090, e um comprimento de fenda cerca de 16,2 mm numa soldadura 2091.

Quando as ligas da presente invenção são utilizadas como ligas de vareta de soldadura, as composições inseridas nas seguintes gamas são adequadas: compreendidas entre cerca de 4,0 e cerca de 6,5 por cento em peso de Cu, entre cerca de 0,5 e cerca de 2,6 por cento em peso de Li, entre cerca de 0,05 e cerca de 2 por cento em peso de Zn, entre cerca de 0,05 e cerca de 0,8 por cento em peso de Mg, entre cerca de 0,05 e cerca de 1 por cento em peso de Ag, entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhido de Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio. As composições de liga de soldadura preferidas contêm entre cerca de 4,5 e 6 por cento em peso de Cu, entre cerca de 0,8 e cerca de 1,6 por cento em peso de Li, entre cerca de 0,25 e cerca de 0,75 por cento em peso de Zn, entre cerca de 0,2 e cerca de 0,5 por cento em peso de Mg, entre 0,5 por cento em peso de Mg, entre cerca de 0,1 e cerca de 0,4 por cento em peso de Ag, entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso de um agente de refinação de grãos escolhido de Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio. O zircónio é o mais preferido agente de refinação dos grãos. Pequenas quantidades de elementos adicionais escolhidos de Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y e Ca podem também ser adicionadas às composições de liga de soldadura mencionadas anteriormente, por exemplo, para actuarem como auxiliares de nucleação. Estes exemplos podem ser adicionados num intervalo total compreendido entre cerca de 0,01 e cerca de 1,5 por cento.

As ligas da presente invenção possuem excelentes propriedades

51
Wifama

a temperaturas altas, ao manterem grande parte da sua resistência mecânica e valores úteis de alongamento a temperaturas de 149°C (300° F) e superiores.

as ligas da presente invenção possuem também excelentes propriedades criogénicas. As resistências mecânicas submetidas a temperaturas criogénicas aumentam, efectivamente, em relação às resistências mecânicas submetidas à temperatura ambiente. Além disso, os valores úteis de alongamento mantêm-se a temperaturas criogénicas. As temperaturas criogénicas incluem -320° F (-196°C) e -80° F (-68°C). As excelentes propriedades criogénicas obtidas com as ligas da presente invenção permitem importantes implicações relacionadas com as aplicações do espaço, onde as ligas criogénicas são, muitas vezes, necessárias para o armazenamento de combustíveis e comburentes. Tipicamente as ligas de alumínio com elevada resistência mecânica têm baixa resistência aos vários tipos de corrosão, particularmente à formação de fendas provocadas por corrosão sob tensão SCC, o que tem limitado a utilização de muitas ligas da alta tecnologia. Em contraste, as ligas da presente invenção possuem excelente resistência à formação de fendas provocadas por corrosão sob tensão. Além disso, as presentes ligas têm apenas uma mínima susceptibilidade de corrosão à esfoliação. Para ilustrar a elevada resistência à formação de fendas provocadas por corrosão sob tensão, que as presentes ligas possuem, realizou-se um ensaio à corrosão, numa liga de composição II. Dez amostras de liga de Composição II foram submetidas a extrusão, trabalhada a frio e envelhecida artificialmente numa ténpera (5 amostras envelhecidas durante 6 horas a 150°C e 5 amostras envelheceram durante 16 horas a 150°C), preparadas de acordo com a norma ASTM 649, foram carregadas com 4,9 kg/cm² (70 Ksi) no sentido transversal ao comprimento. As amostras foram submetidas a um ensaio de imersão alternado, de acordo com a norma ASTM 644 que implica exposição a seco duran

53
Wifama

te 50 minutos, alternando com as exposições molhadas durante 10 minutos, numa solução que contém 3,5 por cento de NaCl. Todas as amostras se mantiveram intactas ao fim do ensaio padrão de 40 dias (ASTM norma 664), o que indica uma resistência extremamente forte à formação de fendas provocadas por corrosão sob tensão. Isto é significativo, porque demonstra a excelente resistência à formação de fendas provocadas por corrosão sob tensão, a níveis acima dos limites de elasticidade das ligas existentes utilizadas na tecnologia aeroespacial tais como 2024 e 2014.

