



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

(21) **PI 0715458-5 A2**

(22) Data de Depósito: 06/07/2007
(43) Data da Publicação: 05/03/2013
(RPI 2200)



(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/04
C21D 8/02
C23C 30/00

(54) Título: PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO AUSTENÍTICO DE FERRO-CARBONO-MANGANÊS COM EXCELENTE RESISTÊNCIA ÀS FRATURAS RETARDADAS, E A CHAPA ASSIM PRODUZIDA

(30) Prioridade Unionista: 11/07/2006 EP 06 291 136.7

(73) Titular(es): Arcelormittal France

(72) Inventor(es): Christian Allely, Colin Scott, Philippe Cugy

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

(86) Pedido Internacional: PCT IB2007001866 de 06/07/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/007192de
17/01/2008

(57) Resumo: PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO AUSTENÍTICO DE FERRO-CARBONO-MANGANÊS COM EXCELENTE RESISTÊNCIA ÀS FRATURAS RETARDADAS, E A CHAPA ASSIM PRODUZIDA. A presente invenção refere-se a uma chapa de aço austenítico excelente em resistência à fratura retardada, a composição do dito aço compreendendo, em peso : $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq Mn \leq 26\%$, $Si \leq 3\%$, $Al \leq 0,050\%$, $S \leq 0,030\%$, $P \leq 0,080\%$, $N \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050\% \leq V \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Ti \leq 0,050\%$, $0,070\% \leq Nb \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq Mo \leq 2\%$, $0,070\% \leq Cr \leq 2\%$ e, opcionalmente, um ou vários elementos escolhidos entre: $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$, $Ni \leq 2\%$, $Cu \leq 5\%$, o restante sendo de ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação, inclusive hidrogênio, a quantidade Xp do dito pelo menos um elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos sendo, em peso: $0,030\% < Vp < 0,40\%$, $0,030\% < Tip < 0,50\%$, $0,040\% < Nbp < 0,40\%$, $0,14\% < Mop < 0,44\%$, $0,070\% < Crp < 0,6\%$, o teor de hidrogênio Hmax designando o teor máximo de hidrogênio que pode ser medido a partir de uma série de pelo menos cinco espécimes, bem como a quantidade Xp, em peso, sendo tal que $\frac{1000 \cdot H_{max}}{X_p} \leq 3,3$.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO AUSTENÍTICO DE FERRO-CARBONO-MANGANÊS COM EXCELENTE RESISTÊNCIA ÀS FRATURAS RETARDADAS, E A CHAPA ASSIM PRODUZIDA**".

5 A presente invenção refere-se à produção de chapas laminadas a quente e laminadas a frio a partir de aços austeníticos de ferro-carbono-manganês tendo propriedades mecânicas muito altas, e especialmente uma alta resistência mecânica combinada com excelente resistência à fratura retardada.

10 Em vista da economia de combustível e da segurança no caso de colisões, aços de alta resistência estão sendo mais e mais usados na indústria automobilística. Isto requer o uso de materiais estruturais que combinem uma alta resistência com alta ductilidade. Para atingir esses requisitos, a patente FR 2 829 775 descreve, por exemplo, ligas austeníticas tendo
15 como elementos principais ferro, carbono (até 2%), e manganês (entre 10 e 40%) que podem ser laminadas a quente ou laminadas a frio e têm uma resistência que pode exceder 1200 MPa. O modo de deformação desses aços depende da energia de falha limitativa: para uma energia de falha limitativa suficientemente alta, o modo observado de deformação mecânica é a gemi-
20 nação, o que resulta em um alto trabalho de capacidade de endurecimento. Agindo como um obstáculo para a propagação de deslocamentos, as barreiras duplas aumentam o estresse do fluxo. Entretanto, quando a energia de falha limitativa excede um certo limite, o deslizamento de deslocamentos perfeitos torna-se o principal mecanismo de deformação e o trabalho de en-
25 durecimento é reduzido. A patente dita acima descreve aços Fe-C-Mn cuja energia de falha limitativa é tal que um alto trabalho de endurecimento é observado combinado com uma resistência mecânica muito alta.

 Além disso, é sabido que a sensibilidade às fraturas retardadas aumenta com a resistência mecânica, em particular após certas operações
30 de conformação a frio uma vez que altos estresses de tensão residual são capazes de permanecer após a deformação. Em combinação com o hidrogênio atômico possivelmente presente no metal, esses estresses são capa-

zes de resultar em fraturas retardadas, quer dizer, fraturas que ocorrem um certo tempo após a própria deformação. O hidrogênio pode progressivamente desenvolver para defeitos de retículo cristalino, tais como interfaces matriz/inclusões, limites das barreiras e limites dos grãos. É nessas últimas áreas que o hidrogênio pode tornar-se prejudicial quando ele atinge uma concentração crítica após certo tempo. Para um tamanho constante de grão, o tempo necessário para atingir um nível crítico depende da concentração inicial do hidrogênio variável, da intensidade do campo de concentração do estresse residual e da cinética da difusão do hidrogênio.

5
10 Em circunstâncias particulares, pequenas quantidades de hidrogênio podem ser introduzidas em algumas etapas da fabricação do aço tais como decapagem química ou eletroquímica, recozimento sob atmosferas especiais, eletro galvanização ou galvanização por imersão a quente, ou durante a Deposição de Plasma a Vácuo (PVD). Operações de usinagem subsequentes usando óleos lubrificantes e graxas podem também ser uma causa da produção de hidrogênio após a decomposição dessas substâncias a altas temperaturas.

15
20 Por exemplo, fraturas retardadas podem ser encontradas na fabricação de parafusos feitos de aços de médio carbono, que incluem uma etapa de forjamento a frio.

A Patente US 6.261.388 descreve aços de forjamento a frio para a fabricação de arames e barras para parafusos, engrenagens ou eixos. Os principais elementos da composição são: C: 0,1 a 0,4%, Mn: 0,3 a 1%, Si: < 0,15%, Cr: 0,5 a 1,2%, B: 0,0003 a 0,005%, Ti: 0,020 a 0,100% e a matriz contém carbonitreto finos de Ti ou Nb para limitar o embrutecimento dos grãos. Uma boa resistência às fraturas retardadas de aços com um limite final de resistência à tração (UTS) de 1000-1400 MPa é obtida formando-se uma densa escala enriquecida em Cr, aumentando assim a resistência à corrosão e reduzindo assim a quantidade de hidrogênio produzida no processo de corrosão. A redução do enxofre e do fósforo foram também descobertas como soluções para aumentar a resistência às fraturas retardadas. Entretanto, essas soluções se direcionam a aços resfriados e temperados

25
30

cuja microestrutura difere totalmente dos aços totalmente austeníticos que serão considerados aqui.

Além disso, é sabido que, de acordo com o nível de resistência do aço, tratamentos de recozimento podem ser executados para reduzir a sensibilidade a fraturas retardadas: na norma ISO 2081-1986 relativa a depósitos eletrolíticos no ferro e no aço define tratamentos de recozimento em aços martensíticos de alta resistência para parafusos: temperatura de recozimento θ e tempo de manutenção t aumentam com a resistência do aço. Para os aços mais resistentes, são recomendados tratamentos de recozimento com $\theta = 150-220^{\circ}\text{C}$, $t = 24\text{h}$, provocando a difusão do hidrogênio.

Entretanto, o documento indica que esses tratamentos não são aplicáveis a revestimentos aplicados a chapas ou a tiras na forma não-elaborada. Além disso, esses tratamentos se direcionam a aços martensíticos de médio carbono com baixa ductilidade e não às ligas austeníticas Fe-C-Mn ditas acima, cujas composições são totalmente diferentes. É também sabido que o coeficiente de difusão do hidrogênio é muito diferente na austenita quando comparado com a martensita.

Assim, há uma necessidade de se ter chapas ou tiras de aço laminadas a quente ou a frio para a fabricação de peças com resistência e ductilidade muito altas combinado com uma excelente resistência às fraturas retardadas. As chapas de aço não devem ser revestidas ou devem ser revestidas de zinco. Essa alta resistência às fraturas retardadas deve ser obtida mesmo no caso quando estresses residuais de alta tensão estão presentes em peças conformadas a frio.

Há também uma necessidade de fornecer um processo simples para aumentar a resistência às fraturas retardadas sem reduzir outras propriedades tais como tenacidade.

O objetivo da invenção é, portanto, fornecer uma chapa ou tira de aço laminada a quente ou laminada a frio que tenha um limite final de resistência à tração maior que 900 MPa, um alongamento na fratura maior que 50%, que é particularmente adequado para conformação a frio e tenha uma resistência muito alta a fraturas retardadas em qualquer estágio da fa-

bricação ou do uso.

O objetivo da invenção é também fornecer um produto revestido cuja resistência às fraturas retardadas possa ser avaliada com observações metalográficas simples.

5 Para esse propósito, um objetivo da invenção é uma chapa ou tira de aço austenítico, cuja composição química compreende, os teores sendo expressos em peso, $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq Mn \leq 26\%$, $Si \leq 3\%$, $Al \leq 0,050\%$, $S \leq 0,030\%$, $P \leq 0,080\%$, $N \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050$
 10 $\leq V \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Ti \leq 0,50\%$, $0,070\% \leq Nb \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq Mo \leq 2\%$, $0,070\% \leq Cr \leq 2\%$, e opcionalmente, um ou vários elementos escolhidos entre: $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$, $Ni \leq 2\%$, $Cu \leq 5\%$, o restante consistindo de ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fundição, inclusive hidrogênio, a quantidade X_p do elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou
 15 carbonitretos sendo, em peso: $0,030\% \leq V_p \leq 0,40\%$, $0,030\% \leq Ti_p \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Nb_p \leq 0,40\%$, $0,14\% \leq Mo_p \leq 0,44\%$, $0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$, o teor de hidrogênio H_{max} e a quantidade X_p , em peso, sendo tal que $\frac{1000H_{max}}{X_p} \leq$

3,3. Nessa última razão, os teores de H_{max} e X_p são expressos nas mesmas unidades de peso.

