



INPI INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 112014011160-0

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

(21) Número do Depósito: BR 112014011160-0

(22) Data do Depósito: 09/11/2012

(43) Data da Publicação do Pedido: 16/05/2013

(51) Classificação Internacional: C22C 21/02; C22C 21/14.

(30) Prioridade Unionista: EP 11188792.3 de 11/11/2011; EP 12182578.0 de 31/08/2012.

(54) Título: LIGA DE ALUMÍNIO, ESTRUTURA UNIDA, PRODUTO DE FOLHA DE ALUMÍNIO COMPÓSITO E MÉTODO DE FAZER UMA ESTRUTURA UNIDA

(73) Titular: NOVELIS INC.. Endereço: 191 Evans Avenue Toronto, ONT M8Z 1J5, CANADÁ(CA)

(72) Inventor: CYRILLE BEZENCON; CORRADO BASSI; FRANK SCHELLINGER.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 09/11/2012, observadas as condições legais

Expedida em: 21/11/2018

Assinado digitalmente por:

Alexandre Gomes Ciancio

Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**LIGA DE ALUMÍNIO, ESTRUTURA UNIDA, PRODUTO DE FOLHA DE ALUMÍNIO COMPÓSITO E MÉTODO DE FAZER UMA ESTRUTURA UNIDA**".

[001] A presente invenção refere-se a uma liga de alumínio e produto de folha de liga destinado principalmente para uso em veículos de transporte. A liga de alumínio é baseada no sistema Al-Si-Cu e é particularmente adequada para uso como um produto de folha útil na fabricação de automóveis. A liga de alumínio também é adequada para uso como uma folha revestida em uma chapa composta. A invenção refere-se também uma estrutura unida que inclui um componente de aço e um componente de alumínio.

[002] O uso de ligas de alumínio na produção de automóveis e outros veículos de transporte é estabelecido há muitos anos. Uma gama de diferentes ligas é usada dependendo das necessidades específicas dos componentes específicos. Em certas aplicações, é desejável que o material seja de alta resistência. Ainda outras aplicações exigem maior formabilidade e, em tais casos, resistência pode ser considerada menos importante. Também tem havido um desejo por materiais que se deformam facilmente sob impacto, por exemplo, em caso de colisão com pedestres e tais materiais talvez possam ter ainda menos resistências. Produtos de liga de alumínio para tais aplicações são fornecidos em várias formas, da folha de peças forjadas, extrusões para fundições.

[003] Geralmente as ligas de alumínio são as ligas da série 6XXX, cujos principais elementos de liga são Mg e Si, ou as da série 5XXX, onde o principal elemento de liga é Mg. Tem havido uso ocasional das ligas da série 2XXX onde o principal elemento de liga é Cu. Para uma compreensão do sistema de designação de números mais comumente usados para nomear e identificar o alumínio e suas ligas

consulte "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys", publicado por The Aluminum Association, revisado em fevereiro de 2009.

[004] Folhas revestidas ou folhas compostas são conhecidas também para uso em aplicações automotivas e outros. Em tais produtos a folha composta consiste de pelo menos duas camadas de ligas com diferentes composições químicas. Uma camada, geralmente chamada de núcleo, fornece propriedades mecânicas em massa, enquanto a segunda camada, normalmente chamada de camada revestida, fornece características de superfície específicas. A camada revestida é geralmente mais fina do que a camada de núcleo. Comumente, a camada do núcleo de uma composição é interposta entre duas camadas revestidas de outra composição para formar uma folha de três camadas, duas camadas revestidas tendo a mesma composição. Mas este não é sempre o caso e uma folha composta pode ser feita de múltiplas camadas, cada camada tendo uma composição diferente

[005] Ligas de alumínio não são os únicos materiais usados na construção de veículos de transporte; aço continua a ser um importante material estrutural. Enquanto preocupado principalmente com estruturas automotivas, a invenção aqui descrita é igualmente aplicável a outros veículos de transporte, incluindo, mas não limitada a aeronaves e veículos terrestres, como trens, ônibus e caminhões, bem como outras aplicações industriais onde há uma necessidade de se unir componentes de alumínio com componentes de aço. O caso de estruturas automotivas é usado para ilustrar os fundamentos da invenção e para demonstrar seus benefícios.

[006] Em vários locais da estrutura do automóvel, a liga de alumínio deve entrar em contato e ser unida a um produto de liga de aço. Isto cria problemas porque o alumínio e o aço não podem ser satisfatoriamente unidos por técnicas de soldagem convencionais, tais como

TIG, MIG, soldagem a laser, soldagem a plasma, etc., devido a uma grande diferença entre as temperaturas liquidus e baixa solubilidade entre elementos. Com efeito, a soldadura classicamente definida, no sentido de coalescência de dois metais fundidos, não ocorre porque as temperaturas usadas geralmente não são altas o suficiente para causar o derretimento do aço. Vários termos são usados, portanto, para descrever o processo de união térmica que ocorre e tais termos podem incluir, mas não estão limitados a soldagem a laser, brasagem e assim por diante. Em essência e para efeitos da presente invenção, uma estrutura que compreende uma parte de alumínio unida a uma parte de aço significa aquela que surja de um processo térmico que faça com que ao menos uma parte do componente de alumínio derreta.

[007] O diagrama de fase de equilíbrio binário Al-Fe indica que vários compostos intermetálicos de equilíbrio como Fe_2Al_5 , FeAl_3 , FeAl_2 e FeAl existem. Estes compostos intermetálicos são conhecidos por ser duros e quebradiços. Além disso, a entrada de calor elevado de técnicas de soldagem convencionais e as resultantes reação e difusão entre as partes de aço e alumínio podem dar origem a uma camada espessa de intermetálicos quebradiços. A presença de tais intermetálicos em interfaces de aço/alumínio pode levar a propriedades mecânicas pobres e comportamento de fratura frágil da articulação. A articulação entre as ligas de alumínio e aço, portanto, pode se tornar um ponto de fraqueza estrutural chave. Uma articulação que tenha resistência a fratura razoável, uma que possua ductilidade suficiente, é preferível.

[008] Tentativas têm sido feitas para melhorar a resistência interfacial e a ductilidade de tais articulações. Uma abordagem tem sido reduzir a entrada de calor ao processo de união com, por exemplo, o aumento da velocidade de soldagem, adicionando um bloco de apoio

para extrair calor ou interromper o processo de soldagem. Essa abordagem é incorporada dentro da técnica conhecida de brasagem Transferência de Metal a Frio (CMT). Desvantagens desta abordagem são que, com isso, a fabricação é mais complicada e mais cara, há uma janela operacional reduzida que não se presta para produção em massa em escala industrial e, embora haja uma melhoria na resistência de interface, o modo de fratura permanece frágil.

[009] Uma segunda abordagem para melhorar a soldabilidade tem sido adicionar Zn à solda para promover a formação de uma estrutura eutética de baixo ponto de fusão Al-Zn. Nesta abordagem, um material de enchimento de Zn é usado sem fluxo durante a operação de soldadura em atmosfera de ar ou um revestimento de Zn é usado no componente de aço. Uma entrada de calor baixo também pode ser utilizada em combinação. Um problema com o uso de Zn é que ele tende a evaporar-se durante a soldagem a laser. Além disso, Zn reduz a resistência à corrosão da região da junta porque tem um potencial de corrosão altamente negativo.

[0010] JP04768487B2 descreve um método para a obtenção de uma estrutura composta de alumínio e aço para veículos a motor, que envolve fundir uma camada de alumínio de liga AA5182 em uma placa de aço, usando um feixe de laser sem fluxo.

[0011] US-A-4.814.022 descreve uma liga de alumínio soldável composta por Si e Mg, definida por um trapézio, tendo coordenadas em Si 0,5, Mg 0,1; Si 0,5 Mg 0,2; Si 1,3, Mg 0,5; Si 1,3, Mg 0,1. A liga contém ainda Cu entre 0,1 e 0,5. A composição é controlada para limitar a precipitação de Mg_2Si durante a solidificação após a fundição e o precipitado de Mg_2Si desenvolvido na liga e necessário para o fortalecimento, surge de tratamentos térmicos subsequentes. Embora descrita como uma liga soldável, os exemplos descrevem a liga sendo soldada a si mesma, não a um componente de aço.

[0012] US-A-4.808.247 descreve um processo de fazer ligas Al-Si-Cu-Mg que envolve a aplicação de uma etapa final de recozimento onde as ligas descritas são aquecidas até entre 60-360°C, mantida nessa temperatura por um período e resfriada de forma controlada. Três ligas são descritas, todas contendo Mg para promover a formação de precipitados fortalecedores de Mg₂Si.

[0013] US-A-5.582.660 descreve uma liga para uso em folha automotiva, compreendendo a seguinte composição; Si >1,0 a cerca de 1,3, Mg >0,25 a cerca de 0,60, Cu a cerca de 0,5 a cerca de 1,8, Mn a cerca de 0,01 a cerca de 0,1, Fe a cerca de 0,01 a cerca de 0,2, sendo o equilíbrio substancialmente alumínio e elementos e impurezas incidentais. A presença de Mg em combinação com Si é essencial para a formação de precipitados fortalecedores de Mg₂Si.

