



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

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



CARTA PATENTE N.º PI 0613385-1

Patente de Invenção

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

(21) Número do Depósito : PI 0613385-1

(22) Data do Depósito : 29/06/2006

(43) Data da Publicação do Pedido : 18/01/2007

(51) Classificação Internacional : C22C 21/02; C22F 1/043

(30) Prioridade Unionista : 08/07/2005 EP 05 014016.9

(54) Título : PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM PRODUTO DE LIGA DE ALUMÍNIO, PRODUTO DE LIGA DE ALUMÍNIO OBTIDO PELO PROCESSO

(73) Titular : NOVELIS INC. Endereço: 191 EVANS AVENUE, ONT M8Z 1J5, TORONTO, Canadá (CA).

(72) Inventor : ANDREW DAVID HOWELLS. Endereço: TÄUFERWEG 6, CH-8232 MERISHAUSEN, Suíça. Cidadania: Suíça.; GUENTHER HOELLRIGL. Endereço: CHÄFERSTIEG 4, CH-8260 STEIN AM RHEIM, Suíça. Cidadania: Suíça.; ARMELLE DANIELOU. Endereço: 153 AVENUE DE L'EPINE, F-73230 SAINT ALBAN-LEYSSE, França. Cidadania: Francesa.; FLORENCE LAURET. Endereço: 85 RUE DU MOULIN À PAPIER, F-27250 RUGLES, França. Cidadania: Francesa.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 29/06/2006, observadas as condições legais.

Expedida em : 12 de Agosto de 2014.

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



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM PRODUTO DE LIGA DE ALUMÍNIO, PRODUTO DE LIGA DE ALUMÍNIO OBTIDO PELO PROCESSO"**.

A presente invenção refere-se a um método para produção de um produto de liga de alumínio tendo uma espessura abaixo de 200 μ m. Ela refere-se também a um produto de liga de alumínio tendo uma espessura abaixo do mesmo valor e a recipientes para aplicação de embalagem de alimentos feitas desse produto de liga de alumínio.

Ligas de alumínio foram usadas por muitos anos como uma lâmina para aparelhos domésticos para culinária, embalagem de alimentos e outras aplicações. Uma série de composições de ligas foi desenvolvida para tais usos e elas incluem ligas com base nas composições AA8006, AA8011, AA8111, AA8014, AA8015, AA8021 e AA8079, (onde essas composições são aquelas designadas pelos padrões internacionalmente reconhecidos da Aluminum Association of America). Ligas da série 3XXX podem também ser usadas para aplicações em lâminas, a liga AA3005, por exemplo. Ligas do tipo AA8079 ou AA8021 têm um alto teor de Fe e um baixo teor de Si. Ligas do tipo AA8011 têm um teor de Fe e Si mais equilibrado e tais variações de composição afetam o tipo de fases intermetálicas formadas durante a solidificação, que por sua vez afetam a resposta do recozimento final.

Em um processo de lingotamento contínuo as ligas contendo um teor maior de Si são consideradas para reduzir a produtividade do lingotamento porque o efeito da linha central de segregação torna-se pior a maiores velocidades de lingotamento.

Ao produzir produtos de lâminas finas é geralmente considerado que o produto laminado não pode se tornar muito duro caso contrário tornar-se-á difícil laminar a lâmina até a sua espessura final. Por esta razão, os produtos de lâminas tipicamente incorporam uma etapa de inter-recozimento para amaciar o produto laminado a frio antes da laminação a frio final.

Um produto que seja apenas laminado a frio terá alta resistência (devido ao trabalho de endurecimento), mas uma ductilidade limitada. Para aumentar a ductilidade e assim tornar os produtos adequados para manipu-

lação e conformação, uma operação de recozimento final é executada, ou através de recozimento por batelada ou de uma linha de recozimento contínuo. As variáveis essenciais são temperatura e tempo e, dependendo grandemente desses fatores, processos de recuperação, recristalização e crescimento de grão podem progredir dentro do produto trabalhado a frio. Em produtos de espessura fina como lâminas, os parâmetros são ajustados para garantir que uma estrutura de grãos pequenos seja mantida, os grandes grãos tendo um impacto prejudicial nas propriedades mecânicas.

A microestrutura de uma chapa ou lâmina de aço laminada a frio consiste em grãos finos de uma escala micron e uma grande densidade de fases intermetálicas formadas durante a solidificação. As fases intermetálicas são quebradas durante a laminação e têm um tamanho de partícula típico entre 0,1 e 1,5 μm . Isto fornece o principal pré-requisito para uma ótima resposta de recozimento. A outra importante característica metalúrgica é o alto grau de laminação a frio, resultando em uma estrutura de grão fino. Entretanto, essas estruturas de grãos são altamente anisotrópicas. Durante a recuperação o número de deslocamentos é reduzido e pode formar uma estrutura de subgrão. Com o aumento do tempo ou da temperatura o tamanho do subgrão aumenta gradativamente. Inicialmente, em tal caso, não há uma mudança apreciável para a microestrutura, com o produto retendo muito de sua anisotropia. Apesar de haver uma queda significativa na resistência no estado de laminação a frio e um aumento na ductilidade, a ductilidade pode não alcançar os níveis alcançados em um material parcialmente recristalizado.

À medida que a temperatura ou o tempo aumenta, a recristalização começa, sendo a formação gradual de uma nova, perceptível, estrutura de grãos. Atrasando-se forças, na forma de precipitação nos limites dos grãos/fases intermetálicas prende as bordas dos grãos durante a recristalização para restringir o crescimento dos grãos. O tratamento de recozimento pode, se houver suficiente soluto supersaturado dentro da matriz da liga, também leva à formação de dispersóides intermetálicos finos. Esses também ajudam a evitar o crescimento dos grãos.

É o caso, para algumas ligas, (da variedade de alto Fe/baixo Si, por exemplo), que propriedades ótimas podem ser alcançadas apenas dentro de uma estreita abertura de recozimento, geralmente a altas temperaturas de recozimento. Essas temperaturas mais altas são necessárias porque a alta densidade de partículas submícron significa que o efeito de prender a borda dos grãos já é alto. Em adição, durante o recozimento, a precipitação de dispersóides intermetálicos reforça o efeito da prisão da borda do grão. De fato, não há reação de recristalização contínua em uma faixa de baixa temperatura e deve apenas começar a cerca de 380°C e acima. Apenas quando os dispersóides/intermetálicos tornam-se mais brutos a temperaturas mais altas as forças que prendem as bordas começam a declinar e é possível a reorganização de grãos. Entretanto, uma vez que as temperaturas para isto são muito altas, o metal entra então em um regime onde o equilíbrio entre as forças que dirigem o crescimento dos grãos e a prisão das bordas dos grãos é instável e um crescimento descontrolado dos grãos pode aparecer subitamente.

Rotas de produção onde é usado o lingotamento por resfriamento direto (DC) são mais complicadas e onerosas que as rotas de lingotamento contínuo porque elas geralmente envolvem mais etapas de processamento, algumas das quais são prolongadas e de energia intensa, tal como a homogeneização. É desejável, portanto, usar-se inicialmente o lingotamento contínuo para remover as etapas de homogeneização e tem havido trabalho substancial em otimizar-se ligas e processos tendo isto em mente. Mas mesmo com um produto de lingotamento contínuo para começar, a redução até a espessura final geralmente envolve uma etapa de inter-recozimento, que é ela própria consumidora de energia onerosa e de tempo.

Para a maioria das aplicações e, em particular, para a aplicação em recipientes com estampagem profunda, a resistência final da liga não é, em si própria, a principal propriedade. É geralmente o caso em que à medida que a resistência de um produto de liga aumenta, o alongamento diminuirá. Na realidade, o design do produto de liga é sempre para otimizar o equilíbrio das propriedades. Um bom equilíbrio no caso de recipientes de estampagem

profunda seria uma combinação ótima de resistência e capacidade de conformação (refletida pelo alongamento elástico). Esse equilíbrio pode ser avaliado multiplicando-se o limite de resistência à tração final (UTS) pelo alongamento na falha (E). Em adição, é desejável que a liga tenha um bom equilíbrio de propriedades em ambas as direções transversal e longitudinal, porque a conformação raramente ocorre em uma só direção, se é que ocorre.

Para alguns recipientes é necessário que as suas paredes tenham um certo grau de rigidez. A rigidez de um material está intimamente ligada ao seu limite de escoamento (YS). Portanto, um bom limite de escoamento é também desejável. Por outro lado, se o YS for muito próximo ao UTS, um produto liga não é ideal para uso em recipientes estampados. É desejável que o produto liga demonstre encruamento durante a deformação porque isto ajuda a evitar estrangulamento durante a conformação. Um produto liga com um YS próximo ao seu UTS possui diferentes características de deformação com encruamento limitado, se houver.

