

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

(21) **PI 1010499-2 A2**

(22) Data de Depósito: 13/05/2010
(43) Data da Publicação: 25/09/2012
(RPI 2177)



(51) *Int.Cl.:*
C22C 21/04
C22C 21/02
C22C 21/00

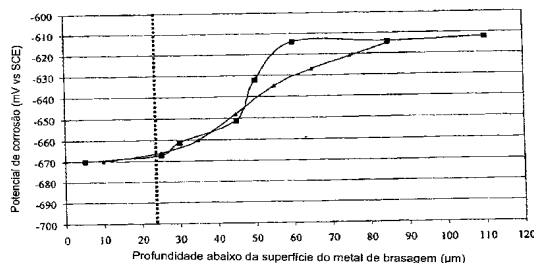
(54) **Título:** CHAPAS DE BRASAGEM DE LIGAS DE ALUMÍNIO PARA TUBOS FINOS

(30) **Prioridade Unionista:** 14/05/2009 SE 09 50343-4

(73) **Titular(es):** Sapa Heat Transfer AB

(72) **Inventor(es):** Anders Oskarsson, Linda Ahl, Stefan Norgren

(57) **Resumo:** CHAPAS DE BRASAGEM DE LIGAS DE ALUMÍNIO PARA TUBOS FINOS. A presente invenção refere-se a uma chapa de brasagem de liga de alumínio compreendendo: um material de núcleo feito de uma liga de alumínio consistindo em $\geq 0,1\%$ em peso de Si, mais preferivelmente $\geq 0,06\%$ em peso de Si $\geq 0,35\%$ em peso de Mg, de 1,0 a 2,0% em peso, preferivelmente 1,4-1,8% em peso de Mn, de 0,2 a 1,0, preferivelmente 0,6 a 1,0% em peso de Cu $\geq 0,7\%$ em peso de Fe, $\geq 0,3\%$ em peso de cada elemento entre Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn e $\geq 0,5\%$ em peso no total dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, o restante sendo Al e as inevitáveis impurezas, e um material de revestimento waterside revestido em pelo menos um dos lados o material de núcleo, o mencionado material de revestimento sendo feito de uma liga de alumínio tendo um potencial menor que aquele do mencionado material de núcleo e consistindo essencialmente em 0,5 a 1,5% em peso de Si, 1,0 a 2,0% em peso, preferivelmente 1,4 a 1,8% em peso de Mn, 0,15% em peso de Mg, $\geq 0,1\%$ de Cu $\geq 0,7\%$ em peso de Fe, $\geq 1,4\%$ em peso, preferivelmente 1,1% em peso, mais preferivelmente ainda $\geq 0,4\%$ em peso de Zn, 0,3% em peso de cada um dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn e 0,5% em peso no total dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn; o restante sendo Al e as inevitáveis impurezas, em que a razão de % em peso de Si no revestimento waterside para o % em peso do Si no núcleo é de pelo menos 5:1, preferivelmente pelo menos 10:1.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"CHAPAS DE BRASAGEM DE LIGAS DE ALUMÍNIO PARA TUBOS FINOS"**.

Campo Técnico

5 A presente invenção refere-se a uma chapa de brasagem de liga de alumínio com alta resistência e excelente performance de corrosão.

Antecedentes

10 A redução dos tamanhos dos materiais de tubo põe uma alta demanda em chapas de brasagem. Um aspecto é a performance de corrosão, tanto do lado interno do tubo (em contato com líquido refrigerante) quanto do lado externo. É um objetivo da presente invenção fornecer uma chapa de brasagem de liga de alumínio que tenha alta resistência, tenha boa resistência à corrosão em sua superfície interna (lado do líquido refrigerante), bem como do seu lado externo, quando sendo usada, por exemplo, como tubos para trocadores de calor, e tenha um núcleo

15 aquecedor de um radiador. É também um objetivo da invenção fornecer um material de chapa de brasagem fino que tenha uma boa capacidade de trabalho e possa ser usado em ambientes corrosivos.

Foram feitas tentativas anteriores para melhorar a resistência à corrosão de chapas de brasagem pela adição de Zn e Mg ao revestimento waterside. A técnica anterior foi focada no efeito do Mg na resistência e o Zn

20 foi adicionado em altas quantidades para fornecer o efeito de anodo de sacrifício. Foi descoberto que o Zn é indesejável em quantidades mais altas uma vez que para matérias de tubos mais finos o Zn pode se difundir no lado do revestimento de brasagem e, como consequência, a resistência à corrosão de toda a chapa de brasagem será inferior, provocando vazamento pré-stage e falha dos produtos finais.

25

A JP0299325 descreve um material de núcleo constituído de uma liga de Al tendo uma composição contendo 0,3 a 1,5% de Mn, 0,3 a 1,2% de Si, 0,3 a 1% de Cu e, se necessário, também contendo 0,03 a 0,15% de Zr e composto do Al remanescente e as inevitáveis impurezas e

30 anexado ao material de núcleo um material de revestimento constituído de uma liga de Al tendo uma composição contendo 0,3 a 1,5% de Mn, 0,3 a

1,2% de Si e, se necessário, 0,03 a 0,15% de Zr e composto do remanescente de Al e as inevitáveis impurezas. Esse material não tem um teor de silício suficientemente baixo do núcleo para fornecer uma chapa de brasagem de resistência à corrosão suficiente.

5 Sumário da Invenção

A presente invenção visa a fornecer uma chapa de brasagem de liga de alumínio que tenha alta resistência, tenha boa resistência à corrosão em seu lado de superfície interna (lado do líquido refrigerante) quando sendo usada, por exemplo, como um tubo para trocadores de calor, como chapa inicial, e como núcleo aquecedor de um radiador. É também um objetivo da invenção fornecer um material de chapa de brasagem fino que tenha uma boa capacidade de trabalho e possa ser usada em ambientes corrosivos.

Isto é alcançado pela chapa de brasagem de liga de alumínio da presente invenção. A chapa de brasagem da presente invenção compreende um material de núcleo feito de uma liga de alumínio consistindo em $\leq 0,1\%$ em peso de Si, mais preferivelmente $\leq 0,06\%$ em peso de Si, $\leq 0,35\%$ em peso de Mg, de 1,0 a 2,0%, preferivelmente 1,4 a 1,8% em peso de Mn, de 0,2 a 1,0%, preferivelmente 0,6 a 1,0% em peso de Cu, $\leq 0,7\%$ em peso de Fe, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn 0,3% em peso de cada elemento entre Zr, e $\leq 0,5\%$ em peso no total de Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, o restante sendo Al e as inevitáveis impurezas; e um material de revestimento waterside revestido em pelo menos um dos lados do material de núcleo, o mencionado material de revestimento sendo feito de liga de alumínio tendo um potencial inferior que aquele do mencionado material de núcleo e consistindo essencialmente de 0,5 a 1,5% em peso de Si, 1,0 a 2,0% em peso, preferivelmente 1,4 a 1,8% em peso de Mn, 0,15% em peso de MG, $\leq 0,1\%$ em peso de Cu, $\leq 0,7\%$ em peso de Fe, $\leq 1,4\%$ em peso, preferivelmente $\leq 1,1\%$ em peso em peso, mais preferivelmente $\leq 0,4\%$ em peso de Zn, $\leq 0,3\%$ em peso de cada um dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, e $\leq 0,5\%$ em peso no total de Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, o restante sem do Al e as inevitáveis impurezas, onde a razão de % em peso de Si no revestimento waterside para o % em peso de Si no núcleo é de pelo menos 5:1, preferivelmente pelo menos 10:1.

Descrição detalhada da invenção

A presente invenção descreve um revestimento waterside que, em combinação com um núcleo designado, fornece uma boa proteção contra corrosão interna com baixo teor de Zn ($< 1,1\%$ em peso), ou preferivelmente $< 0,4\%$ em peso ou sem Zn no revestimento waterside. O Mg pode ser adicionado ao revestimento waterside para melhorar a resistência e a resistência à corrosão, mas ele pode provocar problemas quando da brasagem de materiais de tubo dobrado. A presente invenção é especialmente adaptada para materiais de tubos dobrados finos, mas pode também ser usada em outras aplicações. Eliminar-se tanto o Zn quanto o Mg do sistema também fornece uma melhor capacidade de reciclagem.