[0014] WO 98/14626 descreve uma liga de alumínio para produtos laminados com a seguinte composição em % em peso de: Si 0,8 – 1,5; Mg 0,2 - 0,7; Fe 0,2 - 0,7; Mn 0,01 - 0,1; Cu até 0,25; Cr até 0,1; Zn até 0,4; V até 0,2m, Al sendo o equilíbrio. Silício e magnésio são adicionados para a formação de precipitados reforçadores de Mg₂Si. Fe é empregado para formar uma fracção de volume suficiente de fases Al-Fe que possa agir como locais de nucleação de recristalização após ser quebrado e dispersado durante a laminação.

[0015] Os investigadores também têm considerado o uso de soldas de ligas Al-Si, como evidenciado pelo artigo "The Characterisation of the Intermetallic Fe-Al Layer of Steel-Aluminium Weldings" por Pottesser et al., publicado no EPD Congress, 2006.

[0016] US-B2-7.943.883 descreve um método para unir uma peça de ferro e uma peça de alumínio, onde a peça de ferro inclui uma camada de banhados pelo menos do lado da junção e a camada de alumínio é formada por um núcleo de alumínio e um revestimento de alumínio com um ponto de fusão menor do que o do material do nú-

cleo de alumínio, fornecido no lado junção da com o membro ferro. A liga da camada de revestimento de alumínio é tanto uma liga de Al-Si com 4,0-11,6% em peso de Si, Al de equilíbrio ou uma liga de Al - Cu com 5,7-33,2% em peso de Cu ou Al de equilíbrio.

[0017] Novas recomendações têm sido para reduzir a espessura da zona de interface criada quando da união do alumínio ao aço, mas isso requer controle de janela de processos muito rígido durante a soldadura e é extremamente difícil de alcançar em uma escala de produção.

[0018] Essas propostas ainda deixam algo a desejar, na qualidade de uma junção entre um produto de liga de alumínio e um produto de liga de aço.

[0019] É um objeto da invenção fornecer uma liga de alumínio que possa ser soldada a uma liga de aço sem o uso de uma liga de enchimento e que fornece uma interface que possua uma resistência razoável e um mecanismo de fratura dúctil, uma maneira útil para enriquecer a gama de comprometimentos disponíveis entre resistência e ductilidade.

[0020] De acordo com um primeiro aspecto da invenção uma liga de alumínio é fornecida compreendendo a seguinte composição, todos os valores em % em peso:

Si	0,25 - 1,5
Cu	0,3 - 1,5
Fe	até 0,5
Mn	até 0,2

[0021] Todos os outros elementos incluindo Mg sendo incidentais e presentes (caso existam) então em uma quantidade menor ou igual a 0,1 individualmente, e menor ou igual a 0,15 no agregado, o equilíbrio sendo o alumínio.

[0022] Em modalidades, a quantidade de Mn é incidental, ou seja,

não mais de 0,01 % em peso. Na prática uma quantidade de 0,08% em peso de Mn é contemplada, mas isto para conveniência e praticidade comercial, ao invés de melhorar o desempenho no cumprimento das metas técnicas.

[0023] Em contraste com as soluções do estado da técnica para o problema técnico, os inventores adaptaram a composição da liga de alumínio para melhorar a molhabilidade da liga do alumínio, para reduzir a susceptibilidade da liga a encurtamento por fissuração a quente, para modificar a difusão de Fe do aço para o produto de liga de alumínio e para influenciar o tipo de intermetálicos formados perto do aço para favorecer o tipo de FeAl sobre o tipo FeAl₃. Com ligas de acordo com a invenção, a interface é caracterizada por uma densa camada intermetálica composta por dois tipos de intermetálicos, FeAl e Fe₂Al₅, com FeAl na zona adjacente à liga de aço. Além disso, a região de interface criada com a liga da invenção é relativamente grande, compreendendo 3 zonas distintas. Esta zona mais espessa de interface permite o uso de parâmetros de processamento maiores, dando maior flexibilidade do processo e, desta forma, tornando a nova liga apropriada para a produção industrial em larga escala.

[0024] Si é adicionado à liga para reduzir a temperatura solidus e para melhorar a molhabilidade. Por estas razões, o menor limite de Si é fixado em 0,25. Além disso, adições de Si ajudam a reduzir a susceptibilidade de fissuração a quente formada após a solda e um limite inferior preferencial para Si é 0,5. O limite superior de Si é definido em 1,5 porque um nível mais alto de Si favorece a formação de intermetálicos do tipo Al(Fe₃, Si) e tem um efeito negativo na ductilidade e o limite superior preferencial de Si é 1,25.

[0025] Cu também é adicionado à liga para reduzir a temperatura solidus e para melhorar a molhabilidade, mas ele também é adicionado para modificar o tipo de intermetálicos Al-Fe. Por estas razões, o

menor limite de teor de Cu é fixado em 0,3. A quantidade de Cu não deve ser muito alta, no entanto, porque um maior teor de Cu aumenta o risco de fissuração a quente. Além disso, teores mais elevados de Cu também reduzem a ductilidade da junta. Por estas razões o limite superior de Cu é fixado em 1,5, embora em algumas situações definir um limite superior para o Cu de 1,25 pode ser desejável.

[0026] Enquanto Mg em combinação com Si conduziria à formação de precipitados reforçadores de Mg_2Si , isto não é útil aqui porque Mg não contribui para a melhoria da qualidade da junta. Conforme o teor de Mg é aumentado há declínios na ductilidade da junta, na formabilidade da liga e da qualidade da solda, porosidade e rachaduras. Uma pequena quantidade de Mg pode ser tolerada, (para acomodar a reciclagem de sucata), mas o teor de Mg não deve ultrapassar o de um elemento individual de impureza.

[0027] Mn também não exerce nenhum impacto significativo sobre a susceptibilidade de fissuração a quente ou formabilidade, mas pode estar presente em metal reciclado proveniente de outras fontes. Aqui, ele pode ser tolerado em montantes mais elevados do que seria o caso para outros elementos sem graves efeito adverso. Assim, por razões comerciais (mais reciclagem) uma quantidade superior ao permitido para outros elementos de impureza incidental é permitida no caso do Mn.

[0028] Outros elementos tais como, mas não limitados a, Zn, Ni, Ti, B, Cr e V podem estar presentes sob a forma de oligoelementos ou impurezas inevitáveis ou, no caso de Ti e B, através da adição de refinadores de grão. Cada oligoelemento ou impureza inevitável ou elemento refinador de grão está presente em uma quantidade inferior a 0,05 cada e menos de 0,15 no total. O equilíbrio da liga é alumínio.

[0029] De acordo com um segundo aspecto da invenção, uma folha de alumínio composta é fornecida, tal folha de liga de alumínio

composto compreende um núcleo e ao menos uma camada revestida em que a camada revestida compreenda a seguinte composição, todos os valores em % em peso:

Si	0,25 - 1,5
Cu	0,3 - 1,5
Fe	até 0,5
Mn	até 0,2

[0030] Todos os outros elementos incluindo Mg sendo incidental e presente (caso existam) então em uma quantidade menor ou igual a 0,1 cada, ou menor que ou igual a 0,15 no agregado o equilíbrio sendo o alumínio.

[0031] Em modalidades, a quantidade de Mn é incidental, ou seja, não mais de 0,01 % em peso. Na prática uma quantidade de 0,08% em peso de Mn é contemplada, mas isto para conveniência e praticidade comercial, ao invés de melhorar o desempenho no cumprimento das metas técnicas.

[0032] No contexto de folhas compostas, o termo camada de "núcleo" é usado para indicar a liga que mais contribui para as propriedades de massa da folha composta e o termo "revestido" é usado para indicar a liga da superfície, proporcionando propriedades de superfície para a folha composta. Folhas compostas podem incluir uma única camada revestida em uma camada de núcleo único, embora mais frequentemente estas compreendam duas camadas revestidas em ambos os lados da camada de núcleo único. Normalmente as camadas revestidas são mais finas do que a camada de núcleo, por si próprias e como um total combinado.

[0033] Onde a liga é usada como uma camada revestida em uma folha composta, a camada do núcleo pode ser uma liga da série 6XXX ou uma liga da série 5XXX como compreendido por referência Aluminum Association Teal Sheets. Se a camada de núcleo é uma liga de

série 6XXX, esta pode ser selecionada do grupo constituído por AA6016, AA6016A, AA6014, AA6011, AA6111, AA6009, AA6010, AA6022 e AA6451. Se a liga de núcleo é uma liga de série 5XXX, esta pode ser selecionada do grupo constituído por AA5005, AA5152, AA5052, AA5018, AA5454, AA5754, AA5056, AA 5456, AA5182, AA5186, AA5059, AA5083 e AA5383. Uma vantagem de usar a nova liga em uma folha composta, onde o núcleo é uma liga de alta resistência, é que a folha inteira é muito menos suscetível a distorções durante o tratamento subsequente da carroçaria do veículo, tais como, por exemplo, durante o tratamento térmico de cozimento da pintura.

[0034] Em conformidade com um terceiro aspecto da invenção uma estrutura unida é fornecida em que a estrutura unida compreende um componente de aço e um componente de liga de alumínio unidas desta forma, e em que o componente de liga de alumínio é feito de uma liga de alumínio, compreendendo a seguinte composição, todos os valores em % em peso:

Si	0,25 - 1,5
Cu	0,3 - 1,5
Fe	até 0,5
Mn	até 0,2

[0035] todos os outros elementos incluindo Mg sendo incidentais e presentes (caso existam) então em uma quantidade menor ou igual a 0,1 cada, ou menor que ou igual a 0,15 no agregado, o equilíbrio sendo o alumínio.