Devido às inesperadas elevadas propriedades das ligas da presente invenção, pode ser conveniente fazer adições de Zn e Ag, nas quantidades especificadas na Tabela I, nas ligas comerciais 2091 e 276CP. Verificou-se que as Composições XII e XIII da presente invenção representam a adição de Zn, Ag e Mg, à liga 2090 de lítio, à base de alumínio, comercializada recentemente, e que a Composição XIV representa a adição de Zn e Ag à liga comercial 8090. Do mesmo modo, as adições de Zn e Ag podem-se realizar nas ligas 2091 e 276 CP. Consequentemente estas adições consideram-se dentro do âmbito da presente invenção.

Convém frisar, que a descrição da presente invenção mencionada anteriormente é susceptível de várias modificações, alterações e adaptações pelos peritos na matéria, e que as mesmas devem ser consideradas dentro do espírito e âmbito da invenção, como é realçado pelas reivindicações que se seguem.

Wiferna

REIVINDICAÇÕES:

1^a. Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio com uma resistência mecânica ultra-alfa, caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente entre cerca de 1 e cerca de 7 por cento em peso de Cu; entre cerca de 0,1 e cerca de 4 por cento em peso de Li; entre cerca de 0,01 e cerca de 4 por cento em peso total de, pelo menos, um elemento escolhido do grupo que consiste em Zn, Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr e Ca; entre cerca de 0,05 e cerca de 3 por cento em peso de Mg; entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de Ag; entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

2^a.- Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de, na liga, o Cu constituir entre cerca de 3,0 e cerca de 6,5 por cento em peso; o Li constituir entre cerca de 0,5 e cerca de 2,6 por cento em peso; o total dos elementos escolhidos de Zn, Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr e Ca constituir entre cerca de 0,05 e cerca de 2 por cento em peso; o Mg constituir entre cerca de 0,1 e cerca de 1,5 por cento em peso;

Wifama⁶⁵

o agente de refinação dos grãos constituir entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso.

3^a - Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a composição da liga ser a seguinte:

Cu- cerca de 3,5 a cerca de 5,5 por cento em peso;
Li- cerca de 0,8 a cerca de 2,0 por cento em peso;
total dos elementos escolhidos de Zn, Ge, Su, Cá, In, Be, Sr e Ca- cerca de 0,2 a cerca de 1,5 por cento em peso;
Mg- cerca de 0,2 a cerca de 0,8 por cento em peso;
Ag- cerca de 0,1 a cerca de 0,5 por cento em peso: e
agente de refinação dos grãos - cerca de 0,08 a cerca de 0,2 por cento em peso.

4^a - Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a composição da liga ser a seguinte:

Cu- cerca de 4,0 a cerca de 5,0 por cento em peso;
Li- cerca de 1,0 a cerca de 1,6 por cento em peso;
total dos elementos escolhidos de Zn, Ge, Su, Cá, In, Be, Sr e Ca- cerca de 0,25 a cerca de 0,75 por cento em peso;
Mg- cerca de 0,3 a cerca de 0,5 por cento em peso;
Ag- cerca de 0,1 a cerca de 0,4 por cento em peso: e
agente de refinação dos grãos - cerca de 0,08 a cerca de 0,2 por cento em peso.

5^a - Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos grãos compreender Zr, Ti ou uma sua combinação.

6^a - Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a composição da liga ser a seguinte:

*Wilsons*⁶

cerca de 1 até cerca de 7 por cento em peso de Cu;
cerca de 0,1 até cerca de 4 por cento em peso de Li;
cerca de 0,01 até cerca de 4 por cento em peso de Zn;
cerca de 0,05 até cerca de 3 por cento em peso de Mg;
cerca de 0,01 até cerca de 2 por cento em peso de Ag;
cerca de 0,01 até cerca de 2 por cento em peso de agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

7^a -Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos orgãos compreender Zr.

8^a Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos orgãos compreender Ti.

9^a Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos orgãos constituir entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso.

10^a Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos orgãos constituir entre cerca de 0,08 e cerca de 0,2 por cento em peso da liga.