Foi descoberto que a chapa de brasagem, tal como a descrita na JP0299325 não fornece proteção suficiente contra a corrosão. A razão do % em peso de Si no revestimento waterside para o % de Si no núcleo é muito baixa para que seja formado um gradiente potencial suficiente. O teor de Si no núcleo é muito alto para um bom efeito de longevidade no lado do revestimento de brasagem da chapa de brasagem.

A chapa de brasagem da presente invenção compreende um núcleo de liga de alumínio, tendo em uma superfície um revestimento que será dirigido na direção do lado de líquido refrigerante de um trocador de calor produzido a partir da chapa de brasagem, e opcionalmente tendo um revestimento de brasagem na outra superfície. O revestimento do lado do líquido refrigerante é doravante referido como revestimento waterside, esse revestimento sendo uma camada mais externa da chapa de brasagem, diretamente em contato com o líquido refrigerante.

É um objetivo da presente invenção fornecer uma chapa de brasagem de liga de alumínio que tenha alta resistência, tenha boa resistência à corrosão em seu lado de superfície interna (lado do líquido refrigerante) quando sendo usada, por exemplo, como um tubo para trocadores de calor, como chapa inicial, e como núcleo aquecedor de um radiador. É também um objetivo da invenção fornecer um material de chapa de brasagem fino que tenha uma boa capacidade de trabalho e possa ser

usado em ambientes corrosivos. A presente invenção descreve uma chapa de brasagem com boa performance de corrosão, especialmente adaptado para materiais mais finos. Ela fornece um revestimento waterside com boas propriedades de erosão. O processo de fabricação da chapa de brasagem desta invenção foi escolhido de modo a fornecer uma distribuição ótima de tamanho de partícula no revestimento waterside após a brasagem. A presente chapa de brasagem tem uma razão de Si entre o núcleo e o revestimento waterside que foi especialmente adaptado para fornecer um gradiente potencial suficiente para proteção contra a corrosão interna. A quantidade de Zn, na presente invenção, foi minimizada no revestimento waterside para fornecer uma boa proteção contra a corrosão através de toda a espessura da chapa de brasagem, especialmente em bitolas mais finas. Minimizar o número de elementos no sistema também fornece melhores propriedades de capacidade de reciclagem.

A chapa de brasagem da presente invenção compreende um núcleo de uma liga de alumínio, tendo em uma superfície um revestimento que será dirigido na direção do lado do líquido refrigerante de um trocador de calor produzido a partir da chapa de brasagem, e opcionalmente tendo um revestimento de brasagem na outra superfície. O revestimento no lado do líquido refrigerante é doravante referido como revestimento waterside.

Mn é um elemento que melhora a resistência do material de revestimento waterside, bem como a resistência à corrosão por erosão quando, por exemplo, usada como um tubo em um trocador de calor. Quando o teor de Mn é menor que 1,0% em peso, a quantidade suficiente de Mn para reforço da partícula induzida não pode ser obtida e o número de partículas para a resistência à corrosão por erosão melhorada será muito baixo e a resistência não pode ser garantida. Quando o teor de Mn é maior que 2,0% em peso, a capacidade de trabalho do material de revestimento é deteriorada e podem ser formadas partículas intermetálicas muito grandes que podem afetar negativamente as propriedades de fadiga. Entre 1,4 e 1,8% em peso de Mn o teor desejado de pequenos colóides ($< 0,5 \mu\text{m}$) e são obtidas partículas eutéticas maiores que fornecem uma resistência

melhorada à corrosão por erosão. Portanto o teor de Mn no material de revestimento waterside é ajustado para a faixa de 1,0 a 2,0, mais preferivelmente para 1,4 a 1,8% em peso.

O Si melhora a resistência do material de revestimento waterside por reagir com o Mn. Quando o teor de Si é menor que 0,5% em peso, o número de coloides AlMnSi formado é insuficiente e a melhoria da resistência não é suficiente. O Si também reduz o ponto de fusão do revestimento e, portanto, precisa ser limitado a 1,5% em peso. Portanto o teor de Si no material de revestimento waterside é ajustado para a faixa de 0,5 a 1,5%.

Quando o teor de Si é diminuído o potencial de corrosão é afetado de forma que o revestimento se torna mais nobre, alcançando assim um efeito sacrificial mais fraco, o que é indesejável. O teor de Si do revestimento waterside deve ser também equilibrado com o teor de Si do núcleo, para se obter o efeito sacrificial desejado. Quando o teor de Mn é alto (1,4 a 1,8%), mais Si pode ser necessário no material de revestimento, uma vez que algum Si é perdido por difusão no núcleo e reage com o Mn na formação de partículas de AlMnSi.

O Zn é adicionado ao material de revestimento para tornar baixo o potencial de corrosão do material de revestimento. Nesse caso, quando o teor de Cu no material de revestimento está a nível de impureza, um efeito de anodo de sacrifício suficiente pode ser alcançado e a resistência à corrosão pode ser mantida, mesmo se o teor de Zn no material de revestimento for menor que 1,4%. Quando a espessura do material de núcleo é diminuída ou a temperatura do processo de brasagem é alta ou o tempo a alta temperatura é longo, o Zn do revestimento waterside tende a se difundir profundamente no núcleo, o que pode levar a propriedades de corrosão deterioradas da chapa de brasagem. O limite superior para o teor de Zn foi, portanto, ajustado para 1,4% em peso, mais preferivelmente $\leq 1,1\%$ em peso, e mais preferivelmente $\leq 0,4\%$ em peso. Diminuir a quantidade de Zn diminui o efeito de altas quantidades de Zn profundamente no núcleo, o que pode levar a uma taxa de corrosão aumentada do lado do

revestimento de brasagem.

O Zn a altos níveis diminuirá o ponto de fusão do revestimento e pode potencialmente tornar o material mais frágil provocando problemas durante a laminação. Controlando-se a quantidade de Zn, uma alta
5 resistência à corrosão pode ser obtida para chapas de brasagem finas sem ter que controlar o processo de brasagem, isto é, usar baixas temperaturas ou tempos de brasagem curtos para restringir a difusão do Zn através do núcleo.

O Mg é frequentemente adicionado ao material de revestimento
10 para melhorar a resistência e melhorar a resistência à corrosão e à erosão. Entretanto, na brasagem CAB de aplicações com, por exemplo, tubos dobrados, a performance de brasagem pode ser prejudicada se o Mg estiver presente em grandes quantidades. O teor de Mg do revestimento waterside conforme a invenção é, portanto, 0,15% em peso ou menos, preferivelmente
15 < 0,05% em peso ou menos.

O Cu deve ser ajustado baixo na beira d'água, uma vez que ele torna inferior a resistência à corrosão. O teor de cobre é ajustado para um máximo de 0,1% em peso, preferivelmente um máximo de 0,04% em peso, uma vez que o cobre aumenta a tendência para corrosão por formação de
20 buracos. Para melhorar a capacidade de reciclagem, a composição do revestimento preferivelmente não contém Ni.

A um teor de Mn no núcleo de pelo menos 1% em peso, um grande número de partículas pode ser precipitado durante o preaquecimento e a subsequente laminação a quente, e um substancial gradiente potencial
25 entre o núcleo e o revestimento waterside pode ser obtido por causa da grande diferença do Mn em solução sólida após a brasagem. O termo preaquecimento se refere a aquecer o lingote antes da laminação a quente a uma temperatura não excedendo 550°C. Acima de 2,0% em peso de Mn grandes partículas eutéticas são formadas durante a fundição, o que é
30 indesejável na fabricação de tubos mais finos. Um teor de Mn de 1,8% em peso ou menos é desejado uma vez que partículas primárias formadas durante a fusão serão menores. Um grande número de partículas fornece

uma grande resistência ao arqueamento a temperaturas de brasagem. Entre 1,4 e 1,8% em peso de Mn é obtido o teor desejado de pequenos colóides e partículas eutéticas maiores. Quando em solução sólida, o Mn aumenta a resistência.

