

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2011.09.15</b>	(73) Titular(es): <b>HYDRO ALUMINIUM ROLLED PRODUCTS GMBH ALUMINIUMSTRASSE 1 41515 GREVENBROICH DE</b>
(30) Prioridade(s):	
(43) Data de publicação do pedido: <b>2013.03.20</b>	(72) Inventor(es):
(45) Data e BPI da concessão: <b>2014.02.19 083/2014</b>	<b>DIETMAR SCHRÖDER DE THOMAS WIRTZ DE WERNER KEHL DE HENK-JAN BRINKMAN DE NATALIE HÖRSTER DE</b>
	(74) Mandatário:

(54) Epígrafe: **PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA BANDA DE ALUMÍNIO ALMGSI**

(57) Resumo:

O PROCESSO REFERE-SE A LINGOTES LAMINADOS (1) DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO-MAGNÉSIO-SILÍCIO (ALMGSI), EM QUE DURANTE A LAMINAGEM OS LINGOTES LAMINADOS SUBMETIDOS A HOMOGENEIZAÇÃO SÃO LAMINADOS A QUENTE PARA UMA TEMPERATURA DE LAMINAGEM A QUENTE, E SÃO OPCIONALMENTE LAMINADOS A FRIO PARA UMA ESPESSURA FINAL. A BANDA LAMINADA PREPARADA É ARREFECIDA NUMA SOLUÇÃO E TEMPERADA. A BANDA A QUENTE, IMEDIATAMENTE APÓS A SAÍDA DO ÚLTIMO PASSE DE LAMINAGEM A QUENTE, APRESENTA UMA TEMPERATURA DE MAIS DE 230°C. A BANDA A QUENTE É TEMPERADA À TEMPERATURA DE SAÍDA UTILIZANDO PELO MENOS UM ARREFECEDOR DE PLACAS E O PRÓPRIO PASSE DE LAMINAGEM A QUENTE SUJEITO A EMULSÃO. A TEMPERATURA DA BANDA A QUENTE ANTES DO PROCESSO DE ARREFECIMENTO É MAIS DO QUE 400°C; DURANTE O ÚLTIMO PASSE DE LAMINAGEM É MAIS DO QUE 250°C; E DURANTE O ÚLTIMO PASSE DE LAMINAGEM E ANTES DO ENROLAMENTO, 200-230°C. A ESPESSURA DA BANDA LAMINADA A QUENTE É DE 5 A 8 MM. A BANDA DE ALUMÍNIO LAMINADA PREPARADA É SUBMETIDA A TRATAMENTO TÉRMICO, COM O QUAL A BANDA DE ALUMÍNIO APÓS O RECOZIMENTO PARA SOLUBILIZAÇÃO E PROCESSO DE TÊMPERA É AQUECIDA A MAIS DE 100°C E EM SEGUIDA, A UMA TEMPERATURA SUPERIOR A 85 °C, ENROLADA E ENVELHECIDA.

**RESUMO****PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA BANDA DE ALUMÍNIO AlMgSi**

O processo refere-se a lingotes laminados (1) de uma liga de alumínio-magnésio-silício (AlMgSi), em que durante a laminagem os lingotes laminados submetidos a homogeneização são laminados a quente para uma temperatura de laminagem a quente, e são opcionalmente laminados a frio para uma espessura final. A banda laminada preparada é arrefecida numa solução e temperada. A banda a quente, imediatamente após a saída do último passe de laminagem a quente, apresenta uma temperatura de mais de 230°C. A banda a quente é temperada à temperatura de saída utilizando pelo menos um arrefecedor de placas e o próprio passe de laminagem a quente sujeito a emulsão. A temperatura da banda a quente antes do processo de arrefecimento é mais do que 400°C; durante o último passe de laminagem é mais do que 250°C; e durante o último passe de laminagem e antes do enrolamento, 200-230°C. A espessura da banda laminada a quente é de 5 a 8 mm. A banda de alumínio laminada preparada é submetida a tratamento térmico, com o qual a banda de alumínio após o recozimento para solubilização e processo de têmpera é aquecida a mais de 100°C e em seguida, a uma temperatura superior a 85°C, enrolada e envelhecida.

## DESCRIÇÃO

### PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA BANDA DE ALUMÍNIO AlMgSi

A invenção refere-se a um processo para a produção de uma banda de uma liga de AlMgSi em que um lingote laminado de uma liga de AlMgSi é fundido, o lingote laminado é submetido a uma homogeneização, o lingote laminado colocado à temperatura de laminagem é laminado a quente, em seguida, opcionalmente, laminado a frio para a espessura final, sendo a banda laminada preparada, recozida numa solução e temperada. Além disso a invenção refere-se a utilizações vantajosas de uma banda de alumínio de AlMgSi fabricada de modo adequado.