11^a Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos orgãos constituir entre cerca de 3,0 e cerca de 6,5 por cento em peso da liga.

12^a Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos orgãos constituir

Wifanus⁵⁷

- entre cerca de 3,5 e cerca de 6,5 por cento em peso da liga.
- 13^a - Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos órgãos constituir entre cerca de 4,0 e cerca de 5,0 por cento em peso da liga.
- 14^a - Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de o Li constituir entre cerca de 0,5 e cerca de 2,6 por cento em peso da liga.
- 15^a - Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de o Li constituir entre cerca de 0,8 e cerca de 2,0 por cento em peso da liga.
- 16^a - Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de o Li constituir entre cerca de 1,0 e cerca de 1,6 por cento em peso da liga.
- 17^a - Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de o Zn constituir entre cerca de 0,05 e cerca de 2 por cento em peso da liga.
- 18^a - Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de o Zn constituir entre cerca de 0,2 e cerca de 1,5 por cento em peso da liga.
- 19^a - Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo facto de o agente de o Zn constituir entre cerca de 0,25 e cerca de 0,75 por cento em peso da liga.

Wifama

27^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente

entre cerca de 3,0 e cerca de 6,5 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 0,5 e cerca de 2,6 por cento em peso de Li;
entre cerca de 0,05 e cerca de 2 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,01 e cerca de 1,5 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,05 e cerca de 1 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

28^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente

entre cerca de 3,5 e cerca de 5,5 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 0,8 e cerca de 2,0 por cento em peso de Li;
entre cerca de 0,2 e cerca de 1,5 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,01 e cerca de 1,5 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,1 e cerca de 2 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

*Wilsons*⁶⁰

30^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente

entre cerca de 4,0 e cerca de 5,0 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 1,0 e cerca de 1,6 por cento em peso de Li;
entre cerca de 0,25 e cerca de 0,75 por cento em peso de Zn;
entre cerca de 0,3 e cerca de 0,5 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,05 e cerca de 1 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

31_a - Processo de acordo com a reivindicação 30, caracterizado pelo facto de, na liga para fins criogénicos, o Cu constituir entre cerca de 4,0 e cerca de 5,0 por cento em peso;

o Li constituir entre cerca de 1,0 e cerca de 1,6 por cento em peso; e

o agente de refinação dos grãos constituir entre cerca de 0,08 e cerca de 0,2 por cento em peso.

32_a - Processo de acordo com a reivindicação 30, caracterizado pelo facto de, liga para fins criogénicos, o agente de refinação dos grãos compreender Zn.

33^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio soldáveis caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica soldável que contém essencialmente

entre cerca de 4,0 e cerca de 6,5 por cento em peso de Cu;

Wilson

entre cerca de 0,8 e cerca de 2,0 por cento em peso de Li;
entre cerca de 0,2 e cerca de 1,5 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,2 e cerca de 0,8 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,1 e cerca de 0,5 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

34^a - Processo de acordo com a reivindicação 33, caracterizado pelo facto de na liga soldável, o Cu constituir

entre cerca de 4,5 e cerca de 5,5 por cento em peso;

o Li constituir entre cerca de 1,0 e cerca de 1,6 por cento em peso;

Zn constituir entre cerca de 0,25 e cerca de 0,75 por cento em peso;

Mg constituir entre cerca de 0,3 e cerca de 0,5 por cento em peso;

a Ag constituir entre cerca de 0,1 e cerca de 0,4 por cento em peso;

o agente de refinação dos grãos constituir entre cerca de 0,08 e cerca de 0,2 por cento em peso.

35_a - Processo de acordo com a reivindicação 34, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos grãos compreender Zr.

36^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio trabalhadas a frio envelhecidas naturalmente caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente
entre cerca de 4 e cerca de 5,5 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 0,9 e cerca de 1,6 por cento em peso de Li;

Wilson

entre cerca de 0,2 e cerca de 1 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,2 e cerca de 0,5 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,1 e cerca de 0,5 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas, a qual, no estado de tempera T3, possui um limite elástico compreendido entre cerca de 3500 e cerca de 5250 kgf/cm² (50 a 70k si), uma resistencia de ruptura à tracção compreendida entre cerca de 4550 e cerca de 6160 kgf/cm² (65 a 88 Ksi) e um alongamento compreendido entre cerca de 8 e cerca de 25 por cento.