- 5 A adição de 0,2 a 1,0% em peso de Cu ao núcleo é feita para também aumentar a resistência, uma vez que o cobre é um agente de reforço no alumínio quando em solução sólida. Entretanto, o Cu aumenta a sensibilidade a fraturas a quente durante a fusão, diminui a resistência à corrosão e a temperatura de fusão é diminuída. Um teor de cobre de 0,6 a 10 1,0% em peso é preferido em casos onde são necessárias maiores resistências.

- A adição de Zr provoca um número aumentado de partículas muito finas, o que é benéfico para a resistência ao arqueamento durante a brasagem. Isto também fornece grãos maiores após a brasagem o que é 15 benéfico para as propriedades de corrosão. Para se obter uma boa resistência ao arqueamento e grãos grandes, e evitar precipitados grosseiros durante a fusão, 0,05 a 0,3% em peso de Zr podem ser adicionados ao núcleo e/ou à liga waterside.

- A concentração de silício no núcleo deve ser $\leq 0,1\%$ em peso de 20 Si, preferivelmente $\leq 0,06\%$ em peso de Si. Isto faz com que qualquer ataque de corrosão prossiga na direção lateral enquanto a corrosão por formação de buracos é evitada e o ataque de corrosão se torna lateral. Acima de 0,1% em peso, a capacidade de formação de uma camada sacrificial juntamente com uma camada de revestimento ou camada 25 waterside após a brasagem é significativamente reduzida.

- Quando se fabrica uma liga de alumínio para uso em uma chapa de brasagem conforme a presente invenção, é impossível evitar pequenas quantidades de impurezas. Essas impurezas não são mencionadas, nem excluídas, na presente invenção, mas nunca excederão 0,15% em peso no 30 total. Em todas as configurações e exemplos da presente invenção o saldo consiste em alumínio.

 A chapa de brasagem da presente invenção fornece alta

resistência e performance superior de corrosão tanto no revestimento waterside quanto no lado do revestimento de brasagem. O material do revestimento waterside é particularmente adequado para ser aplicado como revestimento protetor contra a corrosão em tal material de núcleo, devido ao potencial de corrosão adaptado entre o núcleo e o revestimento. A combinação da liga torna possível produzir materiais de tubos muito finos com resistência e propriedades de corrosão suficientes. A chapa de brasagem tem vantajosamente uma espessura de $\leq 30 \mu\text{m}$, mais preferivelmente $\leq 20 \mu\text{m}$.

É muito importante escolher cuidadosamente as faixas de composição dos diferentes elementos de ligação da chapa de brasagem. Então, a presente invenção, fornece um meio para controlar os gradientes de potencial e as propriedades de corrosão da chapa de brasagem pelo uso de teores cuidadosamente elaborados de Mg, Mn, Si, Cu, Zr e opcionalmente Zn. Dessa forma a espessura do revestimento waterside pode ser minimizada enquanto uma alta resistência e uma alta resistência à corrosão e à erosão são mantidas. É desejado obter uma performance de corrosão melhorada equilibrada para alcançar tanto a situação de corrosão externa de veículos expostos às condições de descongelamento com sal, quanto a situações com líquidos refrigerantes de má qualidade no lado interno, sem confiar apenas no efeito do zinco para controlar o mecanismo de corrosão da camada de revestimento sacrificial waterside.

Qualquer liga de brasagem de alumínio da série 4xxx pode ser usada dentro do escopo da invenção. Assim, a espessura do revestimento de brasagem e o tipo de revestimento de brasagem usado nos exemplos desta invenção devem ser interpretados apenas como exemplos.

O núcleo do revestimento waterside tem altos teores de Mn para fornecer uma alta resistência à chapa de brasagem. Controlando-se cuidadosamente a diferença no teor de Si nos dois materiais, um gradiente de potencial é alcançado enquanto o revestimento waterside será sacrificial para o núcleo. Durante a brasagem, o Si no revestimento waterside mantém baixa a quantidade de Mn soluto principalmente no revestimento waterside,

ao estabilizar e possivelmente formar um novo coloide alfa AlMnSi de forma que após a brasagem haverá uma diferença na solução sólida de Mn no núcleo e no revestimento waterside. O baixo teor de Si no núcleo permite um alto teor de soluto de Mn uma vez que partículas de coloide AlMn mais fino

5 formadas durante o processamento da chapa serão dissolvidas durante a brasagem. Isto permite que um gradiente de potencial seja formado; uma propriedade que não é sensível ao ciclo de brasagem ou à espessura de revestimento. A razão de Si no revestimento para o Si no núcleo deve ser vantajosamente pelo menos 5:1, preferivelmente pelo menos 10:1. Com esta

10 chapa de brasagem e revestimentos waterside mais finos o teor de silício do revestimento waterside deve, portanto, preferivelmente ser 0,5% em peso ou mais para garantir que um Si suficiente esteja disponível para manter um alto nível de coloide alfa AlMnSi durante a brasagem. O Zn pode ser adicionado ao revestimento waterside para aumentar o gradiente de

15 potencial também se necessário e fazer o revestimento waterside correr sacrificialmente ainda mais rápido na camada de superfície se desejado. A presente invenção, entretanto, permite que o teor de zinco da camada de revestimento sacrificial seja aplicado em níveis mais baixos, reduzindo o impacto negativo do zinco se difundindo profundamente no núcleo fazendo

20 assim a performance de corrosão total inferior para a capacidade de reciclagem dos produtos do trocador de calor, e ela permite também uma produção mais flexível de diferentes tipos de trocadores de calor no mesmo forno de brasagem CAB. Isto, em combinação com o efeito do cobre, mantido a níveis muito baixos no revestimento waterside e tendo um alto

25 teor de cobre no núcleo aumentará as diferenças do potencial de corrosão e assim melhorará a performance de corrosão apesar do efeito do silício e do manganês.

Além disso, o revestimento waterside tem grãos grandes e um alto número de partículas intermetálicas, o que o faz resistir à erosão do

30 líquido que flui. Isto é obtido pelo alto teor de Mn e pela rota de processamento. A placa de núcleo e a placa de revestimento são fabricadas em um processo compreendendo preaquecimento após a fusão até não

mais de 550°C. As propriedades de erosão são importantes para tubos quando um líquido fluente está presente no sistema, como, por exemplo, em um radiador ou um núcleo de aquecedor. O revestimento waterside da presente invenção é especialmente preparado para ser resistente à erosão.

5 A resistência à erosão é dependente da fração da partícula e da distribuição de tamanhos; partículas contendo Al-Si-Fe-Mn em um número controlado é benéfico para o material suportar a ação erosiva. A liga waterside da presente invenção tem uma fração de área de partícula adaptada. A fração de área na condição conforme soldada é dependente da composição, do

10 processo (especialmente procedimentos de preaquecimento), e ciclo de brasagem. Isto é alcançado pelo método conforme a presente invenção para produzir chapas AlMn nas quais a placa de laminação do revestimento waterside é produzida a partir de um fundido que contém (e % em peso) 0,5 a 1,5% de Si, 1,0 a 2,0%, preferivelmente 1,4 a 1,8% de Mn, 0,15% Mg,

15 0,1% de Cu, $\leq 0,7\%$ de Fe, $\leq 1,4\%$, preferivelmente $\leq 1,1\%$, mais preferivelmente $\leq 0,4\%$ de Zn, $\leq 0,3\%$ em peso de cada elemento entre Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, e $\leq 0,5\%$ em peso no total de Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, o saldo consistindo em alumínio e as inevitáveis impurezas. Todas as quantidades de elementos de ligação dadas estão em peso percentual. A

20 placa de laminação é, antes da laminação a quente, preaquecida a uma temperatura de preaquecimento de menos de 550°C para controlar o número e o tamanho de partículas coloides (partículas precipitadas de solução sólida supersaturada), após o que a placa de laminação preaquecida é laminada a quente em uma tira quente com dimensões