Especialmente na indústria automóvel mas também em outras áreas de aplicação, por exemplo na construção de aeronaves ou veículos ferroviários são necessárias chapas em ligas de alumínio, as quais se caracterizam não só por características mecânicas particularmente elevadas, mas simultaneamente apresentam comportamento muito bom à deformação e permitem um elevado grau de deformação. Na indústria automóvel são aplicações típicas a carroçaria e as peças do chassis. No caso de componentes pintados visíveis, tais como painéis de carroçaria visíveis exteriormente, acresce que a deformação dos materiais deve ter lugar de tal modo que a superfície após a pintura não é afectada por erros tal como linhas de fluxo ou formação de estrias (Roping). Isto é particularmente importante, por exemplo, na utilização de chapas de liga de alumínio para a produção de capotas para motor e outras partes da carroçaria de um veículo a motor. É limitada todavia a escolha dos materiais em termos de uma liga de alumínio. Em especial ligas de AlMgSi cujos constituintes principais da liga são o magnésio e silício, apresentam resistência

relativamente alta na condição T6 também com comportamento de deformação igualmente bom na condição T4 assim como excelente resistência à corrosão. As ligas de AlMgSi são os tipos de ligas AA6XXX, por exemplo o tipo de liga AA6016, AA6014, AA6181, AA6060 e AA6111. Normalmente as bandas de alumínio são fabricadas de uma liga de AlMgSi por vazamento de um lingote laminado, homogeneização do lingote laminado, laminagem a quente do lingote laminado e laminagem a frio da banda a quente. A homogeneização do lingote laminado é realizada a uma temperatura de 380 a 580°C durante mais de uma hora. Através de um recozimento para solubilização final a temperaturas típicas de 500°C a 570°C seguido de processo de têmpera e têmpera tratada em solução à temperatura ambiente durante pelo menos três dias, as bandas podem ser fornecidas na condição T4. A condição T6 é definida após o processo de têmpera através de envelhecimento artificial a temperaturas entre 100°C e 220°C.

O problema é que existem em bandas de alumínio laminadas a quente de ligas de AlMgSi, precipitações grosseiras de Mg<sub>2</sub>Si, as quais na laminação a frio subsequente são quebradas e reduzidas devido ao elevado grau de deformação plástica. As bandas quentes de uma liga de AlMgSi são geralmente produzidas com espessuras de 3 mm a 12 mm e fornecidas a uma laminagem a frio com elevado grau de deformação plástica. Uma vez que a gama de temperaturas na qual as fases AlMgSi se formam na laminagem a quente convencional é passada muito lentamente, estas fases formam-se de modo grosseiro. A gama de temperaturas para a formação das fases acima referidas está dependente da liga. No entanto situa-se entre 230°C e 550°C, deste modo na gama das temperaturas de laminagem a quente. Foi demonstrado experimentalmente que estas fases grosseiras afectam negativamente, na banda a quente, o alongamento do

produto final. Isto significa que o comportamento de deformação de bandas de alumínio de ligas de AlMgSi não pôde até agora ser totalmente explorado.

No pedido de patente europeia EP 2 270 249 A1 publicado, propriedade do requerente, foi proposto que a banda de liga de AlMgSi apresente uma temperatura máxima de 130°C imediatamente após a saída do último passe da laminagem a quente, sendo enrolada com esta ou uma temperatura menor. Através do processo de têmpera da banda laminada a quente com este processo puderam ser fabricadas bandas de alumínio na condição T4, as quais apresentam um alongamento à ruptura de A80 maior do que 30% ou um alongamento uniforme Ag de mais do que 25%. Além disso obtiveram-se também valores muito elevados para o alongamento à ruptura na condição T6. No entanto verificou-se que esta gama de temperaturas na saída do último passe da laminagem a quente conduz a problemas na lisura da banda a quente, de modo que os passos de fabrico subsequentes foram perturbados. Além disso a taxa de arrefecimento predeterminada só poderia ser obtida com velocidades de produção reduzidas.

A partir desta condição da técnica, a presente invenção tem como objectivo proporcionar um processo melhorado para a produção de uma banda de alumínio de uma liga AlMgSi, com o qual as bandas de alumínio AlMgSi podem ser fabricadas de forma fiável com um comportamento de deformação muito bom na condição T4.

De acordo com um primeiro ensinamento da presente invenção, o objectivo indicado para um processo é alcançado por a banda a quente, imediatamente após a saída do último passe de laminagem a quente, apresentar uma temperatura superior a 130°C, de preferência 135°C até um máximo de

250°C, de preferência 135°C a um máximo de 230°C e a banda a quente ser enrolada a esta temperatura.

Ao contrário do processo conhecido com temperaturas de enrolamento particularmente baixas verificou-se surpreendentemente que as propriedades mecânicas, em relação ao alongamento uniforme  $A_g$  determinado para o comportamento de deformação apesar das temperaturas de enrolamento alteradas, não se alteram ou alteram-se apenas ligeiramente. As bandas de liga AlMgSi fabricadas de acordo com a invenção, na condição T4 apresentam além disso um alongamento uniforme de mais de 25% no ensaio de tracção de acordo com a norma DIN EN. Além disso elas apresentaram uma muito boa capacidade de endurecimento na condição T6, tal como é conhecido da declaração provisória do requerente. No entanto o processo de produção pode ser significativamente estabilizado e ser obtida uma velocidade de produção mais elevada.

De acordo com uma forma de realização vantajosa do processo de acordo com a invenção, este processo de arrefecimento tem lugar dentro dos dois últimos passes de laminagem a quente, isto é, o arrefecimento superior a 130°C, de preferência 135°C a 250°C, de maior preferência 135°C a 230°C tem lugar dentro de poucos segundos, no máximo dentro de cinco minutos. Verificou-se que, com esta abordagem, os valores elevados de alongamento uniforme nos valores limites convencionais de resistência ou de alongamento na condição T4 e a capacidade melhorada de endurecimento na condição T6 podem ser alcançados de modo particularmente fiável.