[0036] Nas modalidades, a quantidade de Mn é incidental, ou seja, não mais de 0,01 % em peso. Na prática uma quantidade de 0,08% em peso de Mn é contemplada, mas isto para conveniência e praticidade comercial, ao invés de melhorar o desempenho no cumprimento das metas técnicas.

[0037] Em conformidade com um quarto aspecto da invenção,

uma estrutura unida é fornecida em que a estrutura unida compreende um componente de aço e um componente de liga de alumínio unidas desta forma, e em que o componente de liga de alumínio é feito de uma folha de liga de alumínio composto compreendendo um núcleo e ao menos uma camada revestida em que a camada revestida compreende a seguinte composição, todos os valores em % em peso:

Si	0,25 - 1,5
Cu	0,3 – 1,5
Fe	até 0,5
Mn	até 0,2

[0038] Todos os outros elementos incluindo Mg sendo incidentais e presentes (caso existam) então em uma quantidade menor ou igual a 0,1 cada, ou menor que ou igual a 0,15 no agregado, o equilíbrio sendo o alumínio.

[0039] Nas modalidades, a quantidade de Mn é incidental, ou seja, não mais de 0,01 % em peso. Na prática uma quantidade de 0,08% em peso de Mn é contemplada, mas isto para conveniência e praticidade comercial, ao invés de melhorar o desempenho no cumprimento das metas técnicas.

[0040] Com a finalidade desta invenção a palavra "unido" destina-se a dizer uma junta resultante de um processo térmico, operando a uma temperatura que causa o derretimento de ao menos uma parte do componente inventivo da liga. O processo térmico utilizado não leva ao derretimento do aço componente. Portanto, "soldagem", no sentido clássico de coalescência de dois ou mais metais fundidos, não ocorre. Uma vez que o uso de um fluxo não é necessário, (embora ele pudessem ser usado), o processo não é a brasagem clássica, embora seja possível descrever o processo como brasagem sem fluxo. Outros utilizam o termo "soldagem por brasagem". Sob a aplicação de calor suficiente, mais convenientemente de um laser, mas possivelmente pro-

venientes de outras fontes, a liga do componente alumínio derrete e reage com as camadas superficiais do componente de aço, incluindo o revestimento de zinco, se tal revestimento está presente. A temperatura é tão suficientemente elevada, que ocorre a difusão de Fe do componente de aço no alumínio fundido e, quando o alumínio fundido esfria e congela, uma série de camadas ricas em compostos intermetálicos é formado com a relação Al/Fe crescendo conforme a distância do componente de aço aumenta. Um revestimento de Zn no componente aço melhora a molhabilidade da liga de alumínio da invenção e é preferível que o componente de aço seja fornecido com tal camada de Zn.

[0041] De acordo com um quinto aspecto da invenção, é fornecido um método de fazer uma estrutura unida caracterizada pelo fato de que a estrutura unida inclui um componente de aço e um componente de liga de alumínio e em que os componentes de aço e componentes de liga de alumínio são unidos por um processo térmico que faz com que ao menos uma parte do componente de liga de alumínio derreta e em que o componente de alumínio é feito de uma liga que possui a seguinte composição:

Si	0,25 - 1,5
Cu	0,3 - 1,5
Fe	até 0,5
Mn	até 0,2

[0042] Todos os outros elementos incluindo Mg sendo incidentais e presentes (caso existam) então em uma quantidade menor ou igual a 0,1 cada, ou menor que ou igual a 0,15 no agregado, o equilíbrio sendo o alumínio.

[0043] Nas modalidades, a quantidade de Mn é incidental, ou seja, não mais de 0,01 % em peso. Na prática uma quantidade de 0,08% em peso de Mn é contemplada, mas isto para conveniência e praticidade comercial, ao invés de melhorar o desempenho no cumprimento

das metas técnicas.

[0044] Em comparação com o estado da técnica, a junção térmica de um componente de aço com a mencionada liga de alumínio produz melhora na resistência à fissuração a quente, à ductilidade e à resistência da articulação.

[0045] Na região de interface entre a folha de aço e a folha de alumínio, a propensão para partículas de FeAl sobre outras espécies de intermetálicos Fe/Al ajuda a produzir a interface menos quebradiça e mais dúctil sem qualquer perda inaceitável de força.

[0046] A liga de alumínio de acordo com a invenção destina-se à utilização principal em forma de folha, mas o âmbito da invenção não está limitado a essa forma. A pessoa versada na técnica compreenderá que a liga da invenção pode ser fornecida em outras formas de produto, como extrusões e ainda pode ser soldada a componentes de aço. Embora o foco principal seja sobre estruturas automotivas, o leitor versado na técnica perceberá que a liga da invenção e seu uso em estruturas unidas incorporando aço, pode ser aplicável a muitas aplicações diferentes no setor de transportes, (naval, ferroviário, aeroespacial), assim como muitas outras aplicações industriais, (construção, máquinas, etc.).

[0047] A seguir, a invenção será descrita mais detalhadamente, referindo-se a exemplos e Figuras que mostram os resultados de ensaios conduzidos em modalidades da invenção reivindicada. Nem a descrição detalhada, nem as Figuras destinam-se a limitar o âmbito de proteção, que é definido pelas reivindicações acrescentadas.

[0048] Fig. 1 é um gráfico de uma curva de tensão-deslocamento para uma liga de acordo com a invenção.

[0049] Fig. 2 é um gráfico do efeito de Cu na temperatura de equilíbrio solidus e liquidus.

[0050] Fig. 3 é um gráfico do efeito de Cu na susceptibilidade cal-

culada de fissuração a quente.

[0051] Fig. 4 é um gráfico do efeito de Cu na ductilidade da junta.

[0052] Fig. 5 é um gráfico do efeito de Cu na resistência da junta.

[0053] Fig. 6 é um gráfico do efeito de Si na temperatura de equilíbrio solidus e liquidus.

[0054] Fig. 7 é um gráfico do efeito de Si na ductilidade da junta.

[0055] Fig. 8 é um gráfico do efeito de Si na resistência da junta.

[0056] Fig. 9 é um gráfico do efeito de Mg na flexão e alongamento.

[0057] Fig. 10 é um gráfico do efeito de Mg na qualidade da solda.

[0058] Fig. 11 é um gráfico do efeito de Mg na ductilidade da junta.

[0059] Fig. 12 mostra duas imagens da interface produzidas quando uma liga de AlSi10 é soldada à chapa de aço incluindo análise de fase.

[0060] Fig. 13 mostra duas imagens da interface produzidas quando uma liga de acordo com a invenção é soldada à chapa de aço incluindo análise de fase.

[0061] Fig. 14 é um gráfico das curvas de tensão-deslocamento para duas folhas compostas depois da união ao aço, uma de acordo com a invenção e outra de acordo com o estado da técnica.

EXEMPLO 1

[0062] A Tabela 1 lista as composições de ligas convertidas na forma de lingotes pequenos, cada lingote medindo 20x150x200mm.

TABELA 1:

Amostra	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
1	0,50	0,30	0,46	<0,01	<0,01
2	0,51	0,19	1,02	<0,01	<0,01
3	0,51	0,31	1,48	<0,01	<0,01
4	0,005	0,20	0,99	<0,01	<0,01
5	0,98	0,20	1,02	<0,01	<0,01
6	1,48	0,20	0,98	<0,01	<0,01
7	2,97	0,20	1,00	<0,01	<0,01
8	0,51	0,20	0,98	<0,01	0,26
9	0,51	0,20	0,99	<0,01	0,50
10	0,51	0,21	1,02	<0,01	2,00

[0063] Todas as ligas continham menos de 0,05 de outros elementos individualmente e menos de 0,15 no total, o equilíbrio sendo alumínio. Amostras 8, 9 e 10 são comparativos e não estão no âmbito das reivindicações abaixo.

[0064] Os lingotes foram homogeneizados em uma fornalha de ar a 550°C por 6 horas, laminados a quente em 10mm e laminados a frio em 1mm. As amostras de folhas foram recozidas a 430°C, durante 1 hora para causar recristalização. Uma operação de nivelamento final foi aplicada à folha de 1mm.

[0065] Amostras de folha foram então unidas por um processo de soldagem a laser sem fluxo a uma folha de 1mm de aço de baixa liga, revestido com uma camada de zinco de 7µm (galvanização por imersão a quente) usando um laser de Nd-YAG com uma potência constante de 3kW. A geometria de junta foi soldagem de flange (solda de filete) com um ângulo a laser de 60° e nenhum espaço entre as duas folhas. A velocidade do laser foi 4m/min para todas as combinações de liga.

[0066] O efeito de composição dos diferentes elementos sobre as temperaturas de equilíbrio solidus e liquidus foi calculado usando o software termodinâmico comercial da JMatPro acoplado ao banco de dados interno. A susceptibilidade de fissuração a quente também foi calculada com base no cálculo de termodinâmica da evolução de fração sólida através do intervalo de solidificação. Em ambos os casos, utilizaram-se composições de liga nominal.

[0067] Todas as amostras de folhas unidas foram submetidas a inspeção de líquido penetrante (ILP) para avaliar a integridade visual das articulações. A qualidade da junta sob ILP foi baseada em um sistema de classificação simples de 1 a 4, com 1 sendo bom, 4 sendo ruim (contendo um grande número de fissurações a quente ou/e porosidade grosseira).