20 Preferivelmente o teor de hidrogênio H_{max} e a quantidade X_p são tais que $\frac{1000H_{max}}{X_p} \leq 2,5$.

De acordo com uma configuração preferida, a chapa ou a tira de aço é fabricada com um revestimento de zinco ou de liga de zinco-Y, em que o elemento Y é um ou mais entre Ni, Cr, Mg, mas não Fe ou Mn.

25 Um outro objetivo da invenção é uma chapa de aço revestida, compreendendo um aço-base tendo um revestimento de zinco ou de liga de zinco-Y no dito aço-base, onde o elemento Y é um ou mais entre Ni, Cr, Mg, mas não Fe ou Mn, a composição do aço-base compreendendo, em peso: $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq Mn \leq 26\%$, $Si \leq 3\%$, $Al \leq 0,050\%$, $S \leq 0,030\%$, P
 30 $\leq 0,080\%$, $N \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050\% \leq V \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Ti$

$\leq 0,50\%$, $0,070\% \leq \text{Nb} \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq \text{Mo} \leq 2\%$, $0,070\% \leq \text{Cr} \leq 2\%$, e op-
 cionalmente, um ou vários elementos escolhidos entre: $0,0005\% \leq \text{B} \leq$
 $0,010\%$, $\text{Ni} \leq 2\%$, $\text{Cu} \leq 5\%$, o restante consistindo em ferro e as inevitáveis
 5 impurezas inerentes à fundição, a quantidade X_p do elemento metálico sob a
 forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos sendo, em peso: $0,030\% \leq V_p$
 $\leq 0,40\%$, $0,030\% \leq \text{Ti}_p \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq \text{Nb}_p \leq 0,40\%$, $0,14\% \leq \text{Mo}_p \leq$
 $0,44\%$, $0,070\% \leq \text{Cr}_p \leq 0,6\%$, a espessura do revestimento sendo menor ou
 10 igual a 50 micrometros, o revestimento compreendendo em sua interface
 com o dito material base, uma camada ligada de zinco rica de ferro e man-
 ganês, a espessura da camada ligada sendo maior que ou igual a 1 micro-
 metro.

Preferivelmente, a espessura da camada ligada é maior que ou igual a 4 micrometros.

De acordo com uma modalidade preferida, a espessura da ca-
 15 mada ligada é maior que ou igual a 7 micromeros.

Preferivelmente, a chapa compreendendo um aço-base com um revestimento de zinco ou de zinco-Y no aço-base, compreendendo uma ca-
 mada de revestimento metálico agindo como uma barreira de hidrogênio en-
 tre o aço e o revestimento de zinco ou de zinco-Y.

20 A camada de metal ou de revestimento metálico é preferivelmen-
 te escolhida entre Sn, Ni, Ti, Cu, W ou Al, ou ligas baseadas nesses metais
 ditos.

De acordo com uma configuração preferida, a camada de reves-
 timento metálico tem uma espessura entre 0,1 e 1 micrometro.

25 Preferivelmente, a composição do aço compreende em peso:
 $0,35\% \leq \text{C} \leq 0,50\%$.

De acordo com uma outra configuração preferida, a composição
 do aço compreende: $0,50\% \leq \text{C} \leq 0,70\%$.

Preferivelmente a composição do aço compreende em peso:
 30 $0,70 \leq \text{C} \leq 1,05\%$.

De acordo com uma configuração preferida, a composição do
 aço compreende: $17\% \leq \text{Mn} \leq 24\%$.

Preferivelmente a composição do aço compreende em peso:
 $16\% \leq \text{Mn} \leq 19\%$.

Vantajosamente a composição do aço compreende $0,070\% \leq \text{V} \leq 0,40\%$, a quantidade de vanádio V_p sob a forma de carbonetos, nitretos, carbonitretos precipitados, sendo $0,070\% \leq V_p \leq 0,140\%$.

Preferivelmente, a composição do aço compreende $0,060\% \leq \text{Ti} \leq 0,40\%$, a quantidade de titânio Ti_p sob a forma de carbonetos, nitretos, carbonitretos precipitados, sendo: $0,060\% \leq Ti_p \leq 0,110\%$.

De acordo com uma configuração preferida, a composição do aço compreende $0,090\% \leq \text{Nb} \leq 0,40\%$, a quantidade de nióbio sob a forma de carbonetos, nitretos, carbonitretos precipitados, sendo: $0,090\% \leq Nb_p \leq 0,200\%$.

Preferivelmente, a composição do aço compreende $0,20\% \leq \text{Mo} \leq 1,8\%$, a quantidade de molibdênio Mo_p sob a forma de carbonetos, nitretos, carbonitretos precipitados, sendo: $0,20\% \leq Mo_p \leq 0,35\%$.

Preferivelmente, o tamanho médio \bar{d} dos ditos carbonetos, nitretos, carbonitretos, está compreendido entre 7 e 20 nanômetros.

Vantajosamente, pelo menos 75% da população dos ditos carbonetos, nitretos, carbonitretos, estão localizados na posição intragranular.

Um outro objetivo da invenção é um processo de fabricação de uma chapa de aço que ofereça excelente resistência à fratura retardada, compreendendo as etapas de fornecimento de um aço com composição compreendendo, em peso: $0,35 \leq \text{C} \leq 1,05\%$, $15\% \leq \text{Mn} \leq 26\%$, $\text{Si} \leq 3\%$, $\text{Al} \leq 0,050\%$, $\text{S} \leq 0,030\%$, $\text{P} \leq 0,080\%$, $\text{N} \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050\% \leq \text{V} \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq \text{Ti} \leq 0,50\%$, $0,070\% \leq \text{Nb} \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq \text{Mo} \leq 2\%$, $0,070\% \leq \text{Cr} \leq 2\%$, e opcionalmente um ou vários elementos escolhidos entre $0,0005\% \leq \text{B} \leq 0,010\%$, $\text{Ni} \leq 2\%$, $\text{Cu} \leq 5\%$, o remanescente sendo ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação, entre as quais o hidrogênio,

- lingotar o aço na forma de um semiproduto, reaquecer o semiproduto, executar a laminação a quente do semiproduto até uma temperatura final de laminação para se obter uma chapa, bobinar a chapa, opcional-

mente efetuar a laminação a frio e o recozimento, a temperatura de reaquecimento, a temperatura final de laminação, a temperatura de bobinamento, a temperatura de recozimento sendo escolhidas para obter a quantidade X_p a seguir do elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos: $0,030\% \leq V_p \leq 0,40\%$, $0,030\% \leq Ti_p \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Nb_p \leq 0,40\%$, $0,14\% \leq Mo_p \leq 0,44\%$, $0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$.

- executar pelo menos um tratamento de enxágue onde a chapa é enxaguada a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C durante um tempo t de pelo menos 15 s de forma que o teor de hidrogênio H_{max} após o enxágue, H_{max} designando o teor máximo de hidrogênio que pode ser medido em uma série de pelo menos cinco espécimes, e a quantidade X_p em peso satisfaçam: $\frac{1000H_{max}}{X_p} < 3,3$

Preferivelmente, a temperatura θ e o tempo t são escolhidos de forma que $\frac{1000H_{max}}{X_p} < 2,5$

Preferivelmente o semiproduto é tratado termicamente a uma temperatura entre 900 e 1000°C por um tempo compreendido entre 5 e 20 dias.

Um outro objetivo da invenção é um processo de fabricação de uma chapa de aço oferecendo uma excelente resistência à fratura retardada, compreendendo as etapas de fornecimento de uma chapa de aço não-revestida, em que a composição compreende, em peso: $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq Mn \leq 26\%$, $Si \leq 3\%$, $Al \leq 0,050\%$, $S \leq 0,030\%$, $P \leq 0,080\%$, $N \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050 \leq V \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Ti \leq 0,50\%$, $0,070\% \leq Nb \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq Mo \leq 2\%$, $0,070\% \leq Cr \leq 2\%$, e opcionalmente um ou vários elementos escolhidos entre $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$, $Ni \leq 2\%$, $Cu \leq 5\%$, o remanescente consistindo em ferro e nas inevitáveis impurezas inerentes à fundição, a quantidade X_p do elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos sendo, em peso: $0,030\% \leq V_p \leq 0,40\%$, $0,030\% \leq Ti_p \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Nb_p \leq 0,40\%$, $0,14\% \leq Mo_p \leq 0,44\%$, $0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$.

- enxaguar a dita chapa sob uma atmosfera de nitrogênio ou argônio puro com um ponto de condensação menor que -30°C a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C .

Um outro objeto da invenção é um processo de fabricação de uma tira ou chapa de aço revestida oferecendo excelente resistência às fraturas retardadas, compreendendo as etapas de:

- fornecer uma tira ou chapa de aço revestida de Zn ou de uma liga Zn-Y, onde o elemento Y é um ou mais entre Ni, Cr, Mg, mas não Fe ou Mn, a composição do aço compreendendo, em peso: $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq \text{Mn} \leq 26\%$, $\text{Si} \leq 3\%$, $\text{Al} \leq 0,050\%$, $\text{S} \leq 0,030\%$, $\text{P} \leq 0,080\%$, $\text{N} \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050\% \leq \text{V} \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq \text{Ti} \leq 0,50\%$, $0,070\% \leq \text{Nb} \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq \text{Mo} \leq 2\%$, $0,070\% \leq \text{Cr} \leq 2\%$, e opcionalmente um ou vários elementos escolhidos entre: $0,0005\% \leq \text{B} \leq 0,010\%$, $\text{Ni} \leq 2\%$, $\text{Cu} \leq 5\%$, o remanescente consistindo em ferro e nas inevitáveis impurezas inerentes à fundição, a quantidade X_p de elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos sendo, em peso: $0,030\% \leq \text{V}_p \leq 0,40\%$, $0,030\% \leq \text{Ti}_p \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq \text{Nb}_p \leq 0,40\%$, $0,14\% \leq \text{Mo}_p \leq 0,44\%$, $0,070\% \leq \text{Cr}_p \leq 0,6\%$

- enxaguar a tira ou a chapa sob uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de condensação menor que -30°C a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C durante um tempo t , a temperatura e o tempo satisfazendo: $\theta (^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2200$.