De acordo com uma forma de realização adicional do processo de acordo com a invenção é alcançado um arrefecimento fiável da banda a quente por a banda a quente

ser temperada à temperatura de saída utilizando pelo menos um arrefecedor de placas e o próprio passe de laminagem a quente sujeito a emulsão. Um arrefecedor de placas consiste num conjunto de injectores de fluido de arrefecimento ou de lubrificantes, os quais pulverizam uma emulsão de laminagem sobre a banda de alumínio. O arrefecedor de placas pode estar presente numa unidade de laminagem a quente para arrefecer para a temperatura de laminagem bandas quentes laminadas antes da laminagem a quente e para poder alcançar velocidades de produção mais elevadas.

Se antes do início do processo de arrefecimento a temperatura da banda a quente, que tem lugar de preferência dentro dos dois últimos passes de laminagem, for de pelo menos 400°C, de preferência 470°C a 490°C, é alcançado de acordo com uma próxima forma de realização do processo, que precipitações particularmente pequenas de Mg<sub>2</sub>Si se encontrem presentes na banda a quente temperada, dado que grande parte dos componentes da liga magnésio e silício se encontram presentes a estas temperaturas em estado dissolvido na matriz do alumínio. Este estado favorável da banda a quente é quase "congelado" pelo processo de têmpera.

De acordo com uma outra forma de realização do processo, a temperatura da banda a quente é depois do penúltimo passe de laminagem, de 290°C a 310°C. Verificou-se que estas temperaturas permitem tanto um arrefecimento suficiente das precipitações como, por outro lado, poder ser realizado simultaneamente o último passe de laminagem sem problemas.

Se a banda a quente na saída directamente após o último passe de laminagem a quente apresentar uma temperatura de 200°C a 230°C, pode ser alcançada uma

velocidade óptima do processo, sem deteriorar as propriedades da banda de alumínio produzida.

A espessura da banda a quente preparada é de 3 mm a 12 mm, de preferência de 5 mm a 8 mm, de modo que podem ser utilizados os laminados a frio convencionais para a laminagem a frio.

De preferência a liga de alumínio utilizada é do tipo de liga AA6xxx, de preferência AA6014, AA6016, AA6060, AA6111 ou AA6181. Todos os tipos de ligas AA6xxx quer dizer que elas apresentam um comportamento de deformação particularmente bom caracterizado por elevados valores de alongamento na condição T4, bem como elevada resistência e limite de alongamento permanente na condição de aplicação T6, por exemplo após um envelhecimento artificial a 205°C / 30 min.

De acordo com uma outra forma de realização do processo de acordo com a invenção, a banda de alumínio laminado é submetida a um tratamento térmico, sendo que a banda de alumínio após o recozimento para solubilização e processo de têmpera é aquecida a mais de 100°C e, em seguida, a uma temperatura superior a 55°C, de preferência mais do que 85°C, enrolada e envelhecida. Esta forma de realização do processo possibilita com que após a têmpera tratada em solução, e através de uma fase de aquecimento curta com temperaturas baixas, ajustar a condição T6 na banda ou chapa, na qual as chapas ou bandas moldadas em componentes são aplicadas na utilização. Estas bandas de alumínio de endurecimento rápido são para isso aquecidas a temperaturas de cerca de 185°C por apenas 20 min. para atingir os limites elásticos mais elevados na condição T6.

Na verdade os valores de alongamento à ruptura A80 da

banda de alumínio produzidos conforme o processo de acordo com esta forma de realização na condição T4 situam-se ligeiramente abaixo de 29%. A banda de alumínio produzida de acordo com a presente invenção continua a caracterizar-se contudo após a precipitação natural ou artificial na condição T4 por um muito bom alongamento uniforme de Ag superior a 25%. Sob o alongamento uniforme Ag entende-se o alongamento máximo da amostra, na qual no ensaio de tracção não mostra qualquer constrição da amostra. A amostra é alongada uniformemente também na zona do alongamento uniforme. O valor para o alongamento uniforme situava-se até agora em materiais semelhantes num máximo de 22% a 23%. O alongamento uniforme influencia significativamente o comportamento à deformação, dado que este determina o grau de deformação máxima do material utilizado na prática. Por conseguinte, com o processo de acordo com a invenção pode ser disponibilizada uma banda de alumínio com muito boas propriedades de deformação, a qual também através de um envelhecimento artificial acelerado (185°C/20 min) pode ser transferida para a condição T6.

Uma liga de alumínio do tipo AA6016 apresenta os seguintes componentes de liga em percentagem em peso:

$$0,25 \% \leq \text{Mg} \leq 0,6 \%,$$

$$1,0 \% \leq \text{Si} \leq 1,5 \%,$$

$$\text{Fe} \leq 0,5 \%,$$

$$\text{Cu} \leq 0,2 \%,$$

$$\text{Mn} \leq 0,2 \%,$$

$$\text{Cr} \leq 0,1 \%,$$

$$\text{Zn} \leq 0,1 \%,$$

$$\text{Ti} \leq 0,1 \%$$

e resto Al assim como impurezas inevitáveis no total máximo de 0,15%, individualmente no máximo de 0,05%.