25 adequadas. A redução de altura total normal de uma laminação a quente da espessura da tira waterside é dependente da bitola final e da espessura do revestimento waterside, mas é tipicamente $> 70\%$. A bitola de saída da tira a quente para o revestimento waterside está tipicamente na faixa de 25 a 100 mm. Ela é soldada em uma placa núcleo que foi produzida a partir de um

30 fundido que contém $< 0,1\%$, preferivelmente $< 0,06\%$ de Si, 1,0 a 2,0%, preferivelmente 1,4 a 1,8% de Mn, $\leq 0,35\%$ de Mg, $\leq 0,2$ a 1,0%, preferivelmente 0,6 a 1,0% de Cu, 0,7% de Fe, $\leq 0,3\%$ em peso de cada um

dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn e $\leq 0,5\%$ em peso no total de Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, o saldo consistindo em alumínio e das inevitáveis impurezas. A placa de revestimento é preferivelmente preaquecida a uma temperatura de preaquecimento de menos de 550°C . Ela é laminada a quente e também laminada a frio até a bitola final. A bobina é preferivelmente recozida na bitola final. O material de revestimento waterside produzido dessa forma tem uma microestrutura após a brasagem compreendendo um número de densidade de partículas na faixa entre $0,5$ e 20×10^5 partículas por mm^2 , preferivelmente entre 1 e 12×10^5 partículas por mm^2 , mais preferivelmente entre 2 e 9×10^5 partículas por mm^2 , as partículas tendo um diâmetro equivalente na faixa de 50 a 500 nm, e um número de densidade de partículas na faixa entre 1 a 20×10^3 partículas por mm^2 , preferivelmente entre 7 a 15×10^3 partículas por mm^2 , as partículas tendo um diâmetro equivalente na faixa de > 500 nm.

A maioria dessas partículas finas são criadas durante o preaquecimento antes da laminação a quente. Condições típicas de brasagem incluem aquecimento até uma temperatura de 580 a 630°C , por exemplo, cerca de 600°C , com um tempo de contato de 2 a 5 minutos, tipicamente cerca de 3 minutos. Uma descrição sobre como a densidade de partículas foi medida conforme descrito no Exemplo 3.

A presente invenção tem uma razão de Si entre revestimento e núcleo que foi otimizado para fornecer a melhor performance de corrosão. A razão de % em peso de Si no revestimento para o % em peso de Si no núcleo pode ser pelo menos $5:1$, preferivelmente pelo menos $10:1$, dado que os outros elementos estão dentro do escopo desta invenção.

A chapa de brasagem pode ter um revestimento de brasagem Al-Si aplicada diretamente a ela no lado oposto a partir do revestimento, o mencionado revestimento de brasagem compreendendo 5 a 13% em peso de Si. Quando o núcleo tem um revestimento de brasagem no lado oposto do revestimento waterside, o baixo teor de silício no núcleo fornece uma camada sacrificial a ser formada e processo de corrosão apenas na direção lateral também no lado do revestimento de brasagem. A excelente

resistência à corrosão desse material de núcleo foi mostrado previamente na EP1580286. Quando a chapa de brasagem inclui um revestimento de brasagem, nenhuma camada intermediária é necessária no lado de brasagem da chapa de brasagem, o que é uma vantagem sob um ponto de vista econômico. A reciclagem do material é também feita mais facilmente quando não é usada nenhuma camada intermediária com uma composição diferente daquela do núcleo.

A proteção contra corrosão de uma chapa de brasagem incluindo um revestimento de brasagem é excelente devido aos gradientes potenciais criados tanto no lado interno quanto no externo. Na superfície externa que faceia o lado do ar, é criada uma camada de vida longa anódica sacrificial durante a brasagem a um nível de subsuperfície. Partículas finas no núcleo que contêm Al, Mn e Si são precipitados próximo à superfície de revestimento de brasagem devido à difusão interna de Si a partir do revestimento de brasagem. Isto diminui o Mn na solução sólida nesta zona comparado ao núcleo. A maiores profundidades do núcleo onde o silício não alcança, a maioria de partículas de coloide fino AlMn é dissolvida durante a operação de brasagem e a quantidade de Mn soluto é aumentada. A diferença no soluto Mn entre a camada de subsuperfície anódica sacrificial após a operação resulta em um gradiente potencial entre a superfície externa e o núcleo dando uma excelente performance de corrosão.

Também o processo para produzir tal chapa de brasagem foi otimizado para alcançar a melhor performance da chapa de brasagem. O perfil final de Mn, Cu e Si em solução sólida, e portanto sua proteção contra a corrosão após a brasagem depende da história do processo da chapa.

O lingote da chapa de brasagem é preaquecida $< 550^{\circ}\text{C}$ antes da laminação a quente. Essa rota de processamento é escolhida para produzir um material de núcleo com uma grande quantidade de coloides contendo Mn que são suficientemente pequenos para dissolver durante a brasagem e, portanto, maximizar a quantidade de Mn na solução sólida. A têmpera H24 é também preferida comparada à têmpera H14. Foi descoberto que o gradiente potencial a partir do lado de revestimento de brasagem

externo é mais penetrante quando o material é produzido na têmpera H24 que na têmpera H14.

Portanto, a têmpera do núcleo da chapa de brasagem de liga de alumínio conforme a invenção preferivelmente é H24, e a placa de núcleo e a placa de revestimento são vantajosamente produzidas em um processo compreendendo preaquecimento após a fusão para não mais que 550°C.

Doravante serão descritas configurações da presente invenção por meio de exemplos.

Exemplos

10 Exemplo 1

Os perfis de concentração foram calculados usando-se uma solução erf da segunda Lei de difusão de Fick (Fórmula 1). Os termos e definições estão dados na Tabela 1. A energia de ativação Q e a constante de difusão máxima D_0 para esses sistemas de ligas foram verificados contra dados experimentais (EPMA, Electron Probe Micro Analysis). Para o Cu, foi usado Q de 130 kJ/mol em combinação com $D_0 = 6,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Para o Zn, foi usado Q de 114 kJ/mol em combinação com $D_0 = 2,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

A concentração "C", a uma distância "y" da superfície do revestimento waterside após a brasagem, foi calculada usando-se a fórmula:

$$20 \quad C = C_{\text{núcleo}} + 0,5 \cdot \Delta C (\text{Erf}(A) - \text{Erf}(B)) \quad (1)$$

$$A = (y+h)/\sqrt{(4Dt)} \quad (2)$$

$$B = (y-h)/\sqrt{(4Dt)} \quad (3)$$

$$D = D_0 e^{-Q/RT} \quad (4)$$

Tabela 1 - Termos e definições para cálculo de difusão

Termo	Medida	Definição
$C_{\text{núcleo}}$	% em peso	Concentração inicial no núcleo
$C_{\text{beira d'água}}$	% em peso	Concentração inicial no revestimento waterside
ΔC	% em peso	$C_{\text{beira d'água}} - C_{\text{núcleo}}$
y	μm	Distância da superfície do revestimento waterside
h	μm	Espessura do revestimento waterside

Termo	Medida	Definição
D	m ² /s	Constante de difusão (dependência da temperatura sendo levada em consideração)
D ₀	m ² /s	Constante de difusão máxima (a uma temperatura infinita)
Q	J/mol	Energia de ativação para difusão
R	J/Kmol	Constante do gás
T	K	Temperatura absoluta

Os perfis de potencial de corrosão foram calculados com base na fórmula 5. Há uma relação linear entre a concentração elementar e o potencial de corrosão a pequenos níveis até a solubilidade sólida máxima de cada componente no alumínio (corrosão do alumínio e das ligas de alumínio), Edt. J. R. Davis, ADSM International 2000). Para simplicidade, os efeitos de elementos diferentes são considerados como sendo aditivos. O potencial de corrosão para uma certa liga de alumínio, E_{liga} , com a quantidade do elemento em solução sólida (ss) pode ser descrita pela fórmula 5.

$$E_{\text{liga}} = E_{\text{Al}} + \% \text{Mn}_{\text{SS}} \cdot \Delta E_{\text{Mn}} + \% \text{Si}_{\text{SS}} \cdot \Delta E_{\text{Si}} + \% \text{Cu}_{\text{SS}} \cdot \Delta E_{\text{Cu}} + \% \text{Zn}_{\text{SS}} \cdot \Delta E_{\text{Cu}} \quad (5)$$

A contribuição de potencial de corrosão para a matriz de alumínio puro ($\Delta E_{\text{solução sólida do elemento}}$) para os vários elementos de ligação está dada na Tabela 2. E_{Al} (potencial do alumínio sem elementos de ligação) foi medida para -755mV VS SCE (Standard Calomel Electrode) de acordo com a ASTM G69. Um ciclo de brasagem de 20 minutos aquecendo e 3 minutos a 600°C foi usado tanto para dados experimentais quanto calculados.