Em relação aos recipientes com estampagem profunda é desejável que o enegrecimento da superfície seja evitado durante as operações de conformação o que se descobriu ter e relação com a composição das fases intermetálicas após a solidificação.

Em adição a essas qualidades, é desejável, como meio de redução dos custos da liga através da reciclagem, que seja capaz de acomodar elementos tais como Mn dentro da composição do fundido. Além disso, é desejável, de uma perspectiva operacional, que seja capaz de processar um produto liga através de diferentes operações de produção para permitir um melhor uso de uma faixa de equipamentos disponíveis, tais como fornos de recozimento por batelada e de recozimento contínuo.

A WO 03/069003 descreve uma liga do tipo alto Fe/baixo Si produzida através de uma rota de lingotamento contínuo. A liga descrita compreende, em % em peso, Fe 1,5-1,9, Si <0,4, Mn 0,04 – 0,15, outros elementos e o restante alumínio. A rota de processamento usada para fazer esse produto é lingotar continuamente a liga, laminar a frio com um inter-recozimento opcional com um recozimento final após a laminação a frio en-

tre 200 e 430°C por um período de pelo menos 30 horas. O processo de recozimento por batelada preferido é um processo de duas etapas envolvendo uma primeira etapa entre 200 e 300°C e uma segunda etapa entre 300 e 430°C.

5 A JP-A-03153835 descreve um material de aleta para uso em trocadores de calor onde a composição da liga é, em % em peso, Fe 1,1-1,5, Si 0,35-0,8, Mn 0,1-0,4, sendo o restante alumínio. A liga foi lingotada semi-continuamente em moldes resfriados à água de tamanho interno de 30 x 150 mm, isto é, em escala de laboratório. O lingotado foi laminado a quente, la-
10 minado intermediariamente, laminado a frio com uma redução máxima na laminação a frio de 30% até uma espessura de 70 μ m. A descrição de laminação intermediária seguida de uma menor porcentagem de redução a frio sugere que um recozimento intermediário foi usado. Os limites finais de resistência à tração entre 13,0 e 14,7 kg/mm² são informados (127 – 144
15 MPa), presumivelmente na direção longitudinal, mas nenhuma informação é fornecida sobre o YS, o alongamento, ou as propriedades transversais.

 A JP-A-60200943 descreve uma liga similar tendo uma composição de, em % em peso, Fe 1,25-1,75, Si 0,41-0,8, Mn 0,10-0,70, sendo o restante alumínio e impurezas. Esta liga foi também desenvolvida para uso
20 como material de aleta dentro de trocadores de calor soldados. A liga foi lingotada como um lingote, isto é, de maneira semicontínua DC, homogeneizada a 580°C por 10 horas e escalpada. Os lingotes foram então laminados a quente a 525°C até uma espessura de 4 mm e com recozimento intermediário a 380°C por 1 hora. Eles foram então submetidos à laminação a frio até
25 uma espessura de 0,35 mm, com recozimento intermediário pela segunda vez em um processo contínuo com uma temperatura de 480°C por 15 segundos e então laminada a frio até uma espessura final de 0,20 mm (isto é, 200 μ m), e recozida a 205°C por 10 minutos para simular um tratamento de recozimento de pintura. Uma liga específica tem um YS de 13,7 kg/mm², (134
30 MPa), uma UTS de 16 kg/mm², (157 MPa), mas o alongamento é reduzido para 9%, dando um produto de UTS x alongamento de 1413. A mesma liga é também mostrada com um YS de 4,916 kg/mm², (48 MPa), uma UTS de

12,0 kg/mm², (118 MPa), e um alongamento de 34%, dando um valor de UTS x alongamento de 4012. Não há descrição das propriedades mecânicas transversais. Entretanto, o tratamento de 10 minutos a 205°C é um recozimento de recuperação. Tal recozimento reterá a anisotropia do processo de trabalho a frio.

A WO 02/064848 descreve um processo para produção de um produto lâmina onde a composição da liga é, em % em peso, Fe 1,2-1,7, Si 0,4-0,8, Mn 0,07-0,20, o restante sendo alumínio e as impurezas incidentais. A liga é lingotada continuamente usando-se um cinto de fundidor, laminada a frio com um inter-recozimento a uma temperatura entre 280-350°C, e submetida ao recozimento final. A espessura final é 0,3 mm, (300 μ m), e o recozimento final foi um recozimento parcial por meio de um processo de recozimento por batelada envolvendo o aquecimento do produto laminado a frio até entre 250 e 300°C. Após esta rota de processamento a liga dessa descrição desenvolveu um UTS em torno de 125-160 MPa e valores de alongamento entre cerca de 28 a 14,5%. Múltiplos da UTS e do alongamento podem ser calculados e eles variam de 2295 até 3476. Não são mostrados dados em relação às propriedades transversais ou em relação ao YS.

Outras ligas são conhecidas e vendidas para aplicações em embalagens de alimentos. Isto inclui ligas à base da AA8011. A AA8011 tem uma composição como segue, em % em peso: Fe 0,6-1,0, Si 0,50-0,90, Cu < 0,10, Mn < 0,20, Mg < 0,05, Cr < 0,05, Zn < 0,10, Ti < 0,08, outros elementos < 0,05 e outros em um total de < 0,15, sendo o restante Al. É conhecida uma liga com Fe na extremidade inferior dessa faixa, nominalmente Fe 0,65 e Si 0,65. Essa liga é conhecida com e sem Mn e é conhecida como sendo lingotada continuamente e é usada para produtos não exigentes, como lâminas para aparelhos eletrodomésticos. Uma outra liga é conhecida com um teor nominal de Fe de 1,1 e Si de também 1,1. Nessas ligas, onde a razão de Fe para Si é 1:1, a adição de Mn leva a uma resposta instável de recozimento a temperaturas de 320°C e acima. Como resulta do, o Mn é evitado em tais ligas.

É um objetivo desta invenção fornecer um novo e econômico

método de produção de um produto de liga de alumínio, um método que leve a uma combinação de boas propriedades mecânicas em termos do equilíbrio entre resistência e alongamento em ambas as direções longitudinal e transversal, que evite a criação de depósitos enegrecedores durante as operações de estampagem profunda e que forneça amplas janelas de processamento ou para um produto recozido em lote ou recozido continuamente.

É um outro objetivo desta invenção fornecer produtos de liga de alumínio revelando uma combinação aumentada de propriedades particularmente úteis na produção de recipientes com estampagem profunda sendo, portanto, fáceis de conformar e que não tendem a defeitos de enegrecimento da superfície.

Consequentemente, um primeiro aspecto da invenção é um processo de produção de um produto de liga de alumínio compreendendo as seguintes etapas:

(a) lingotar continuamente um fundido de liga de alumínio da seguinte composição, (em % em peso):

Fe: 1,0 – 1,8

Si: 0,3 – 0,8

Mn: até 0,25

outros elementos inferior ou igual a 0,05 cada, e o total destes inferior ou igual a 0,15

sendo o restante alumínio

(b) laminar a frio o produto lingotado sem uma etapa de recozimento intermediário até uma espessura abaixo de 200 μ m

(c) recozimento final do produto laminado a frio

A composição da liga é escolhida para criar o equilíbrio adequado dos intermetálicos após a solidificação, controlar sua distribuição de tamanho (e, portanto, o efeito na reação de recozimento), os quais determinam a microestrutura final e, portanto, o equilíbrio das propriedades. Combinando-se a composição de liga com essa rota de processo, é desenvolvida uma microestrutura que tem um bom equilíbrio entre as forças diretoras da mobilidade dos limites dos grãos e as forças de retardo necessárias para

estabilizar o tamanho de grãos. Esse equilíbrio é estável sobre uma faixa mais ampla de condições de revestimento levando a uma maior flexibilidade nas operações de produção. Isto é porque o soluto supersaturado de Fe e Mn (que leva à formação de dispersóides durante o recozimento) e as partículas intermetálicas da estrutura lingotada agem ambos como forças de retardo contra o embrutecimento dos grãos. Em adição a isso, é possível alcançar-se um alto isotrópico YS, UTS e valores de alongamento e reduzir o enegrecimento da superfície durante as operações de conformação.

A composição da liga é descrita, em particular, em relação a outros elementos e o restante alumínio, da mesma forma conforme reconhecido pela Aluminum Association Register of International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys.