Nos teores de magnésio de menos de 0,25 em percentagem em peso a solidez da banda de alumínio, que se destina a aplicações estruturais, é demasiado baixa, sendo que por outro lado a capacidade de deformação deteriora-se com teores de magnésio superiores a 0,6 em percentagem em peso. O silício é, em interacção com o magnésio, principalmente responsável pela capacidade de endurecimento da liga de alumínio e deste modo também pela elevada solidez, que pode ser obtida no caso de aplicação por exemplo após uma cozedura da lacagem. Nos conteúdos de silício menores do que 1,0 da percentagem em peso, a capacidade de endurecimento da banda de alumínio encontra-se reduzida, de modo que em caso de aplicação só pode ser proporcionada uma solidez reduzida. Os teores de Si superiores a 1,5 da percentagem em peso não melhoram o comportamento de endurecimento da liga. O teor de Fe deve ser limitado a um máximo de 0,5% da percentagem em peso, a fim de evitar precipitações grosseiras. A limitação do teor de cobre até

um máximo de 0,2 da percentagem em peso conduz acima de tudo a uma resistência melhorada à corrosão da liga de alumínio na aplicação específica. O teor de manganês inferior a 0,2 da percentagem em peso reduz a tendência para a formação de precipitações grosseiras de manganês. Embora crómio forneça uma estrutura fina, deverá ser limitado a 0,1 da percentagem em peso, de modo a evitar também precipitações grosseiras. A presença de manganês melhora no entanto a soldabilidade através da redução da tendência à fissuração ou sensibilidade ao processo de têmpera da banda de alumínio de acordo com a invenção. Uma redução do teor de zinco para um máximo de 0,1 da percentagem em peso melhora particularmente a resistência à corrosão da liga de alumínio ou da chapa preparada na respectiva aplicação. No entanto titânio proporciona uma refinação do grão durante o vazamento, mas deverá ser limitado a um máximo de 0,1 da percentagem do peso, para garantir uma boa fluidez da liga de alumínio.

Uma liga de alumínio do tipo AA6060 apresenta os seguintes componentes de liga em percentagem em peso:

$$0,35 \% \leq \text{Mg} \leq 0,6 \%,$$

$$0,3 \% \leq \text{Si} \leq 0,6 \%,$$

$$0,1 \% \leq \text{Fe} \leq 0,3 \%$$

$$\text{Cu} \leq 0,1 \%,$$

$$\text{Mn} \leq 0,1 \%,$$

$$\text{Cr} \leq 0,05 \%,$$

$$\text{Zn} \leq 0,10 \%,$$

$$\text{Ti} \leq 0,1 \%$$

e

resto Al assim como impurezas inevitáveis no total máximo de 0,15%, individualmente no máximo de 0,05%.

A combinação do teor de magnésio exactamente predeterminado com um teor de Si reduzido em comparação com a primeira forma de realização e teor de Fe especificado de modo restrito resulta numa liga de alumínio, na qual se pode evitar com o processo de acordo com a invenção, de modo particularmente óptimo, a formação de precipitações Mg<sub>2</sub>Si depois da laminagem a quente, de modo que pode ser proporcionada uma chapa com um alongamento melhorado e elevados limites de alongamento em comparação com chapas produzidas convencionalmente. Os pequenos limites máximos dos componentes da liga Cu, Mn e Cr aumentam adicionalmente o efeito do processo de acordo com a invenção. Em relação aos efeitos do limite máximo de Zn e Ti consulte as realizações da primeira forma de realização da liga de alumínio.

Uma liga de alumínio do tipo AA6014 apresenta os seguintes componentes de liga em percentagem em peso:

$$0,4 \% \leq \text{Mg} \leq 0,8 \%,$$

$$0,3 \% \leq \text{Si} \leq 0,6 \%,$$

$$\text{Fe} \leq 0,35 \%$$

$$\text{Cu} \leq 0,25 \%,$$

$$0,05 \% \leq \text{Mn} \leq 0,20 \%,$$

$$\text{Cr} \leq 0,20 \%,$$

$$\text{Zn} \leq 0,10 \%,$$

$$0,05 \% \leq \text{V} \leq 0,20 \%,$$

$$\text{Ti} \leq 0,1 \%$$

e

o resto Al assim como impurezas inevitáveis no total máximo de 0,15%, individualmente no máximo de 0,05%.

Uma liga de alumínio do tipo AA6181 apresenta os seguintes componentes de liga em percentagem em peso:

$$0,6 \% \leq \text{Mg} \leq 1,0 \%,$$

$$0,8 \% \leq \text{Si} \leq 1,2 \%,$$

$$\text{Fe} \leq 0,45 \%$$

$$\text{Cu} \leq 0,10 \%,$$

$$\text{Mn} \leq 0,15 \%$$
$$\text{Cr} \leq 0,10 \%$$
$$\text{Zn} \leq 0,20 \%$$
$$\text{Ti} \leq 0,1 \%$$

e

resto Al assim como impurezas inevitáveis no total máximo de 0,15%, individualmente no máximo de 0,05%.

Uma liga de alumínio do tipo AA6111 apresenta os seguintes componentes de liga em percentagem em peso:

$$0,5 \% \leq \text{Mg} \leq 1,0 \%$$
$$0,7 \% \leq \text{Si} \leq 1,1 \%$$
$$\text{Fe} \leq 0,40 \%$$
$$0,50 \% \leq \text{Cu} \leq 0,90 \%$$
$$0,15 \% \leq \text{Mn} \leq 0,45 \%$$
$$\text{Cr} \leq 0,10 \%$$
$$\text{Zn} \leq 0,15 \%$$
$$\text{Ti} \leq 0,1 \%$$

e

resto Al assim como impurezas inevitáveis no total máximo de 0,15%, individualmente no máximo de 0,05%. A liga AA6111 mostra basicamente, devido ao teor de cobre elevado, valores de resistência mais elevados na condição de

utilização T6, mas deverá ser considerada como susceptível à corrosão.