Tabela 2 - Contribuição do potencial de corrosão para a matriz de alumínio puro ($\Delta E_{\text{solução sólida do elemento}}$) para os vários elementos de ligação (dados da Corrosão do Alumínio e da Corrosão de Ligas de Alumínio, Edt J. R. Davis, ASM International 2000).

Elemento	$\Delta E_{\text{solução sólida do elemento}}$ (mV/% em peso)
Mn	+55
Si	+20
Cu	+50

Elemento	$\Delta E_{\text{solução sólida do elemento}}$ (mV/% em peso)
Zn	-90

As medições de resistividade e de TEP foram usadas para calcular a condutividade e o Mn na solução sólida. O Si na solução sólida foi também estimado a partir desses resultados, mas essas concentrações são incertas. Foram feitas as seguintes suposições: o teor de zircônio foi de 0,1% em peso, todo o cobre está na solução sólida e o ferro se precipitou. As concentrações calculadas após a brasagem estão dadas na Tabela 3. Essas foram usadas como dados de entrada para os cálculos potenciais. As quantidades de Cu e de Zn que foram usadas como dados de entrada para os cálculos potenciais foram calculadas usando-se a fórmula 1.

10 Tabela 3 - Teores típicos após a brasagem em % em peso de Mn e Si na solução sólida

	Mn _{ss} após a brasagem	Si _{ss} após a brasagem
Núcleo I	0,9	0,04
Revestimento A-C	0,25	0,18

A presente invenção tem uma razão de Si entre o revestimento e o núcleo que foi otimizado pelo fornecimento da melhor performance de corrosão. A razão de Si em % em peso no revestimento para o % em peso de Si no núcleo deve ser de pelo menos 5:1, preferivelmente pelo menos 10:1. A diferença potencial da corrosão, após a brasagem, entre a superfície do revestimento waterside e o núcleo foi calculado para um número de composições conforme dado nas Tabelas 4 a 6. A bitola total foi, nos exemplos de chapa de brasagem, escolhida para ser 150 μm e a espessura do revestimento waterside 30 μm . A razão de Si nos exemplos é 17. Após a brasagem, a quantidade de Mn na solução sólida no revestimento waterside é muito menor que no núcleo. Mais Mn é agregado em partículas contendo Al-Si-Fe-Mn no revestimento waterside que no núcleo devido à razão de Si adaptado usada na presente invenção. A diferença potencial dada pelo revestimento A sem Zn, em combinação com o núcleo I, é 63 mV, conforme dado pela Tabela 6.

Tabela 4 - Composição do núcleo em % em peso

Núcleo	Si	Mn	Cu	Fe
Núcleo I	0,05	1,7	0,8	0,2

Tabela 5 - Composição do revestimento waterside em % em peso

Revestimento	Si	Mn	Zn	Fe	Cu
A	0,85	1,7	0,0	0,2	0
B	0,85	1,7	0,4	0,2	0
C	0,85	1,7	1,5	0,2	0

Tabela 6 - Exemplos

Exemplo de Chapa de Brasagem	1	2	3	4
Núcleo	I	I	I	I
Revestimento	A	B	C	A
$Si_{\text{revestimento}}/Si_{\text{núcleo}}$	17	17	17	17
Bitola Total (μm)	150	150	150	200
Espessura do revestimento waterside	30	30	30	20
$\Delta E_{\text{superfície-núcleo}}$ (mV)	63	78	120	54
Gradiente de Zn na zona do núcleo ($10^{-3}\%$ em peso/ μm)	-	1,9	7,1	-
Gradiente potencial da zona do núcleo (mV/ μm)	0,23	0,43	0,86	-*

*) Não calculado

- 5 As Figuras 1 a 3 mostra os perfis de potencial de corrosão, os perfis de difusão de Cu e de Zn após a brasagem para o núcleo I em combinação com o revestimento A-C respectivamente. A espessura do revestimento waterside de 30 μm está marcada no diagrama. Nesses exemplos é presumido que no lado oposto, na superfície externa, está
- 10 presente um revestimento de brasagem. Um outro revestimento de proteção contra a corrosão pode também ser usado. Quando o revestimento de brasagem está presente, uma camada de longa vida é criada durante a brasagem na superfície externa. Partículas finas que contêm Al, Mn e Si são precipitadas próximas à superfície do revestimento de brasagem devido à
- 15 difusão interior de Si. Isto diminui o Mn na solução sólida nessa zona

comparado ao núcleo e resulta em um gradiente potencial entre a superfície externa e o núcleo. Essa camada de longa vida pode também ser referida como a faixa marrom, que está marcada nas figuras. A expansão da faixa marrom, a partir da interface revestimento/núcleo, é tipicamente 40 a 50 μm .

- 5 A zona núcleo é definida como a distância entre a interface revestimento waterside/núcleo e a interface faixa marrom/núcleo (nesse exemplo é a zona central de 30 a 100 μm do material). O potencial não foi calculado na faixa marrom nesses exemplos, mas está tipicamente em torno de 30 a 60 mV menor que o potencial do núcleo nas ligas cobertas por esta invenção.

- 10 Das Figuras 1 a 3 o efeito de adição de Zn ao revestimento waterside para materiais de bitola fina é claramente visível. Três teores iniciais de Zn estão descritos: 0 , 0,4 e 1,5% em peso de Zn. Quando é usado 1,5% em peso de Zn no revestimento waterside, a distância em difusão é de cerca de 100 a partir da interface de revestimento
- 15 waterside/núcleo. Para materiais de bitola fina, por exemplo, 150 μm , significa que o gradiente de Zn alcança a banda marrom. O gradiente de Zn foi calculado na zona do núcleo (Tabela 3), que é a zona entre a interface revestimento waterside/núcleo e a interface núcleo/faixa marrom. O gradiente de Zn no núcleo afetará a proteção contra corrosão externa de
- 20 uma chapa de brasagem. Quando a corrosão externa progrediu além da faixa marrom sacrificial, ela pode continuar no núcleo. Se o gradiente de Zn for rígido, então a corrosão é passível de progredir mais rapidamente. O perfil potencial está também mostrado nas Figuras 1 a 3. Na chapa de brasagem do Exemplo 3 com 1,5% de Zn, há o gradiente potencial através
- 25 de todo o núcleo. Isto não é ótimo para boa proteção contra a corrosão tanto do lado interno quanto do lado externo; deve ser um potencial de núcleo estável presente pelo menos no centro do núcleo. A chapa de brasagem do Exemplo 1 mostra um revestimento waterside sem Zn. O potencial do núcleo é estável através de metade da espessura do núcleo. A Chapa de Brasagem
- 30 do Exemplo 2 mostra a situação para um revestimento waterside com 0,4% em peso de Zn. O gradiente de Zn é menor que para 1,5% em peso de Zn e o potencial do núcleo não foi afetado por uma extensão tão grande quanto

no caso de 1,5% em peso de Zn. A chapa de brasagem dos Exemplos 1 e 2 são melhores da perspectiva de corrosão externa que a chapa de brasagem do Exemplo 3.

Quando o material é exposto a ambientes corrosivos tanto do lado externo quanto do interno, a combinação do material na chapa de brasagem do Exemplo 3 é esperada suportar menos os ataques corrosivos que as chapas de brasagem dos Exemplos 1 e 2. espera-se que o núcleo seja consumido mais rapidamente e há um risco maior de perfuração.