A invenção tem também como objetivo um processo de fabricação de uma chapa de aço revestida laminada a quente oferecendo excelente resistência à fratura retardada, compreendendo as etapas de:

- fornecer uma composição de aço compreendendo, em peso: $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq \text{Mn} \leq 26\%$, $\text{Si} \leq 3\%$, $\text{Al} \leq 0,050\%$, $\text{S} \leq 0,030\%$, $\text{P} \leq 0,080\%$, $\text{N} \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050\% \leq \text{V} \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq \text{Ti} \leq 0,50\%$, $0,070\% \leq \text{Nb} \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq \text{Mo} \leq 2\%$, $0,070\% \leq \text{Cr} \leq 2\%$ e opcionalmente um ou vários elementos escolhidos entre $0,0005\% \leq \text{B} \leq$

0,010%, Ni ≤ 2%, Cu ≤ 5%, o remanescente sendo ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação

- lingotar o semiproduto da dita composição de aço
 - aquecer o dito semiproduto até uma temperatura entre 1100 e 1300°C
 - laminar a quente a semiproduto com uma temperatura final de laminação de 890°C ou maior para se obter uma chapa
 - bobinar a dita chapa a uma temperatura abaixo de 580°C
 - revestir a dita chapa com um revestimento de zinco ou de uma liga de Zn-Y
 - executar pelo menos um tratamento de enxágue na dita chapa revestida, o dito enxágue sendo executado sob uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de condensação menor que -30°C, a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C durante um tempo t , os ditos temperatura e tempo satisfazendo $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2200$
- A invenção tem também por objetivo um processo de fabricação de uma chapa de aço revestida laminada a frio oferecendo excelente resistência às fraturas retardadas, compreendendo as etapas de:
- fornecer uma composição de aço conforme exposta acima
 - lingotar um semiproduto a partir da dita composição de aço
 - aquecer o dito semiproduto até uma temperatura entre 1100 e 1300°C
 - laminar a quente a semiproduto com uma temperatura final de laminação de 800°C ou maior para se obter uma chapa
 - bobinar a dita chapa a uma temperatura abaixo de 580°C
 - executar pelo menos uma laminação a frio na dita chapa
 - executar pelo menos um tratamento de recozimento na dita chapa, o dito tratamento compreendendo uma taxa de aquecimento V_h entre 2 e 10°C/s, a uma temperatura T_s entre 700 e 870°C por um tempo entre 30 e 180 s e uma taxa de resfriamento entre 10 e 50°C/s.
 - revestir a dita chapa com um revestimento de Zn ou de Zn-Y
 - executar pelo menos um tratamento de enxágue na dita chapa

revestida, o dito enxágue sendo executado sob uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de condensação menor que -30°C , a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C durante um tempo t , os ditos temperatura e tempo satisfazendo $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2200$

5 Preferivelmente o tempo e a temperatura satisfazem:
 $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2450$.

Vantajosamente, o tempo e a temperatura satisfazem:
 $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2750$.

10 A temperatura de enxágue θ está preferivelmente abaixo da temperatura de recristalização.

Preferivelmente, o enxágue é executado por recozimento contínuo.

De acordo com uma configuração preferida, o enxágue é executado por recozimento em caixa.

15 Preferivelmente, o tratamento de enxágue é executado por recozimento de bobina aberta.

De acordo com uma outra configuração preferida, o enxágue é executado por aquecimento por indução.

20 Preferivelmente o aquecimento é executado com campo eletromagnético transversal.

A invenção tem também por objetivo um processo de fabricação conforme as etapas acima, caracterizado pelo fato de que a chapa de aço é conformada a frio para se obter uma peça, e o enxágue é executado antes ou após a conformação a frio da peça.

25 A invenção tem também por objetivo o uso de uma chapa de aço austenítico conforme a descrição acima, ou fabricada por um processo conforme a descrição acima, para a fabricação de peças estruturais, elementos de reforço ou peças externas para a indústria automotiva.

30 Outras características e vantagens da invenção tornar-se-ão aparentes no decurso da descrição abaixo e nas figuras anexadas que são dadas como forma de exemplo.

- A figura 1 ilustra uma chapa de aço revestida de zinco cujas

características de revestimento não correspondem à invenção.

- A figura 2 ilustra a divisão de alguns elementos: Fe, Mn, Zn, H no revestimento e no substrato de acordo com o caso da Figura 1.

5 - A figura 3 ilustra uma chapa de aço revestida com zinco cujas características de revestimento são conforme a invenção.

- A figura 4 ilustra a divisão de alguns elementos: Fe, Mn, Zn, H no revestimento e no substrato conforme o caso da figura 3.

10 Após numerosas tentativas, os inventores descobriram que os vários requisitos ditos acima podem ser alcançados observando-se as condições a seguir.

Em relação à composição química do aço, o carbono desempenha um papel importante na formação da microestrutura e nas propriedades mecânicas. Ele aumenta a energia de falha limitativa e promove a estabilidade da fase austenítica. Quando combinado com um teor de manganês variando de 15 a 26% em peso, a estabilidade é alcançada para um teor de carbono de 0,35% ou maior. Entretanto, para um teor de carbono acima de 1,05%, torna-se difícil evitar a precipitação excessiva de carbonetos durante certos tratamentos térmicos durante a produção industrial, o que degrada a ductilidade.

20 Preferivelmente o teor de carbono está entre 0,35 e 0,50% em peso de modo a se obter uma resistência satisfatória combinada com a precipitação suficiente de carbonetos ou carbonitretos.

Quando o teor de carbono for maior que 0,50% e menor que ou igual a 0,70%, o UTS é maior que 900 MPa e os carbonetos ou carbonitretos precipitam de forma ótima. Quando o teor de carbono for maior que 0,70% e menor que ou igual a 1,05%, a resistência é maior que 1050 MPa.

25 O manganês é também um elemento essencial para aumentar a resistência, para aumentar a energia de falha limitativa e para estabilizar a fase austenítica. Se seu teor for menor que 15%, há o risco da formação de martensita o que reduz grandemente a capacidade de deformação. Quando 30 o teor de manganês for maior que 26%, o UTS à temperatura ambiente é diminuído. Além disso, por razões de custo, é indesejável que o teor de

manganês seja alto.

Preferivelmente o teor de manganês está entre 17 e 24% de modo a otimizar a energia de falha limitativa e evitar a formação de martensita sob o efeito da deformação a frio. Além disso, quando o teor de manganês é maior que 24%, o modo de deformação por geminação é menos favorecido que o modo de deformação por deslocamento por deslizamento perfeito.

De acordo com outra configuração preferida, o teor de manganês está entre 16 e 19%: essa faixa é particularmente bem adequada quando o teor de carbono estiver compreendido entre 0,70 e 1,05% de C, uma vez que a energia de falha limitativa é a melhor.

O alumínio é um elemento particularmente eficaz para a desoxidação do aço. Como o carbono, ele aumenta a energia de falha limitativa. Entretanto, alumínio em excesso tem desvantagem nos aços que tenham um alto teor de manganês, uma vez que o manganês aumenta a solubilidade do nitrogênio no ferro líquido. Se uma quantidade excessivamente grande de alumínio estiver presente no aço, o nitrogênio que combina com alumínio se precipita na forma de nitretos de alumínio o que impede a migração dos limites dos grãos e aumenta apreciavelmente o risco de fraturas no lingotamento contínuo. Um teor de Al de 0,050% ou menos evita a precipitação de AlN.

Correspondentemente, o teor de nitrogênio deve ser 0,1% ou menos de modo a evitar essa precipitação e a formação de defeitos de volume (bolhas de gás) durante a solidificação. Em adição, o teor de nitrogênio não deve exceder 0,1% por medo de provocar precipitação bruta o que é ineficaz para a captura do hidrogênio.

O silício é também um elemento eficaz para desoxidação do aço e endurecimento da fase sólida. Entretanto, acima de 3% ele reduz o alongamento e tende a formar óxidos indesejáveis durante certos processos de montagem e deve, portanto, ser mantido abaixo desse limite.

O enxofre e o fósforo são impurezas que fragilizam os limites dos grãos. Seus respectivos teores não devem exceder 0,030 e 0,080% de modo a manter uma ductilidade a quente suficiente.

Opcionalmente o boro pode ser adicionado em uma quantidade

entre 0,0005 e 0,010%. Esse elemento segrega nos limites dos grãos austeníticos e aumenta sua coesão. Abaixo de 0,0005% esse efeito não é obtido. Acima de 0,010%, o boro se precipita na forma de carbonetos de boro e o efeito é saturado.

5 O níquel pode ser usado opcionalmente para aumentar a resistência do aço por endurecimento por solubilização. O níquel contribui para alcançar um alto alongamento na ruptura e para aumentar a tenacidade. Entretanto, é desejável, novamente por razões de custo, limitar o teor de níquel até um teor máximo de 2% ou menos.