[0068] A natureza e a distribuição de intermetálicos produzidos na

zona de interface foi avaliada por análise convencional de MEV e EDS.

[0069] As amostras unidas também foram submetidas a testes de tensão de juntas de cisalhamento para avaliar a resistência a fraturas da junta e sua ductilidade. Não é adequado utilizar curvas tensão-deformação convencionais em tais figuras, porque a configuração de teste significa que o esforço de tensão e, portanto, deformação plástica, não é constante em toda a amostra. Os resultados dos testes de resistência à tração em juntas de aderência de cisalhamento são apresentados como equivalentes em tensão na seção de alumínio contra a distância ponto a ponto durante o teste (descrito neste documento como percurso padrão). A tensão equivalente dentro da parte de alumínio da amostra unida é a força nominal dividida pela área transversal da seção de alumínio. O curso padrão é uma indicação da ductilidade da articulação.

[0070] Algumas amostras foram submetidas a teste de flexão em 3 pontos para avaliar a formabilidade. A formabilidade das amostras foi medida utilizando um teste de flexão baseado no DIN 50111, com pequenas modificações para o procedimento. Neste teste, um pedaço de 60 mm x 60 mm de folha, com um pré-deformação prévia de 10% (alongamento uniaxial), foi colocado em dois rolos cilíndricos, rolos separados por uma distância igual a duas vezes a espessura da folha. Cada diâmetro do rolo foi de 30 mm. Sob carga, um barra de punção cônica de 100 mm de largura empurra a folha para a lacuna entre os rolos. A pressão de punção é medida assim como o deslocamento. No ponto de deformação plástica, (ou seja, o início da fissuração), a carga necessária para deformar a folha cai, a pressão de punção reduz e o teste é interrompido automaticamente. A folha assim testada é deformada em forma de V e o ângulo interno do V é medido. Neste teste um ângulo mais baixo significa melhor formabilidade da folha. Este teste, (doravante denominada "o teste modificado DIN 50111"), é preferi-

vel a outros testes de formabilidade porque os resultados não dependem tanto, quando dependem, do julgamento do operador.

[0071] Amostras 1-3 ilustram o efeito do Cu sobre o desempenho das ligas. Amostras 2 e 5-7 ilustram o efeito de Si no desempenho. Amostras 2 e 8-10 ilustram o efeito do Mg no desempenho.

[0072] Figura 1 mostra a curva força-deslocamento para a amostra 2, depois de ingressar. O curso padrão do provete proporcional ao alongamento é muito alto, indicando um modo de fratura dúctil, que também era aparente na superfície de fratura.

[0073] Efeito do Cu. A Figura 2 mostra o efeito do teor de Cu crescente a uma composição base de Al0,5Si sobre o solidus das ligas. Adição de Cu reduz a temperatura de solidificação e melhora a molhabilidade. A Figura 3 mostra o efeito de Cu na susceptibilidade de fissuração a quente com fissuração a quente mais provável à medida que o teor de Cu aumenta até 1,5%. A Figura 4 mostra o efeito de Cu na ductilidade da junta. A Figura 5 mostra o efeito do Cu na resistência de fratura da junta. Aumentar o Cu de 0,5 a 1,0% aumenta a resistência a fratura, mas novamente cai ligeiramente se o teor de Cu é aumentado para 1,5%. De figuras 3, 4 e 5, podemos ver que o teor de Cu deve não ser de >1,5% e é de preferência de até 1,25%.

[0074] Efeito de Si. A Figura 6 mostra o efeito do teor de Si crescente a uma composição base de Al1,0Cu sobre o solidus das ligas. Adição de Si reduz a temperatura solidus e melhora a molhabilidade. A Figura 7 mostra o efeito de Si na ductilidade da junta. Aumentando o teor de Si em até 1,0% melhora a ductilidade da ligação, mas há um rápido declínio na ductilidade da ligação conforme o teor de Si aumenta para 1,5% e para além. A Figura 8 mostra que aumentando o teor de Si leva a um aumento da resistência a fraturas da junta a até uma adição de 1% de, mas a resistência a fraturas declina conforme mais Si é adicionado. Das figuras 7 e 8, podemos ver que Si deve ser limi-

tada a não mais de 1,5% e de preferência não mais de 1,25% para manter boas qualidades conjuntas em termos de ductilidade e resistência a fraturas.

[0075] Efeito de Mg. A Figura 9 mostra o efeito de teor Mg na capacidade de quinagem medida usando o teste DIN 50111 modificado. O efeito sobre o alongamento é mínimo. À medida que aumenta o teor de Mg, a capacidade de quinagem das amostras pré-deformação de 10% diminui para um teor de Mg de 0,5, mas depois melhora novamente conforme o teor Mg é adicionalmente aumentado em 2%. A Figura 10 mostra o efeito de teor de Mg na qualidade da solda visual depois de ILP. Adições de Mg de essencialmente nenhum Mg a 0,5 Mg levaram a pior qualidade de soldagem, (porosidade grosseira e a presença de rachaduras de solda), mas a qualidade da solda novamente melhorou quando 2% de Mg foi adicionado. O efeito de Mg na ductilidade da solda é mostrado na Figura 11 e teor de Mg aumentado reduz a ductilidade da solda. Por estas razões, o teor de Mg é limitado à quantidade de um elemento incidental ou impureza.

[0076] Figuras 12, a) e b), mostram imagens MEV da interface vista com ligas AlSi10 (amostra 0) unida ao aço. Na interface produzida com ligas de AlSi10, a largura da interface é aproximadamente 10µm e a região imediatamente próxima à liga de aço compreende uma zona intermetálica dominada pelo $FeAl_3$ (alta relação de Al/Fe, em % atômico). A estrutura frágil é evidenciada pela elevada quantidade de microfissuras na camada. Figuras 13, a) e b), mostram imagens MEV e espectros EDS da interface produzidas quando a amostra 2 foi unida ao aço. A largura da interface é aproximadamente 20µm e a imagem revela uma camada densa e livre de rachadura intermetálica. Análise EDS mostra claramente que a camada intermetálica contínua na interface é composta de duas fases com várias relações de Al/Fe. Uma terceira região no topo da camada, com intermetálicos em forma de

agulhas e uma maior relação de Al/Fe está presente. Os dois primeiros tipos de intermetálicos estão próximos da estequiometria do FeAl e Fe₂Al₅, Considerando que o terceiro tipo está próximo do FeAl₃ mais frágil. Existem diferenças fundamentais entre as interfaces, incluindo a presença de uma camada de um tipo FeAl adjacente ao componente de aço quando o componente de aço é unido à liga da invenção.

EXEMPLO 2

[0077] Dois produtos de folha composta foram produzidos, onde a camada de "núcleo" foi uma liga AA6016 e uma única camada "revestida" foi aplicada de ou uma liga Al-Si típica do estado da técnica (Amostra 11) ou de uma liga Al-Cu-Si da presente invenção (Amostra 12).

[0078] As camadas revestidas em cada amostra representaram 10%, (+/-1%), da espessura total da folha. As composições de liga de cada camada são mostradas na Tabela 2.

TABELA 2

Amostra	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
Liga de núcleo	0,61	0,18	0,15	0,05	0,67
11 revestimentos	9,91	0,11	<0,01	<0,01	<0,01
12 revestimentos	0,51	0,17	0,98	0,06	<0,01

[0079] Os lingotes foram homogeneizados em uma fornalha de ar a 550°C por 6 horas, laminados a quente em 10mm e laminados a frio em 1mm. As amostras de folhas foram tratadas com uma solução térmica a 540°C, durante 40s, rapidamente arrefecidas por ventiladores de ar e então pré-envelhecidas ao manter amostras a 100°C durante 1 hora.

[0080] Algumas amostras foram deixadas para envelhecer naturalmente à condição T4PX depois de ser submetidas a uma pré-deformação de 10%, uma simulação de uma operação de moldagem típica. Outras amostras foram ainda mais envelhecidas para a condição de T8X (pintura-cozido) submetendo-os a uma pré-tensão de 2%, seguida por envelhecimento a 185°C por 20 minutos e ainda mais

amostras foram preparadas no revenimento T62 submetendo-os a um tratamento térmico a 205°C durante 30 minutos. As propriedades mecânicas para amostra 12 em três diferentes condições de revenimento estão resumidas na Tabela 3.

TABELA 3

T4PX				T8X			T62		
Rp0,2	Rm	A80	Ângulo de flexão DC	Rp0,2	Rm	A80	Rp0,2	Rm	A80
MPa	MPa	%		MPa	MPa	%	MPa	MPa	%
112	227	25,6	15	218	281	19,1	242	289	13,5

[0081] Eles foram então unidos à chapa de aço sob as mesmas condições de soldagem a laser, conforme descrito no exemplo 1. As partes unidas foram mecanicamente testadas para avaliar a resistência e a ductilidade da junta.

[0082] A curva tensão-deformação da Figura 14 mostra os resultados para ambas as amostras 11 e 12. No caso de amostra 12, a curva é para o produto na condição de T8X. Há uma melhoria dramática na resistência obtida e na ductilidade do produto de acordo com a invenção em comparação com essas qualidades para uma amostra não de acordo com as reivindicações abaixo.