Exemplo 2

Um outro aspecto da presente invenção é a proteção contra corrosão interna. A diferença potencial entre a superfície do revestimento waterside e o núcleo da chapa de brasagem do Exemplo 1 é 63 mV. Na chapa de brasagem do Exemplo 4 (Tabela 6), onde um revestimento waterside mais fino é usado, a diferença potencial após a brasagem é 54 mV. Foi testada a performance de corrosão interna desse material.

Os espécimes de chapas do material E e D foram feitos usando-se um núcleo com a composição dada na Tabela 7. Foi usado o material laminado a quente do mencionado material de núcleo que foi originalmente revestido com 10% de revestimento de brasagem AA4343 e 10% de revestimento waterside. O revestimento waterside foi removido e substituído com revestimentos waterside, conforme as composições da Tabela 8.

Tabela 7 - Composição química do núcleo, em % em peso, medido por OES

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Zr	Ti
Núcleo	0,05	0,2	0,8	1,7	<0,01	<0,01	0,13	0,03

Tabela 8 - A composição química das ligas waterside, em % em peso, medido por OES

Beira d'água	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Zr	Ti
D	0,8	0,2	<0,01	1,7	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
E	0,8	0,2	<0,01	1,6	<0,01	2,7	<0,01	<0,01
F	0,9	0,3	<0,01	1,6	0,02	1,3	0,1	<0,01

O espécime E é um exemplo comparativo. A espessura do

material foi também reduzida por laminação a frio em um laminador até as dimensões adequadas e foi submetido a um tratamento térmico final até a têmpera H24.

5 Todos os espécimes foram simulados quanto à brasagem em um forno CAB. As chapas foram colocadas em pares com os revestimentos waterside se faceando para minimizar a evaporação do zinco. Foi usado um ciclo térmico que incluiu aumentar a temperatura da temperatura ambiente até 600°C em 20 minutos, tempo de contato de 3 minutos na temperatura máxima. O resfriamento foi executado no ar a uma taxa de ~2,4°C/s.
10 Embora a taxa de resfriamento seja arbitrária, é desejável que a taxa de resfriamento seja alta.

Todos os espécimes compreendem o núcleo dado na Tabela 7, um revestimento de brasagem AA4343, e um revestimento waterside conforme dado na Tabela 8. A bitola e a espessura do revestimento foram
15 medidas por microscópio de luz ótica em amostras polidas.

O comportamento de corrosão interna foi avaliado usando-se um teste de proveta. Cupons de teste de 40x80 mm foram preparados de cada combinação de material. Eles foram desengordurados em um banho de desengorduramento alcalino suave (Candoclene). Os lados do revestimento
20 de brasagem foram mascarados com fita adesiva. Quatro cupons de teste foram imersos em cada proveta de vidro contendo 400 ml de uma assim chamada "água OY". A composição da água OY foi 195 ppm de Cl⁻, 60 ppm de SO₄²⁻, 1 ppm de Cu²⁺, e 30 ppm de Fe³⁺. Ela foi preparada usando-se NaCl, Na₂SO₄, CuCl₂.2H₂O e FeCl₃.6H₂O em água desionizada. A proveta
25 foi colocada em uma chapa quente com agitação magnética que pode ser ajustada com um temporizador. O ciclo de temperatura foi ajustado a 88°C por 8 horas e à temperatura ambiente por 16 horas. A agitação foi aplicada durante o período de aquecimento de 8 horas apenas. O teste foi executado por um período de duas semanas usando a mesma solução de teste.
30 Amostras duplicadas de cada combinação de material foram analisadas. Após a testagem, os cupons foram imersos em HNO₃ por 10 a 15 minutos e lavados em água desionizada. A análise da profundidade do furo foi feita

usando-se o método do microscópio conforme a ISO 11463. Foram estudadas seções transversais em um microscópio de luz ótica para uma análise mais detalhada do tipo de ataque corrosivo e da profundidade do furo. Foram contadas as perfurações, se presentes, mas quaisquer perfurações mais próximas que 5 mm das bordas foram omitidas.

A Tabela 9 mostra os resultados do teste de corrosão interna. É dado o número de perfurações (total nos dois cupons de teste). A Tabela 10 mostra a profundidade do furo dos espécimes D e E. D está dentro do escopo da invenção e E é um exemplo comparativo.

10 Tabela 9 - Número de perfurações após o teste de corrosão interna

Espécime	Revestimento waterside	Bitola (μm)	Espessura do revestimento waterside	Número de perfurações
D	D	210	22	0
E	E	202	20	0

Tabela 10 - Profundidade do furo do método de focalização após duas semanas de teste de corrosão interna

Espécime	Revesti-mento waterside	Bitola (μm)	Espessura do revestimento waterside	Profundida de média do furo (μm)	Desvio padrão (μm)
D	D	210	22	110	28
E	E	202	20	138	29

O resultado da corrosão interna mostra que o gradiente potencial do espécime D para essa combinação de material para suportar o teste de corrosão interna. A profundidade do furo é um pouco menor que para o espécime E que contém 2,5% em peso de Zn.

Exemplo 3

Um outro aspecto da presente invenção é a distribuição de partículas. Um material com uma composição de núcleo conforme a Tabela 7 e o revestimento waterside F da Tabela 8, foi usado para análise. O lingote de revestimento waterside foi preaquecido a uma temperatura $< 550^{\circ}\text{C}$ e a placa foi laminada a quente com uma redução total de 90%. A placa

waterside foi soldada no lingote de núcleo; no lado oposto foi soldada uma placa de um revestimento de brasagem AA4343. O conjunto foi preaquecido a uma temperatura de $< 550^{\circ}\text{C}$ e laminado a quente com uma redução total de 99% para 3,9 mm. A placa foi também reduzida até a bitola final de 0,270 mm por laminação a frio. A bobina foi recozida até a têmpera H24.

O material da bobina descrita acima foi simulado em brasagem em um forno CAB. Dois ciclos térmicos foram usados: um que incluiu o aumento da temperatura desde a temperatura ambiente até 610°C em 20 minutos, seguido por um tempo de contato de 3 minutos à temperatura máxima. Um segundo ciclo térmico foi usado similar ao anterior, mas com uma temperatura máxima de 585°C . O resfriamento foi executado sob atmosfera inerte a uma taxa de $\sim 0,50^{\circ}\text{C/s}$.

Para medir a densidade de partícula do material, foram cortadas seções no plano longitudinal ND-RD da tira. As seções foram polidas mecanicamente usando-se suspensão Struers OP-S, contendo $0,04\ \mu\text{m}$ de sílica coloidal, na última etapa de preparação. A área das seções transversais das partículas foram medidas em um FEG-SEM, Philips XL30S, usando um sistema de análise de imagem da Oxford Instruments, IMQuant/X.

Imagens para as medições foram gravadas no modo de imagem de retrodifusão usando um detector "in-lens" no microscópio. Para minimizar a informação da profundidade e conseguir uma boa resolução espacial na imagem de retrodifusão, uma baixa voltagem de aceleração, 3 kV, foi usada.

Um limite de nível de cinza comum foi usado para detectar as partículas. Para obter um resultado que seja representativo do número e da distribuição das partículas na amostra, as imagens medidas foram espalhadas por toda a seção transversal. Medições foram feitas em duas etapas. A primeira foi feita de coloides menores (partículas com um diâmetro equivalente $< 500\ \text{nm}$). Mais de 1000 coloides foram medidos. A área A de cada partícula é medida e um diâmetro equivalente de partícula calculado como $\sqrt{(4A/\pi)}$. A segunda medição foi feita em partículas constituintes (partículas com um diâmetro equivalente $> 500\ \text{nm}$). A medida foi feita em

um campo de imagem cobrindo cerca de 80% da espessura do revestimento. Foram analisados cerca de 100 campos.

