

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

(21) **PI0711263-7 A2**

(22) Data de Depósito: 16/04/2007
(43) Data da Publicação: 30/08/2011
(RPI 2121)



(51) *Int.Cl.*:
C22F 1/04
C22F 1/057
C22C 21/16

(54) Título: **PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ELEMENTO DE ESTRUTURA PARA CONSTRUÇÃO AERONÁUTICA, COMPREENDENDO MARTELAGEM A FRIO DIFERENCIAL**

(30) Prioridade Unionista: 21/04/2006 FR 06 03567, 31/05/2006 US 60/803,553

(73) Titular(es): Alcan Rhenalu

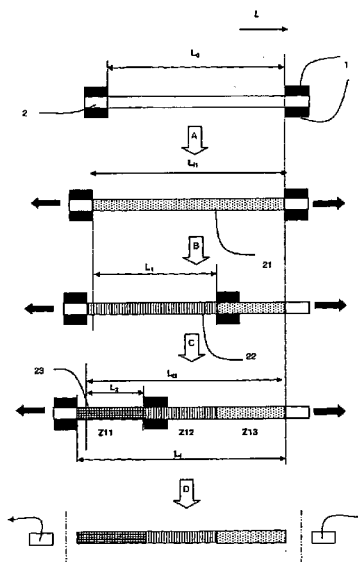
(72) Inventor(es): Armelle Danielou, Fabrice Heymes, Philippe Lequeu

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT FR2007000633 de 16/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/122314 de 01/11/2007

(57) Resumo: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ELEMENTO DE ESTRUTURA PARA CONSTRUÇÃO AERONÁUTICA, COMPREENDENDO MARTELAGEM A FRIO DIFERENCIAL. A presente invenção refere-se a um processo de fabricação de um produto corroido ou de um elemento de estrutura multifuncional monolítica em liga de alumínio compreendendo uma etapa de transformação a quente, caracterizado pelo fato de que, posteriormente à transformação a quente, compreende também pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio, na qual se impõem em pelo menos duas zoias desse elemento de estrutura de deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2%, e preferencialmente, diferentes de pelo menos 3%. A invenção permite a fabricação de elementos de estrutura notadamente úteis para a construção aeronáutica, apresentando propriedades de emprego variáveis no espaço, apresentando características geométricas idênticas àsquelas dos elementos atuais. O processo, de acordo com a invenção, é econômico e controlável, e permite notadamente fazer variar propriedades de emprego para peças que não sofrem revenido.





PI0711263-7

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ELEMENTO DE ESTRUTURA PARA CONSTRUÇÃO AERONÁUTICA, COMPREENDENDO MARTELAGEM A FRIO DIFERENCIAL".

5 DOMÍNIO TÉCNICO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se aos produtos corroídos e aos elementos de estrutura, notadamente para construção aeronáutica, em liga de alumínio. Os produtos corroídos podem ser produtos laminados (tais como chapas finas, chapas médias, chapas espessas), produtos fiados (tais como barras, perfilados, tubos ou fios), e produtos forjados.

ESTADO DA TÉCNICA

Os elementos estruturais monolíticos metálicos com propriedades variáveis no espaço apresentam um interesse considerável no contexto atual da indústria aeronáutica. Com efeito, os elementos estruturais são submetidos a um feixe de esforços contraditórios que necessitam das escolhas particulares sobre os materiais e as condições de transformação, o que pode levar a compromissos pouco satisfatórios. Além disso, a substituição das etapas de ligação mecânica, longas e onerosas por etapas mais econômicas de usinagem integral de elementos monolíticos se acha limitada pela possibilidade de se conseguirem no meio de um elemento monolítico as propriedades as mais vantajosas em cada zona geométrica. Seria, portanto, muito interessante realizar elementos estruturais monolíticos tendo propriedades variáveis no espaço, de modo a se conseguir, em cada zona, um compromisso ótimo de propriedades, beneficiando-se das vantagens econômicas dos processos de usinagem integral. Todavia, nenhum processo de fabricação de elemento estrutural monolítico metálico com propriedades variáveis no espaço foi industrializado até hoje, pois numerosos problemas de custo e de confiabilidade são encontrados.

Assim, vários processos foram propostos na técnica anterior para realizar elementos estruturais monolíticos metálicos com propriedades variáveis no espaço.

Uma primeira solução proposta é de realizar, quando do reveni-

do, um tratamento térmico diferente entre as extremidades do elemento estrutural.

FR 2 707 092 (Pechiney Rhenalu) descreve um processo de fabricação de produtos com endurecimento estrutural, possuindo propriedades variáveis de forma contínua em pelo menos uma direção, na qual o revenido é feito, levando uma das extremidades do produto a uma temperatura T e a outra extremidade a uma temperatura t em um forno específico, compreendendo uma câmara quente e uma câmara fria ligadas por uma bomba de calor.

10 WO 2005/0988072 (Pechiney Rhenalu) descreve um processo de fabricação no qual pelo menos uma etapa do tratamento de revenido é feita em um forno com perfil térmico controlado, comportando pelo menos duas zonas ou grupos de zonas ou grupos de zonas Z_1 e Z_2 , com temperaturas iniciais T_1 e T_2 no qual o comprimento das duas zonas é de pelo menos um metro.

Esses processos limitam as variações de propriedades com propriedades que podem ser modificadas de forma compatível, quando de um revenido. No caso das ligas sem tratamento térmico, esse tipo de processo não pode ser utilizado. Da mesma forma, no caso das ligas da família 2XXX, para as quais existem numerosas peças vendidas no estado T3 ou T4 (não-revenido) não é possível obter elementos tendo propriedades variáveis por esse processo.

25 Por outro lado, perfilados que comportam em um mesmo plano perpendicular ao comprimento uma zona entre as nervuras que têm uma microestrutura que apresenta uma textura fibra mais desenvolvida, de forma a diminuir a velocidade de propagação de fissura são descritos no pedido de patente US 2003/226935.

Em uma outra abordagem, foi proposto soldar duas peças em ligas diferentes, antes de usinar a peça resultante. O elemento estrutural obtido, mesmo se apresentar uma continuidade de matéria e propriedades variáveis no espaço, não poderá, todavia, ser considerado como um elemento estrutural monolítico, em razão da zona soldada. O pedido PCT WO

98/58759 (*British Aerospace*) descreve assim uma pequena esfera híbrida formada a partir de uma liga 2000 e de uma liga 7000 por soldagem por atrito-malaxagem, a partir da qual é usinada uma longarina. O pedido de patente EP 1 547 720 A1 (*Airbus UK*) descreve um método de ligação por soldagem de duas peças tipicamente obtidas a partir de ligas diferentes, de forma a realizar, após usinagem uma peça estrutural para aplicações aeronáuticas, tais como uma longarina.

Na indústria aeronáutica, o problema é em parte resolvido, fazendo-se localmente variar a espessura dos elementos estruturais com propriedades homogêneas no espaço, de forma a lhe permitir resistir no nível local de esforço. A variação de espessura é geralmente obtida por ligação ou por usinagem.

CA 2 317 366 (*Airbus Deutschland*) descreve, por exemplo, a fabricação de elementos de fuselagem por soldagem de chapas de diversas espessuras. Pode-se também pensar em obter diretamente por laminação chapas de espessura variável, de forma a evitar as etapas de ligação e os problemas técnicos e econômicos associados. Variações de espessura são consideráveis na direção longitudinal ou na direção transversa (vide, por exemplo, R. Kopp, C. Wiedner e A Meyer, *International Sheet Metal Review*, Julho/Agosto 2005, página 20 a 24).

A realização de chapas de espessura variável foi, por outro lado, considerada por diversos métodos, para resolver outros problemas técnicos. As cintas "sob medida" ("*tailored blanks*") são assim conhecidas na siderurgia e permitem economizar matéria, quando das etapas de enformação.

JP 11-192502 (*Nippon Steel*) descreve assim um processo que permite obter uma cinta de aço, cuja espessura e cujas características mecânicas estáticas variam na largura.

WO 00/21695 (*Thyssen Krupp*) descreve um processo que permite conseguir seções de espessura variável na direção da laminagem no meio de uma cinta metálica, essas seções apresentando propriedades mecânicas diferentes.

A modificação da geometria das chapas, caso ela se justifique

para realizar economias de matérias, apresenta, todavia, inconvenientes em termos de fabricação, de controle, de manutenção e não permite uma transferência rápida direta para os processos existentes nos fabricantes de aviões.

- 5 O problema ao qual responde a presente invenção é de desenvolver um processo para a fabricação de produtos corroídos e de elementos de estrutura monolíticas em liga de alumínio, notadamente para a construção aeronáutica, apresentando propriedades de emprego variáveis no espaço, apresentando características geométricas idênticas àquelas dos produtos e elementos atuais, que seja suficientemente econômica e controlável, que
10 permita fazer variar no espaço as propriedades de emprego de elementos de estrutura, cujo processo de fabricação não necessita necessariamente de revenido e que permita fazer variar as propriedades de emprego de elementos de estrutura com diferentes posições de seu comprimento.

15 OBJETO DA INVENÇÃO

- Um primeiro da presente invenção é um processo de fabricação de um produto corroído ou de um elemento de estrutura multifuncional monolítica em liga de alumínio, compreendendo uma etapa de transformação a quente, caracterizado pelo fato de, posteriormente à transformação a quente, ele compreender também pelo menos uma etapa de transformação por
20 deformação plástica a frio, na qual se impõem em pelo menos duas zonas do elemento de estrutura deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2% e preferencialmente diferentes de pelo menos 3%.