O Fe é adicionado para fornecer resistência mecânica embora, pelo fato de a estrutura ser dependente do tipo de intermetálicos e dispersóides formados, seu teor deve preferivelmente ser considerado juntamente com o teor de Mn e de Si. Se o teor de Fe for muito baixo, a resistência mecânica resultante será muito baixa. Se o teor de Fe for muito alto, promoverá o aparecimento de fases intermetálicas brutas e essas fases podem ser prejudiciais à qualidade de superfície dos recipientes estampados. Configurações preferidas são aquelas em que a quantidade de Fe presente está entre 1,1 e 1,7% em peso, e mais preferivelmente entre 1,2 e 1,6% em peso.

A presença de Si ajuda a reduzir a solução sólida de Fe e Mn, permitindo que a recristalização contínua comece dentro de uma faixa baixa de temperatura de recozimento. A adição de Si em combinação com Fe ajuda a promover a formação de fase α -Al(FeMn)Si cúbica e foi descoberto que uma predominância dessa fase ao invés de Al(FeMn) isento de Si ou da forma β monoclinica de AlFeSi ajuda a evitar a formação de manchas e o enegrecimento durante a estampagem profunda. É uma característica preferida da invenção que a fase intermetálica predominante presente seja α -Al(FeMn)Si cúbica. Se o teor de Si for muito baixo, os precipitados serão do

tipo binário AlFe. Se o teor de Si chega próximo da paridade com o teor de Fe, conforme com as ligas do tipo AA8011 equilibrada mencionada acima, a fase α é menos provável de se formar e, ao invés, será formada a forma β de AlFeSi.

5 Acredita-se que a fase cúbica tem uma melhor adesão à matriz se comparado com a forma β monoclinica ou as fases $Al_M(FeMn)$, ($M = 4-6$), e que, durante a conformação, é menos provável de se descolar. Como resultado, a fase α cúbica é menos provável de se afixar à superfície do molde e provocar dano à superfície de alumínio. Uma hipótese alternativa é que a
10 forma da fase α cúbica durante e após o trabalho a frio tem um efeito. Uma vez que ele é mais redondo que a forma β angular monoclinica, menos finos de alumínio são gerados durante a laminação e outras operações de conformação. Poucos finos resultam em danos reduzidos em danos de superfície reduzidos. Para promover a formação de fase α cúbica, portanto, o Si
15 está presente dentro de uma faixa de 0,3 a 0,8% em peso, preferivelmente dentro da faixa de 0,4 a 0,7% em peso, e mais preferivelmente de 0,5 a 0,7% em peso. A razão Fe:Si está preferivelmente entre 1,5 e 5, mais preferivelmente entre 1,5 e 3.

 O Mn também promove a formação da fase α -AlFeSi cúbica. Em
20 adição, Mn fornece um pequeno efeito de reforço. Se o teor de Mn for muito alto, problemas de segregação serão encontrados dentro do produto lingotado continuamente e o produto lingotado terá que ser homogeneizado. Por esta razão, se presente, o Mn está presente em uma quantidade de até 0,25%. Uma vez que é desejável ser capaz de usar sucata reciclável e ganhar o benefício de promover a formação da fase adequada, é preferido que
25 o Mn esteja presente em uma quantidade acima de 0,05% em peso. É também preferido que o Mn esteja presente em uma quantidade entre 0,05 e 0,20%.

 Embora o lingotamento contínuo possa ser executado por uma
30 variedade de formas, inclusive pelo processo de cinto único, um método preferido é empregar o lingotamento com cilindros duplos. Uma espessura preferida do produto lingotado está entre 2 e 10 mm, mais preferivelmente entre

3 e 8 mm.

Em relação à etapa (b), as configurações preferidas são aquelas em que a bitola final após a laminação a frio está abaixo de 180 μm , mais preferivelmente abaixo de 165 μm . É preferido que a espessura esteja acima de 35 μm , mais preferivelmente acima de 60 μm , mais particularmente onde a aplicação pretendida é nos recipientes de embalagem de alimentos.

Em relação à etapa (c), o recozimento final pode ser executado por um processo de recozimento por batelada ou por um processo de recozimento contínuo. O processo de recozimento final estabelece o equilíbrio final das propriedades mecânicas para o produto tira de alumínio. Conforme explicado acima, é importante durante esta etapa ser-se capaz de controlar a reação de recuperação/recristalização que ocorre com o metal trabalhado a frio. Na realidade, com esta liga e o processo da invenção, é possível usar-se uma ampla faixa de condições de recozimento e alcançar boas propriedades mecânicas.

No caso de ser usado um processo de recozimento por batelada, a temperatura do recozimento está entre 300 e 420°C. O produto conforme a invenção é tão estável durante o recozimento que a duração pode ser muito longa, com tempos de até 60 horas e mais sendo possíveis, esta duração sendo inclusive tanto do aquecimento lento até a temperatura quanto da manutenção a esta temperatura. Entretanto, uma vez que uma excelente combinação de propriedades pode ser alcançada em durações de recozimento mais curtas e devido a um desejo de minimizar os custos de energia, é preferível que a duração do recozimento por batelada esteja entre 10 e 45 horas.

No caso de ser usado um recozimento contínuo a temperatura do tratamento de recozimento está entre 400 e 520°C, preferivelmente entre 450 e 520°C. A duração que a tira gasta dentro do forno é muito mais curta, geralmente da ordem de segundos, por exemplo, entre 4 e 10 segundos, e é geralmente ajustada para produzir a transformação microestrutural necessária durante a etapa de recozimento. O recozimento contínuo em uma linha industrial pode ser simulado imergindo-se amostras em fornos ajustados a

temperaturas mais baixas, mas por durações mais longas.

A pessoa versada entenderá que há uma faixa de fatores a considerar no controle da operação de recozimento contínuo. Por exemplo, pode-se variar a velocidade do metal através do forno dependendo da espessura da tira, as condições de transferência de calor dentro do forno (que podem variar de forno para forno dependendo do movimento do ar dentro do forno) e do ajuste máximo das temperaturas do forno. Estabelecer-se condições ótimas para cada linha de recozimento contínuo é uma prática estabelecida na indústria. Com esta invenção é possível operar a linha de recozimento contínuo com uma ampla faixa de ajustes e alcançar os mesmos resultados.

Seguindo-se essa rota de processo é possível obter-se um produto liga melhorado comparado com os produtos liga da técnica anterior mencionados acima.

Um segundo aspecto da invenção é um produto liga de alumínio tendo uma espessura abaixo de 200 μm e compreendendo a seguinte composição de liga em % em peso:

Fe 1,0-1,8

Si 0,3-0,8

Mn até 0,25

outros elementos inferior ou igual a 0,05 cada, e o total destes inferior ou igual a 0,15

sendo o restante alumínio

onde o produto liga de alumínio possui as seguintes propriedades:

na direção transversal:

limite de escoamento > 100 MPa

UTS > 130 MPa

alongamento > 19%, e

produto de UTS x alongamento > 2500

e na direção longitudinal:

limite de escoamento > 100 MPa

UTS > 140 Mpa

alongamento > 18%, e

produto de UTS x alongamento > 2500

O produto liga do segundo aspecto da invenção pode ser obtido pelo processo do primeiro aspecto da invenção.

Os mesmos assuntos em relação às fases intermediárias e sua
5 influência na reação de recozimento do produto podem ser mantidos em mente e portanto a composição pode ser mais preferivelmente controlada da mesma forma conforme descrito acima.

Em relação às propriedades mecânicas é preferível que o limite de escoamento transversal seja > 110 MPa, mais preferivelmente > 120
10 MPa, e é preferível que o limite de escoamento longitudinal seja > 110 MPa, mais preferivelmente > 120 MPa.

É preferível que o UTS transversal seja maior que 135 MPa, mais preferivelmente > 140 MPa. É preferível que o UTS longitudinal seja maior que 150 MPa.

15 O alongamento transversal para o produto da liga da invenção é preferível que seja superior a 20% e mais preferível que seja 22%. O alongamento longitudinal é preferível que seja superior a 19% e mais preferivelmente superior a 20%.

Para o produto do limite final de resistência à tração pelo alongamento, para a direção transversal é preferível que seja > 3000 e, para a
20 direção longitudinal, é preferível que seja > 3000.

O processo e o produto conforme a invenção têm, um equilíbrio muito útil de propriedades e adaptabilidade de forma que seu uso pode ser contemplado dentro de uma ampla faixa de aplicações em lâminas incluindo, mas
25 não limitado a, recipientes com estampagem profunda, recipientes com paredes lisas ou com paredes enrugadas e lâminas de aparelhos para cozinhar.