A amostra teve, após a brasagem a 610°C por 2 minutos, um número de coloides dentro da faixa de tamanho de 50 a 500 nm de $3,9 \times 10^5$ partículas por mm^2 . As amostras tiveram após a brasagem um número de densidade de partículas constituintes dentro da faixa de tamanho > 500 nm de 1×10^4 partículas por mm^2 . A amostra teve, após a brasagem a 585°C por 2 minutos, um número de densidade de coloides dentro da faixa de 50 a 500 nm de $6,8 \times 10^5$ partículas por mm^2 . As amostras tiveram após a brasagem um número de densidade de partículas constituintes dentro da faixa de tamanho > 500 nm de 1×10^4 partículas por mm^2 .

Exemplo 4

Os perfis de potencial de corrosão foram medidos em ambas as tâmporas H24 e H14 do material, a partir do lado do revestimento de brasagem, após a brasagem CAB conforme o Exemplo 2. As medições do potencial de corrosão foram feitas a 6 a 8 profundidades, iniciando a partir da superfície externa do revestimento de brasagem residual e progredindo para o núcleo. As amostras foram causticadas em NaOH quente até as diferentes profundidades (o lado traseiro foi mascarado com fita adesiva). Após a causticação, as amostras foram limpas em HNO_3 concentrado e lavado em água desionizada e etanol. A espessura de cada amostra foi medida por um micrômetro antes e após a causticação para determinar a profundidade.

Os cupons de teste foram mascarados usando-se fita adesiva no lado traseiro e esmalte de unha para cobrir as bordas. A área ativa após a mascaração foi ~ 20x30 mm. As medições eletroquímicas foram executadas usando-se um registrador cronológico de processo Solartron IMP. Um eletrodo Calomel padrão (SCE) foi usado como eletrodo de referência. As amostras foram imersas em um eletrólito de solução acidificada (ASTM D1141 sem metais pesados a um pH de 2,95). 10 ml de H_2O_2 por litro de solução de eletrólito foram adicionados no início das medições. O potencial de circuito aberto (OCP) foi monitorado como uma função da profundidade

pela causticação das amostras antes da medição.

- Os perfis de potencial de corrosão estão mostrados na Figura 4. Pode ser visto que o material de têmpera H24 fornece um perfil de potencial de corrosão mais íngreme que o material de têmpera H14, o qual fornece
- 5 uma melhor proteção contra a corrosão.

REIVINDICAÇÕES

1. Chapa de brasagem de liga de alumínio compreendendo um material de núcleo feito de liga de alumínio consistindo em
- 5 de Si,
- $\leq 0,1\%$ em peso de Si, mais preferivelmente $\leq 0,06\%$ em peso
- $\leq 0,35\%$ em peso de Mg,
- de 1,0 a 2,0% em peso, preferivelmente de 1,4 a 1,8% em peso
- de Mn,
- de 0,2 a 1,0% em peso, preferivelmente de 0,6 a 1,0% em peso
- 10 de Cu,
- $\leq 0,7\%$ em peso de Fe,
- $\leq 0,3\%$ em peso de cada elemento entre Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In,
- Sn e
- $\leq 0,5\%$ em peso no total de Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn
- 15 o restante sendo Al e as inevitáveis impurezas;
- e um material waterside revestido em pelo menos um dos lados do material de núcleo, o mencionado material de revestimento sendo feito de uma liga de alumínio tendo um potencial menor que aquele do mencionado material de núcleo e consistindo essencialmente em
- 20 0,5 a 1,5% em peso de Si,
- 1,0 a 2,0% em peso, preferivelmente 1,4 a 1,8% em peso de Mn,
- $\leq 0,15\%$ em peso de Mg,
- $\leq 0,1\%$ de Cu
- $\leq 0,7\%$ de Fe
- 25 $\leq 1,4\%$ em peso, preferivelmente $\leq 1,1\%$ em peso, mais preferivelmente ainda $\leq 0,4\%$ em peso de Zn,
- $\leq 0,3\%$ de cada elemento entre Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn e
- $\leq 0,5\%$ em peso no total de Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn
- o restante sendo Al e as inevitáveis impurezas,
- 30 em que a razão de % em peso de Si no revestimento waterside para % em peso de Si no núcleo é de pelo menos 5:1, preferivelmente pelo menos 10:1.

2. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com a reivindicação 1, em que o material de núcleo contém $\leq 0,05-0,3\%$ em peso de Zr.

5 3. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, em que o material de revestimento contém $\leq 0,05-0,3\%$ em peso de Zr.

4. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, em que a composição do revestimento não contém Ni.

10 5. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, em que o teor de Mg no revestimento é $< 0,05\%$.

6. A chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, em que o teor de cobre do revestimento é $< 0,04\%$ em peso.

7. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, em que a espessura da chapa de brasagem é menor que ≤ 300 um, preferivelmente ≤ 200 um.

20 8. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, em que o revestimento waterside é ≤ 30 um.

9. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, em que o núcleo tem um revestimento de brasagem adicional de Al-Si aplicado diretamente ao mesmo no lado oposto do revestimento, o mencionado revestimento de brasagem compreendendo 5-13% em peso de Si.

10. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, em que a têmpera do núcleo é H24.

30 11. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com a reivindicação 1 a 10, em que a chapa de brasagem é feita de uma placa de núcleo e uma placa de revestimento, as mencionadas placa de núcleo e placa de revestimento sendo produzidas em um processo compreendendo

• preaquecimento após a fusão para não mais que 550°C.

12. Chapa de brasagem de liga de alumínio de acordo com a reivindicações 1 a 11, caracterizada pelo fato de que ela tem um revestimento waterside com uma microestrutura após a brasagem compreendendo um número de densidade de partículas na faixa entre 0,5 e 20 x 10⁵ partículas por mm², preferivelmente entre 1 e 12 x 10⁵ partículas por mm², mais preferivelmente entre 2 e 9 x 10⁵ partículas por mm², as partículas tendo um diâmetro equivalente na faixa de 50 a 500 nm, e um número de densidade de partículas na faixa entre 1 a 20 x 10³ partículas por mm², preferivelmente entre 7 e 15 x 10³ partículas por mm², as partículas tendo um diâmetro equivalente na faixa de > 500 nm.

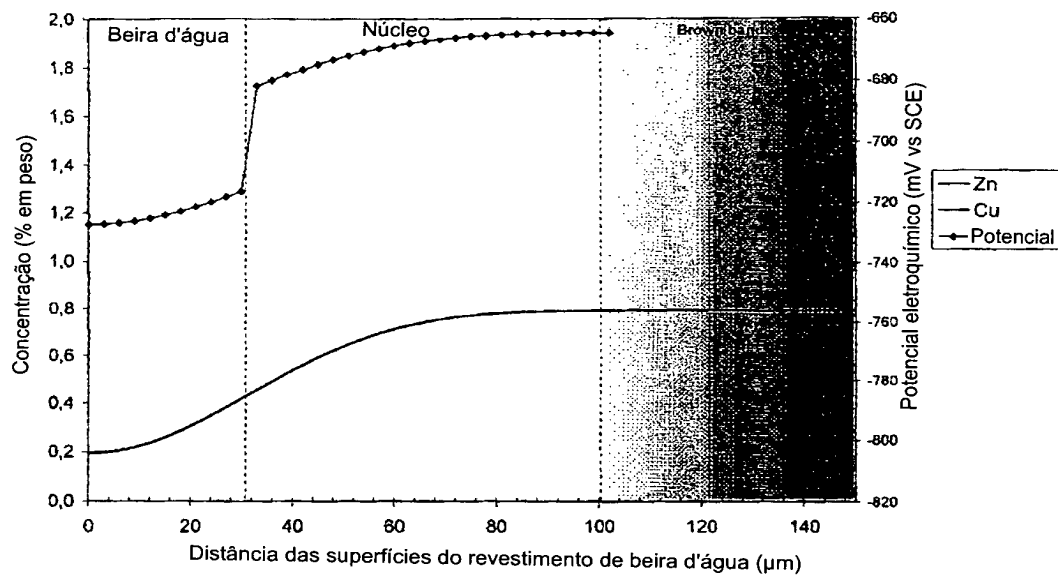


Fig. 1 Perfis de difusão teórica de Cu e, Zn e perfil de potencial de corrosão modelado o revestimento A, Zn=0, em combinação com o núcleo I