- 25 Um segundo objeto da invenção é um produto corroído ou um elemento de estrutura em liga 2XXX no estado T3X capaz de ser obtido pelo processo, de acordo com a invenção.

- Um terceiro objeto da invenção é um produto corroído ou um elemento de estrutura em liga 2XXX, contendo lítio no estado T8X capaz de
30 ser obtido pelo processo, de acordo com a invenção.

DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A figura 1 mostra, de maneira esquemática, um modo de reali-

zação da invenção, no qual três zonas situadas em uma posição diferente na direção L sofrem deformações plásticas diferentes por tração controlada, graças a um deslocamento da trava do banco de tração.

5 A figura 2 mostra, de maneira esquemática, um modo de realização da invenção, no qual três zonas situadas em uma posição diferente na direção L sofrem deformações plásticas diferentes por tração controlada graças a uma variação da seção.

10 A figura 3 mostra, de maneira esquemática, um modo de realização da invenção, no qual três zonas situadas em uma posição diferente na direção L sofrem deformações plásticas diferentes por laminação a frio, graças a uma variação da espessura, antes da laminação.

15 A figura 4 mostra, de maneira esquemática, um modo de realização da invenção, no qual 3 zonas situadas em uma posição diferente na direção L sofrem deformações plásticas diferentes por laminação a frio, graças a uma variação da espessura, antes da laminação.

A figura 5 mostra, de maneira esquemática, um modo de realização da invenção, no qual três zonas situadas em uma posição diferente sofrem deformações plásticas diferentes por compressão.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

20 Salvo menção contrária, todas as indicações relativas à composição química das ligas são expressas em por cento mássico. Por conseguinte, em uma expressão matemática, "0,4 Zn" significa: 0,4 vezes o teor em zinco, expresso em por cento mássico; isto se explica *mutatis mutandis* aos outros elementos químicos. A designação das ligas segue as regras da

25 *The Aluminum Association*, conhecidas do técnico. Os estados metalúrgicos e os tratamentos térmicos são definidos na norma europeia EN 515. A composição química de ligas de alumínio normalizadas é definida, por exemplo, na norma EN 573-3. Salvo menção contrária, as características mecânicas estáticas, isto é, a resistência à ruptura R_m o limite elástico $R_{p0,2}$ e o alongamento à ruptura A, são determinadas por um teste de tração, segundo a

30 norma EN 10002-1, o local e o sentido da retirada das amostras sendo definidos na norma EN 485-1. A tenacidade K_{C1} é medida segundo a norma

ASTM E 399.

Salvo menção contrária, as definições da norma Européia EN 12258-1 se aplicam, em particular se denomina liga sem tratamento térmico uma liga que não pode ser endurecida, de forma substancial, por um tratamento térmico e liga com tratamento térmico, uma liga que pode ser endurecida por um tratamento térmico apropriado.

O termo "chapa" é utilizado no caso para produtos laminados de qualquer espessura.

Por deformação plástica a frio, entende-se no caso uma deformação plástica pela qual o material não é voluntariamente aquecido, nem antes de ser deformado, nem durante a deformação. Existem vários tipos de deformações plásticas a frio, notadamente a laminação a frio, a tração controlada (*planage*), a trefilação, o estiramento, a modelagem, o encaixe, a dobra, a compressão e a forja a frio. Por transformação a quente, entende-se uma etapa de deformação para a qual a temperatura inicial do metal é de pelo menos 200 °C.

A taxa de martelamento é definida no caso da laminação de uma espessura e_0 a uma espessura e por $\tau(\%) = (e_0 - e)/e$, e no caso da tração de um comprimento L_0 a um comprimento L por $\tau(\%) = (L - L_0)/L_0$.

A deformação plástica generalizada é conhecida do técnico, ela é definida, por exemplo, no manual "Enformação dos metais - Cálculos sobre a plasticidade" de P. Baque, E. Felder, J. Hyafil e Y. D'Escatha nas edições Dunod, Paris (1973) ou na obra "Enformação dos metais e ligas" textos reunidos por B. Baudalet, editado pelas Éditions do CNRS, 1976, Paris. Por convenção, a deformação generalizada é a medida da amplitude de deformação e toma-se como valor da deformação $\bar{\epsilon}$ aquele que corresponde a um teste de tração simples a partir do critério:

$$d\bar{\epsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[(d\epsilon_1 - d\epsilon_2)^2 + (d\epsilon_2 - d\epsilon_3)^2 + (d\epsilon_3 - d\epsilon_1)^2 \right]^{1/2}$$

são as deformações principais elementares.

No caso de uma deformação plástica, a variação de volume é nula e tem-se, portanto, $d\epsilon_1 + d\epsilon_2 + d\epsilon_3 = 0$. A deformação plástica generalizada é aditiva para diferentes etapas sucessivas de deformação plástica.

No caso da laminação de uma espessura e_0 a uma espessura e , na qual a deformação é plana ($d\epsilon_3=0$, $d\epsilon_2=-d\epsilon_1$), a deformação plástica generalizada é igual a $\epsilon(\%) = (2/\sqrt{3})\ln(e_0/e)$.

5 No caso da tração de um comprimento l_0 a um comprimento l , a deformação plástica generalizada é igual a $\epsilon(\%) = \ln(l/l_0)$.

No caso da compressão de um comprimento l_0 a um comprimento l , a deformação plástica generalizada é igual a $\epsilon(\%) = \ln(l/l_0)$.

10 Denominar-se-á no caso deformação plástica generalizada mediana, a média da deformação plástica generalizada em um volume determinado.

O termo "usinagem" compreende qualquer processo de retirada de matéria, tal como o torneamento, a fresagem, a perfuração, a regulagem, a eletroerosão, a retificação, o polimento, a usinagem química.

15 O termo "produto fiado" compreende também os produtos que foram estirados, após fiação, por exemplo, por estiramento a frio através de uma fieira. Ele compreende também os produtos trefilados.

20 O termo "produto corroído" se refere a um semiproduto (isto é, um produto intermediário) pronto para ser transformado, notadamente por serragem, usinagem e/ou enformação em elemento de estrutura. Em certos casos, o produto corroído pode ser utilizado diretamente como elemento de estrutura. Os produtos corroídos podem ser produtos laminados (tais como chapas finas, chapas médias, chapas espessas), produtos fiados (tais como barras, perfilados, tubos ou fios), e produtos forjados. Quando o processo de fabricação do produto corroído compreende uma etapa de aprisionamento por tração controlada, as extremidades da peça que se acharam sob a influência das travas do banco de tração são serradas, de forma a tornar a peça utilizável em construção mecânica.

30 O termo "elemento de estrutura" se refere a um elemento utilizado em construção mecânica para o qual as características mecânicas estáticas e/ou dinâmicas têm uma importância particular para o desempenho e a integridade da estrutura, e para o qual um cálculo da estrutura é geralmente prescrito ou feito. Trata-se tipicamente de uma peça mecânica, cuja falha é

capaz de colocar em perigo a segurança dessa construção, de seus usuários, ou de terceiros. Para um avião, esses elementos de estrutura compreendem notadamente os elementos que compõem a fuselagem (tais como o revestimento de fuselagem (*fuselage skin* em inglês), os enrijecedores ou longarinas de fuselagem (*stringers*), os anteparos estanques (*bulkheads*), os quadros de fuselagem (circumferential frames), as asas (tais como o revestimento da asa (*wing skin*), os enrijecedores (*stringers ou stiffeners*), as nervuras (*ribs*) e longarinas (*spars*)) e a empenagem composta notadamente de estabilizadores horizontais e verticais (horizontal ou vertical *stabilisers*), assim como os perfilados de piso (*floor beams*), os trilhos de bancos (*seat-tracks*) e as portas.

O termo "elemento de estrutura monolítica" se refere a um elemento de estrutura que foi obtido a partir de uma única peça de semiproduto laminado, fiado, forjado ou moldado, sem ligação, tal como rebitamento, soldagem, colagem, com uma outra peça.

O termo "elemento de estrutura multifuncional" se refere no caso principalmente às funções conferidas pelas características metalúrgicas do produto e não por sua forma geométrica.

De acordo com a invenção, o problema é resolvido por um processo de fabricação de um produto corroído em liga de alumínio ou de um elemento de estrutura multifuncional monolítica em liga de alumínio que compreende pelo menos uma etapa de deformação plástica a frio posterior à transformação a quente, na qual pelo menos duas zonas do produto corroído ou do elemento de estrutura sofrem deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2%, preferencialmente de pelo menos 3% e ainda mais preferencialmente de pelo menos 4% ou mesmo 5%. As zonas consideradas têm um volume significativo em relação ao volume total do elemento de estrutura. Vantajosamente, o volume das zonas consideradas representa pelo menos 5%, preferencialmente pelo menos 10% e mais preferencialmente pelo menos 15% do volume total do produto corroído ou do elemento de estrutura. De maneira vantajosa, todas as zonas do produto corroído ou do elemento de estrutura sofrem uma deformação plástica gene-

realizada mínima de pelo menos 1% e, de preferência, de pelo menos 1,5%.

De forma vantajosa, o processo, de acordo com a invenção, compreende pelo menos duas etapas de transformação por deformação plástica a frio posteriores à transformação a quente.