Todas as ligas de alumínio apresentadas encontram-se adaptadas especificamente, nos seus componentes da liga, para diferentes aplicações. Tal como já foi mencionado, as bandas destas ligas de alumínio, que foram produzidas utilizando o processo de acordo com a invenção, apresentam valores particularmente elevados de alongamento uniforme na condição T4 acoplados a um aumento particularmente forte dos limites de alongamento por exemplo após um envelhecimento artificial a 205°C / 30 min. Isto também se aplica às bandas de alumínio sujeitas a um tratamento térmico na condição T4 após o recozimento para solubilização.

Devido à excelente combinação entre uma boa capacidade de deformação na condição T4, elevada resistência à corrosão assim como valores elevados para os limites de alongamento  $R_{p0,2}$  na condição de aplicação (condição T6) é alcançado o objectivo acima descrito de acordo com um segundo ensinamento da presente invenção pela utilização de uma banda de liga de AlMgSi produzida num processo de acordo com a invenção para um componente, peça do chassis ou peça da estrutura e chapa da estrutura na construção automóvel, aeronáutica ou de veículos ferroviários, em especial como componente, peça do chassis, chapa externa ou interna na construção automóvel, de preferência como um elemento de construção da carroçaria. Acima de tudo peças da carroçaria visíveis, por exemplo capotas de motores, guarda-lamas, etc., assim como peças de revestimento externas de um veículo ferroviário ou aeronave beneficiam dos elevados limites de alongamento  $R_{p0,2}$  com boas propriedades de superfície, mesmo após uma deformação com um elevado grau de deformação.

Pode portanto ser proporcionada através de uma banda de liga de alumínio produzida de acordo com a invenção uma banda de liga de AlMgSi de endurecimento rápido com excelentes propriedades de deformação plástica, a qual é submetida após a sua produção a um recozimento para solubilização seguido de um tratamento térmico. Na condição T4 apresenta, tal como já indicado, um alongamento uniforme Ag de mais de 25%, por exemplo com um limite de alongamento Rp0,2 de 80 a 140 MPa. Com esta variante pode ser proporcionada uma banda de liga de AlMgSi de endurecimento rápido e simultaneamente facilmente deformável. O envelhecimento artificial para se obter a condição T6 pode ter lugar a 185°C durante 20 minutos, para se obter o necessário aumento do limite de alongamento.

Uma banda de liga de alumínio produzida de acordo com a invenção apresenta de acordo com uma forma de realização adicional um alongamento uniforme Ag de mais do que 25% na direcção da laminagem, transversal à direcção de laminagem e diagonal à direcção de laminagem, de modo que é possível uma capacidade de deformação mais isotrópica.

De preferência as bandas de alumínio produzidas de acordo com a invenção apresentam uma espessura de 0,5 mm a 12 mm. As bandas de alumínio com espessuras de 0,5 mm a 2 mm são utilizadas de preferência para peças da carroçaria, por exemplo, na indústria automóvel, enquanto que as bandas de alumínio com espessuras maiores que 2 a 4,5 mm encontram aplicação, por exemplo, em peças para o chassis na indústria automóvel. Os componentes individuais podem ser fabricados em banda laminada a frio com uma espessura de até 6 mm. Além disso em aplicações específicas podem ser utilizadas também bandas de alumínio com espessuras de até 12 mm. Estas bandas de alumínio com uma espessura muito grande são normalmente proporcionadas somente por laminação

a quente.

A invenção será descrita pormenorizadamente a seguir, tomando como exemplo formas de realização em conjunção com o desenho.

O desenho mostra na única figura 1 um diagrama de fluxo esquemático de um exemplo de forma de realização do processo de acordo com a invenção para a produção de uma banda de uma liga de alumínio MgSi com os passos a) Produção e homogeneização do lingote laminado, b) Laminagem a quente, c) Laminação a frio, e d) Recozimento para solubilização com processo de têmpera.

Primeiro é vazado um lingote laminado 1 de uma liga de alumínio com os seguintes componentes de liga em percentagem em peso:

$$0,25 \% \leq \text{Mg} \leq 0,6 \%,$$

$$1,0 \% \leq \text{Si} \leq 1,5 \%,$$

$$\text{Fe} \leq 0,50 \%,$$

$$\text{Cu} \leq 0,20 \%,$$

$$\text{Mn} \leq 0,20 \%,$$

$$\text{Cr} \leq 0,10 \%,$$

$$\text{Zn} \leq 0,20 \%,$$

$$\text{Ti} \leq 0,15 \%$$

e

resto Al assim como impurezas inevitáveis no total máximo de 0,15%, individualmente no máximo de 0,05%.

O lingote laminado produzido desta forma é homogeneizado a uma temperatura de homogeneização de cerca de 550°C durante 8 horas num forno 2, de modo que os componentes da liga ligados se encontram presentes particularmente distribuídos de forma homogénea no lingote laminado, fig. 1a).