A invenção será agora ilustrada em relação aos exemplos, tabelas e figuras a seguir. Os Exemplos 1 a 3 referem-se a recozimento por batelada no recozimento final e os Exemplos 4 e 5 referem-se ao recozimento
30 contínuo no recozimento final. Todos os testes mecânicos foram executados de acordo com a DIN-EN 10002. Os valores de YS e UTS são sempre apresentados em MPa e o alongamento (E) como uma porcentagem. "T" refere-

se à direção transversal e "L" à direção longitudinal. Todos os teores da liga estão expressos em % em peso.

Exemplo 1

A Tabela 1 resume as composições das ligas investigadas. As ligas 1 e 2 são ligas dentro do escopo da invenção. A liga 4 é uma liga do tipo AA8011 com Fe na direção da extremidade inferior da faixa de composição, isto é, similar a produtos comercialmente disponíveis, mas com adição de Mn. A liga 5 é uma liga conforme a técnica anterior WO 03/069003. Para cada composição os outros elementos foram < 0,05 cada um e < 0,15 no total sendo o restante de Al.

Todas as ligas foram lingotadas continuamente em um lingotador de cilindros duplos até as espessuras mostradas na Tabela 1. Elas foram então laminadas a frio em um laminador a frio de escala de laboratório até uma espessura final de 150 μ m sem uma etapa de inter-recozimento. Cada produto das ligas laminadas a frio 1, 4 e 5 foi então submetido a tratamentos de recozimento por batelada a 320, 350, 380 e 410°C por períodos de 20, 40 e 60 horas. A liga 2 foi recozida em lote a essas temperaturas por uma duração de 45 horas. Descobriu-se que a liga 5, em particular, tinha propriedades mecânicas muito inconsistentes devido a um comportamento de deformação por tensão completamente diferente. Conforme mencionado acima, para avaliar o equilíbrio da resistência e da ductilidade, o produto do UTS e do alongamento foi calculado. As propriedades mecânicas estão mostradas nas Tabelas 2, 3 e 4 e nas Figuras 1 a 6.

Tabela 1: Principais elementos de ligação

Liga	Fe	Si	Mn	razão Fe:Si	espessura conforme lingotado (mm)
1	1,19	0,62	0,10	1,92	6,05
2	1,60	0,62	0,10	2,58	6,28
4	0,67	0,65	0,10	1,03	5,99
5	1,75	0,14	0,11	12,5	6,16

Tabela 2: Teste de tração após recozimento por batelada por 20 horas

Liga		320°CT	350°CT	380°CT	410°CL	320°CL	350°CL	380°CL	410°CL
1	YSUTSEUTS	108,8	103,5	94,3	85,3	104,9	101,6	93	87,9
	x E	138,8	138,6	140,0	136,4	141,3	144,2	146,3	146,6
		14,2	16,1	18,7	17,0	13,9	23,9	17,3	15,6
		1971	2230	2616	2319	1964	3446	2531	2287
4	YSUTSEUTS	92	46,9	42,9	41,6	87,7	53,3	49,4	48,3
	x E	121,6	106,0	106,4	106,6	125,8	117,6	122,7	122,5
		7,8	11,1	10,5	11,1	17,4	13,6	12,4	11,2
		948	1177	1117	1183	2189	1599	1521	1372
5	YSUTSEUTS	173,8	179,3	161,9	145	167,6	171,4	161,9	160,6
	x E	181,9	181,8	166,7	156,3	175,2	176,6	158,6	164,0
		0,3	0,3	0,1	0,2	8,0	11,7	13,6	16,4
		55	56	17	31	1434	2066	2293	2690

Tabela 3: Dados de tração após recozimento por batelada por 40 horas (45 horas para a liga 2)

Liga		320°CT	350°CT	380°CT	410°CL	320°CL	350°CL	380°CL	410°CL
1	YSUTSEUTS	101,4	95,3	83	77,6	99,9	91,8	84	77,6
	x E	136,7	137,1	136,3	136,6	141,5	141,3	144,8	150,2
		12,5	17,8	17,4	19,8	13,7	17,8	19,9	19,9
		1709	2440	2372	2744	1939	2515	2982	2989
2	YSUTSEUTS	116,3	107,1	89,5	87,8	114,6	105,5	98,2	87
	x E	149,9	148,2	149,5	143,8	152,9	152,2	154,3	148,5
		23,5	20,1	21,8	25,1	21,4	26,4	23,3	20,9
		3523	2979	3258	3609	3272	4018	3595	3104
4	YSUTSEUTS	48,1	43,8	41,4	40,5	52,4	48,9	46,9	46,1
	x E	105,6	105,5	107,7	107,5	115,8	119,5	122,5	124,6
		12,2	10,1	10,6	10,8	12,4	12,7	11,9	10,9
		1291	1086	1142	1140	1436	1518	1458	1358
5	YSUTSEUTS	171	165,1	161	137,1	171	161,2	152,3	137,5
	x E	173,2	168,4	150,0	139,9	176,0	167,0	154,4	144,5
		0,2	0,2	0,2	3,0	8,0	15,2	20,7	14,9
		35	34	30	420	1408	2538	3186	2153

Tabela 4: Dados de tração após recozimento por batelada por 60 horas

Liga		320°C/1	350°C/1	380°C/1	410°C/1	520°C/1	550°C/1	580°C/1	410°C/2
1	YSUTS/UTS	x	97,3	86,3	82,8	72,6	66,3	87,3	81,1
	E		135,3	124,6	138,2	138,3	141,4	131,9	145,8
			20,9	15,4	23,0	17,7	21,2	25,5	15,8
			2836	1919	3179	2448	2998	3363	2271
									2638
4	YSUTS/UTS	x	47,3	42,3	41,2	39,3	52,8	47,8	47,9
	E		105,0	102,8	105,4	106,2	117,7	114,1	123,3
			11,0	11,3	9,6	10,1	11,5	11,9	11,3
			1166	1162	1012	1073	1354	1398	1383
									1349
5	YSUTS/UTS	x	163,9	158	145,4	128,1	180	156,1	145
	E		199,9	195,1	193,7	133,9	168,9	162,2	150,5
			0,2	0,2	0,4	5,4	10,2	14,7	17,2
			33	33	60	723	1723	2384	2589
									2545

- Como pode ser visto, nas Figuras 1, 3 e 5, a liga da invenção 1 sempre tem a melhor combinação de UTS e alongamento na direção transversal comparado com as ligas 4 ou 5. Na direção longitudinal, (conforme mostrado pelas Figuras 2, 4 e 6), a liga 5 é capaz de igualar a combinação de UTS e alongamento apenas quando é recozida a altas temperaturas. Conforme descrito acima, a tais temperaturas há um perigo aumentado de recristalização incontrolável e de crescimento de grãos brutos e isto não é satisfatório em uma perspectiva de processamento industrial. A liga 2, também conforme a invenção, fornece a melhor combinação de propriedades; uma combinação que a liga 5 não igualou. Esses resultados mostram que o processo conforme a invenção fornece um produto superior e permite aos produtores escolher uma faixa mais ampla de condições de recozimento.

Exemplo 2

- 15 A liga 1 foi lingotada continuamente em um lingotador de cilindros duplos até a mesma espessura que na Tabela 1 e então laminada a frio em um laminador a frio em escala de laboratório até uma espessura de 1,5 mm. Nesse ponto, algumas amostras foram submetidas a um inter-recozimento e outras não o foram. Para aquelas inter-recozidas, a taxa de

aquecimento foi de 50°C por hora e elas foram mantidas a uma temperatura de 320°C por 4 horas. Elas foram então resfriadas a ar. Todas as amostras foram então laminadas a frio até uma espessura final de 210 μ m. Amostras do produto laminado a frio, com e sem o inter-recozimento, foram submetidas a quatro tratamentos de recozimento por batelada final. Todos os recozimentos tiveram uma duração de 4 horas e a temperaturas de 250, 300 e 350°C.

- 5 A rota de processamento com um inter-recozimento a 320°C e recozimento final a 300°C reflete a rota de produção recomendada pela WO 02/064848. As propriedades mecânicas da liga 1 após esses tratamentos estão dadas na Tabela 5 e nas Figuras 8 a 13. Elas mostram que há uma diferença significativa entre as propriedades mecânicas alcançáveis com a presente invenção e o produto produzido conforme a WO 02/064848.