10 Da mesma forma, opcionalmente, uma adição de cobre com um teor não excedendo 5% é um meio de endurecer o aço pela precipitação de cobre metálico. Entretanto, acima desse limite, o cobre é responsável pelo aparecimento de defeitos de superfície na chapa laminada a quente.

15 Elementos metálicos capazes de formarem precipitados, tais como vanádio, titânio, nióbio, cromo e molibdênio desempenham um papel importante dentro do contexto da invenção em conjunção com o teor de hidrogênio. Isto se dá porque a fratura retardada é provocada por uma concentração excessiva local de hidrogênio, em particular nos limites dos grãos austeníticos. Os inventores descobriram que certos tipos de precipitados, cuja natureza, quantidade, tamanho e distribuição são definidas com precisão na invenção, muito apreciavelmente reduzem a sensibilidade a fraturas retardadas e o fazem sem degradar as propriedades de ductilidade e tenacidade.

25 Os inventores demonstraram inicialmente que carbonetos, nitretos ou carbonitretos precipitados de vanádio, titânio ou nióbio são muito eficazes para capturar hidrogênio. Os carbonetos de cromo e molibdênio podem também desempenhar esse papel. À temperatura ambiente, o hidrogênio é, portanto, capturado irreversivelmente na interface entre esses precipitados e a matriz. Entretanto, é necessário, para garantir a captura do hidrogênio residual que possa ser encontrado sob certas condições industriais, que a quantidade de elementos metálicos na forma de precipitados seja igual ou esteja acima de um teor crítico, o qual depende da natureza dos

precipitados e do teor total máximo do hidrogênio. A quantidade de elementos metálicos na forma de carbonetos, nitretos e carbonitretos precipitados é denotada por V_p , Ti_p e Nb_p no caso de vanádio, titânio e nióbio respectivamente, e por Cr_p e Mo_p no caso de cromo e molibdênio na forma de carbonetos. Mais geralmente, esses elementos metálicos (V, Ti, Nb, Mo, Cr) são designados por "X" e a quantidade correspondente na forma de precipitados é designada por " X_p ".

A esse respeito, o aço contém um ou mais elementos metálicos X escolhidos entre

10 - vanádio, em uma quantidade entre 0,050 e 0,50% em peso, e com a quantidade de precipitado na forma V_p entre 0,030% e 0,40% em peso. Preferivelmente, o teor de vanádio está entre 0,070% e 0,40%, a quantidade V_p estando entre 0,070% e 0,140% em peso;

- titânio, em uma quantidade Ti entre 0,040 e 0,50% em peso, a
15 quantidade de Ti_p na forma de precipitado estando entre 0,030% e 0,50%. Preferivelmente, o teor de titânio está entre 0,060% e 0,40%, a quantidade de Ti_p estando entre 0,060% e 0,110% em peso;

- nióbio, em uma quantidade entre 0,070 e 0,50% em peso, a
quantidade Nb_p na forma precipitada estando entre 0,040 e 0,40%. Preferi-
20 velmente o teor de nióbio está entre 0,090% e 0,40%, a quantidade de Nb_p estando entre 0,090% e 0,200% em peso;

- cromo em uma quantidade entre 0,070% e 2% em peso, a
quantidade Cr_p na forma precipitada estando entre 0,070% e 0,6%; e

- molibdênio em uma quantidade entre 0,14% e 2% em peso, a
25 quantidade Mo_p na forma precipitada estando entre 0,14 e 0,44%.

Preferivelmente o teor de molibdênio está entre 0,20 e 1,8%, a
quantidade Mo_p estando entre 0,20 e 0,35%.

O valor mínimo expresso para esses vários elementos (por exemplo, 0,050% no caso do vanádio) corresponde a uma quantidade de adição necessitada para formar precipitados nos ciclos de produção a quente. Um teor mínimo preferido (por exemplo, 0,070% no caso do vanádio) é recomendado, de forma a se obter uma maior quantidade de precipitados.

O valor máximo expresso para esses vários elementos (por exemplo, 0,50% no caso do vanádio) corresponde à precipitação excessiva, ou precipitação em uma forma inadequada, degradando as propriedades mecânicas, ou a uma implementação antieconômica da invenção. Um teor máximo preferido (por exemplo, 0,40% no caso do vanádio) é recomendado, de modo a otimizar a adição do elemento.

O menor valor dos elementos metálicos na forma precipitada (por exemplo, 0,030% no caso do vanádio) corresponde à quantidade mínima de precipitação necessária para ser eficaz na redução da sensibilidade às fraturas retardadas. Uma quantidade mínima preferida (por exemplo, 0,070% no caso do vanádio) é recomendada, de modo a se obter uma resistência particularmente alta às fraturas retardadas.

O valor máximo de elementos metálicos na forma de precipitados (por exemplo, 0,40% no caso do vanádio) marca a deterioração na ductilidade ou na tenacidade, a fratura sendo iniciada nos precipitados. Além disso, acima desse valor máximo, ocorre uma precipitação intensa, que pode evitar a recristalização completa durante o tratamento térmico de recozimento contínuo após a laminação a frio.

Um teor máximo preferido na forma precipitada (por exemplo, 0,140% no caso do vanádio) é recomendado, de forma que a ductilidade seja mantida tão alta quanto possível e de forma que a precipitação obtida seja compatível com a recristalização sob as condições de recozimento.

Os inventores mostraram que uma excelente resistência à fratura retardada é obtida quando a razão do teor de hidrogênio ($H_{\max} \times 1000$) sobre X_p é inferior ou igual a 3,3. Nessa razão, os teores de H_{\max} e X_p são expressos nas mesmas unidades de peso. Se elementos X diferentes estiverem presentes na forma de precipitados, a quantidade X_p na razão $\frac{1000H_{\max}}{X_p}$

designa a soma das diferentes quantidades precipitadas.

Uma resistência particularmente alta é obtida quando essa razão é inferior ou igual a 2,5. Assim, parece que o teor de hidrogênio H_{\max} tem que ser mantido abaixo de um certo nível, esse nível sendo uma função da

quantidade de precipitados metálicos ditos acima.

H_{max} designa o hidrogênio total que pode ser medido em uma chapa de aço, seja ela sem-revestimento ou revestida, em particular com revestimento de Zn ou de uma liga de Zn. O termo de hidrogênio "total" é usado aqui em oposição ao hidrogênio "difusível", que pode ser medido, por exemplo, em um aço ferrítico pela degaseificação sob um fluxo de nitrogênio puro seco a uma temperatura de 200°C por exemplo. Entretanto, como a difusão do hidrogênio no aço austenítico é muito menor que em um aço ferrítico, a distinção entre hidrogênio fusível e hidrogênio capturado não é tão óbvia para se obter experimentalmente. Além disso, os inventores experimentaram que a medição total do hidrogênio, isto é, hidrogênio difusível mais o hidrogênio capturado, dá correlações mais confiáveis com a fratura retardada do que se apenas o hidrogênio difusível for medido com as técnicas atuais. A medida de H_{max} é a seguinte: um espécime é cortado até um tamanho suficiente para fornecer um peso de pelo menos 1 g. Após limpeza e secagem para evitar qualquer poluição que pudesse levar a valores errôneos, o espécime é aquecido a uma temperatura suficientemente alta para ser fundido dentro de uma câmara submetida a um fluxo de puro nitrogênio. Uma célula mede a condutividade térmica do gás e detecta a proporção de hidrogênio. Isto corresponde a um procedimento usual para medição de hidrogênio.

Essa medição de hidrogênio é executada em pelo menos 5 diferentes espécimes: o valor H_{max} não designa o valor médio H obtido dessas diferentes medições, mas o valor máximo de todas as medições individuais de hidrogênio. Os inventores mostraram uma forte correlação entre a razão H_{max}/X_p e a resistência à fissuração do hidrogênio, enquanto a correlação com a razão H/X_p não foi tão satisfatória.

Além disso, os inventores descobriram que um tamanho médio excessivo do precipitado reduz a eficácia da captura. A expressão "tamanho médio de precipitado" significa aqui o tamanho que pode ser medido, por exemplo, usando-se réplicas de extração, seguido de observações em microscópio de transmissão eletrônica: o diâmetro (no caso de precipitados

esféricos ou quase esféricos) ou o comprimento maior (no caso de precipitados de forma irregular) de cada precipitado é medido e então é gerado um histograma de distribuição de tamanhos para esses precipitados, do qual é calculado o d médio contando-se um número estatisticamente representativo de partículas, por exemplo, mais de 400. Acima de um tamanho médio \bar{d} de 20 nanômetros, a eficácia da captura do hidrogênio diminui devido à área interfacial reduzida entre os precipitados e a matriz. Para uma dada quantidade de precipitado, um tamanho médio de precipitado excedendo 20 nanômetros também reduz a densidade dos precipitados que estão presentes, aumentando assim excessivamente a distância entre locais de captura. A área interfacial para captura do hidrogênio é também reduzida.

Entretanto, quando o tamanho médio de partícula \bar{d} é menor que 7 nanômetros, os precipitados terão a tendência para formar de modo a ser coerente com a matriz, reduzindo assim a capacidade de captura. A dificuldade de controlar esses precipitados muito finos é também aumentada. Esse valor médio pode incluir a presença de numerosos precipitados muito finos, tendo um tamanho da ordem de um nanômetro.

Os inventores também descobriram que os precipitados estão vantajosamente localizados em posições intragranulares de modo a reduzir a sensibilidade à fratura retardada. Isto é porque, quando pelo menos 75% da população de precipitados ficam na posição intragranular, o hidrogênio que está possivelmente presente é distribuído mais uniformemente sem acumulação nos limites dos grãos austeníticos que são locais potenciais de fragilização.