37^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio não trabalhadas a frio envelhecidas naturalmente caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente

entre cerca de 4,0 e cerca de 5,5 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 0,9 e cerca de 1,6 por cento em peso de Li;
entre cerca de 0,2 e cerca de 5,5 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,2 e cerca de 0,5 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,1 e cerca de 0,5 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas, a qual, no estado de tempera T4, possui um limite elástico compreendido entre cerca de 3850 e cerca de 5390 kgf/cm² (55 a 77 ksi), uma resistencia de ruptura à tracção compreendida entre cerca de 4690 e cerca de 70000 kgf/cm² (67 a 100 Ksi) e um

63
Wifama

alongamento compreendido entre cerca de 8 e cerca de 25 por cento

38^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio não trabalhadas a frio envelhecidas artificialmente caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente

entre cerca de 4,0 e cerca de 5,5 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 0,9 e cerca de 1,6 por cento em peso de Li;
entre cerca de 0,2 e cerca de 1 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,2 e cerca de 0,5 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,1 e cerca de 0,5 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas, a qual, no estado de tempera T6, possui um limite elástico compreendido entre cerca de 4900 e cerca de 7700 kgf/cm² (70 a 100 ksi), uma resistencia de ruptura à tracção compreendida entre cerca de 5600 e cerca de 8260 kgf/cm² (80 a 118 Ksi) e um alongamento compreendido entre cerca de 1 e cerca de 10 por cento.

39^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio trabalhadas a frio artificialmente envelhecidas, caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente

entre cerca de 4 e cerca de 5,5 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 0,9 e cerca de 1,6 por cento em peso de Li;

Wifama⁸⁴

entre cerca de 0,2 e cerca de 1 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,2 e cerca de 0,5 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,1 e cerca de 0,5 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas, a qual, no estado de tempera T8, possui um limite elástico compreendido entre cerca de 4900 e cerca de 7700 kgf/cm² (70 a 100 ksi), uma resistencia de ruptura à tracção compreendida entre cerca de 5600 e cerca de 8260 kgf/cm² (80 a 118 Ksi) e um alongamento compreendido entre cerca de 1 e cerca de 10 por cento.

40^a - Processo para a preparação de ligas metálicas para varetas de soldadura para ligas à base de alumínio trabalhadas a frio artificialmente envelhecidas, caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente
entre cerca de 4 e cerca de 6,5 por cento em peso de Cu;
entre cerca de 0,5 e cerca de 2,6 por cento em peso de Li;
entre cerca de 0,05 e cerca de 2 por cento em peso Zn;
entre cerca de 0,05 e cerca de 0,8 por cento em peso de Mg;
entre cerca de 0,1 e cerca de 1 por cento em peso de Ag;
entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por alumínio e eventuais impurezas.

41^a - Processo de acordo com a reivindicação 40, caracterizado pelo facto de, na liga das varetas de soldadura o Cu constituir

*Wifama*⁶⁵

entre cerca de 4,5 e cerca de 6 por cento em peso;
 o Li entre cerca de 0,8 e cerca de 1,6 por cento em peso;
 Zn constituir entre cerca de 0,25 e cerca de 0,75 por cento em peso;
 o Mg constituir entre cerca de 0,2 e cerca de 0,5 por cento em peso;
 a Ag constituir entre cerca de 0,1 e cerca de 0,4 por cento em peso;
 o agente de refinação dos grãos constituir entre cerca de 0,05 e cerca de 0,5 por cento em peso.

42^a - Processo de acordo com a reivindicação 40, caracterizado pelo facto de o agente de refinação dos grãos compreender Zn.