Tabela 5:

IA	Temperatura de recozimento (°C)	L 250	L 300	L 350	T 250	T 300	T 350
Sem	YSUTSEUTS	142,6	112,5	93,7	150,2	114,9	94,1
	x E	159,8	144,4	136,7	163,6	144,1	134
		18,8	25	20,6	15,4	25,1	28,2
		3004	3610	2816	2519	3616	3778
com	YSUTSEUTS	130,7	69,8	51,4	137,2	67,5	48
	x E	150,2	124,1	116,9	154,4	123,1	114,1
		16,8	20	19,9	10,3	17,5	18,2
		2523	2482	2326	1590	2154	2076

- 15 As propriedades mecânicas da liga 1 após o processamento conforme a WO 02/064848 são sempre inferiores às do novo método da invenção tanto na direção transversal quanto na longitudinal. Em particular, o YS para as amostras inter-recozidas foi consideravelmente menor quando o recozimento final foi a 300°C e acima.

- 20 Para investigar o efeito do inter-recozimento nas propriedades após o recozimento contínuo, amostras da liga 1 processadas da mesma

forma como descrito no Exemplo acima até uma espessura de 210 μ m, com e sem inter-recozimento, foram inseras em um forno a 350°C por 10 minutos para simular um recozimento contínuo. As propriedades transversais estão mostradas na Tabela 6.

5

IA		
Sem	YSUTSEUTS x E	101,5
		149,6
		24,1
		3605
Com	YSUTSEUTS x E	53,9
		123
		25,5
		3136

Como com o recozimento por batelada, o YS da versão inter-recozida foi muito inferior ao método da invenção.

Exemplo 3

10

Para demonstrar o nível típico de propriedades que podem ser alcançadas em uma escala industrial e em diferentes espessuras, a liga 2 foi lingotada continuamente por lingotamento com cilindros duplos até a mesma espessura do Exemplo 1 e laminada a frio em um laminador a frio industrial até espessuras de 78 e 116 μ m sem inter-recozimento usando-se a programação de passes de laminação a frio convencionais. O produto laminado a

15

frio de espessura 78 μ m foi recozido em lote a 350°C por 25 horas e o produto com espessura de 116 μ m foi recozido a 320°C por 30 horas. O resultado dos testes mecânicos estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7:

Espessura (xmm)		T	L
78	YSUTSEUTS x E	112	110
		138	143
		23	24
		3174	3432
116	YSUTSEUTS x E	125	126
		156	158
		28.9	30
		4508.4	4740

Enquanto os Exemplos 1 e 2 ilustram as vantagens relativas do processo da invenção conforme aplicado às ligas 1 e 2 sobre a técnica anterior, este Exemplo ilustra o tipo de propriedades alcançáveis em produção industrial completa.

- 5
- 10
- 15
- A laminação a frio em escala de laboratório, conforme usada nos Exemplos 1 e 2, envolve diferentes condições térmicas e de pressão. Em um laminador industrial a tira é deformada/reduzida em espessura até uma maior extensão a cada passe. Como resultado, sua temperatura aumenta, na direção de 100°C ou mais. Após um passe a tira quente é resfriada e a massa térmica significa que a bobina retém calor por algum tempo. À medida que a temperatura aumenta a recuperação pode começar de forma que a recuperação esteja ocorrendo tanto durante a laminação posterior quanto quando o metal está em bobina. A recuperação que ocorre dessa forma é conhecida como recuperação dinâmica e, uma vez que a recuperação aumenta a ductilidade, explica as propriedades aumentadas vistas após o processamento em escala industrial, especialmente em relação ao alongamento.

Exemplo 4

- 20
- As ligas 1, 4 e 5 foram lingotadas e laminadas até uma bitola final da mesma forma descrita no Exemplo 1. Elas foram então imersas em um forno quente por 10 minutos a cada uma das temperaturas de 320, 350, 380 e 410°C para simular uma linha de recozimento contínuo em escala in-

dustrial. As propriedades mecânicas apenas na direção transversal estão mostradas na Tabela 8 e na Figura 7. Apenas as propriedades transversais estão mostradas porque são as propriedades transversais que geralmente representam o pior cenário para a ductilidade. Uma boa ductilidade na direção transversal geralmente corresponde a uma boa ductilidade na direção longitudinal.

Tabela 8:

Liga	Temperatura de recozimento	320°C	350°C	380°C	410°C
1	YSUTSEUTS x E	133,6	98,2	85,1	66,4
		157,9	143,4	141,8	137,8
		7,7	11,3	12,4	11,5
		1216	1620	1758	1585
4	YSUTSEUTS x E	136,4	75,3	51,5	49,8
		150,2	124,6	114,7	117,2
		5,5	10,5	11,1	12,4
		826	1308	1273	1453
5	YSUTSEUTS x E	191,2	180,6	175,7	156,5
		207,3	193,2	180,6	164,5
		0,5	2,5	0,8	1,6
		103	483	144	263

Conforme mostrado por esses resultados, a liga da invenção 1 sempre teve melhor equilíbrio de propriedades mecânicas. Embora os valores de alongamento medidos aqui para o processo de invenção sejam relativamente baixos, deve ser lembrado que esses testes foram conduzidos na lâmina laminada usando-se um laminador em escala de laboratório. Portanto elas não experimentaram o tipo de processo de recuperação dinâmica necessário para fornecer propriedades ótimas. Mas esses resultados mostram a combinação relativa de propriedades para diferentes ligas. Na verdade, esses dados servem para ilustrar que a liga 5 não pode ser recozida continuamente, tornando-a um produto liga menos adaptável para processamento industrial em diferentes usinas de produção.

Exemplo 5

A liga 1 foi lingotada com cilindros duplos até uma espessura de 6,05 mm e então laminada a frio em um laminador a frio industrial, sem inter-recozimento, até espessuras finais de 79 μm e 120 μm usando-se as programações de passes convencionais. Bobinas das duas espessuras foram então recozidas continuamente passando-se as mesmas através de um forno ajustado a uma temperatura de 499°C. Para a lâmina de 120 μm de espessura, a velocidade da tira foi de 125 m/min e a duração dentro do forno em torno de 6 segundos. Para a lâmina de 79 μm de espessura a velocidade da tira foi de 160 m/min dando uma duração dentro do forno de em torno de 6 segundos. As propriedades mecânicas estão mostradas na Tabela 9.

Tabela 9:

Espessura, (μm)	Direção do teste	YS	UTS	E	UTS x E
120	L	123	166	19,7	3104
	T	128	163	20,8	3390
79	L	113,4	165	19,2	3168
	T	115	160	20,0	3200

O produto a uma espessura de 120 μm foi então conformado com sucesso em recipientes de estampagem profunda, com paredes lisas sem sinal de qualquer enegrecimento da superfície. Da mesma forma, o produto com espessura de 79 μm foi conformado em recipientes com paredes enrugadas sem sinal de enegrecimento da superfície.

Uma liga da seguinte composição: Fe 1,50, Si 0,60, e Mn 0,06, outros elementos < 0,05 cada e < 0,15 no total, sendo o restante Al, foi lingotada com cilindros duplos até uma espessura de 6,29 mm e então laminada a frio em um laminador industrial até uma espessura de 135 μm usando-se as programações de passes convencionais. Foi então submetida a tratamentos de recozimento contínuo simulado de 10 minutos em um forno a 325, 350 e 375°C. As propriedades mecânicas estão mostradas na Tabela 10.

Tabela 10:

	325°CT	325°CL	350°CT	350°CL	375°CT	375°CL
YSUTSEUTS x E	129	130	117	117	107	105
	163	168	160	164	159	160
	19	19	24	21	24	23
	3097	3192	3840	3444	3960	3680

Os resultados desse exemplo mostram que é possível, com uma liga feita de acordo com a invenção e em uma linha de recozimento contínuo em escala industrial, alcançar-se uma combinação muito boa de propriedades tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal. Os resultados também mostram que é possível, com a liga e o processo conforme a invenção, obter-se propriedades similares sobre uma ampla faixa de espessuras e velocidades da tira. Uma resposta de recozimento consistente como esta é muito útil para uma produção flexível.