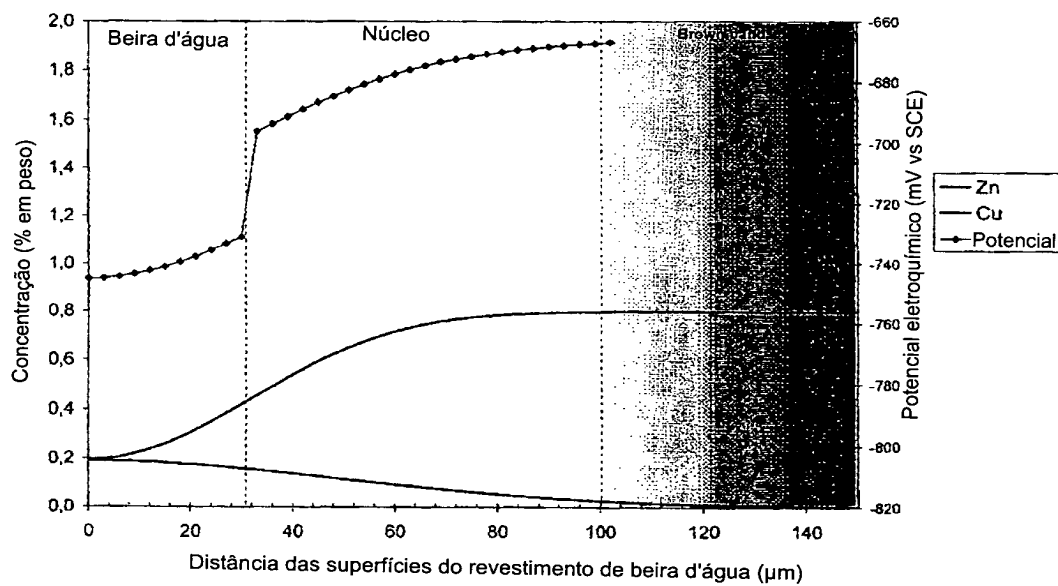


Fig. 2 Perfis de difusão teórica de Cu e, Zn e perfil de potencial de corrosão modelado o revestimento B, Zn=0,4 , em combinação com o núcleo I

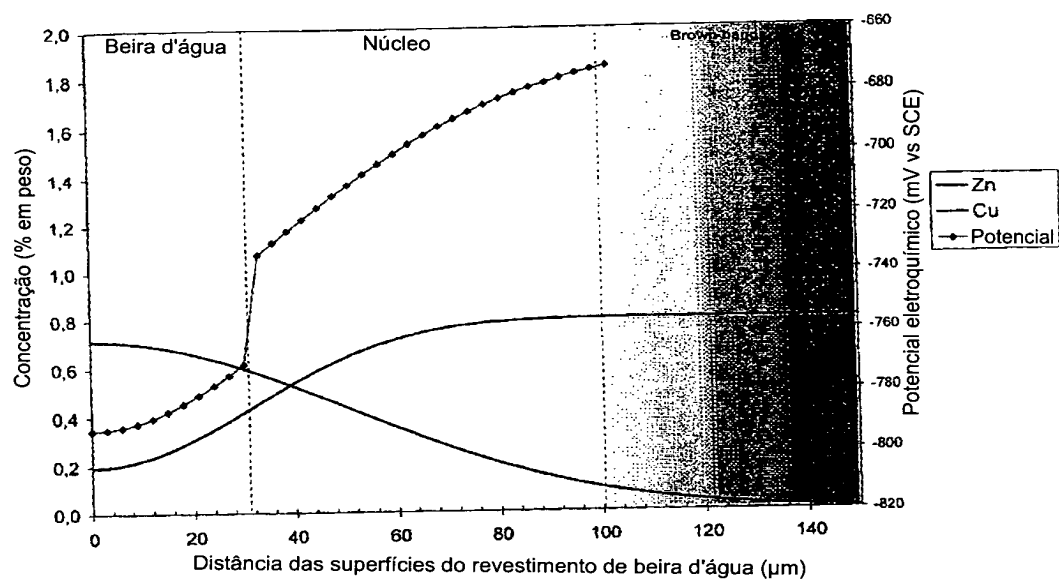


Fig. 3 Perfis de difusão teórica de Cu e, Zn e perfil de potencial de corrosão modelado o revestimento C, Zn=1,5 , em combinação com o núcleo I with Core I

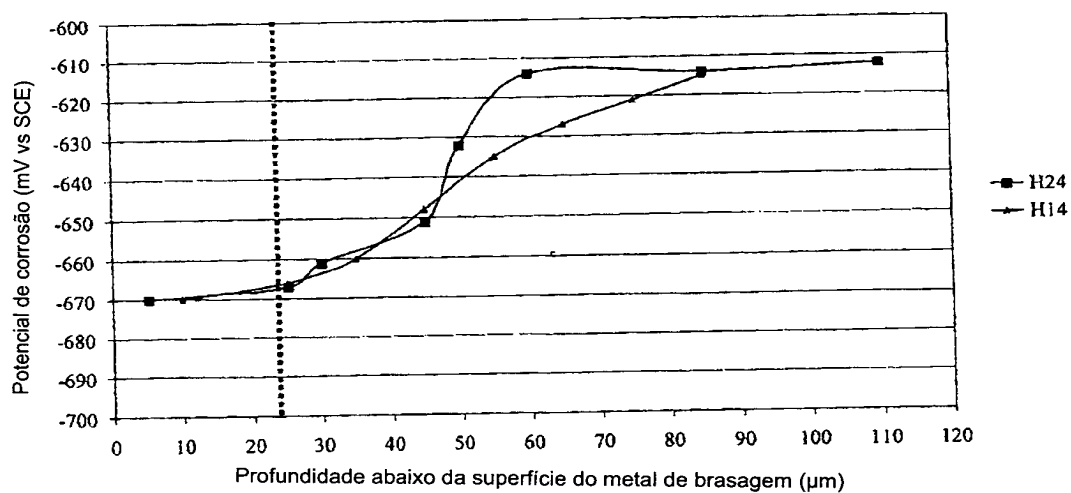


Fig.4 Perfil de potencial de corrosão a partir do lado de revestimento de brasagem

RESUMO

Patente de Invenção: **"CHAPAS DE BRASAGEM DE LIGAS DE ALUMÍNIO PARA TUBOS FINOS"**.

A presente invenção refere-se a uma chapa de brasagem de liga de alumínio compreendendo: um material de núcleo feito de uma liga de alumínio consistindo em $\leq 0,1\%$ em peso de Si, mais preferivelmente $\leq 0,06\%$ em peso de Si, $\leq 0,35\%$ em peso de Mg, de 1,0 a 2,0% em peso, preferivelmente 1,4-1,8% em peso de Mn, de 0,2 a 1,0, preferivelmente 0,6 a 1,0% em peso de Cu, $\leq 0,7\%$ em peso de Fe, $\leq 0,3\%$ em peso de cada elemento entre Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn e $\leq 0,5\%$ em peso no total dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn, o restante sendo Al e as inevitáveis impurezas, e um material de revestimento waterside revestido em pelo menos um dos lados o material de núcleo, o mencionado material de revestimento sendo feito de uma liga de alumínio tendo um potencial menor que aquele do mencionado material de núcleo e consistindo essencialmente em 0,5 a 1,5% em peso de Si, 1,0 a 2,0% em peso, preferivelmente 1,4 a 1,8% em peso de Mn, $\leq 0,15\%$ em peso de Mg, $\leq 0,1\%$ de Cu, $\leq 0,7\%$ em peso de Fe, $\leq 1,4\%$ em peso, preferivelmente $\leq 1,1\%$ em peso, mais preferivelmente ainda $\leq 0,4\%$ em peso de Zn, $\leq 0,3\%$ em peso de cada um dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn e $\leq 0,5\%$ em peso no total dos elementos Zr, Ti, Ni, Hf, V, Cr, In, Sn; o restante sendo Al e as inevitáveis impurezas, em que a razão de % em peso de Si no revestimento waterside para o % em peso do Si no núcleo é de pelo menos 5:1, preferivelmente pelo menos 10:1.