No caso de tiras ou chapas de aço da composição acima revestida com um revestimento de zinco ou de liga de zinco-Y onde o elemento Y é um ou mais entre Ni, Cr, Mg, mas na Fe ou Mn, ou em uma ou em ambas as faces das tiras ou chapas, a espessura do revestimento sendo menor que ou igual a 50 micrometros, os inventores mostraram que uma excelente resistência à fratura retardada foi obtida quando esse revestimento inclui uma camada ligada particular com uma espessura mínima de 1 micrometro: essa camada rica em ferro (o que significa pelo menos 6% em peso de ferro na

camada) e rica em Mn (o que significa pelo menos 1,7% em peso de manganês na camada) está localizada na interface entre o substrato de aço e a camada de zinco ou de liga zinco-Y.

5 Uma resistência melhorada à fratura retardada é obtida quando a espessura dessa camada revestida for maior que 4 micrometros, e ótima quando a espessura for mais de 7 micromeros. Nenhum limite superior é fixado uma vez que a totalidade do revestimento pode ser composta pela camada ligada para uma resistência melhorada à fratura retardada. Sem ser ligado a uma teoria, imagina-se que a formação dessa camada ligada melhora a homogeneização da divisão do hidrogênio e estabiliza o pico do hidrogênio que pode estar presente na interface entre o revestimento e o substrato, conforme será explicado mais adiante.

15 O processo de produção conforme a invenção é executado como segue: é fundido um aço com a seguinte composição: $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq Mn \leq 26\%$, $Si \leq 3\%$, $Al \leq 0,050\%$, $S \leq 0,030\%$, $P \leq 0,080\%$, $N \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050\% \leq V \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Ti \leq 0,50\%$, $0,070\% \leq Nb \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq Mo \leq 2\%$, $0,070\% \leq Cr \leq 2\%$, e opcionalmente um ou vários elementos escolhidos entre: $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$, $Ni \leq 2\%$, $Cu \leq 5\%$, o remanescente consistindo em ferro e nas inevitáveis impurezas inerentes à fundição, inclusive hidrogênio. Após a fundição, o aço é lingotado na forma de um semiproduto, por exemplo, uma placa. Opcionalmente, esse semiproduto pode ser aquecido a uma temperatura entre 900 e 1000°C, por um tempo compreendido entre 5 e 20 dias.

25 Esse tratamento térmico torna possível obter-se um nível muito baixo de hidrogênio e uma resistência melhorada à fratura retardada do produto final. O semiproduto de aço é reaquecido, laminado a quente e bobinado para se obter uma tira ou chapa com espessura variando, por exemplo, de 2 a 5-10 mm. Essa tira ou chapa pode ser opcionalmente laminada a frio até uma espessura variando de 0,2 mm a alguns poucos milímetros e recozida, a saber, por recozimento contínuo, para se obter a recristalização.

A temperatura de reaquecimento antes da laminação a quente, a

temperatura final de laminação, a temperatura de bobinamento e, no caso de uma chapa laminada a frio, a temperatura de recozimento serão escolhidas de modo a se obter uma precipitação da quantidade X_p a seguir de elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos: $0,030\% \leq V_p \leq 0,40\%$, $0,030\% \leq Ti_p \leq 0,50\%$, $0,040\% \leq Nb_p \leq 0,40\%$, $0,14\% \leq Mo_p \leq 0,44\%$, $0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$.

Em particular, para tiras laminadas a quente a temperatura de bobinamento será escolhida na faixa onde a cinética da precipitação de X_p é máxima em condições de manutenção isotérmica. Uma precipitação adequada é obtida quando o reaquecimento do semiproduto está entre 1100 e 1300°C, quando a temperatura final de laminação é 890°C ou maior e quando a temperatura de bobinamento está abaixo de 580°C.

Quando o produto final é uma tira laminada a frio, a temperatura de reaquecimento antes da laminação a quente, a temperatura final da laminação e a temperatura de bobinamento serão escolhidas de modo a minimizar a quantidade de precipitação na bobina a quente, facilitando assim a laminação a frio. A temperatura do recozimento contínuo para recristalização é então escolhida de modo a maximizar a precipitação de X_p .

Os parâmetros acima serão mais particularmente escolhidos de forma a se obter a seguinte faixa preferida para a quantidade de precipitação: X_p : $0,070\% \leq V_p \leq 0,140\%$, $0,060\% \leq Ti_p \leq 0,110\%$, $0,090\% \leq Nb_p \leq 0,200\%$, $0,20\% \leq Mo_p \leq 0,35\%$, $0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$.

De acordo com a invenção, a tira ou a chapa, ou no estado de laminada a quente, ou no estado de laminada a quente e subsequentemente laminada a frio, ou no estado de laminada a quente e subsequentemente laminada a frio e recozida (as etapas de laminação a frio e de recozimento sendo eventualmente executadas mais de uma vez) é subsequentemente enxaguada a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C durante um tempo t de pelo menos 15 segundos de forma que o teor de hidrogênio H_{\max} da chapa após o enxágue e a quantidade de X_p , em peso, satisfaçam:

$$\frac{1000H_{\max}}{X_p} < 3,3.$$

Conforme dito acima, H_{\max} designa o valor máximo que é medido a partir de pelo menos 5 diferentes medidas de hidrogênio.

Esse tratamento de enxágue pode ser executado uma ou várias vezes no ciclo de fabricação, desde que a condição $\frac{1000H_{\max}}{X_p} < 3,3$ seja

5 respeitada no fim de cada um desses tratamentos de enxágue.

Para uma temperatura de enxágue θ abaixo de 250°C ou para um tempo abaixo de 15 segundos, nenhuma melhoria na resistência à fratura retardada é observada. Acima de 900°C o crescimento dos grãos é rápido produzindo um efeito prejudicial na resistência à tração.

10 Quando a combinação (θ, t) é tal que $\frac{1000H_{\max}}{X_p} < 3,3$, a resis-

tência à fratura retardada é muito melhorada. Quando a combinação (θ, t) é tal que $\frac{1000H_{\max}}{X_p} < 2,5$, a resistência à fratura retardada é extremamente

alta.

No caso onde a chapa de aço tendo a composição acima é re-
15 vestida com zinco ou uma liga de zinco-Y, os inventores descobriram que a melhoria da resistência à fratura retardada é obtida quando os parâmetros (θ, t) para o tratamento de enxágue são tais que: $\theta \ln(t) \geq 2200$, θ sendo em °Celsius, e t sendo em segundos.

Contrariamente à técnica anterior, esse tratamento de enxágue é
20 executado na chapa de aço revestida de Zn ou de liga de Zn-Y, o substrato de aço tendo uma estrutura austenítica. Além disso, o tratamento de enxágue nos produtos revestidos de Zn ou de liga Zn-Y é convencionalmente executado à baixa temperatura para evitar a formação de uma camada ligada com ferro na interface entre o substrato e a camada de revestimento de Zn
25 ou de liga Zn-Y. Imagina-se que essa camada obstrua qualquer remoção de hidrogênio do substrato martensítico. Os inventores descobriram que a presença de tal camada ligada foi de fato benéfica para a resistência do presente substrato austenítico às fraturas retardadas, uma vez que ela pode agir como uma barreira à difusão de hidrogênio da camada superior de Zn ou de
30 liga Zn-Y na direção do presente substrato austenítico. Assim, as condições

de enxágue expostas acima controlam a formação da camada ligada na interface do substrato e a quantidade de desgaseificação do hidrogênio do substrato e do revestimento.

Uma maior resistência à fratura retardada é obtida quando $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2450$, uma resistência extremamente alta sendo observada quando: $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2750$. Essas condições particulares de enxágue são associadas com a formação da camada rica em ferro e manganês na interface entre o substrato de aço e a camada de zinco ou de liga zinco-Y mencionada acima. De acordo com essas três condições de enxágue ($\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2200, 2450$ ou 2750), são formadas a camada rica em Fe e Mn com espessura mínima de respectivamente 1 micrometro, 4 micrometros e 7 micrometros.

O tratamento de enxágue para chapas não-revestidas ou revestidas é executado com as seguintes características:

- 15 - atmosfera seca durante o enxágue, com um ponto de condensação menor que -30°C ,
- menor fração de hidrogênio, usando-se uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio, para melhorar a força diretriz H para desgaseificação do material
- 20 - circulação dinâmica de uma atmosfera regenerada pela oposição a uma atmosfera estática e estagnada que possa enriquecer em hidrogênio do material durante o tratamento e assim limitar a eficácia da desgaseificação.

Como o tratamento de enxágue não tem por objetivo obter-se a recristalização, é vantajoso limitar-se a temperatura θ abaixo da temperatura de recristalização T_R do aço.

Sem ser ligado a nenhuma teoria, imagina-se que o enxágue nas condições particulares da invenção tenha os seguintes efeitos em uma chapa revestida:

- 30 - desgaseificação do hidrogênio do revestimento e da interface entre o substrato austenítico e o revestimento
- homogeneização da distribuição do hidrogênio através da es-

grossura da chapa

- ativação da captura do hidrogênio no presente substrato austenítico nos precipitados metálicos em particular ditos acima

- 5 - formação de uma camada ligada de Fe e Mn enriquecida com Zn agindo como uma barreira contra o hidrogênio que pode vir do revestimento de Zn ou de Zn-Y remanescente ou de outros processamentos

10 O tratamento de enxágue pode ser executado por diferentes processos, tais como, por exemplo, recozimento contínuo, ou recozimento por aquecimento por indução. De acordo com uma configuração preferida, o tratamento de enxágue pode ser executado por recozimento em batelada, isto é, onde as chapas de aço, geralmente na forma de bobinas, são estáticas em relação ao forno de recozimento.

15 De acordo com uma configuração particular, esse tratamento de enxágue pode ser vantajosamente executado pelo recozimento de bobina aberta. Isto se refere à técnica em que a chapa de aço é enrolada com separações entre cada volta sucessiva da bobina. Como consequência, as separações permitem uma circulação mais fácil de gás e trocas. A separação da bobina permite que o gás circule entre as chapas durante o recozimento e uma desgaseificação mais fácil do revestimento.