REIVINDICAÇÕES

1. Liga de alumínio, **caracterizada pelo fato de** que consiste da seguinte composição, todos os valores em % de peso:

Si 0,25 - 1,5

Cu 0,3 - 1,5

Fe até 0,5

Mg < 0,1

Mn até 0,2

impurezas inevitáveis inferiores a ou iguais a 0,05 cada ou inferiores a ou igual a 0,15 no total

o restante de alumínio.

2. Liga de alumínio de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de** que o teor de Si é 0,5 - 1,25.

3. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, **caracterizada pelo fato de** que o teor de Cu é 0,3 - 1,25.

4. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizada pelo fato de** que o teor de Mn é < 0,01.

5. Liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizada pelo fato de** que o teor de Mg é < 0,01.

6. Estrutura unida **caracterizada pelo fato de** que compreende um componente de aço e um componente de liga de alumínio unido a este, e em que o componente de liga de alumínio é feito de uma liga de alumínio como definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 5.

7. Estrutura unida de acordo com a reivindicação 6, **caracterizada pelo fato de** que a zona da interface entre o componente de aço e o componente de liga de alumínio é formado por uma camada

de FeAl adjacente do componente de aço.

8. Produto de folha de alumínio compósito **caracterizado pelo fato de** compreender uma camada de núcleo e pelo menos uma camada revestida em que a pelo menos uma camada revestida é uma liga de alumínio que consiste da seguinte composição, todos os valores em % de peso:

Si 0,25 - 1,5

Cu 0,3 - 1,5

Fe até 0,5

Mg < 0,1

Mn até 0,2

impurezas inevitáveis inferiores a ou iguais a 0,05 cada ou inferiores a ou igual a 0,15 no total

o restante de alumínio.

9. Produto de folha de alumínio compósito de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** a camada do núcleo é feita de uma liga selecionada do grupo de ligas de série 5XXX e 6XXX.

10. Produto de folha de alumínio compósito de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** a camada do núcleo é feita de uma liga selecionada do grupo constituído por AA6016, AA6016A, AA6014, AA6011, AA6111, AA6009, AA6010, AA6022 e AA6451.

11. Produto de folha de alumínio compósito de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de que** a camada do núcleo é feita de uma liga selecionada do grupo constituído por AA5005, AA5152, AA5052, AA5018, AA5454, AA5754, AA5056, AA 5456, AA5182, AA5186, AA5059, AA5083 e AA5383.

12. Estrutura unida **caracterizada pelo fato de que** compreende um componente de aço e um componente de liga de alumínio

unida a este, e em que o componente de liga de alumínio é feito de um produto de folha de alumínio compósito tal como definido em qualquer uma das reivindicações 8 a 11.

13. Método de fazer uma estrutura unida, **caracterizado pelo fato de que** a estrutura unida inclui um componente de aço e um componente de alumínio e em que os componentes de aço e de alumínio são unidos por um processo térmico que faz com que pelo menos uma parte do componente de alumínio se funda e em que o componente de alumínio é feito de uma liga tal como definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 5.

14. Método de fazer uma estrutura unida, **caracterizado pelo fato de que** a estrutura unida inclui um componente de aço e um componente de alumínio e em que os componentes de aço e de alumínio são unidos por um processo térmico que faz com que pelo menos uma parte do componente de alumínio se funda e em que o componente de alumínio é feito de um produto de folha de alumínio compósito como definido em qualquer uma das reivindicações 8 a 11.

15. Método de acordo com a reivindicação 13 ou 14, caracterizado pelo fato de que o processamento térmico é de soldagem à laser, particularmente em que o processo térmico é brasagem sem fluxo, soldagem por brasagem e soldagem a laser sem fluxo.

16. Estrutura unida, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizada pelo fato de que** o produto de folha de alumínio compósito possui um ângulo de flexão DC de 15° na condição T4PX.

17. Estrutura unida, de acordo com a reivindicação 12 ou 16, **caracterizada pelo fato de que** o componente de aço é revestido com zinco.