5 Os processos, de acordo com a invenção, permitem realizar produtos corroídos, e elementos de estrutura tendo uma dimensão principal o comprimento final L_f na direção principal ou direção do comprimento L e uma seção final no plano perpendicular a essa direção S_f . De maneira preferida, a seção S_f é sensivelmente constante em qualquer ponto do produto corroído. No caso em que o produto corroído é uma chapa de comprimento final L_f , de largura final l_f e de espessura final e_f , é vantajoso que a espessura e_f seja sensivelmente constante em qualquer ponto. No caso em que se trata de um produto fiado de comprimento L e de forma complexa é vantajoso que a forma seja idêntica em qualquer ponto do comprimento.

15 Uma usinagem pode constituir uma das últimas etapas do processo, de acordo com a invenção, de forma a se obter uma seção final e/ou uma espessura final do produto corroído sensivelmente constantes em qualquer ponto.

O processo, de acordo com a invenção, pode ser utilizado para
20 elaborar produtos corroídos, de preferência chapas e perfilados, e elementos estruturais em qualquer liga de alumínio de corrosão. Em particular, a invenção pode ser utilizada com ligas sem tratamento térmico, tais como as ligas 1XXX, 3XXX, 5XXX e certas ligas da série 8XXX, e de forma particularmente vantajosa com ligas 5XXX contendo escândio, com um teor preferido de
25 0,001 a 5% em peso e de forma ainda mais preferida de 0,01 a 0,3% em peso. As diferenças de propriedades mecânicas resultantes das diferenças de corrosão obtidas pelo processo, de acordo com a invenção, conferem aos elementos de estrutura obtida a partir dos produtos corroídos em liga, sem tratamento térmico, de acordo com a invenção, um caráter multifuncional.

30 Em uma realização vantajosa da invenção, utiliza-se uma liga de alumínio de tratamento térmico e realiza-se entre a transformação a quente e a primeira transformação por deformação plástica a frio uma etapa de co-

locação em solução, uma etapa de têmpera e opcionalmente uma etapa de revenido posterior às etapas de transformação por deformação plástica a frio. Em particular, a invenção pode ser utilizada com ligas sem tratamento térmico, tais como as ligas 1XXX, 3XXX, 5XXX e certas ligas da série 8XXX, e de forma particularmente vantajosa com ligas 5XXX contendo escândio, com um teor preferido de 0,001 a 5% em peso e de forma ainda mais preferida de 0,01 a 0,3% em peso. As diferenças de propriedades mecânicas resultantes das diferenças de corrosão obtidas pelo processo, de acordo com a invenção, conferem aos elementos de estrutura obtidos a partir dos produtos corroídos em liga sem tratamento térmico, de acordo com a invenção, um caráter multifuncional.

Em uma realização vantajosa da invenção, utiliza-se uma liga de alumínio com tratamento térmico, e realiza-se entre a transformação a quente e a primeira transformação por deformação plástica a frio uma etapa de colocação em solução, uma etapa de têmpera, e, opcionalmente, uma etapa de revenido posterior às etapas de transformação por deformação plástica a frio. Em particular, a invenção pode ser utilizada para elaborar produtos corroídos ou elementos estruturais em liga de alumínio das séries 2XXX, 4XXX, 6XXX e 7XXX, assim como em liga com endurecimento estrutural da série 8XXX, contendo lítio. No âmbito da invenção, entende-se por "liga contendo lítio" uma liga cujo teor em lítio é superior a 0,1% em peso. No caso das ligas da série 2XXX, pode-se utilizar um revenido para se obter, por exemplo, um estado T8X ou, ao contrário, utilizar um envelhecimento natural para um estado T3X. A invenção é particularmente vantajosa para a realização de produtos corroídos ou de elementos de estrutura em liga 2XXX no estado T3X.

A invenção permite realizar produtos corroídos ou elementos de estrutura em liga 2XXX no estado T3X, caracterizado pelo fato de conterem pelo menos duas zonas Z1 e Z2, possuindo propriedades mecânicas (medidas à meia espessura) selecionadas no grupo formado de:

(I) Z1: $R_m(L) > 500 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 520 \text{ MPa}$ e
Z2: $A(L)(\%) > 16\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 18\%$

(II) Z1: $R_m(L) > 450 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 470 \text{ MPa}$ e Z2: $A(L)(\%) > 18\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 20\%$

(III) Z1: $R_m(L) > 550 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 590 \text{ MPa}$ e Z2: $A(L)(\%) > 10\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 14\%$

5 (IV) Z1: $R_m(L) > 550 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 590 \text{ MPa}$ e Z2: $K_{1C}(L-T) > 45 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente $K_{1C}(L-T) > 55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

Pode-se também obter produtos corroídos ou elementos de estrutura em liga 2XXX no estado T3X, caracterizados pelo fato de conterem pelo menos duas zonas Z1 e Z2, que têm propriedades mecânicas (medidas à meia-espessura), nas quais:

(I) $R_{p0,2}$, medido no sentido L ou no sentido LT apresenta um desvio $R_{p0,2}(Z1)$ -

$R_{p0,2}(Z2)$ de pelo menos 50 MPa e preferencialmente de pelo menos 70 MPa e/ou

15 (II) R_m , medido no sentido L ou no sentido LT apresenta um desvio $R_m(Z1) - R_m(Z2)$ de pelo menos 20 MPa e preferencialmente de pelo menos 30 MPa e/ou

(III) K_{1C} , medido no sentido L-T apresenta um desvio $K_{1C}(Z1) - K_{1C}(Z2)$ de pelo menos 5 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente de pelo menos 15 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$.

20 A invenção permite também obter produtos corroídos ou elementos de estrutura de liga 2XXX, contendo lítio no estado T8X, caracterizados pelo fato de conterem pelo menos duas zonas Z1 e Z2, possuindo propriedades mecânicas selecionadas no grupo formado de:

25 (I) Z1: $R_m(L) > 630 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$ e Z2: $A(L)(\%) > 8\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 9\%$

(II) Z1: $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 650 \text{ MPa}$ e Z2: $A(L)(\%) > 7\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 8\%$

(III) Z1: $R_m(L) > 630 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$ e Z2: $K_{1C}(L-T) > 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente $K_{1C}(L-T) > 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

30 No caso das ligas artificialmente envelhecidas e mais particularmente, das ligas da série 7XXX e de certas ligas da série 2XXX, a deforma-

ção plástica a frio feita após as etapas de colocação em solução e têmpera permite modificar a cinética de revenido. Assim, as zonas que sofrem deformações plásticas generalizadas medianas diferentes atingirão, quando do revenido, estados metalúrgicos diferentes, o que conferirá ao elemento de

5 estrutura um caráter multifuncional. Em uma realização vantajosa da invenção que se aplica a todas as ligas com tratamento térmico, que sofrem um revenido, faz-se o revenido em um forno que apresenta um gradiente de temperatura, de forma a amplificar as diferenças de propriedades entre as extremidade do elemento de estrutura.

10 Em uma primeira variante da invenção, pelo menos as duas zonas do produto corroído ou do elemento de estrutura que sofre deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2% ficam situadas em uma posição diferente na direção principal ou de comprimento L . Nesse caso, as zonas consideradas têm, de maneira vantajosa, uma seção

15 S_z no plano perpendicular à direção L igual à seção do produto corroído nesse plano. Em particular, quando a seção S_f do produto corroído é sensivelmente constante, a seção S_z é de maneira vantajosa sensivelmente igual a S_f . Nessa primeira variante, o comprimento dessas zonas na direção L é preferencialmente de pelo menos 1m e, de maneira preferida, de pelo menos

20 5m.

De maneira vantajosa, o processo, de acordo com a invenção, comporta na primeira variante pelo menos uma etapa de deformação plástica a frio por tração controlada. A tração controlada é, de maneira habitual, utilizada para realizar uma aplainamento ou uma correção e para liberar os

25 esforços residuais. Em um modo de realização da invenção, uma etapa de tração controlada, na qual uma das extremidades do produto intermediário sobre o qual é feita a tração controlada ultrapassa significativamente as travas do banco de tração, pode também ser utilizada para gerar deformações plásticas generalizadas medianas diferentes entre duas zonas do produto

30 corroído.

A figura 1 ilustra um modo de realização da invenção, no qual 3 etapas de tração controlada são realizadas sucessivamente. O produto in-

intermediário (2) de comprimento inicial útil (isto é, situado entre as travas) L_0 está em uma primeira etapa A tracionado em seu conjunto, o que permite aplainá-lo e/ou corrigi-lo. Ele atinge assim um primeiro comprimento intermediário útil L_{i1} e a deformação plástica generalizada mediana é igual a ε_1 (%) = $I_m (L_{i1} / L_0)$ para a parte situada entre as travas (21) da peça (2). Pelo menos uma das travas (1) do banco de tração é, então, deslocada, conforme indicado na figura 1, de forma que uma das extremidades da peça ultrapassa significativamente travas e que o comprimento da peça compreendido entre as travas seja L_1 . Uma segunda etapa de tração controlada B é então

5
 10
 15
 20
 25
 30

efetuada sobre a zona da peça situada entre as travas, de forma a se obter um segundo comprimento intermediário útil L_{i2} do elemento e, portanto, fazer passar a zona (22) compreendida entre as travas do comprimento L_1 ao comprimento $L_{i2} - L_{i1} + L_1$. Essa zona sofre, portanto, no decorrer da segunda etapa uma deformação generalizada média igual a ε_2 (%) = $1/n ((L_{i2} - L_{i1} + L_1) / L_1)$. Opcionalmente, pelo menos uma das travas pode de novo ser deslocada, de forma a realizar pelo menos uma terceira etapa de tração sobre uma parte de comprimento L_2 . No caso esquematizado na figura 1, essa terceira etapa C permite conseguir um comprimento final útil L_f e a zona (23) situada entre as travas vê seu comprimento aumentado de $L_f - L_{i2}$ e sofre, portanto, no decorrer dessa terceira etapa uma deformação generalizada mediana igual a ε_3 (%) = $I_n (L_f - L_{i2} + L_2) / L_2$. Em uma quarta etapa D, as extremidades da peça que se achavam sob a prisão das travas do banco de tração, quando da etapa A são serradas. No caso da figura 1, as quatro etapas permitem assim obter um produto corroído comportando três zonas Z11, Z12 e Z13, cuja deformação plástica generalizada mediana é, respectivamente, de $\varepsilon_{11} = \varepsilon_1$, $\varepsilon_{12} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ e $\varepsilon_{13} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$. A operação pode ser repetida tantas vezes quanto for necessário, de forma a se conseguir uma diferença de deformação plástica generalizada mediana de pelo menos 2% entre pelo menos duas zonas situadas em uma posição diferente na direção principal L .