20 De acordo com outra configuração particular, o tratamento de enxágue pode ser executado pelo aquecimento por indução das chapas ou peças: como as composições de aço acima são amagnéticas, o aquecimento por indução pode ser executado vantajosamente com indutores de fluxo transversais: as bobinas de indução são colocadas em um ou em ambos os
25 lados da chapa ou peça a aquecer. Linhas dos campos magnéticos são perpendiculares à direção longitudinal e ao deslocamento relativo. Uma vantagem particular é obtida desse modo de aquecimento, uma vez que as chapas ou peças são finas e eficiente e uniformemente aquecidas com indutores de fluxo transversais.

30 De acordo com outra configuração particular, o enxágue nas condições da invenção pode ser executado em uma peça que tenha sido retirada de uma chapa e posteriormente conformada a frio, por exemplo, por

estampagem. Dessa forma, o tratamento térmico não apenas produz a degaseificação do hidrogênio e a formação de uma camada interfacial ligada no caso de aço revestido, mas também reduz eficientemente os estresses residuais que são introduzidos durante a conformação a frio da peça.

5 Alternativamente, no caso de chapas com Zn ou liga Zn-Y, uma camada intermediária fina entre o revestimento de Zn ou de liga Zn-Y e o substrato de aço pode ser também usado para resistência melhorada às fraturas retardadas desde que o processo usado para a deposição leve a uma baixa captura de hidrogênio. Essa camada intermediária metálica fina age
10 como uma barreira contra o hidrogênio que pode vir do revestimento de Zn ou de liga de Zn-Y, ou de outro processamento. O processo de produção é o seguinte: a chapa sem-revestimento da composição acima é revestida com um revestimento metálico fino cuja espessura pode variar entre 0,1 e 1 micrometro, por exemplo. O metal dessa camada fina pode ser Sn, Ni, Ti, Cu,
15 W ou Al, ou ligas com base nesses metais. Esse revestimento pode ser executado por processos tais como eletro galvanização ou PVD, por exemplo, as condições sendo adaptadas para limitar a captura do hidrogênio. Posteriormente, o revestimento de Zn ou de liga Zn-Y é executado através de eletro galvanização.

20 Como exemplo não-limitativo, os seguintes resultados mostrarão as características vantajosas proporcionadas pela invenção.

Exemplo

Aços tendo a composição dada na tabela 1 abaixo foram elaborados. O aço D quase não tem nenhum elemento metálico "X" capaz de precipitar para posterior captura de hidrogênio. Os aços foram fundidos e lingotados na forma de semiprodutos. Esses foram reaquecidos a 1180°C, laminados a quente com uma temperatura final de laminação de 950°C até uma espessura entre 2,5 e 3,5 mm e posteriormente bobinados a uma temperatura menor que 500°C. As tiras obtidas foram posteriormente laminadas a frio
30 até uma espessura entre 1 e 1,5 mm. As tiras foram submetidas a tratamentos de recozimento contínuo. Algumas das tiras foram testadas na condição não-revestida, outras (composições A e C) foram posteriormente revestidas

após recozimento contínuo e testadas em tal condição. Os detalhes e resultados nas condições não-revestidas e revestidas serão expostos abaixo.

Aço	C(%)	Mn(%)	Si(%)	Al (%)	S (%)	P (%)
A	0,627	21,96	0,193	<0,040	<0,005	0,023
B	0,593	21,92	0,232	<0,040	<0,005	0,023
C	0,604	22,06	0,199	<0,040	<0,005	0,022
D	0,574	22,57	0,198	0,040	<0,005	0,017

Aço	N (%)	V (%)	Mo (%)	Ni (%)	Cu (%)
A	0,011	0,210	-	0,044	0,014
B	0,011	0,202	0,010	0,071	0,039
C	0,010	0,231	0,011	0,058	0,029
D	0,009	0,005	0,004	0,034	0,011

Tabela 1: Composições de aço, expressas em percentual em peso

5 Chapas ou tiras não revestidas

Todas as chapas laminadas a frio foram recozidas continuamente a uma temperatura de enxágue entre 740°C e 810°C para obter uma recristalização completa da microestrutura austenítica. O tratamento incluiu o aquecimento com uma taxa de aquecimento de 3°C/s, resfriamento a uma taxa de 25°C/s. Em alguns casos, algumas chapas laminadas a frio da mesma composição foram recozidas com diferentes condições. As referências A1, A2, A3,... designam, por exemplo, chapas da composição A recozidas nas condições 1, 2, 3... Para duas chapas referidas como A5 e C2, também o enxágue por recozimento em caixa foi executado nas chapas laminadas a frio e recozidas continuamente. As diferentes temperaturas (θ) e os diferentes tempos (t) dos tratamentos estão mostrados na tabela 2. Usando-se diferentes condições de tratamento, a saber o ponto de condensação ou o teor de hidrogênio no gás da atmosfera de recozimento, o teor de hidrogênio foi variado: a tabela 2 mostra o teor de hidrogênio H_{max} e a quantidade de precipitados X_p , aqui sob a forma de carbonitretos de vanádio, que foram medidos nas chapas após o enxágue. Todos os tratamentos (contínuo ou em batelada) correspondentes à invenção foram executados sob uma at-

atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de condensação menor que -30°C . A quantidade X_p foi determinada nas várias chapas pela dissolução química seletiva seguida pelo método de análise ICP-OES (Plasma Acoplado Indutivo-Espectroscopia de Emissão Ótica). H_{\max} foi medido de acordo com o método explicado previamente, usando-se cinco espécimes. Outras características do precipitado tais como o tamanho médio e a localização em relação aos limites dos grãos foram medidas na base de réplicas de extração observadas usando-se microscopia de transmissão eletrônica.

Chapa	Θ ($^{\circ}\text{C}$)	t(s)	$H_{\max}(\%)$	$X_p(\%)$	$\frac{1000H_{\max}}{X_p}$	Precipitados X_p com dimensões \bar{d} (μm) compreendidos entre 7 e 20 nm	Localização de > 75% de precipitados X_p na posição intragranular
A4 (invenção)	780	120	0,00022	0,150	1,46	(o)	(o)
A5 (invenção)	320	259200	0,00026	0,150	1,73	(o)	(o)
A1 (invenção)	787	174	0,00026	0,127	2,06	(o)	(o)
C2 (invenção)	320	259200	0,00031	0,141	2,19	(o)	(o)
A2 (invenção)	800	180	0,00029	0,128	2,28	(o)	(o)
C1 (invenção)	800	180	0,00040	0,144	2,76	(o)	(o)
B (invenção)	800	180	0,00036	0,114	3,16	(o)	(o)
A3 (referência)	808	188	0,00047	0,119	<u>3,91</u>	(o)	(o)
D (referência)	740	120	0,00023	<0,005	<u>>46</u>	(•)	(•)

Tabela 2: Condições de enxágue em chapas de aço não revestidas e características do hidrogênio e dos precipitados. Valores sublinhados estão fora das condições da invenção (o) = Satisfatório (•) = Insatisfatório

A tabela 3 mostra as propriedades mecânicas, a resistência à

tração final (UTS) e o alongamento na fratura A obtidos sob essas condições. Além disso, discos circulares, 135 mm de diâmetro, foram cortados das chapas. Esses discos foram então totalmente estirados de forma a se obter copos com fundo plano (copos de teste) usando-se uma punção de 75 mm de diâmetro. Após a conformação, o efeito de recuperação elástica do copo aumenta seu diâmetro para 83 mm. Dessa forma, o fator β que caracteriza a severidade do teste (isto é, a razão do diâmetro inicial do disco para o diâmetro da punção) foi de 1,8. Os copos são deformados no modo de estampagem profunda, o que produz localmente altos estresses de tensão residuais na margem do copo. Como fonte suplementar de estresse, os copos foram submetidos a uma compressão elástica reduzindo seu diâmetro para 75 mm. Essas condições de teste são severas uma vez que o estresse maior principal está na ordem de magnitude do estresse de fratura. A presença eventual de microfissuras foi verificada neste teste, ou imediatamente após a conformação ou após esperar por 3 meses, caracterizando assim qualquer sensibilidade às fraturas retardadas. Para se obter condições de teste ainda mais severas, um teste com uma deformação plástica reduzindo o diâmetro para 70 mm foi também executado em alguns espécimes. Os resultados das observações estão dados na tabela 3.

	Chapa	$\frac{1000H_{\max}}{X_p}$	UTS (MPa)	A(%)	Resistência à fratura retardada (condições severas de teste)
Invenção	A4	1,46	1150	51	(o)
	A5	1,73	1155	50	(o)
	A1	2,06	1147	50	(o)
	C2	2,19	1150	53	(o)
	A2	2,28	1136	56	(o)
	C1	2,76	1150	51	(o)
	B	3,16	1132	54	(o)

Referência	A3	<u>3,91</u>	1137	53	(•)
	D	<u>>46</u>	1056	60	(•)

Tabela 3: Propriedades mecânicas e resistência à fratura retardada em chapas de aço não-revestidas

(o): resultado satisfatório (•) = resultado insatisfatório

Valores sublinhados estão fora das condições da invenção

5 Quando $\frac{1000H_{\max}}{X_p}$ excede 3,3, isto é, para uma combinação on-

de o teor máximo de hidrogênio é muito alto e a quantidade de precipitados é muito baixa, o risco de fratura retardada é aumentado uma vez que alguns espécimes apresentam microfissuras nas condições severas de teste, onde a compressão para 75 mm provoca tensão elástica.