Fig.1: Curva tensão-deslocamentopara amostra 2

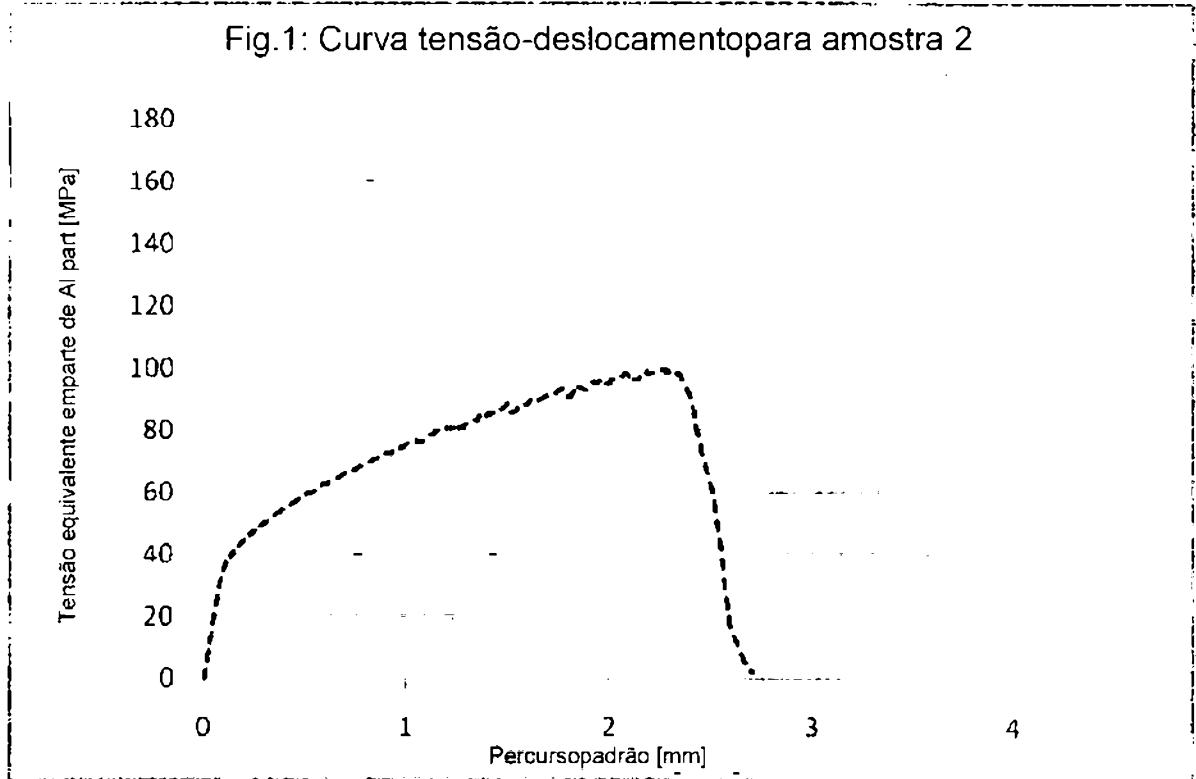
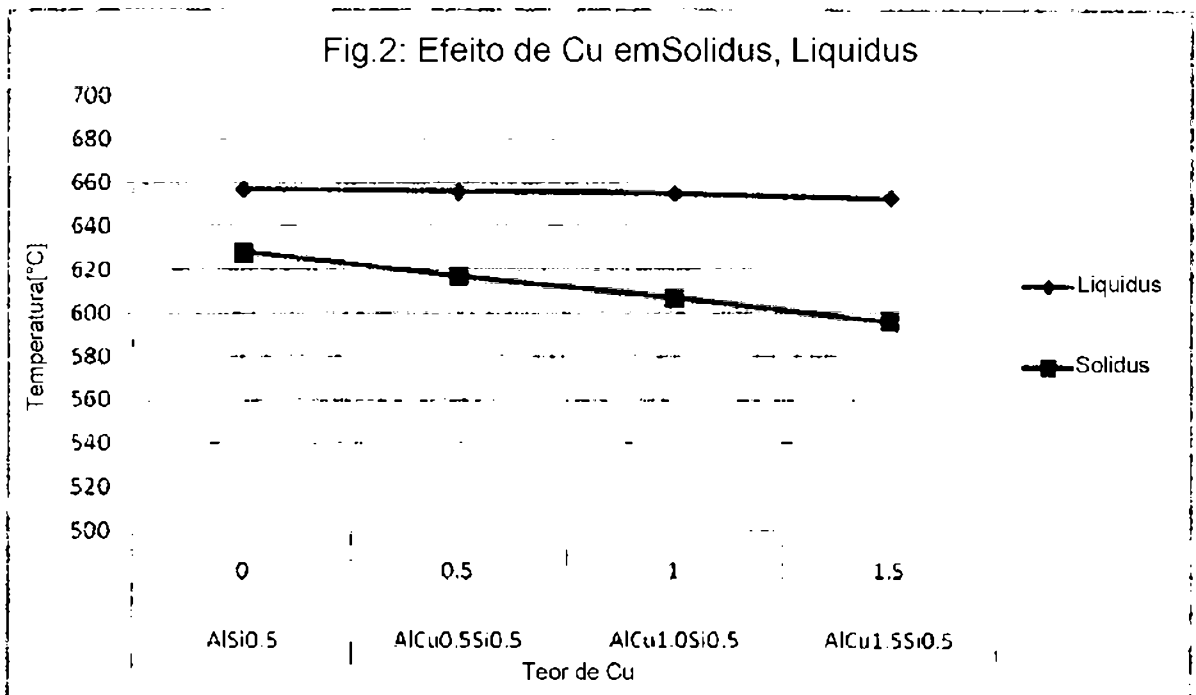
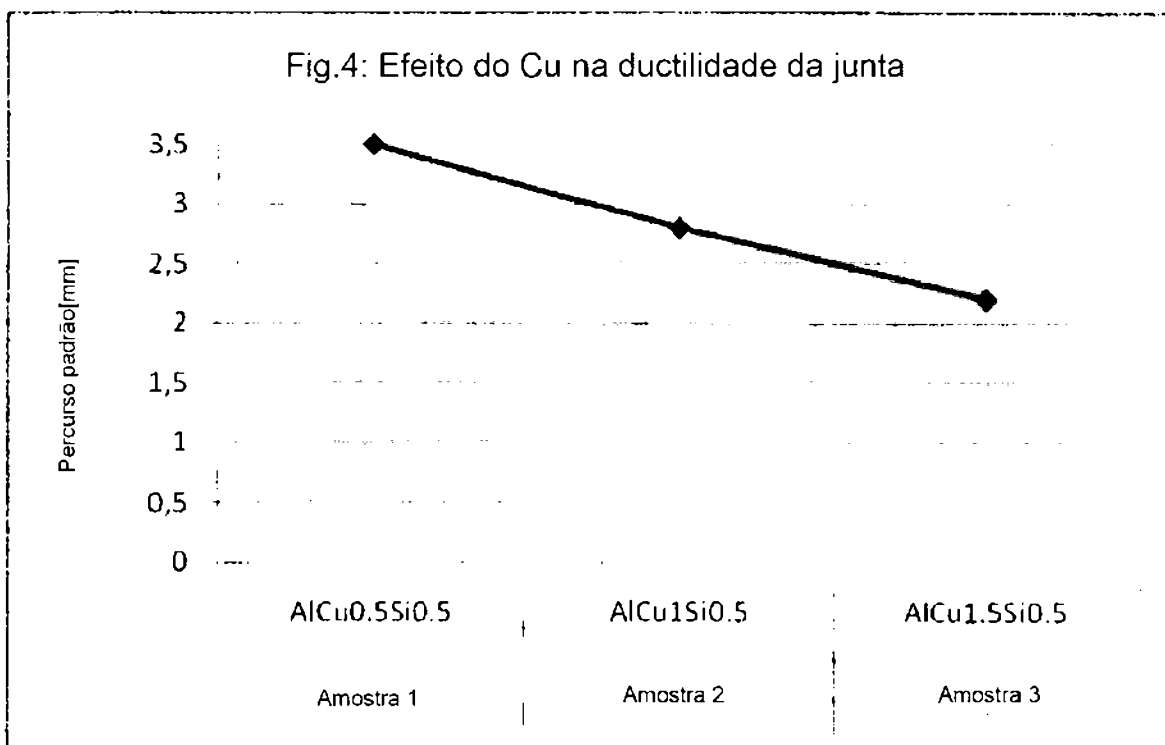
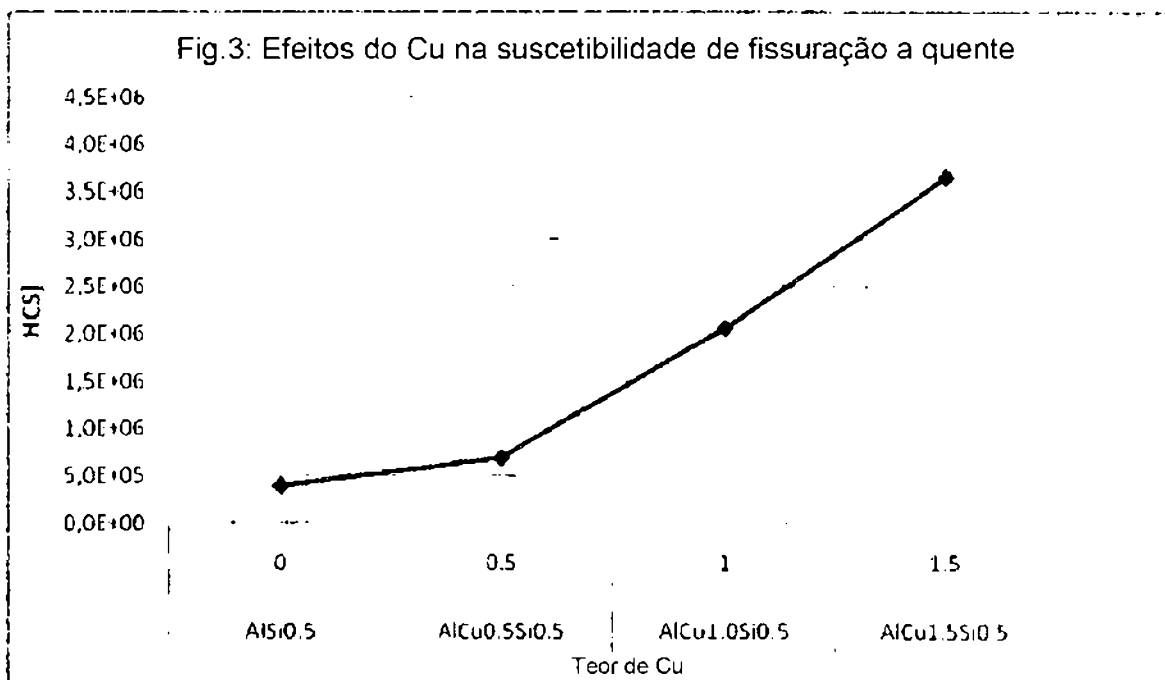
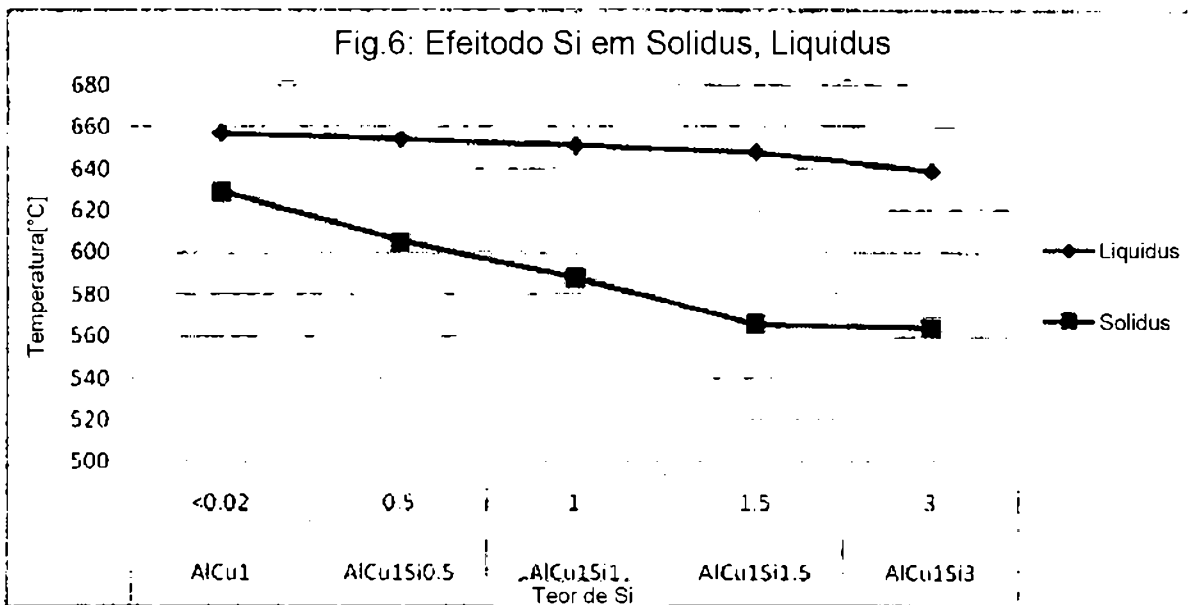
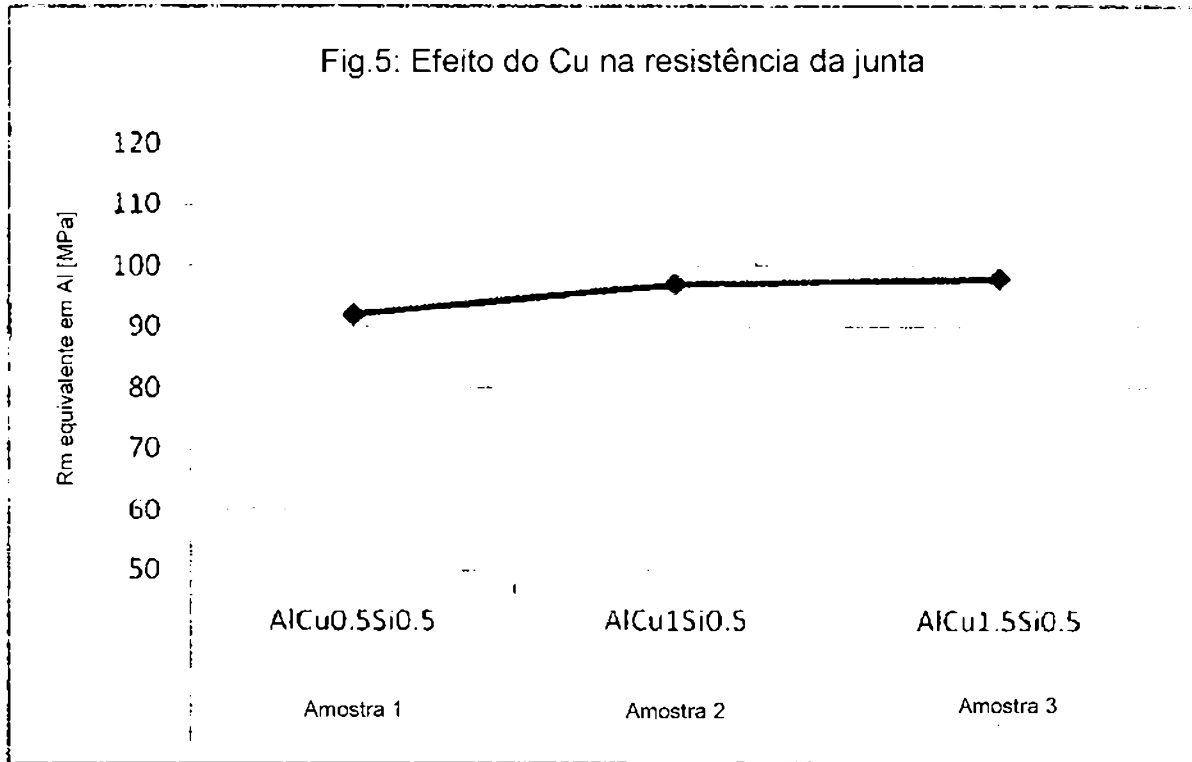
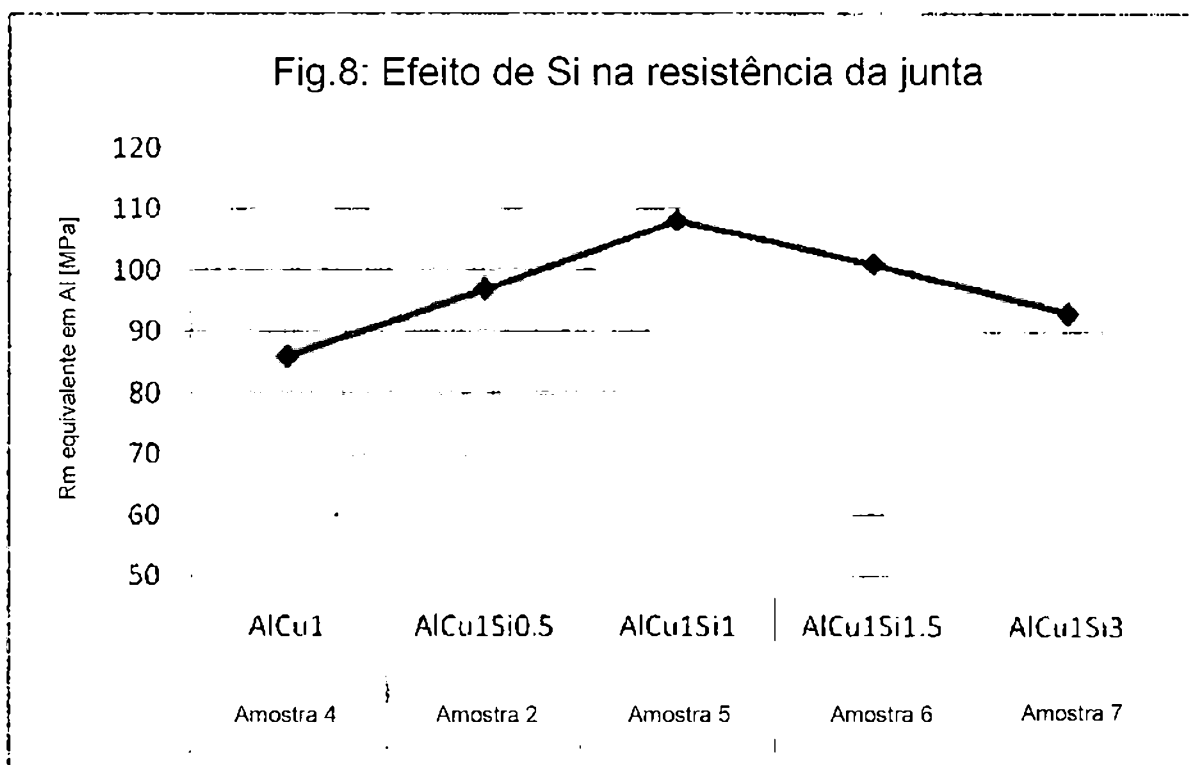
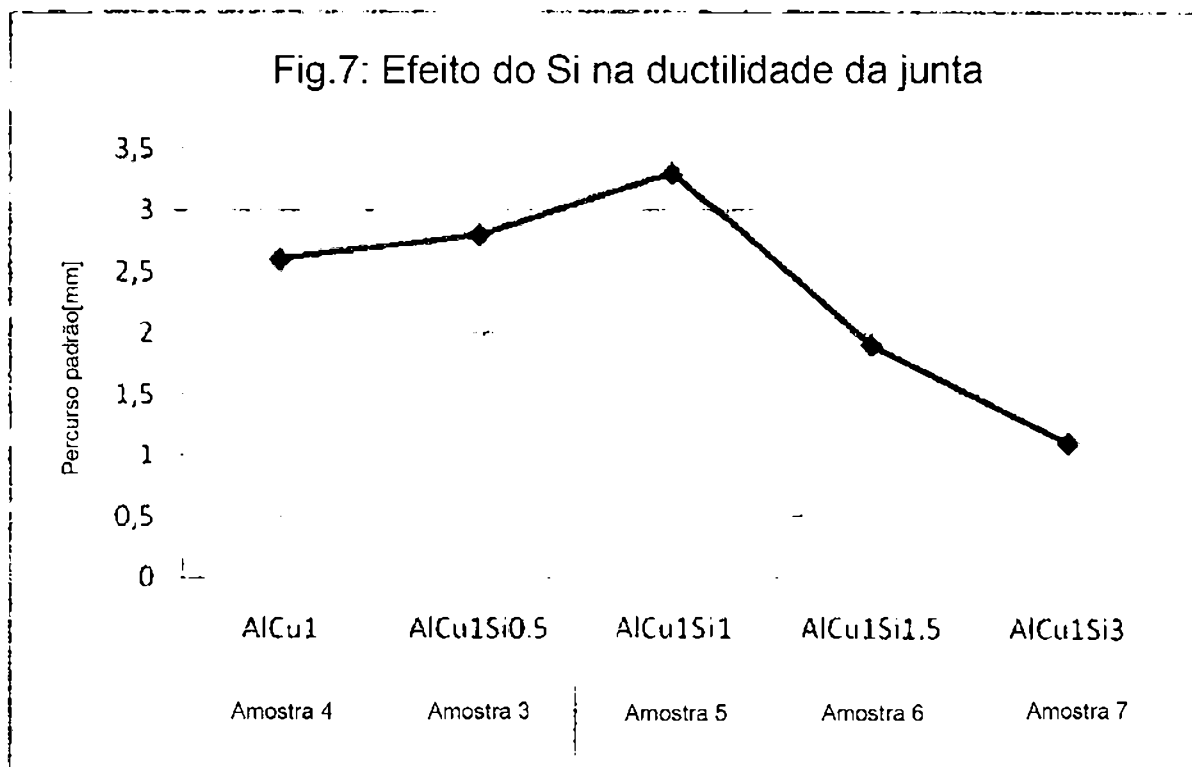