30 O processo que utiliza trações sucessivas descrito pela figura 1 pode ser aplicado às chapas conforme aos produtos fiados.

A figura 2 descreve um outro modo de realização da primeira

variante da invenção. Nesse modo de realização, realiza-se por cisalhamento, rebatamento, usinagem ou qualquer outro método apropriado um produto intermediário, tendo uma seção variável na direção do comprimento L. Na figura 2, o produto intermediário assim obtido tem um comprimento inicial L_0 e três zonas de seção diferentes S_1 , S_2 e S_3 . Quando da etapa de tração desse produto intermediário de seção variável, as deformações sofridas por essas zonas diferentes.

Em um outro modo de realização da invenção que se aplica de maneira preferida à fabricação de chapas, pelo menos uma etapa de deformação plástica a frio é realizada por compressão. Esse modo de realização é ilustrado pela figura 5.

Ainda em um outro modo de realização da primeira variante da invenção que se aplica apenas à fabricação de chapas, o processo, de acordo com a invenção, compreende uma etapa de laminação a frio, na qual a espessura da chapa é variável à entrada do laminador e sensivelmente constante à saída do laminador. A figura 3 ilustra um modo de realização no qual uma chapa apresentando três zonas $Z31$, $Z32$ e $Z33$ de espessuras respectivas e_1 , e_2 e e_3 e um comprimento inicial L_0 sofre uma etapa de laminação a frio entre dois cilindros (5) levando a uma espessura final e_f . As deformações plásticas generalizadas medianas sofridas pelas diferentes zonas $Z31$, $Z32$ e $Z33$ são respectivamente $\epsilon_{31}(\%) = (2\sqrt{3}) \ln (e_1 / e_f)$, $\epsilon_{32}(\%) = (2\sqrt{3}) \ln (e_2 / e_f)$ e $\epsilon_{33}(\%) = (2\sqrt{3}) \ln (e_3 / e_f)$.

A chapa que apresenta uma espessura variável na direção L necessária no modo de realização descrito pela figura 3 pode ser obtida, por exemplo, modificando-se no decorrer da laminação a quente o visado de espessura. Em um outro modo de realização, essa chapa de espessura variável pode ser obtida por usinagem de uma chapa de espessura constante oriunda da etapa de laminação a quente. A figura 3 descreve um modo de realização no qual a variação de espessura é obtida sobre uma única face, a outra face permanecendo plana. Pode-se também fazer variar a espessura sobre as duas faces e não manter face plana.

Ainda em um outro modo de realização, da primeira variante da

invenção que se aplica apenas à fabricação de chapas, o processo, de acordo com a invenção, compreende uma etapa de laminação a frio, na qual a espessura da chapa é sensivelmente constante à entrada do laminador e variável na direção L à saída do laminador e uma etapa subsequente de usinagem que permite obter uma espessura sensivelmente constante em qualquer ponto.

Em uma segunda variante da invenção, unicamente destinada à fabricação de chapas que têm uma dimensão principal ou de comprimento na direção L, uma dimensão transversal ou de largura na direção I e uma dimensão de espessura na direção e, as zonas do elemento de estrutura que sofre deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2% ficam situadas em uma posição diferente na direção transversal I. Nesse caso, as zonas consideradas têm, de maneira vantajosa, uma espessura e_z na direção da espessura e igual à espessura do produto corroído.

Em particular, quando a espessura e_f do produto corroído é sensivelmente constante, a espessura e_z , de maneira vantajosa, sensivelmente igual a e_f .

Nessa segunda variante, a largura dessas zonas é preferencialmente de pelo menos 0,2 m e de maneira preferida de pelo menos 0,4 m.

Em um modo de realização dessa segunda variante, o processo, de acordo com a invenção, comporta uma etapa de laminação a frio, na qual a espessura da chapa é variável na direção transversal I à entrada do laminador e é sensivelmente constante à saída do laminador. A variação de espessura da chapa pode ser notadamente obtida por laminação a quente, por usinagem à saída da laminação a quente ou por forjamento. Esse modo de realização é ilustrado na figura 4, no qual uma chapa, cuja espessura é de e_1 para as zonas situadas nas extremidades do elemento na direção I é de e_2 para a zona situada no centro na direção I é laminada na direção L até uma espessura sensivelmente homogênea e_f . As deformações plásticas generalizadas medianas sofridas pelas diferentes zonas Z41, Z42 e Z43 são respectivamente $\epsilon_{41} (\%) = (2\sqrt{3}) \ln (e_1 / e_f)$, $\epsilon_{42} (\%) = (2\sqrt{3}) \ln (e_2 / e_f)$ e $\epsilon_{43} (\%) = \epsilon_{41} (\%) = (2\sqrt{3}) \ln (e_1 / e_f)$. A realização na qual as zonas Z41 e Z43 têm a mesma espessura inicial é vantajosa, todavia um modo de realização, no qual as

espessuras são diferentes é também possível.

Ainda em um outro modo de realização da segunda variante da invenção, que só se aplica à fabricação de chapas, o processo, de acordo com a invenção, compreende uma etapa de laminação a frio, na qual a espessura da chapa é sensivelmente constante à entrada do laminador e variável na direção / à saída do laminador e uma etapa subsequente da usinagem que permite obter uma espessura sensivelmente constante em qualquer ponto.

A figura 5 descreve um outro modo de realização no qual uma compressão é feita com o auxílio de uma ferramenta (6) que se desloca na direção simbolizada por uma seta. No decorrer de uma primeira etapa, a espessura é reduzida de e_0 a e_1 , depois durante uma segunda etapa de e_1 a e_2 sobre uma parte do elemento de estrutura, depois enfim no decorrer de uma terceira etapa de e_2 a e_3 , o que define três zonas Z51, Z52 e Z53. Uma etapa final de usinagem permite obter uma espessura final e_f sensivelmente igual em qualquer ponto. Pode-se também usinar a chapa com espessuras diferentes, depois comprimi-la, de forma a se conseguir uma espessura constante em qualquer ponto.

Exemplo 1:

Nesse exemplo, obteve-se uma chapa que tem propriedades variáveis no espaço 25 mm em liga AA2023.

Fabricou-se uma chapa de um comprimento de 30 metros, de uma largura de 2,5 metros e de uma espessura de 28,2 mm por laminação a quente de uma placa de laminação.

A composição da liga utilizada é dada na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: composição da placa de laminação em liga AA2023 (% em massa)

Si	Fe	Cu	Mg	Ti	Zr	Sc
0,06	0,07	3,81	1,36	0,024	0,11	0,03

A placa de laminação foi homogeneizada durante 12 horas a 500°C. A temperatura de entrada da laminação a quente era de 460°C.

Após laminação a quente, a chapa foi usinada conforme indicado na figura 3, de forma a serem obtidas três zonas Z31, Z32 e Z33, de um

comprimento igual a 10 metros, tendo as seguintes espessuras:

Zona Z31: 28,1 mm

Zona Z32: 26,3 mm

Zona Z32: 26,3 mm

5 Zona Z33: 25,5 mm

A chapa foi então colocada em solução a 500 °C e temperada.

A chapa foi em seguida laminada a frio, de forma a se obter uma espessura sensivelmente constante de 25,5 mm sobre o conjunto da chapa, depois sofreu uma tração controlada com um alongamento permanente de aproximadamente 2% ao final da qual as extremidades da peça que se achavam sob a prisão das travas do banco de tração foram serradas.

A etapa de laminação levou a zona Z31 a atingir um comprimento de 11 metros aproximadamente.

15 As deformações feitas nas diferentes zonas são resumidas na tabela 2 abaixo:

Tabela 2: taxa de martelamento e deformação generalizada nas zonas Z31, Z32 e Z33.

	Taxa de martelamento por laminação	Taxa de martelamento por tração	Taxa de martelamento total	Deformação generalizada por laminação	Deformação generalizada por tração	Deformação generalizada total
Z31	10,2%	2,0%	12,4%	11,2%	2,0%	13,2%
Z32	3,1%	2,0%	5,2%	3,6%	2,0%	5,6%
Z33	0,0%	2,0%	2,0%	0,0%	2,0%	2,0%

20 Amostras foram retiradas nas zonas Z31, Z32 e Z33, de forma a caracterizar a chapa obtida. Os resultados dos testes mecânicos são fornecidos na tabela 3, abaixo:

Tabela 3: resultados dos testes feitos nas zonas Z31, Z32 e Z33.