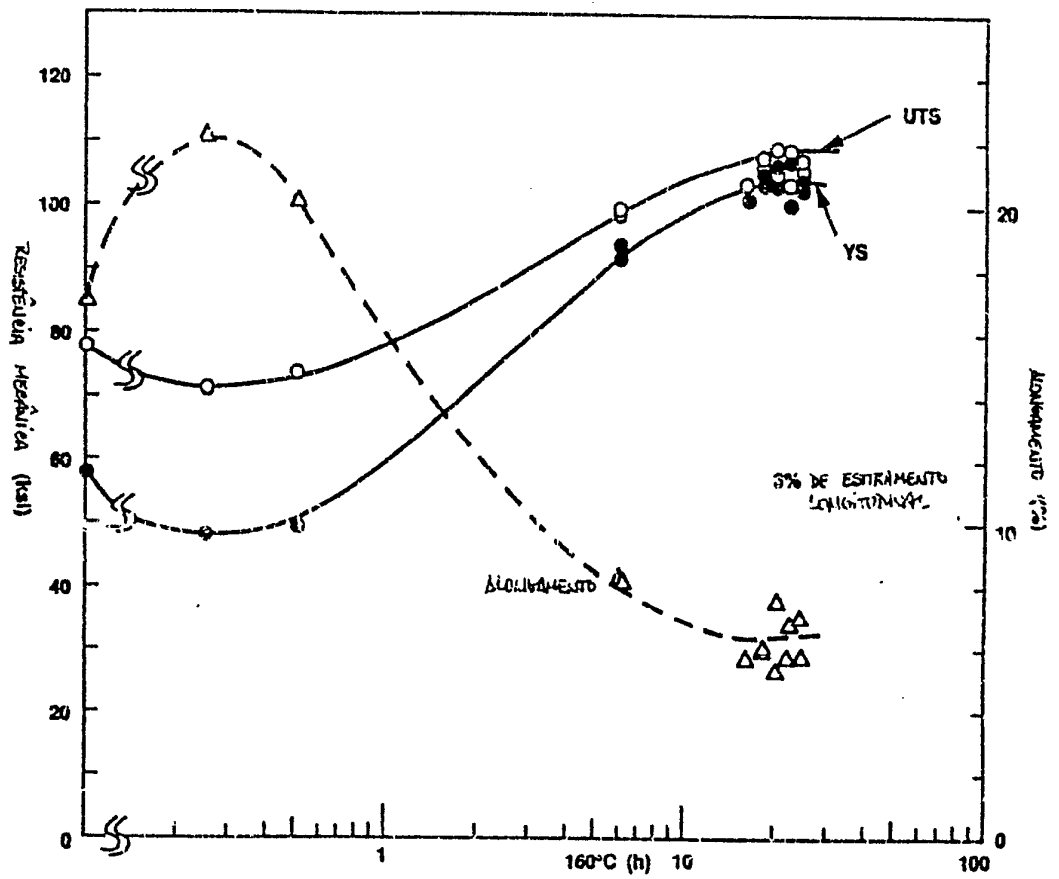
43^a - Processo de acordo com a reivindicação 40, caracterizado pelo facto de a liga ainda conter cerca de 0,01 até cerca de 1,5 por cento em peso de um elemento escolhido do grupo que consiste em Ge, Sn, Cd, In, Be, Sr, Sc, Y, Ca e as suas combinações.

44^a - Processo para a preparação de ligas metálicas à base de alumínio, caracterizado pelo facto de se misturar, fundir e afinar uma mistura de componentes metálicos de tal maneira que se obtenha uma liga metálica que contém essencialmente
 entre cerca de 3,0 e cerca de 6,5 por cento em peso de Cu;
 entre cerca de 0,5 e cerca de 2,6 por cento em peso de Li;
 entre cerca de 0,05 e cerca de 2 por cento em peso de Zn;
 entre cerca de 0,1 e cerca de 1,5 por cento em peso de Mg;
 entre cerca de 0,05 e cerca de 1 por cento em peso de Ag;
 entre cerca de 0,01 e cerca de 2 por cento em peso de um agente de refinação dos grãos escolhidos do grupo que consiste em Zr, Cr, Mn, Ti, Hf, V, Nb, B, TiB₂ e as suas combinações, sendo a parte restante constituída por

e

a1

Fig. 1



Wifredo

Fig. 2