10 Quando $\frac{1000H_{\max}}{X_p}$ é inferior a 2,5, isto é, por uma combinação

onde o teor máximo de hidrogênio é muito baixo e a quantidade de precipitados é alta, a resistência à fratura retardada é excelente mesmo nas condições de teste extremamente severas (compressão plástica do copo para 70 mm).

15 Chapas revestidas

Conforme dito acima, chapas de aço com composições A e C foram laminadas a frio, e então recozidas continuamente a 800°C por 180 s e também revestidas com Zn, 7,5 micrometros em cada face, pela eletrodeposição em um banho de ZnSO₄. As chapas foram também enxaguadas por recozimento em batelada em atmosfera de argônio com um ponto de condensação de -40°C com diferentes condições de temperatura (θ) e tempo (t) mostradas na tabela 4. Para todas as condições, a UTS foi maior que 1100 MPa, e o alongamento maior que 50%. A sensibilidade à fratura retardada foi avaliada em copos com estampagem profunda. A razão de estampagem (diâmetro inicial do disco/diâmetro final do copo) dos copos foi de 1,8. Os copos foram então submetidos a dois níveis de estresse: compressão da borda do copo em um torno de forma que o diâmetro foi reduzido de 82 mm para 75 mm na direção perpendicular ao mordente do torno (condição de teste severa) ou 70 mm (condição de teste extremamente severa). Além dis-

so, uma Espectroscopia de Emissão Ótica de Descarga de Brilho (GDOES) foi executada para avaliar a distribuição de elementos no revestimento e no substrato de aço.

	Chapa	H_{\max}	X_p (%)	$\frac{1000H_{\max}}{X_p}$	Θ (°C)	t(s)	θ (°C) Ln(t(s))	Es- pessu- ra da cama- da ligada (μ m)	Resis- tência à fratura retarda- da (con- dição de teste severa)
Inven- ção	C1'	0,00035	0,141	2,48	350	48	4221	8	(o)
	A7'	0,00019	0,127	1,50	300	8	3080	7,5	(o)
	A6'	0,00037	0,127	2,91	300	1	2457	5,3	(o)
	A5'	0,00040	0,127	3,15	250	8	2567	4,5	(o)
	A4'	0,00041	0,127	3,22	250	1	2047	1	(o)
Refe- rência	A3'	0,00043	0,127	3,38	200	24	2273	0,9	(•)
	A2'	0,00047	0,127	3,7	200	8	2054	0	(•)
	A1'	0,00066	0,127	5,19	200	1	1638	0	(•)

Tabela 4: Resistência à fratura retardada de chapas de aço revestidas.

5 (o): resultado satisfatório (•) = resultado insatisfatório

Valores sublinhados estão fora das condições da invenção

Chapas nas condições A1' a A3' mostram uma espessura insuficiente da camada ligada. A temperatura de enxágue é muito baixa nessas condições. A figura 1 mostra o exemplo da chapa A1' enxaguada a 200°C por 1 h. Nenhuma camada ligada está presente em tal condição. A figura 2 mostra a divisão de Fe, Mn, Zn, H conforme medido pelo GDOES próximo à superfície. Uma alta intensidade na figura 2 revela a presença de um dado elemento dentro do revestimento ou do substrato. A concentração de hidrogênio está localizada principalmente no revestimento com um pico de concentração significativo. Enquanto a interface entre o revestimento e o substrato é realmente muito rígida, deve ser notado que a técnica GDOES tende a turvar artificialmente essa interface, devido à emissão indesejada em torno da cratera de erosão.

Os espécimes com camadas ligadas mais espessas que 4 micrometros tratados na condição: $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2450$, apresenta resultados superiores para condições de teste extremamente severas. Por exemplo, a figura 3 ilustra o exemplo da chapa A1' enxaguada a 300°C por 1 h. A espessura da camada ligada, rica em ferro e manganês, é maior que 5 micrometros. A distribuição de hidrogênio, conforme medida pelo GDOES e ilustrada na figura 4, é mais uniforme no revestimento e no substrato, evitando assim grande acumulação de hidrogênio.

Espécimes com uma camada ligada mais espessa que 7 micrometros, tratados na condição: $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2750$, apresentam uma divisão homogênea do hidrogênio na camada de revestimento e no substrato.

Assim, como a presença da camada ligada cuja espessura é superior a 1 micrometro é simples de avaliar pela observação metalográfica, a invenção é um meio conveniente para fornecer chapa de aço revestida resistente à fratura retardada.

As chapas de aço conforme a invenção têm uma UTS maior que 900 MPa e um alongamento na fratura maior que 50%, condições que são particularmente adequadas para conformação a frio e absorção de energia.

As chapas laminadas a quente ou laminadas a frio conforme a invenção são usadas vantajosamente na indústria automobilística na forma de peças estruturais, elementos de reforço ou partes externas que, devido à sua resistência e ductilidade muito altas, reduzem efetivamente o peso dos veículos enquanto aumentam a segurança no caso de um impacto.

REIVINDICAÇÕES

1. Chapa de aço austenítico excelente em resistência à fratura retardada, a composição do dito aço compreendendo, em peso

- 5 $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$
 $15\% \leq Mn \leq 26\%$
 $Si \leq 3\%$
 $Al \leq 0,050\%$
 $S \leq 0,030\%$
 $P \leq 0,080\%$
10 $N \leq 0,1\%$

pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo

- $0,050\% \leq V \leq 0,50\%$
 $0,040\% \leq Ti \leq 0,50\%$
15 $0,070\% \leq Nb \leq 0,50\%$
 $0,14\% \leq Mo \leq 2\%$
 $0,070\% \leq Cr \leq 2\%$

e opcionalmente, um ou vários elementos escolhidos entre

- $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$
20 $Ni \leq 2\%$
 $Cu \leq 5\%$,

o restante sendo ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação, incluindo hidrogênio, a quantidade X_p do dito pelo menos um elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos sendo, em peso:

- 25 $0,030\% \leq V_p \leq 0,40\%$
 $0,030\% \leq Ti_p \leq 0,50\%$
 $0,040\% \leq Nb_p \leq 0,40\%$
 $0,14\% \leq Mo_p \leq 0,44\%$
 $0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$

- 30 o teor de hidrogênio H_{max} designando o teor máximo de hidrogênio que pode ser medido a partir de uma série de pelo menos cinco espécimes, e a quantidade X_p em peso sendo tal que:

$$\frac{1000H_{\max}}{X_p} \leq 3,3.$$

2. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que

$$\frac{1000H_{\max}}{X_p} \leq 2,5.$$

3. Chapa de aço de acordo com uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizada pelo fato de que a dita chapa compreende um revestimento de zinco ou de liga de zinco-Y, em que o elemento Y é um ou mais entre Ni, Cr, Mg, mas não Fe ou Mn.

4. Chapa de aço revestida, a espessura do dito revestimento sendo menor ou igual a 50 micrometros, compreendendo:

- um aço-base tendo uma composição compreendendo, em peso

10 $0,35\% \leq C \leq 1,05$

$15\% \leq Mn \leq 26\%$

$Si \leq 3\%$

$Al \leq 0,050\%$

$S \leq 0,030\%$

15 $P \leq 0,080\%$

$N \leq 0,1\%$

pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo

$0,050\% \leq V \leq 0,50\%$

20 $0,040\% \leq Ti \leq 0,50\%$

$0,070 \leq Nb \leq 0,50\%$

$0,14\% \leq Mo \leq 2\%$

$0,070\% \leq Cr \leq 2\%$

e, opcionalmente, um ou vários elementos escolhidos entre

25 $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$

$Ni \leq 2\%$

$Cu \leq 5\%$,

o restante sendo ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação, a quantidade X_p do dito pelo menos um elemento sob a forma de

carbonetos, nitretos ou carbonitretos sendo, em peso

$$0,030\% \leq V_p \leq 0,40\%$$

$$0,030\% \leq Ti_p \leq 0,50\%$$

$$0,040\% \leq Nb_p \leq 0,40\%$$

5 $0,14\% \leq Mo_p \leq 0,44\%$

$$0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$$

uma camada ligada de ferro e manganês rica em Zn, na interface com o dito material base, a espessura da dita camada ligada sendo maior que ou igual a 1 micrometro

10 uma camada de liga de zinco ou zinco-Y, em que o elemento Y é um ou mais de Ni, Cr, Mg, mas não Fe ou Mn.

5. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato de que a espessura da dita camada ligada é maior que ou igual a 4 micrometros.

15 6. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 4, caracterizada pelo fato de que a espessura da dita camada ligada é maior que ou igual a 7 micrometros.

20 7. Chapa de aço revestida com a composição como definida na reivindicação 4, compreendendo um aço-base com um revestimento de liga de zinco ou de zinco-Y no dito aço-base, caracterizada pelo fato de que a dita chapa compreende uma camada de revestimento metálico agindo como uma barreira de hidrogênio entre o dito aço e o dito revestimento de liga de zinco ou de zinco-Y.

25 8. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de que o metal da dita camada de revestimento metálico é selecionado entre Sn, Ni, Ti, Cu, W ou Al, ou ligas com base nos ditos metais.

9. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 7 ou 8, caracterizada pelo fato de que a dita camada de revestimento metálico tem uma espessura entre 0,1 e 1 micrometro.