Em adição, a consistência dos resultados quando comparados com o resultado do recozimento por batelada em escala industrial do Exemplo 3, mostra que a liga e o processo da invenção permite produção altamente flexível no sentido de que um produtor não é limitado a um único ajuste do equipamento de tratamento térmico disponível, mas pode trocar de recozimento por batelada para recozimento contínuo e ainda esperar características de produto similares.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de produção de um produto de liga de alumínio, compreendendo as seguintes etapas:

- 5 (a) lingotamento contínuo de uma liga de alumínio fundida,
 (b) laminação a frio do produto lingotado,
 (c) recozimento final do produto laminado a frio,
 caracterizado por,
 no lingotamento contínuo a liga de alumínio fundida apresentar a
 seguinte composição (em % em peso):

10	Fe	1,1 - 1,7
	Si	0,5 - 0,7
	Mn	até 0,25

 outros elementos inferior ou igual a 0,05 cada, e o total destes inferior ou igual a 0,15

- 15 sendo o restante alumínio, e
 a laminação a frio do produto lingotado ocorrer isenta de uma
 etapa de inter-recozimento até uma espessura inferior a 200 μ m.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o lingotamento contínuo (a) ocorrer em um lingotador de cilindros duplos.

- 20 3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado por o teor de Fe ser de 1,2 a 1,6% em peso.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o teor de Si ser de 0,4 a 0,7% em peso.

- 25 5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por a razão Fe:Si estar entre 1,5 e 5.

6. Processo de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por a razão Fe:Si estar entre 1,5 e 3.

- 30 7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por a fase intermetálica predominante ser a fase α -AlFeSi cúbica.

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o teor de Mn ser de 0,05 a 0,25% em peso.

9. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por o teor de Mn ser de 0,05 a 0,20% em peso.

10. Processo de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o teor de Mn ser de 0,05 a 0,15% em peso.

5 11. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por o recozimento final (c) ser um recozimento por batelada.

10 12. Processo de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por o recozimento por batelada ser executado na faixa de temperaturas de 300 a 420°C.

13. Processo de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por o recozimento por batelada ser executado na faixa de temperaturas de 300 a 380°C.

15 14. Processo de acordo com a reivindicação 13, caracterizado por o recozimento por batelada ser executado na faixa de temperaturas de 320 a 380°C.

15. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado por o recozimento final (c) ser um recozimento contínuo.

20 16. Processo de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por o recozimento contínuo ser executado na faixa de temperaturas de 400 a 520°C.

17. Processo de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por o recozimento contínuo ser executado na faixa de temperaturas de 450 a 520°C.

25 18. Produto de liga de alumínio, obtido pelo processo como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 17, caracterizado por apresentar uma espessura inferior a 200 μ m e a seguinte composição em % em peso:

30 Fe 1,1 - 1,7
Si 0,5 - 0,7
Mn até 0,25

outros elementos inferior ou igual a 0,05 cada, e o total destes

inferior ou igual a 0,15

sendo o restante alumínio,

onde o produto de liga de alumínio possui as seguintes proprie-

dades:

5

na direção transversal:

limite de escoamento > 100 MPa

UTS > 130 MPa

alongamento > 19, e

produto de UTS x alongamento > 2500

10

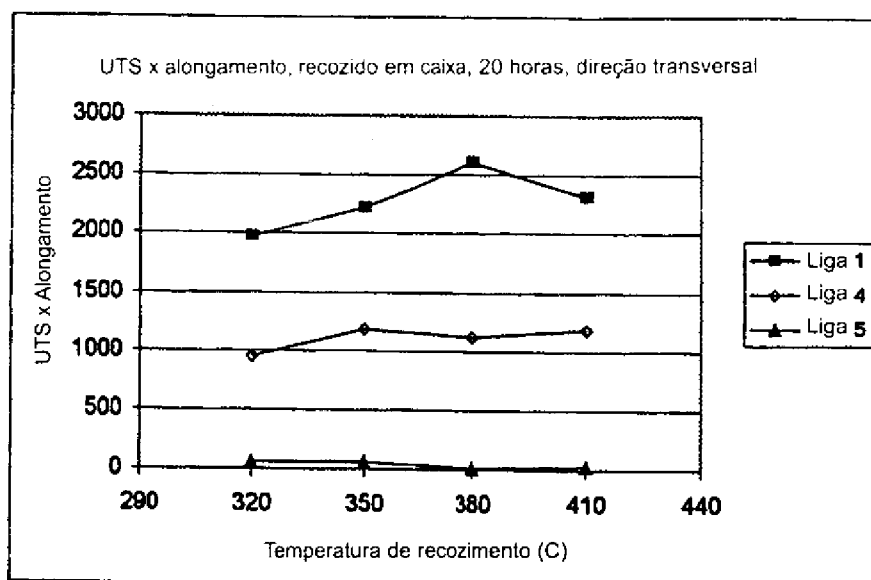
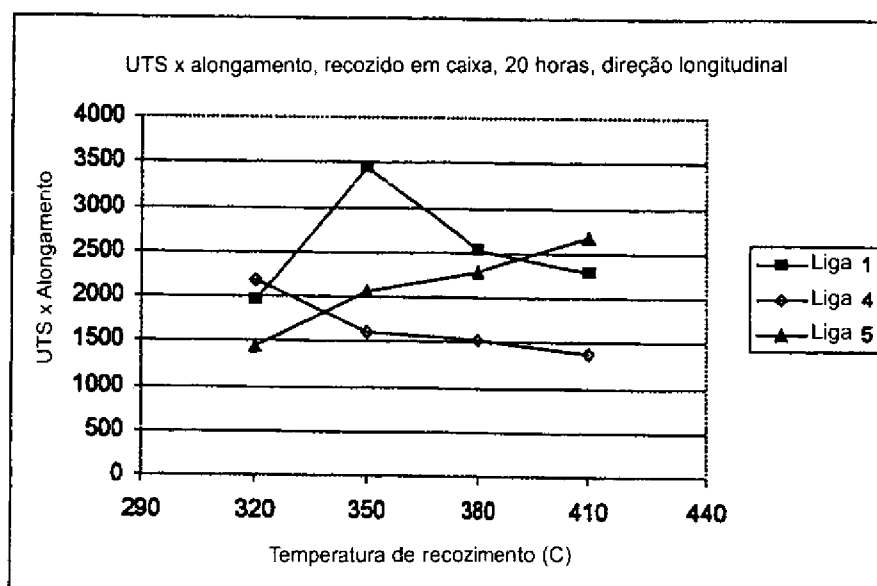
na direção longitudinal:

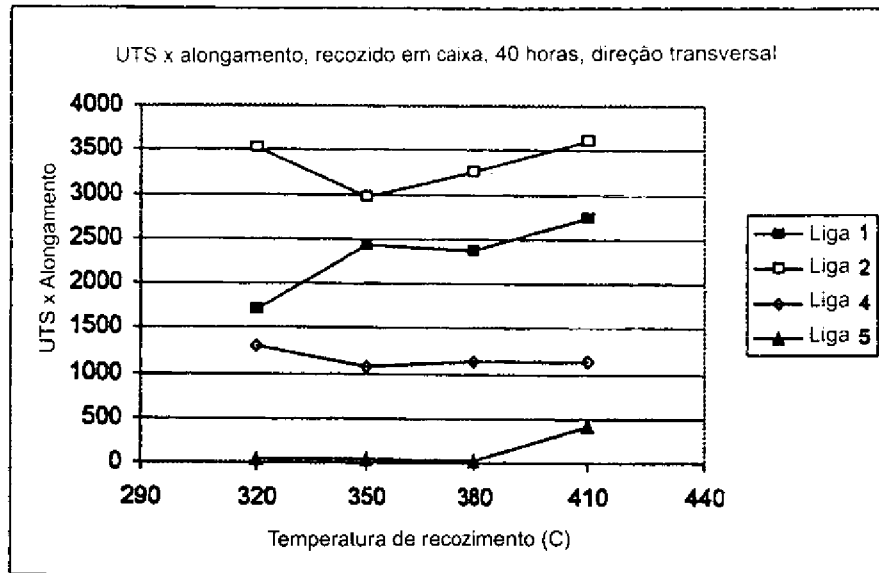
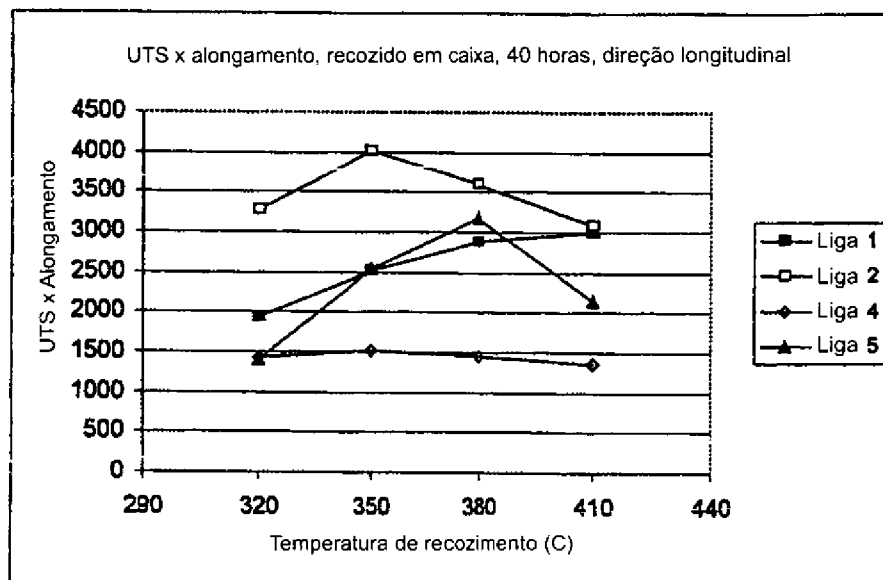
limite de escoamento > 100 MPa