Na figura 1b) encontra-se ilustrado como o lingote laminado 1 é laminado a quente de modo inverso através do laminador a quente 3 no exemplo de forma de realização apresentado do processo de acordo com a invenção, sendo que o lingote laminado 1 apresenta uma temperatura de 400 e 550°C durante a laminagem a quente. Neste exemplo de forma de realização, depois de deixar o laminador a quente 3 e antes do penúltimo passe de laminagem a quente a banda a quente 4 apresenta de preferência uma temperatura de pelo menos 400°C, de preferência 470°C a 490°C. De preferência tem lugar a esta temperatura de banda a quente o processo de têmpera da banda a quente 4 sob utilização de um arrefecedor de placas 5 e dos cilindros de trabalho do laminador a quente 3. De preferência a banda a quente é arrefecida aqui a uma temperatura de 290°C a 310°C antes do último passe de laminagem a quente. Para este fim o arrefecedor de placas 5 pulveriza, representado apenas esquematicamente, a banda a quente 4 com emulsão de laminagem de arrefecimento e é responsável por um arrefecimento acelerado da banda a quente 4 às últimas temperaturas mencionadas. Os cilindros de trabalho do laminador a quente 3 encontram-se sujeitos a emulsão e arrefecem ainda mais banda a quente 4 no último passe de laminagem a quente. Após o último passe de laminagem a banda a quente 4 apresenta na saída do arrefecedor de placas 5', no presente exemplo de forma de realização, uma temperatura de 200°C a 230°C sendo de seguida enrolada a esta temperatura sobre um carretel receptor 6.

Dado que a banda a quente 4 logo à saída do último passe de laminagem a quente apresenta uma temperatura de mais de 135°C a 250°C, de preferência 200°C a 230°C ou opcionalmente é conduzido para as temperaturas referidas nos dois últimos passes de laminagem a quente utilizando o arrefecedor de placas 5 e os cilindros de trabalho do laminador a quente 3, a banda a quente 4 apresenta, apesar da elevada temperatura de enrolamento, uma condição congelada para a estrutura cristalina que conduz a propriedades de alongamento uniforme Ag muito boas, de mais de 25% na condição T4. Devido à temperatura de enrolamento mais elevada pode-se processar mais rapidamente e melhor. A banda a quente com uma espessura de 3 a 12 mm, de preferência de 5 a 8 mm é enrolada sobre o carretel receptor 6. Tal como já foi descrito, a temperatura de enrolamento na presente forma de realização é de preferência 135°C a 250°C.

No processo de acordo com a invenção na banda a quente 4 enrolada agora não se podem formar ou só se podem formar poucas precipitações Mg<sub>2</sub>Si grosseiras. A banda a quente 4 tem um estado de cristal muito favorável para o processamento posterior e pode ser desbobinada do carretel de desbobinagem 7, por exemplo ser fornecida para um laminador a frio 9 e ser novamente enrolada sobre um carretel receptor 8, figura 1c).

A banda 11 laminada a frio resultante é enrolada. Em seguida sujeita a um recozimento para solubilização a temperaturas de 520°C a 570°C e a um processo de têmpera 10, figura 1d). Para isso é desenrolada de novo da bobina 12, recozida numa solução e temperada num forno 10 e enrolada novamente numa bobina 13. A banda de alumínio pode então ser fornecida após um envelhecimento natural à temperatura ambiente na condição T4 com capacidade de

deformação máxima. Alternativamente (não apresentada) a banda de alumínio 11 pode ser separada em chapas individuais, que se encontram proporcionadas após um envelhecimento natural na condição T4.

No caso de espessuras de banda de alumínio maiores, por exemplo no caso de aplicações em trens de aterragem ou componentes tal como por exemplo placas de ancoragem do travão, pode ser realizado alternativamente o recozimento de peças e as chapas serem de seguida passadas por um processo de têmpera.

Na condição T6 a banda de alumínio ou a chapa de alumínio é sujeita a um envelhecimento artificial a 100°C até 220°C para se obter valores máximos para os limites de alongamento permanentes. Por exemplo, um envelhecimento artificial pode ser realizado a 205°C / 30 min.

As bandas de alumínio produzidas de acordo com o exemplo ilustrado de forma de realização apresentam após a laminagem a frio, por exemplo, uma espessura de 0,5 a 4,5 mm. Espessuras de banda de 0,5 a 2 mm são normalmente utilizadas para aplicações em carroçarias ou espessuras de banda de 2,0 mm a 4,5 mm para peças de chassis na indústria automóvel. Nos dois campos de aplicação os valores melhorados de alongamento uniforme são vantajosamente decisivos na produção dos componentes, dado que são realizadas fortes deformações das chapas, sendo apesar disso necessária uma elevada resistência na condição de utilização (T6) do produto final.

Na Tabela 1 são apresentadas as composições das ligas, das ligas de alumínio, das quais são produzidas bandas de alumínio convencionais ou de acordo com a invenção. Para além dos conteúdos apresentados de componentes da liga as

bandas de alumínio contêm como parte residual alumínio e impurezas, individualmente no máximo 0,05 da percentagem em peso e no total no máximo 0,15 da percentagem em peso.