Zona	Sentido L			Sentido LT		
	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)
Z31	533	464	12,3	499	414	17,0
Z32	509	422	17,0	468	364	22,4

Zona	Sentido L			Sentido LT		
	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)
Z33	504	388	20,6	465	335	24,1

O processo, de acordo com a invenção, permite conseguir compromissos de propriedades diferentes nas zonas Z31, Z32 e Z33. Assim, a zona Z31 é caracterizada por uma resistência mecânica elevada, em detrimento de um alongamento limitado, enquanto que a zona Z33 se distingue por um alongamento importante, mas para uma resistência mecânica estática menor.

Exemplo 2:

Nesse exemplo, obteve-se uma chapa que tem propriedades variáveis no espaço de espessura 15 mm em liga AA2024.

Fabricou-se uma chapa de um comprimento de 30 metros, de uma largura de 2,5 metros e de uma espessura de 16,8 mm por laminação a quente de uma placa de laminação.

A composição da liga utilizada na tabela 4 abaixo:

Tabela 4: composição da placa de laminação em liga AA2024A (% em massa):

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti
0,04	0,07	3,96	0,38	1,29	0,013

A placa de laminação foi homogeneizada, depois laminada a quente.

Após laminação a quente, a chapa foi usinada conforme descrito na figura 3, de forma a serem obtidas três zonas Z31, Z32 e Z33, de um comprimento igual a 10 metros, tendo as seguintes espessuras:

Zona Z31: 16,7 mm

Zona Z32: 15,9 mm

Zona Z33: 15,3 mm.

A chapa foi então colocada em solução a 500 °C e temperada.

A chapa foi então laminada a frio, de forma a se conseguir uma espessura sensivelmente constante de 15,3 mm sobre o conjunto da chapa, depois sofreu uma tração controlada com um alongamento permanente de

aproximadamente 2% ao final da qual as extremidades da peça que se achavam sob a prisão das travas do banco de tração foram serradas.

A etapa de laminação levou a zona Z31 a atingir um comprimento de 10,9 metros aproximadamente.

- 5 As deformações realizadas nas diferentes zonas são resumidas na tabela 5 abaixo:

Tabela 5: taxa de martelamento e deformação generalizada nas zonas Z31, Z32 e Z33.

Zo-na	Taxa de martelamento por laminação	Taxa de martelamento por tração	Taxa de martelamento total	Deformação generalizada por laminação	Deformação generalizada por tração	Deformação generalizada total
Z31	9,2%	2,0%	11,3%	10,1%	2,0%	12,1%
Z32	3,9%	2,0%	6,0%	4,4%	2,0%	6,4%
Z33	0,0%	2,0%	2,0%	0,0%	2,0%	2,0%

- 10 Amostras foram retiradas nas zonas Z31, Z32 e Z33, de forma a caracterizar a chapa obtida. Os resultados dos testes mecânicos são fornecidos na tabela 6, abaixo:

Zona	Sentido L			Sentido LT		
	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)	R _m (MPa)	R _{p0,2} (Mpa)	A (%)
Z31	477	437	16,8	495	416	13,0
Z32	467	414	17,9	481	390	15,6
Z33	444	360	23,4	467	337	18,5

- 15 O processo, de acordo com a invenção, permite conseguir compromissos de propriedades diferentes nas zonas Z31, Z32 e Z33. Assim, a zona **Z31** é caracterizada por uma resistência mecânica elevada, em detrimento de um alongamento limitado, enquanto que a zona Z33 se distingue por um alongamento importante, mas para uma resistência mecânica estática menor.

Exemplo 3:

- 20 Nesse exemplo, obteve-se um perfilado que tem propriedades variáveis no espaço de seção 170 x 45 mm em liga AA2027.

Fabricou-se um perfilado com um comprimento de 15 metros, de uma seção de 170 x 45 mm por extrusão a quente de uma esfera de fiação.

A composição da liga utilizada é dada na Tabela 7 abaixo:

Tabela 7: composição da placa de laminação em liga AA2027 (% em massa)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr
0,05	0,11	4,2	0,6	1,3	0,06	0,02	0,11

5 A esfera de fiação foi homogeneizada a 490 °C e extrudada a quente.

Após fiação, o perfilado foi colocado em solução a 500 °C e temperado.

Então, ele sofreu uma primeira etapa controlada com um alongamento permanente de 2,8%. Uma das travas do banco de tração foi, então, deslocada conforme indicado na figura 1, de forma que uma das extremidades do perfilado ultrapassa as travas. Uma segunda etapa de tração foi então efetuada sobre os dois terços do perfil (zona Z11 e Z12) situados entre as travas com um alongamento permanente de 5,6%. A trava deslocada na segunda etapa foi então de novo deslocada, de forma que um terço do perfilado (zona Z11) fique situado entre as travas. Uma terceira etapa de tração foi efetuada com um alongamento permanente de 2,4%. As extremidades da peça que se achavam sob a prisão das travas do banco de tração, quando da primeira etapa de tração foram em seguida serradas. Obteve-se assim um perfilado que apresenta três zonas, Z11, Z12 e Z13 de um comprimento sensivelmente igual e apresentando deformações por tração diferentes.

As deformações feitas nas zonas são resumidas na tabela 8 abaixo:

Tabela 8: taxa de martelamento e deformação generalizada nas zonas Z11, Z12 e Z13.

Zona	Taxa de martelamento por tração				Taxa de deformação generalizada			
	1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa	Total	1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa	Total
Z11	2,8%	5,6%	2,4%	11,2%	2,8%	5,4%	2,4%	10,6%
Z12	2,8%	5,6%		8,6%	2,8%	5,4%		8,2%

Zona	Taxa de martelamento por tração				Taxa de deformação generalizada			
	1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa	Total	1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa	Total
Z13	2,8%			2,8%	2,8%			2,8%

Amostras foram retiradas nas zonas Z11, Z12 e Z13, de forma a caracterizar o perfilado. Os resultados dos testes mecânicos são fornecidos na tabela 9, abaixo:

Tabela 9: resultados dos testes mecânicos feitos nas zonas Z11, Z12 e Z13.

Zona	Sentido L			K _{1C} (MPa√m)	
	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A (%)	L-T	L-T'
Z11	606	585	6,1	45,9	31,5
Z12	554	503	9,9	47,7	33,5
Z13	554	443	15,8	64,0	49,7

- 5 O processo, de acordo com a invenção, permite conseguir compromissos de propriedades diferentes nas zonas Z11, Z12 e Z13. Assim, a zona Z11 é caracterizada por uma resistência mecânica elevada, em detrimento de um alongamento e de uma tenacidade limitados, enquanto que a zona Z13 se distingue por um alongamento e uma tenacidade importantes,
- 10 mas para uma resistência mecânica estática menor.

Exemplo 4:

Nesse exemplo, obteve-se uma chapa que tem propriedades variáveis no espaço de espessura 30 mm em liga AA2195.

- 15 Fabricou-se uma chapa de um comprimento de 30 metros, de uma largura de 2,5 metros e de uma espessura de 33 mm por laminação a quente de uma placa de laminação.

A composição da liga utilizada é dada na tabela 10 abaixo:

Tabela 10: composição da placa de laminação em liga AA2195 (% em massa)

Si	Fe	Cu	Li	Mg	Zr	Ag
0,03	0,06	4,3	1,17	0,39	0,12	0,35

- 20 A placa de laminação foi homogeneizada, depois laminada a quente. A chapa foi então colocada em solução a 510 °C e temperada.

Uma metade da zona (zona G) foi em seguida laminada a frio até a espessura de 30 mm, enquanto que a outra metade sofreu uma tração controlada em trava defasadas de 2,5% (zona H).

- 5 A chapa foi em seguida usinada, de forma a se obter uma espessura sensivelmente constante de 30 mm sobre o conjunto da chapa, depois sofreu uma tração controlada com um alongamento permanente de aproximadamente 1,5% no final da qual as extremidades da peça que se achavam sob a prisão das travas do banco de tração foram serradas.

- 10 As deformações feitas nas diferentes zonas são resumidas na tabela 11 abaixo:

Tabela 11: Taxa de martelamento e deformação generalizada nas zonas G e H

Zo-na	Taxa de martelamento por laminação	Taxa de martelamento por tração	Taxa de martelamento total	Deformação generalizada por laminação	Deformação generalizada por tração	Deformação generalizada total
G	10%	1,5%	11,3%	11%	1,5%	11,5%
H	0%	2,5+1,5%	4,0%	0%	2,5+1,5%	4,0%

Amostras foram retiradas nas zonas G e H, de forma a caracterizar a chapa obtida. Os resultados dos testes mecânicos são fornecidos na tabela 12, abaixo:

- 15 **Tabela 12: resultados dos testes mecânicos feitos nas zonas G e H**

Zona	Sentido L			K _{1c} (L-T) (MPa√m)
	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A%	
G	642	631	7,7	25,2
H	628	600	8,9	32,0

- 20 O processo, de acordo com a invenção, permite conseguir compromissos de propriedades diferentes nas zonas G e H. Assim, a zona G é caracterizada por uma resistência mecânica elevada, em detrimento de um alongamento e de uma tenacidade limitados, enquanto que a zona H se distingue por um alongamento e uma tenacidade mais consideráveis, mas para uma resistência mecânica estática menor.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de fabricação de um produto corroído em liga de alumínio compreendendo uma etapa de transformação a quente, caracterizado pelo fato de que posteriormente à transformação a quente, compreendendo também pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio, na qual se impõem em pelo menos duas zonas desse produto corroído deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2%, e preferencialmente diferentes de pelo menos 3%.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo pelo menos duas etapas de transformação por deformação plástica a frio posteriores à transformação a quente.

3. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 2, no qual a dita liga de alumínio é uma liga com tratamento térmico, o dito processo compreendendo, entre a transformação a quente e a primeira transformação por deformação plástica a frio, uma etapa de colocação em solução e uma etapa de têmpera.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 3, compreendendo uma etapa de revenido posterior à(s) etapa(s) de transformação por deformação plástica a frio.

5. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, no qual o dito produto corroído tem uma dimensão principal ou de comprimento na direção L e no qual pelo menos essas duas zonas ficam situadas em uma posição diferente da dita direção principal L.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 5, no qual o dito produto corroído tem uma seção final S_f no plano perpendicular à direção L e no qual essa seção S_f é sensivelmente constante em qualquer ponto desse produto corroído.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 6, no qual essas zonas têm uma seção S_z no plano perpendicular à direção L sensivelmente igual a S_f .

8. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 5 a 7, no qual pelo menos uma etapa de deformação plástica a frio é uma

tração controlada.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 8, no qual uma das extremidades na direção principal do produto intermediário sobre o qual é feita essa tração controlada ultrapassa significativamente travas do banco de tração, quando a dita etapa de tração controlada.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 5 a 7, no qual pelo menos uma etapa de deformação plástica a frio é uma compressão.

11. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 9, no qual esse produto corroído é um perfilado.

12. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 10, no qual esse produto corroído é uma chapa.

13. Processo, de acordo com a reivindicação 8, no qual a dita etapa de tração controlada é efetuada sobre um produto intermediário que tem uma seção variável no plano perpendicular à direção L.

14. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 5 a 7, no qual o dito produto corroído é uma chapa que tem uma dimensão principal ou de largura na direção I, e uma dimensão de espessura na direção ϵ , no qual pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio é feita por laminação a frio, de tal forma que a espessura da dita chapa é variável à entrada do laminador e sensivelmente constante à saída do laminador.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 14, no qual a variação de espessura da dita chapa é obtida durante a etapa de laminação a quente.

16. Processo, de acordo com a reivindicação 14, no qual a variação de espessura da dita chapa é obtida por usinagem de uma chapa de espessura constante oriunda da etapa de laminação a quente.

17. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 5 a 7, no qual o dito produto corroído é uma chapa que tem uma dimensão principal ou de comprimento na direção L, uma dimensão transversal ou de largura na direção I e uma dimensão de espessura na direção ϵ , e no

qual pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio é feita por laminação a frio, de tal modo que a espessura da dita chapa é sensivelmente constante à entrada do laminador e variável à saída do laminador e no qual uma etapa subsequente da usinagem que permite obter
5 uma espessura final sensivelmente constante em qualquer ponto.

18. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, no qual do dito produto corroído é uma chapa que tem uma dimensão principal ou de comprimento na direção L e uma dimensão transversal ou de largura na direção I e uma dimensão de espessura na direção e e no
10 qual pelo menos duas dessas zonas ficam situadas em uma posição diferente dessa direção transversal I .

19. Processo, de acordo com a reivindicação 18, no qual no final do conjunto das etapas de transformação a dita chapa tem uma espessura final e_f sensivelmente constante.

15 20. Processo, de acordo com a reivindicação 19, no qual a espessura e_z das ditas zonas na direção e é sensivelmente igual à espessura da dita chapa e_f .

21. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 19 e 20, no qual pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio é feita por laminação a frio, de tal modo que a espessura da dita chapa é variável à entrada do laminador e sensivelmente constante à
20 saída do laminador.

22. Processo, de acordo com a reivindicação 21, no qual a variação de espessura da dita chapa é obtida durante a etapa de laminação a quente.
25

23. Processo, de acordo com a reivindicação 21, no qual a variação de espessura da dita chapa é obtida por usinagem no final da etapa de laminação a quente.

24. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 18 a 20, no qual pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio é feita por laminação a frio, de tal forma que a espessura da dita chapa é sensivelmente constante à entrada do laminador e variável à
30

saída do laminador, e no qual uma etapa subsequente de usinagem permite obter uma espessura final sensivelmente constante em qualquer ponto.

25. Processo de fabricação de um elemento de estrutura multifuncional monolítico em liga de alumínio, compreendendo uma etapa de transformação a quente, caracterizado pelo fato de que, posteriormente à transformação a quente, compreende também pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio, na qual se impõe em pelo menos duas zonas do elemento de estrutura, deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2% e preferencialmente diferentes de pelo menos 3%.

26. Processo, de acordo com a reivindicação 25, compreendendo pelo menos duas etapas de transformação por deformação plástica a frio posteriores à transformação a quente.

27. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 25 ou 26, no qual a dita liga de alumínio é uma liga de tratamento térmico, o dito processo compreendendo entre a transformação a quente e a primeira transformação por deformação plástica a frio uma etapa de colocação em solução e uma etapa de têmpera.

28. Processo, de acordo com a reivindicação 27, compreendendo uma etapa de revenido posterior à(s) dita(s) etapa(s) de transformação por deformação plástica a frio.

29. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 25 a 28, no qual o dito elemento tem uma dimensão principal ou de comprimento na direção L e no qual pelo menos os ditos duas zonas ficam situadas em uma posição diferente da dita direção principal L.

30. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 25 a 29, compreendendo:

a) a fabricação de um produto corroído pelo processo, como definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 24,

b) opcionalmente a serragem, a usinagem e/ou a enformação do produto corroído obtido.

31. Produto corroído em liga 2XXX no estado T3X capaz de ser

obtido pelo processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 24, caracterizado pelo fato de que pelo menos as ditas duas zonas Z1 e Z2 possuem propriedades mecânicas selecionadas no grupo formado de:

- (I) Z1: $R_m(L) > 500 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 520 \text{ MPa}$
 5 e Z2: $A(L)(\%) > 16\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 18\%$
- (II) Z1: $R_m(L) > 450 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 470 \text{ MPa}$
 e Z2: $A(L)(\%) > 18\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 20\%$
- (III) Z1: $R_m(L) > 550 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 590 \text{ MPa}$
 e Z2: $A(L)(\%) > 10\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 14\%$
- 10 (IV) Z1: $R_m(L) > 550 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 590 \text{ MPa}$
 e Z2: $K_{1C}(L-T) > 45 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente $K_{1C}(L-T) > 55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

32. Produtos corroído em liga 2XXX no estado T3X, capaz de ser obtido pelo processo, como definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 24, caracterizados pelo fato de que pelo menos duas zonas Z1 e Z2
 15 possuem propriedades mecânicas nas quais:

- (I) $R_{p0,2}$, medido no sentido L ou no sentido LT apresenta um desvio $R_{p0,2}(Z1)$ -
 $R_{p0,2}(Z2)$ de pelo menos 50 MPa e preferencialmente de pelo menos 70 MPa e/ou
- 20 (II) R_m , medido no sentido L ou no sentido LT apresenta um desvio $R_m(Z1) - R_m(Z2)$ de pelo menos 20 Mpa e preferencialmente de pelo menos 30 MPa e/ou
- (III) K_{1C} , medido no sentido L-T apresenta um desvio $K_{1C}(Z1) - K_{1C}(Z2)$ de pelo menos 5 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$
 25 e preferencialmente de pelo menos 15 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$.

33. Produto corroído em liga 2XXX, contendo lítio no estado T8X, capaz de ser obtido pelo processo, como definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 24, caracterizado pelo fato de que pelo menos duas zonas Z1 e Z2, possuem propriedades mecânicas selecionadas no grupo
 30 formado de:

- (I) Z1: $R_m(L) > 630 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$
 e Z2: $A(L)(\%) > 8\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 9\%$

(II) Z1: $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 650 \text{ MPa}$
e Z2: $A(L)(\%) > 7\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 8\%$

(III) Z1: $R_m(L) > 630 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$
e Z2: $K_{1C}(L-T) > 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente $K_{1C}(L-T) > 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

5 34. Elemento de estrutura em liga 2XXX no estado T3X, capaz
de ser obtido pelo processo, como definido em qualquer uma das reivindica-
ções de 25 a 30, caracterizado pelo fato de que pelo menos duas zonas Z1 e
Z2 possuem propriedades mecânicas selecionadas no grupo formado de:

(I) Z1: $R_m(L) > 500 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 520 \text{ MPa}$
10 e Z2: $A(L)(\%) > 16\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 18\%$

(II) Z1: $R_m(L) > 450 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 470 \text{ MPa}$
e Z2: $A(L)(\%) > 18\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 20\%$

(III) Z1: $R_m(L) > 550 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 590 \text{ MPa}$
e Z2: $A(L)(\%) > 10\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 14\%$

15 (IV) Z1: $R_m(L) > 550 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 590 \text{ MPa}$
e Z2: $K_{1C}(L-T) > 45 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente $K_{1C}(L-T) > 55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$.

35. Elemento de estrutura em liga 2XXX no estado T3Xm, capaz
de ser obtido pelo processo, como definido em qualquer uma das reivindica-
ções de 25 a 30, caracterizado pelo fato de que pelo menos duas zonas Z1 e
20 Z2 possuem propriedades mecânicas, nas quais:

(I) $R_{p0,2}$, medido no sentido L ou no sentido LT apresenta um
desvio $R_{p0,2}(Z1) - R_{p0,2}(Z2)$ de pelo menos 50 MPa e preferencialmente de
pelo menos 70 MPa e/ou

(II) R_m , medido no sentido L ou no sentido LT um desvio $R_m(Z1) -$
25 $R_m(Z2)$ de pelo menos 20 MPa e preferencialmente de pelo menos 30 MPa
e/ou

(III) K_{1C} , medido no sentido L-T apresenta um desvio $K_{1C}(Z1) -$
 $K_{1C}(Z2)$ de pelo menos 5 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente de pelo menos 15
 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$.