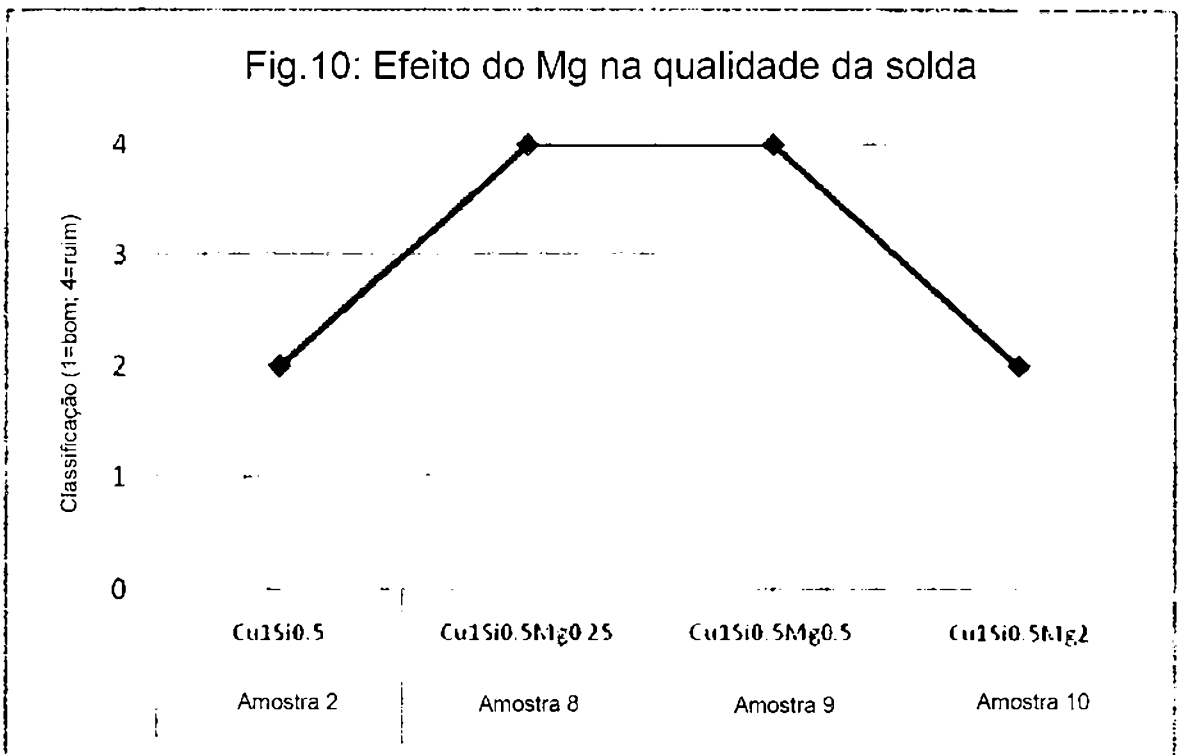
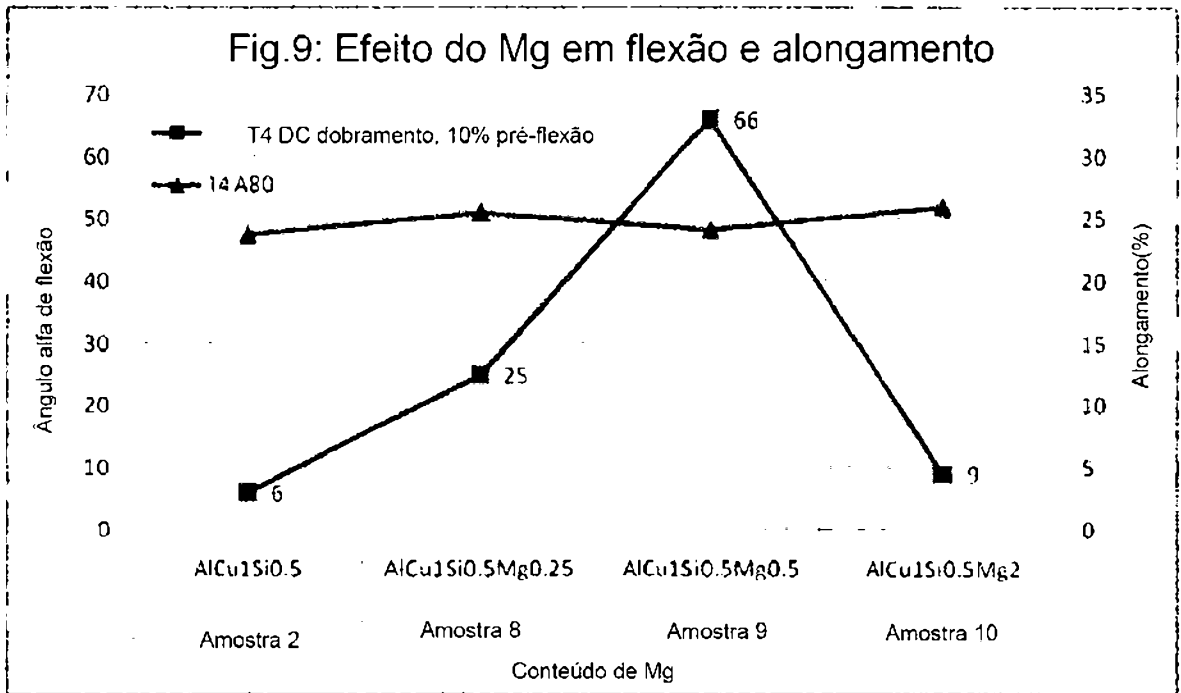
Fig.2: Efeito de Cu emSolidus, Liquidus