Tabela 1

Bandas	Si % total	Fe % em peso	Cu % em peso	Mn % em peso	Mg % em peso	Cr % em peso	Zn % em peso	Ti % em peso
251	1,3	0,19	-	0,06	0,3	-	0,01	0,02
252	1,3	0,19	-	0,06	0,3	-	0,01	0,02
491-1	1,39	0,18	0,002	0,062	0,30	0,0006	0,01	0,0158
491-11	1,40	0,18	0,002	0,063	0,31	0,0006	0,0104	0,0147

As bandas (amostras) 251 e 252 foram produzidas por um processo de acordo com a invenção, em que a banda a quente nos dois últimos passes de laminagem a quente foi arrefecida, e enrolada, de cerca de 470°C a 490°C para 135°C a 250°C utilizando um arrefecedor de placas assim como a laminagem a quente. Na Tabela 2 os valores medidos destas bandas encontram-se assinalados com "Inv.". De seguida teve lugar uma laminagem a frio para uma espessura final de 0,865 mm.

As bandas (amostras) 491-1 e 491-11 foram produzidas com uma laminagem a quente e laminagem a frio convencionais e assinaladas com um "Conv".

Os resultados das propriedades mecânicas apresentadas na Tabela 2 mostram claramente a diferença nos valores Ag de alongamento uniforme alcançáveis.

Tabela 2

Bandas		Espes. (mm)	T4				T6 205 °C / 30 Min.			
			Rp0,2 (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>g</sub> (%)	A <sub>80</sub> (%)	Rp0,2 (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>g</sub> (%)	ΔRp0,2 (MPa)
<b>251 L</b>	Inv.	0,865	93	207	26,3	30,4				
<b>251 Q</b>	Inv.	0,865	86	203	26,4	29,0	193	249	12,4	107
<b>251 D</b>	Inv.	0,865	87	203	27,0	30,0				
<b>252 L</b>	Inv.	0,865	93	206	26,1	31,5				
<b>252 Q</b>	Inv.	0,865	88	205	26,6	29,0	185	244	12,2	97
<b>252 D</b>	Inv.	0,865	87	202	27,3	31,1				
<b>491-1</b>	Conv.	1,09	92	202	23,1	27,8	180	235	10,7	88
<b>491-11</b>	Conv.	1,04	88	196	23,0	27,4	179	232	11,2	91

Para se obter a condição T4 as bandas foram submetidas a um recozimento para solubilização seguido pelo processo de têmpera e subsequente envelhecimento natural, durante oito dias, à temperatura ambiente. A condição T6 foi alcançada por um envelhecimento artificial subsequente ao envelhecimento natural a 205°C durante 30 minutos.

As amostras assinaladas com L foram recortadas na direcção da laminagem, as amostras assinaladas com Q na direcção transversal à laminagem e as amostras assinaladas com D na direcção diagonal a direcção de laminagem. As amostras 491-1 e 491-11 foram medidas respectivamente transversalmente à direcção de laminagem.

Verificou-se que a estrutura vantajosa, que foi criada pelo processo de acordo com a invenção nas bandas 251 e 252, possibilita com um limite de alongamento idêntico Rp0,2 e resistência R<sub>m</sub> um aumento significativo do alongamento uniforme A<sub>g</sub>. O alongamento uniforme A<sub>g</sub> aumentou de 23,0% para 26,6% transversalmente à direcção de laminagem nas bandas produzidas de acordo com a invenção em

comparação com as bandas produzidas convencionalmente.

A estrutura criada com o processo de acordo com a invenção conduz a uma combinação particularmente vantajosa de um alongamento uniforme  $A_g$  maior de mais de 25% em valores muito elevados para o limite de alongamento  $R_{p0,2}$  de 80 a 140 MPa. Na condição T6 o limite de alongamento  $R_{p0,2}$  aumenta até pelo menos 185 MPa, sendo que o alongamento uniforme  $A_g$  ainda permanece em mais do que 12%. A capacidade de endurecimento com um  $\hat{R}_{p0,2}$  de 97 ou 107 MPa é ainda é muito bom nas bandas produzidas de acordo com a invenção.

Na condição T6 o aumento do alongamento uniforme  $A_g$  pode quase ser conservado, se comparado com bandas produzidas convencionalmente.

Os valores de alongamento à ruptura  $A_g$  e  $A_{80}$ , os valores limites de alongamento  $R_{p0,2}$  e os valores de resistência à tracção  $R_m$  nas tabelas foram medidos de acordo com a norma DIN EN.

## **DOCUMENTOS REFERIDOS NA DESCRIÇÃO**

Esta lista de documentos referidos pelo autor do presente pedido de patente foi elaborada apenas para informação do leitor. Não é parte integrante do documento de patente europeia. Não obstante o cuidado na sua elaboração, o IEP não assume qualquer responsabilidade por eventuais erros ou omissões.

### **Documentos de patente referidos na descrição**

- EP 2270249 A1 [0004]

Lisboa, 21 de Abril de 2014

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a produção de uma banda de uma liga de AlMgSi em que um lingote laminado de uma liga de AlMgSi é fundido, o lingote laminado é submetido a uma homogeneização, o lingote laminado colocado à temperatura de laminagem é laminado a quente, em seguida, opcionalmente, laminado a frio para a espessura final, sendo a banda laminada preparada recozida numa solução e temperada, caracterizado por a banda a quente, imediatamente após a saída do último passe de laminagem a quente, apresentar uma temperatura superior a 130°C até 250°C, de preferência até 230°C e a banda a quente ser enrolada a esta temperatura.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a banda a quente ser temperada à temperatura de saída utilizando pelo menos um arrefecedor de placas e o próprio passe de laminagem a quente sujeito a emulsão.