30 36. Elemento de estrutura em liga 2XXX, contendo lítio no esta-
do T8X, capaz de ser obtido pelo processo, como definido em qualquer uma
das reivindicações de 25 a 30, caracterizado pelo fato de que pelo menos

duas zonas Z1 e Z2, possuem propriedades mecânicas selecionadas no grupo formado de:

(I) Z1: $R_m(L) > 630 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$
e Z2: $A(L)(\%) > 8\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 9\%$

5 (II) Z1: $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 650 \text{ MPa}$
e Z2: $A(L)(\%) > 7\%$ e preferencialmente $A(L)(\%) > 8\%$

(III) Z1: $R_m(L) > 630 \text{ MPa}$ e preferencialmente $R_m(L) > 640 \text{ MPa}$ e
Z2: $K_{1C}(L-T) > 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ e preferencialmente $K_{1C}(L-T) > 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

FIG. 1

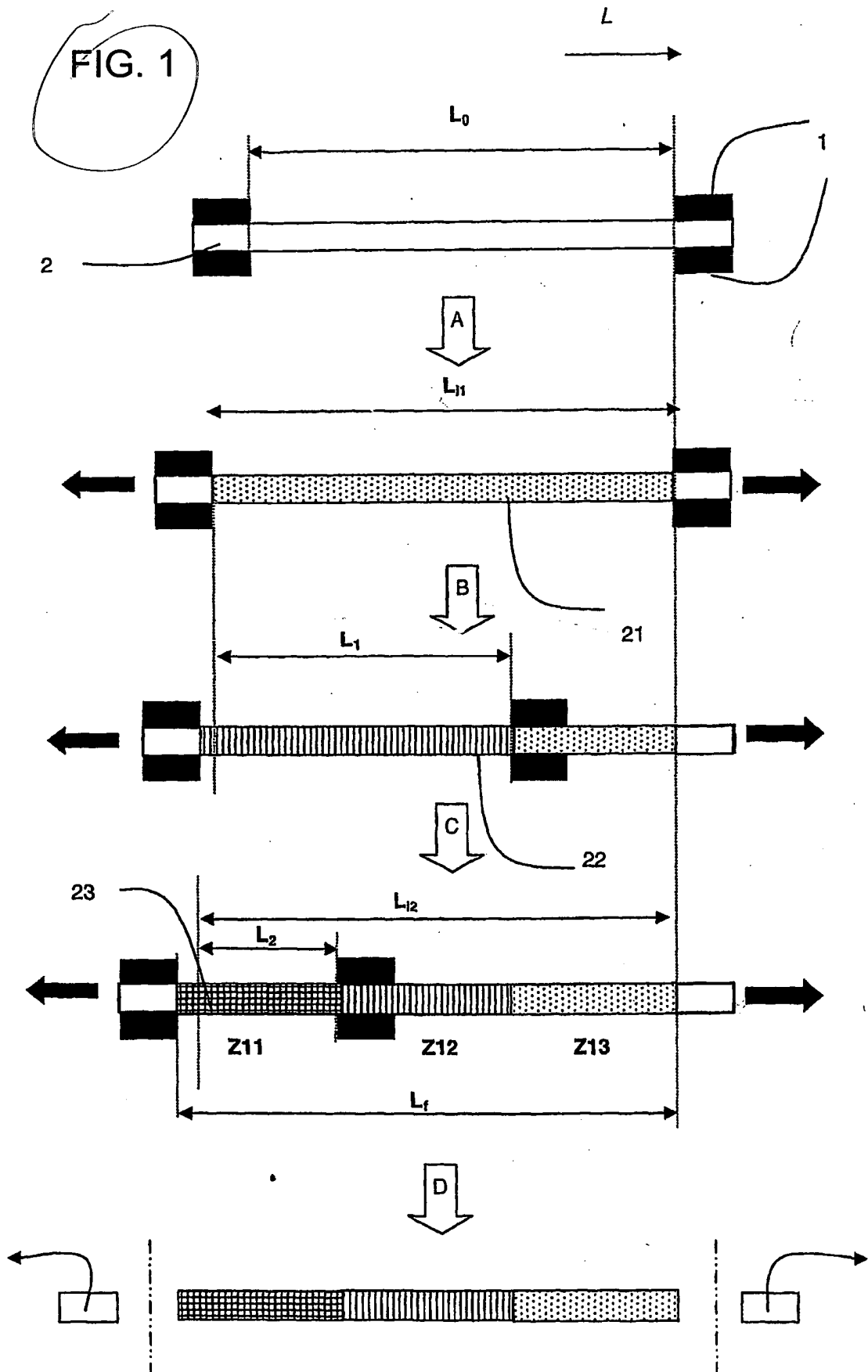


FIG. 2

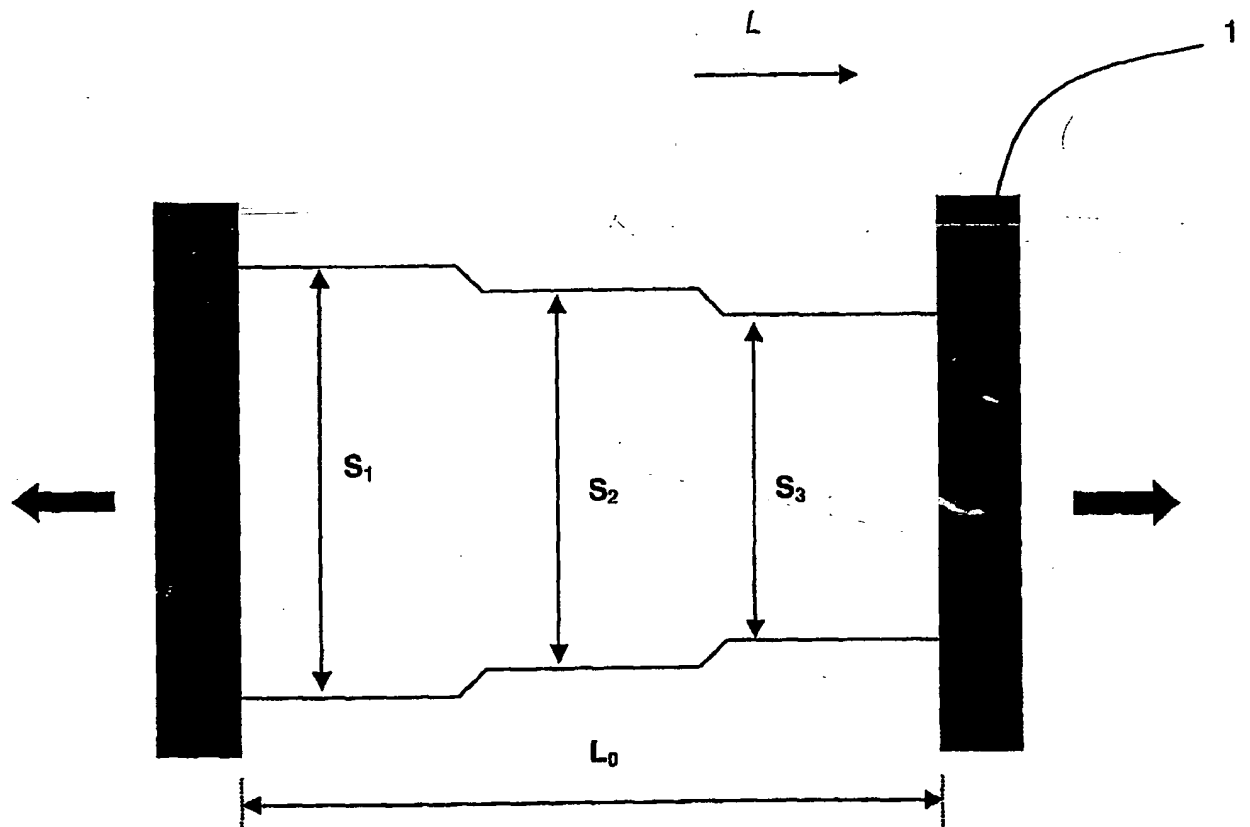


FIG. 3

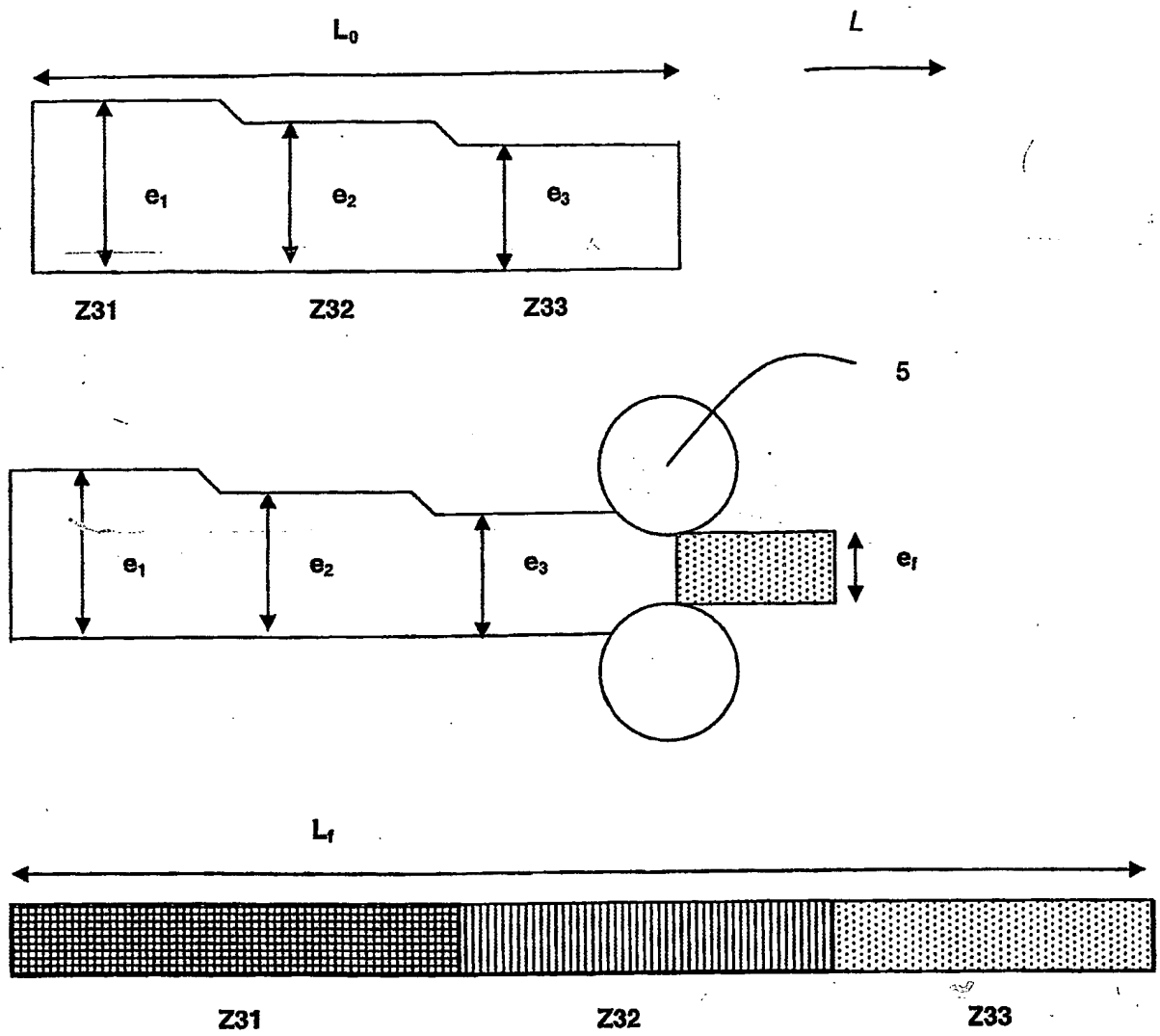


FIG. 4

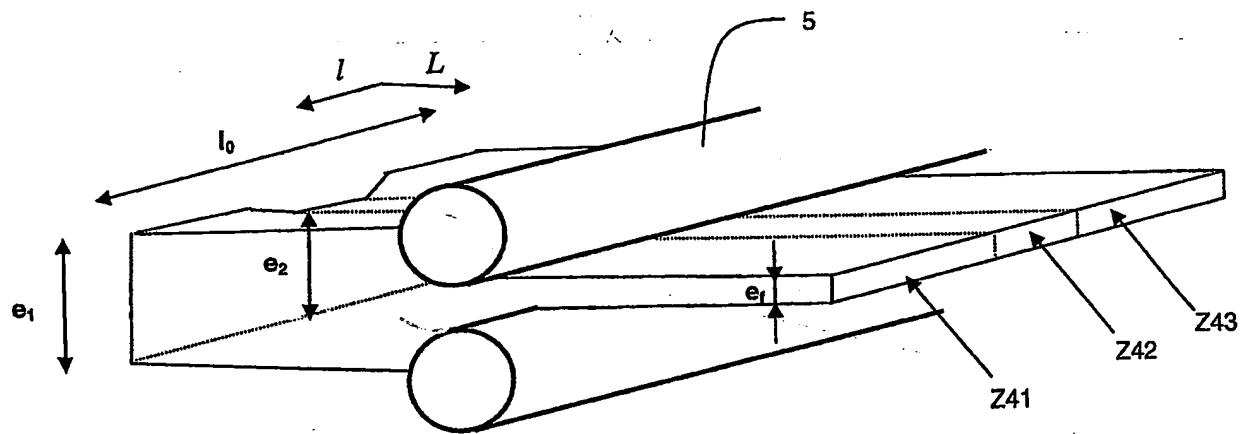
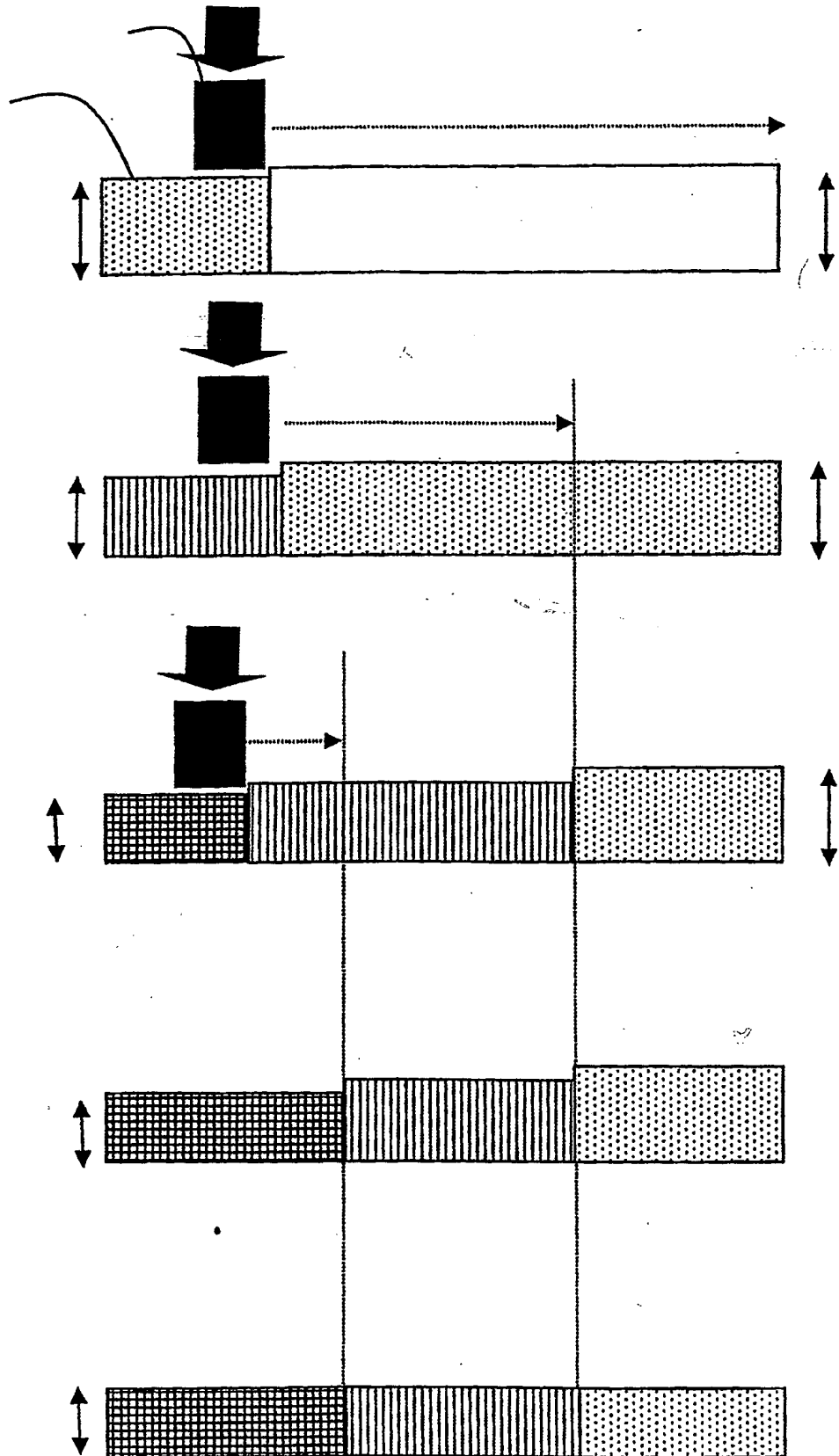


FIG. 5



RESUMO

Patente de Invenção: "PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ELEMENTO DE ESTRUTURA PARA CONSTRUÇÃO AERONÁUTICA, COMPREENDENDO MARTELAGEM A FRIO DIFERENCIAL".

5 A presente invenção refere-se a um processo de fabricação de um produto corroído ou de um elemento de estrutura multifuncional monolítica em liga de alumínio compreendendo uma etapa de transformação a quente, caracterizado pelo fato de que, posteriormente à transformação a quente, compreende também pelo menos uma etapa de transformação por deformação plástica a frio, na qual se impõem em pelo menos duas zonas desse elemento de estrutura de deformações plásticas generalizadas medianas diferentes de pelo menos 2%, e preferencialmente, diferentes de pelo menos 3%. A invenção permite a fabricação de elementos de estrutura notadamente úteis para a construção aeronáutica, apresentando propriedades de emprego variáveis no espaço, apresentando características geométricas idênticas àsquelas dos elementos atuais. O processo, de acordo com a invenção, é econômico e controlável, e permite notadamente fazer variar propriedades de emprego para peças que não sofrem revenido.