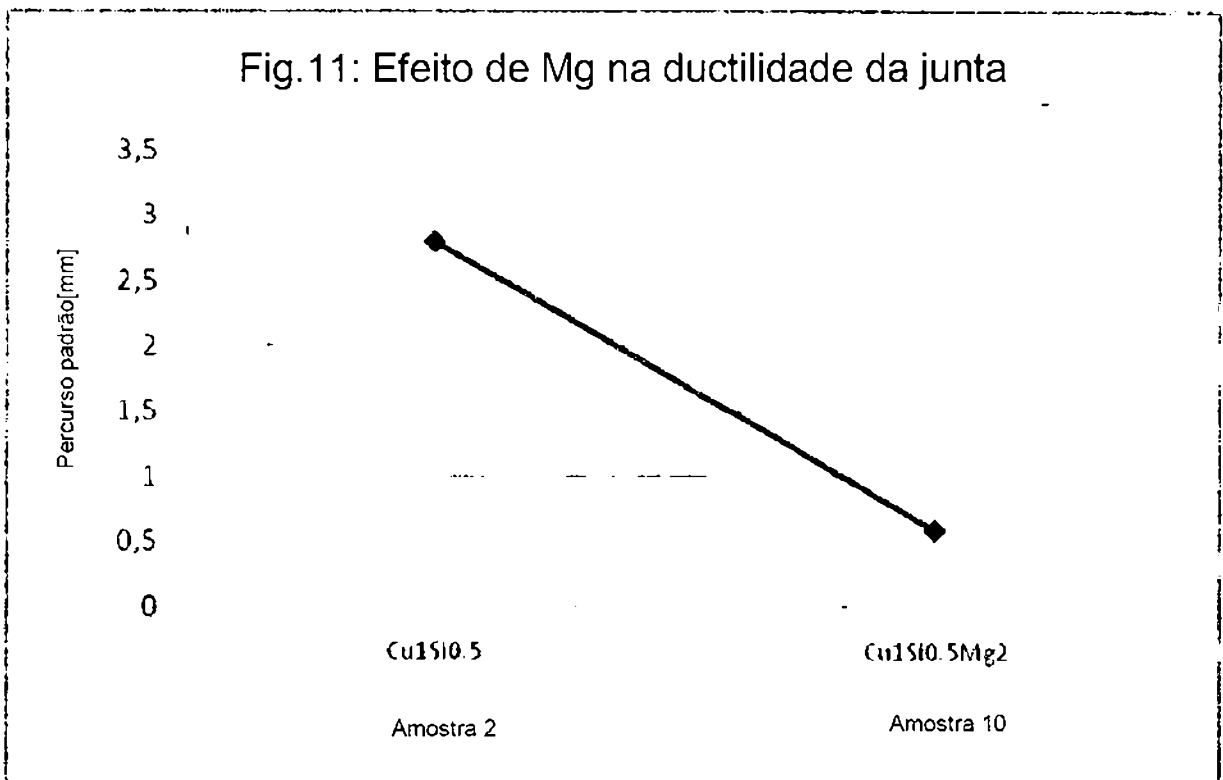


Fig.12a: imagem micrográfica da interface com liga AlSi10



Fig. 12b: imagem micrográfica da interface com liga AlSi10 com análise de fase

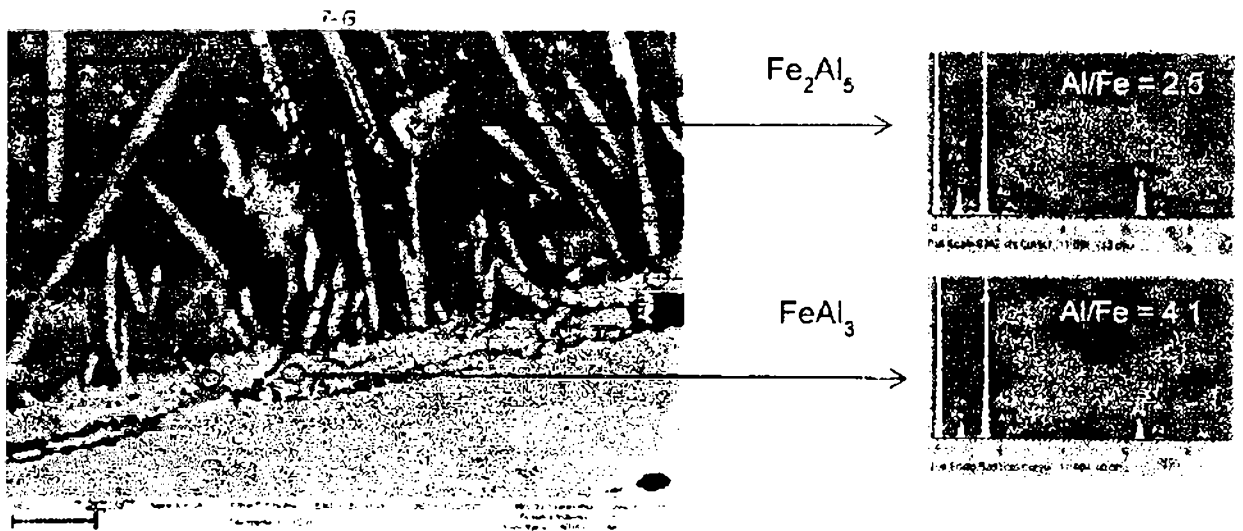


Fig.13a: imagem micrográfica da interface de acordo com a invenção



Fig.13b: imagem micrográfica da interface de acordo com a invenção com análise de fase