3. Processo de acordo com as reivindicações 1 ou 2, caracterizado por antes do início do processo de arrefecimento a temperatura da banda a quente durante a laminagem a quente ser de mais de 400°C.

4. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 3, caracterizado por a temperatura da banda a quente depois do penúltimo passe de laminagem ser de mais de 250°C.

5. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 4, caracterizado por a temperatura da banda a quente após o último passe de laminagem antes do enrolamento ser de 200°C a 230°C.

6. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 5, caracterizado por a espessura da banda a quente preparada ser de 3 a 12 mm, de preferência 5 a 8 mm.

7. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 6, caracterizado por a liga de alumínio ser do tipo de liga AA6xxx, de preferência AA6014, AA6016, AA6060, AA6111 ou AA6181.

8. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 7, caracterizado por a banda de alumínio laminada preparada ser submetida a um tratamento térmico, no qual a banda de alumínio após o recozimento para solubilização e processo de têmpera é aquecida a mais de 100°C e em seguida, a uma temperatura superior a 55°C, de preferência mais do que 85°C, enrolada e envelhecida.

9. Utilização de uma banda de alumínio produzida com um processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 8 para um componente, peça do chassis ou peça da estrutura ou chapa na construção automóvel, aeronáutica ou veículos ferroviários, em especial como componente, peça do chassis, chapa externa ou interna na construção automóvel, de preferência como um elemento de construção da carroçaria.

Lisboa, 21 de Abril de 2014

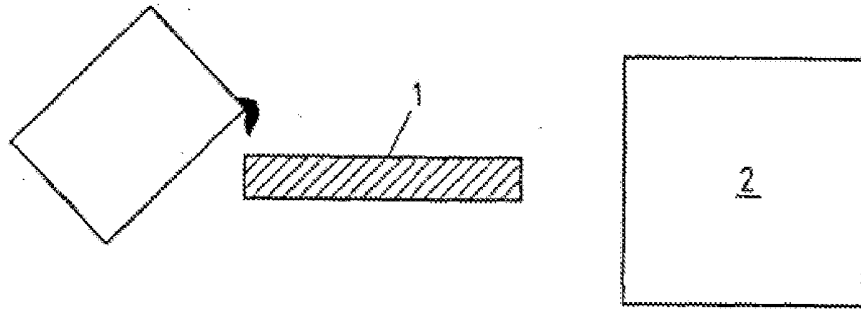


Fig. 1a

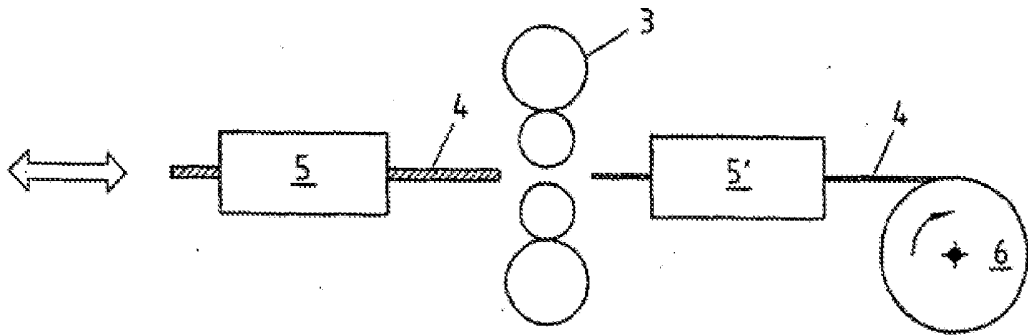


Fig. 1b

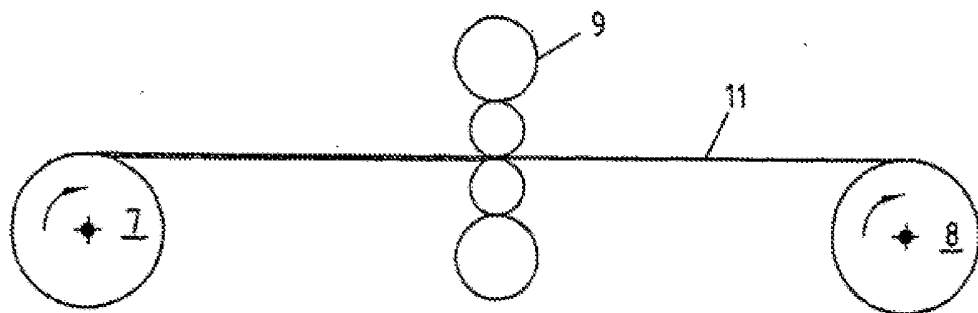


Fig. 1c

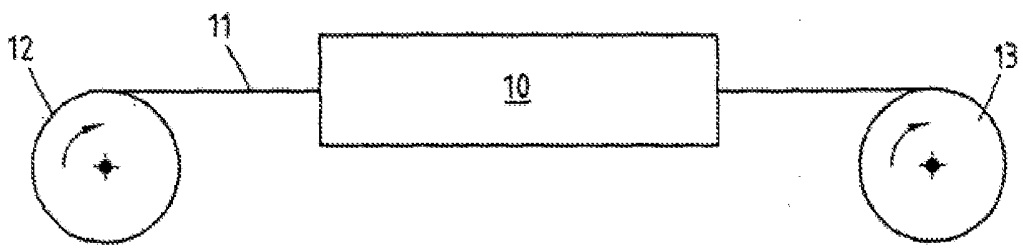


Fig. 1d