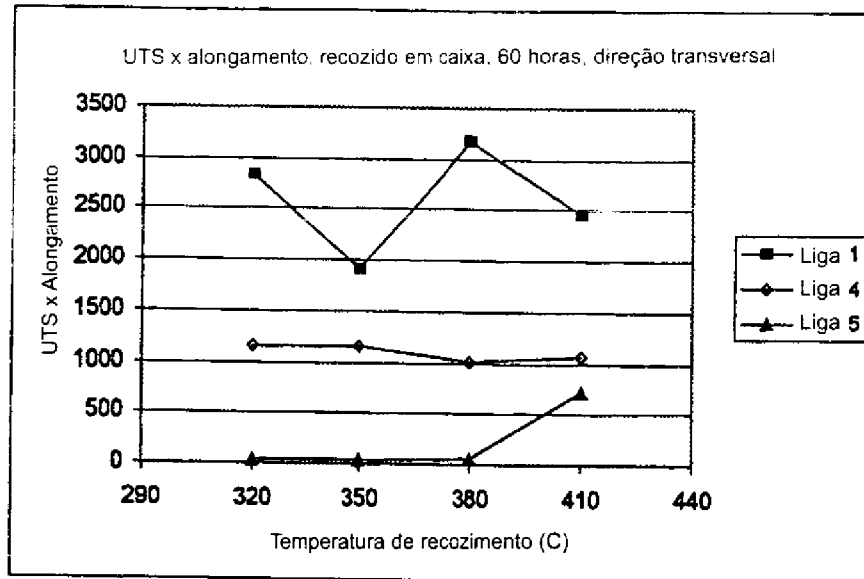
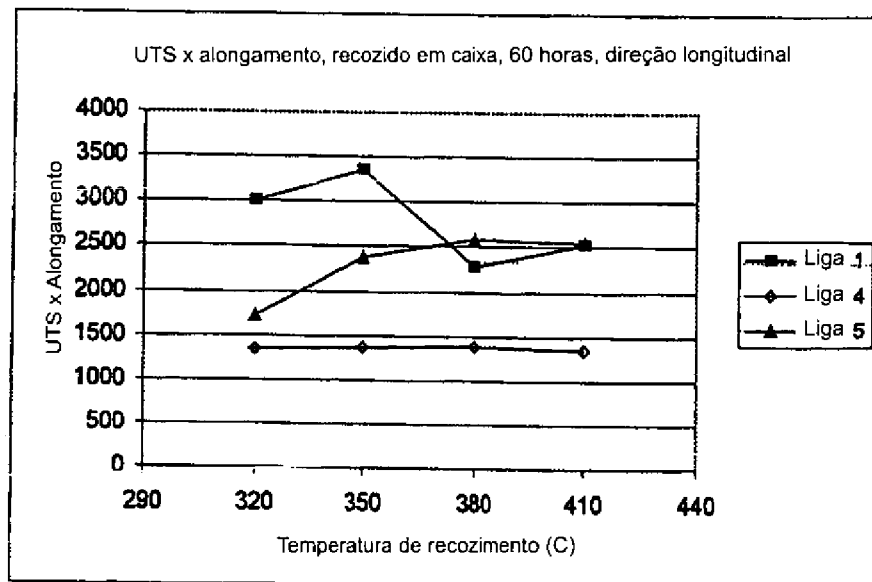
UTS > 140 MPa

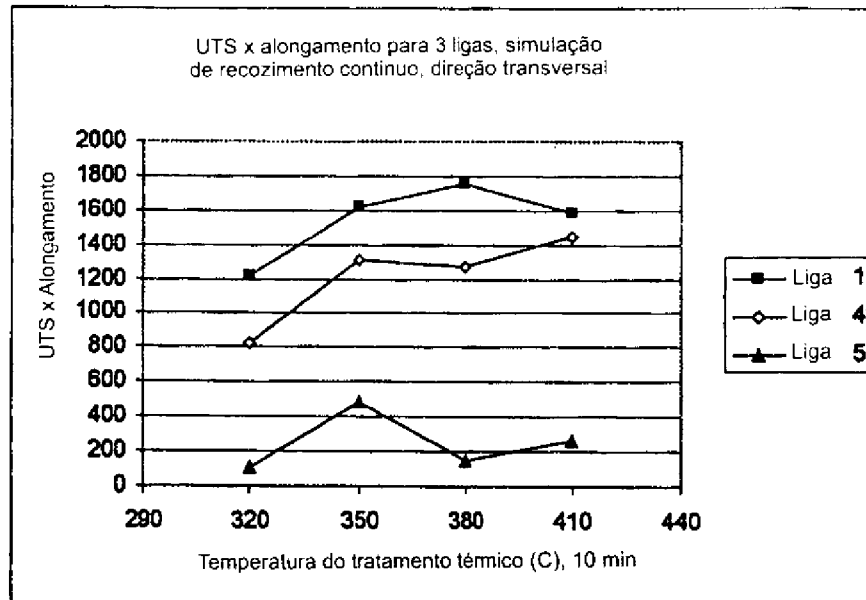
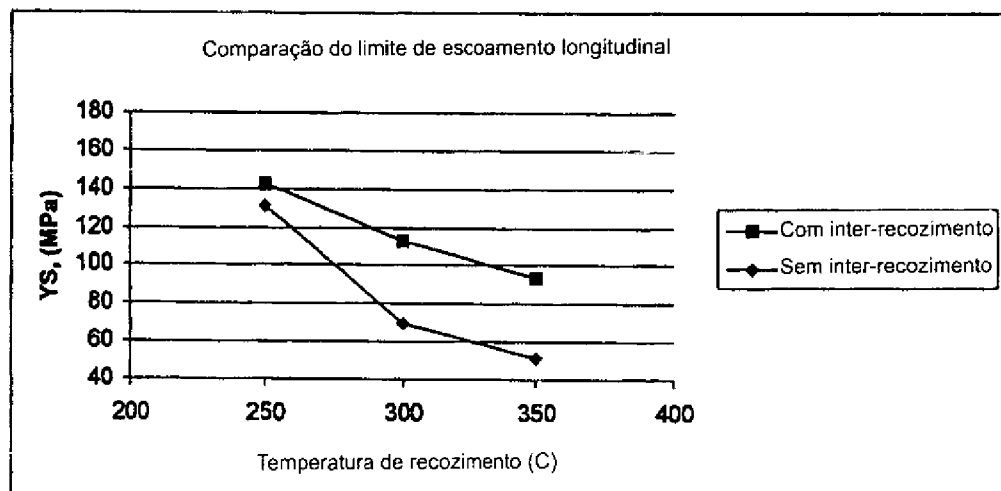
alongamento > 18, e

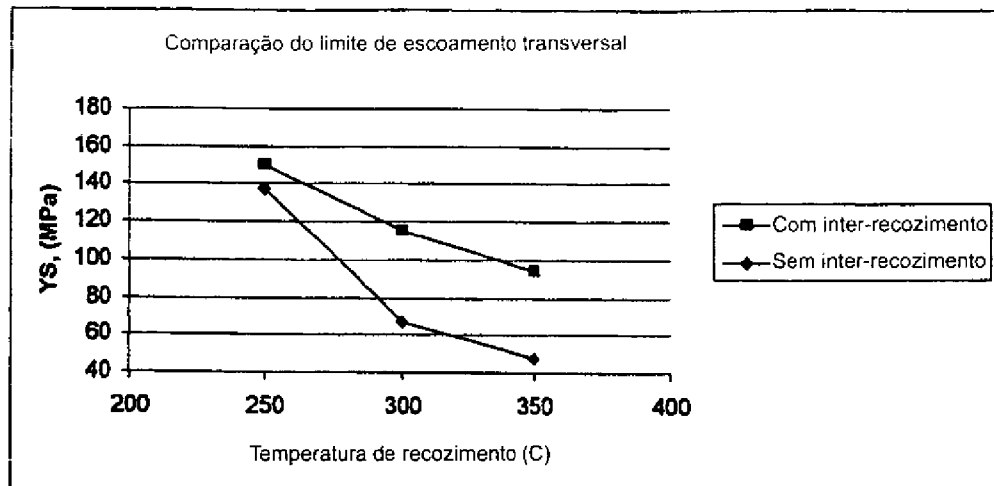
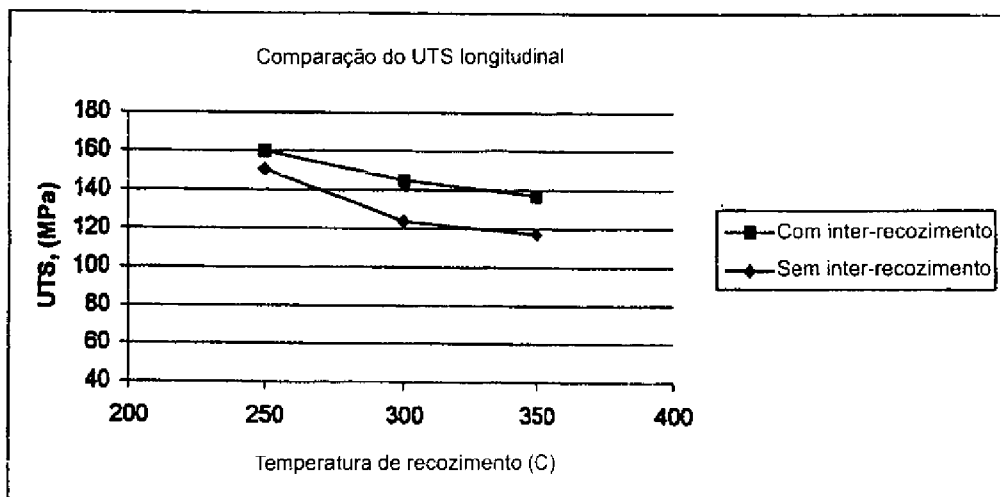
produto de UTS x alongamento > 2500.

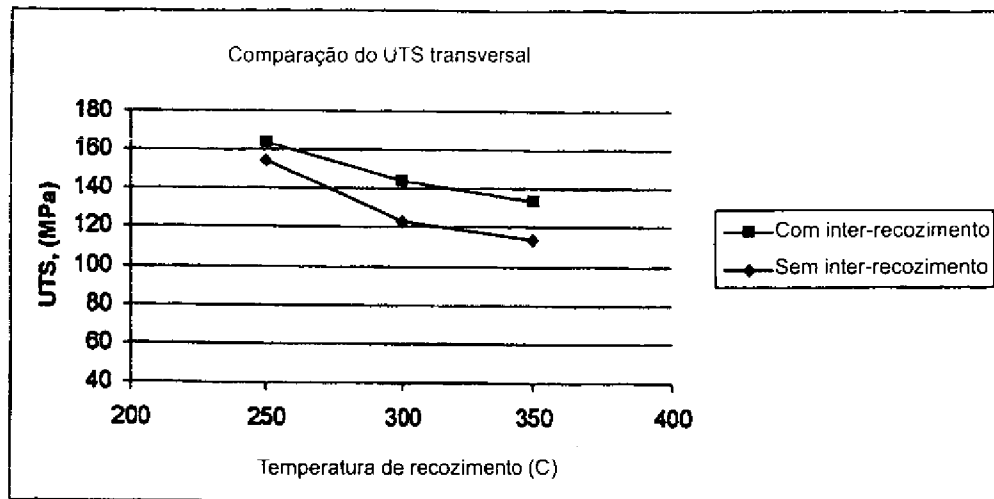
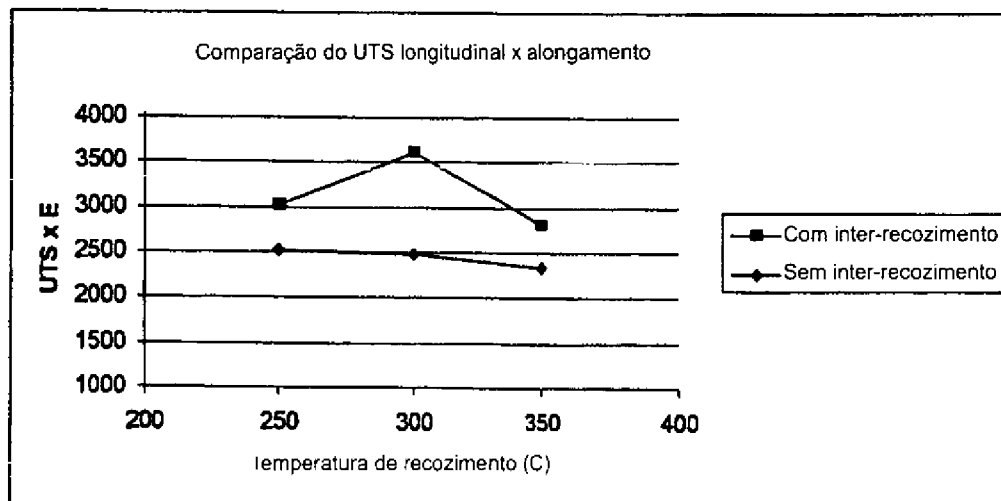
**Fig.1****Fig.2**

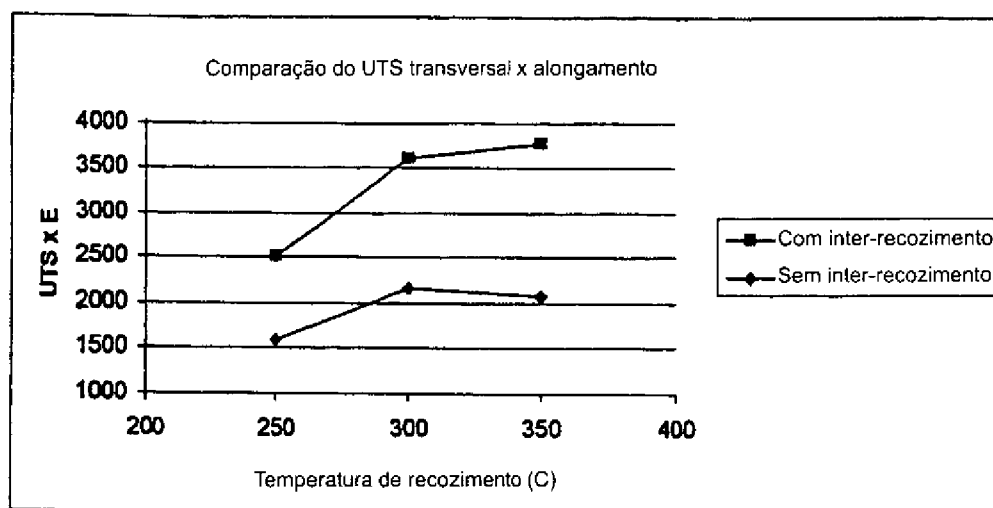
**Fig.3****Fig.4**

**Fig.5****Fig.6**

**Fig.7****Fig.8**

**Fig.9****Fig.10**

**Fig.11****Fig.12**

**Fig.13**

RESUMO

Patente de Invenção: **"PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM PRODUTO DE LIGA DE ALUMÍNIO, PRODUTO DE LIGA DE ALUMÍNIO OBTIDO PELO PROCESSO".**

- 5 A presente invenção refere-se a um método de produção de um produto de liga de alumínio tendo uma espessura abaixo de 200 μ m. Ela refere-se também a um produto de liga de alumínio tendo uma espessura abaixo do mesmo valor e a recipientes para aplicação em embalagem de alimentos feitos do produto de liga de alumínio. A invenção é um processo
- 10 de produção de uma liga de alumínio compreendendo as seguintes etapas: lingotamento contínuo de um fundido de liga de alumínio com a seguinte composição (em % em peso): Fe 1,0-1,8, Si 0,3-0,8, Mn até 0,25, outros elementos – inferior ou igual a 0,05 cada e o total destes inferior ou igual a 0,15, sendo o restante alumínio, laminação a frio do produto sem uma etapa
- 15 de inter-recozimento até uma espessura abaixo de 200 μ m e recozimento final do produto laminado a frio.