30 10. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende, em peso

$$0,35\% \leq C \leq 0,50\%.$$

11. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende, em peso

5 $0,50\% \leq C \leq 0,70\%.$

12. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende, em peso

$$0,70\% \leq C \leq 1,05\%.$$

10 13. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 10 ou 11, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende, em peso

$$17\% \leq Mn \leq 24\%.$$

14. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende, em peso

15 $16\% \leq Mn \leq 19\%.$

15. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende $0,070\% \leq V \leq 0,40\%$, vanádio V_p sob a forma de carbonetos, nitretos, carbonitretos precipitados, sendo

20 $0,070\% \leq V_p \leq 0,140\%.$

16. Chapa de aço conforme qualquer uma das reivindicações 1 a 15, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende $0,060\% \leq Ti \leq 0,40\%$, titânio Ti_p sob a forma de carbonetos, nitretos, carbonitretos precipitados, sendo

25 $0,060\% \leq Ti_p \leq 0,110\%.$

17. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende $0,090\% \leq Nb \leq 0,40\%$, nióbio Nb_p sob a forma de carbonetos, nitretos, carbonitretos precipitados, sendo

30 $0,090\% \leq Nb_p \leq 0,200\%.$

18. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 17, caracterizada pelo fato de que a dita composição compreende

$0,20\% \leq Mo \leq 1,8\%$, molibdênio Mo_p sob a forma de carbonetos, sendo

$$0,20\% \leq Mo_p \leq 0,35\%.$$

19. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 18, caracterizada pelo fato de que o tamanho médio \bar{d} dos ditos carbonetos, nitretos, carbonitretos está compreendido entre 7 e 20 nanômetros.

20. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 19, caracterizada pelo fato de que pelo menos 75% da população dos ditos carbonetos, nitretos, carbonitretos, está localizada na posição intragranular.

21. Processo de fabricação de uma chapa de aço oferecendo excelente resistência à fratura retardada, compreendendo as etapas de

- fornecimento de um aço com composição compreendendo, em peso,

15 $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$

$$15\% \leq Mn \leq 26\%$$

$$Si \leq 3\%$$

$$Al \leq 0,050\%$$

$$S \leq 0,030\%$$

20 $P \leq 0,080\%$

$$N \leq 0,1\%$$

pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo

$$0,050\% \leq V \leq 0,50\%$$

25 $0,040\% \leq Ti \leq 0,50\%$

$$0,070\% \leq Nb \leq 0,50\%$$

$$0,14\% \leq Mo \leq 2\%$$

$$0,070\% \leq Cr \leq 2\%$$

e opcionalmente um ou vários elementos escolhidos entre

30 $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$

$$Ni \leq 2\%$$

$$Cu \leq 5\%,$$

o restante sendo ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação, entre as quais o hidrogênio,

- lingotar o dito aço na forma de um semiproduto
- reaquecer o dito semiproduto

5 - executar a laminação a quente do dito semiproduto até uma temperatura final de laminação para se obter uma chapa

- bobinar a dita chapa

- opcionalmente executar a laminação a frio e o recozimento,

a temperatura de reaquecimento, a temperatura final de laminação, a tempe-

10 ratura de bobinamento, a temperatura de recozimento sendo escolhidas para se obter a quantidade X_p a seguir de elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos, ou carbonitretos.

$$0,030\% \leq V_p \leq 0,40\%$$

$$0,030\% \leq Ti_p \leq 0,50\%$$

15 $0,040\% \leq Nb_p \leq 0,40\%$

$$0,14\% \leq Mo_p \leq 0,44$$

$$0,070\% \leq Cr_p \leq 0,6\%$$

- executar pelo menos um tratamento de encharcamento onde a dita chapa é encharcada a uma temperatura θ compreendida entre 250 e
20 900°C durante um tempo t de pelo menos 15 s de forma que o teor de hidrogênio H_{\max} após o encharcamento, H_{\max} designando o teor de hidrogênio máximo que pode ser medido a partir de uma série de pelo menos cinco espécimes, e a quantidade X_p , em peso, satisfaçam

$$\frac{1000H_{\max}}{X_p} < 3,3.$$

22. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 21,
25 caracterizado pelo fato de que a dita temperatura θ e o dito tempo t são escolhidos de forma que $\frac{1000H_{\max}}{X_p} < 2,5$.

23. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 21 ou
22, caracterizado pelo fato de que o dito semiproduto é tratado a quente a uma temperatura entre 900 e 1000°C por um tempo compreendido entre 5 e
30 20 dias.

24. Processo de fabricação de uma chapa de aço oferecendo uma excelente resistência à fratura retardada compreendendo as etapas de

- fornecimento de uma chapa de aço, em que a composição da dita chapa de aço é como definida na reivindicação 4,
- 5 - encharcar a dita chapa sob uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de orvalho menor que -30°C a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C .

25. Processo de fabricação de uma chapa revestida oferecendo excelente resistência à fratura retardada, compreendendo as etapas de

- 10 - fornecer uma chapa de aço revestida com liga de Zn ou de Zn-Y, em que o elemento Y é um ou mais entre Ni, Cr, Mg, mas não Fe ou Mn, em que a composição do dito aço é como definida na reivindicação 4
- encharcar a dita chapa sob uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de orvalho menor que -30°C a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C por um tempo t, os ditos temperatura e
- 15 tempo satisfazendo $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2200$.

26. Processo de fabricação de uma chapa de aço laminada a quente revestida oferecendo excelente resistência à fratura retardada, compreendendo as etapas de:

- 20 - fornecimento de uma composição de aço compreendendo, em peso

$$0,35\% \leq C \leq 1,05\%$$

$$15\% \leq \text{Mn} \leq 26\%$$

$$\text{Si} \leq 3\%$$

- 25 $\text{Al} \leq 0,050\%$

$$\text{S} \leq 0,030\%$$

$$\text{P} \leq 0,080\%$$

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

- 30 pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo

$$0,050\% \leq \text{V} \leq 0,50\%$$

$$0,040\% \leq \text{Ti} \leq 0,50\%$$

$$0,070\% \leq \text{Nb} \leq 0,50\%$$

$$0,14\% \leq \text{Mo} \leq 2\%$$

$$0,070\% \leq \text{Cr} \leq 2\%$$

e opcionalmente um ou vários elementos escolhidos entre

5 $0,0005\% \leq \text{B} \leq 0,010\%$

$$\text{Ni} \leq 2\%$$

$$\text{Cu} \leq 5\%,$$

o restante sendo ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação

- 10 - lingotar um semiproduto a partir da dita composição de aço
 - aquecer o dito semiproduto até uma temperatura entre 1100 e 1300°C

- laminar a quente o semiproduto com uma temperatura final de laminação de 890°C ou maior para se obter uma chapa

- 15 - bobinar a dita chapa a uma temperatura abaixo de 580°C
 - revestir a dita chapa com um revestimento de Zn ou de liga Zn-

Y

- executar pelo menos um tratamento de encharcamento na dita chapa revestida, o dito encharcamento sendo executado sob uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de orvalho menor que -30°C, a
 20 uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C durante um tempo t, os ditos temperatura e tempo satisfazendo: $\theta(^{\circ}\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2200$.

27. Processo de fabricação de uma chapa de aço laminada a frio revestida oferecendo excelente resistência à fratura retardada, compreendendo as etapas de:

- 25 - fornecer uma composição como definida na reivindicação 26
 - lingotar um semiproduto a partir da dita composição de aço
 - aquecer o dito semiproduto até uma temperatura entre 1100 e 1300°C

- 30 - laminar a quente o dito semiproduto com uma temperatura final de laminação de 890°C ou maior para se obter uma chapa

- bobinar a dita chapa a uma temperatura abaixo de 580°C
 - executar pelo menos uma laminação a frio da dita chapa

- executar pelo menos um tratamento de recozimento da dita chapa, o dito tratamento compreendendo um taxa de aquecimento V_h entre 2 e 10°C/s , a uma temperatura T_s entre 700 e 870°C por um tempo entre 30 e 180s e uma taxa de resfriamento entre 10 e 50°C/s

5 - revestir a dita chapa com um revestimento de Zn ou Zn-Y

- executar pelo menos um tratamento de encharcamento na dita chapa revestida, o dito encharcamento sendo executado sob uma atmosfera de nitrogênio puro ou argônio com um ponto de orvalho menor que -30°C , a uma temperatura θ compreendida entre 250 e 900°C durante um tempo t , os ditos temperatura e tempo satisfazendo: $\theta(^\circ\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2200$.

10

28. Processo de fabricação de acordo com qualquer uma das reivindicações 25 a 27, caracterizado pelo fato de que $\theta(^\circ\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2450$.

29. Processo de fabricação de acordo com qualquer uma das reivindicações 25 a 27, caracterizado pelo fato de que $\theta(^\circ\text{C})\text{Ln}(t(\text{s})) \geq 2750$.

15

30. Processo de fabricação de acordo com qualquer uma das reivindicações 24 a 29, em que a temperatura de encharcamento está abaixo da temperatura de recristalização.

31. Processo de fabricação de acordo com qualquer uma das reivindicações 21 a 30, caracterizado pelo fato de que o dito encharcamento é executado por recozimento contínuo.

20

32. Processo de fabricação de acordo com qualquer uma das reivindicações 21 a 31, caracterizado pelo fato de que o dito encharcamento é executado por recozimento em batelada.

25 33. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 32, onde o dito encharcamento é executado por recozimento em bobina aberta.

34. Processo de fabricação de acordo com qualquer uma das reivindicações 21 a 29, caracterizado pelo fato de que o dito encharcamento é executado por aquecimento por indução.

30 35. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 34, caracterizado pelo fato de que o dito encharcamento é executado com campo eletromagnético transversal.

36. Processo de fabricação de acordo com qualquer uma das

reivindicações 21 a 35, caracterizado pelo fato de que a dita chapa de aço é conformada a frio para se obter uma peça, e o dito encharcamento é executado antes ou após a conformação a frio da dita peça.

- 5 37. Uso de uma chapa de aço austenítico como definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 20, ou fabricadas por um processo como definido em qualquer uma das reivindicações 21 a 36, para a fabricação de peças estruturais, elementos de reforço, ou peças externas para a indústria automotiva.

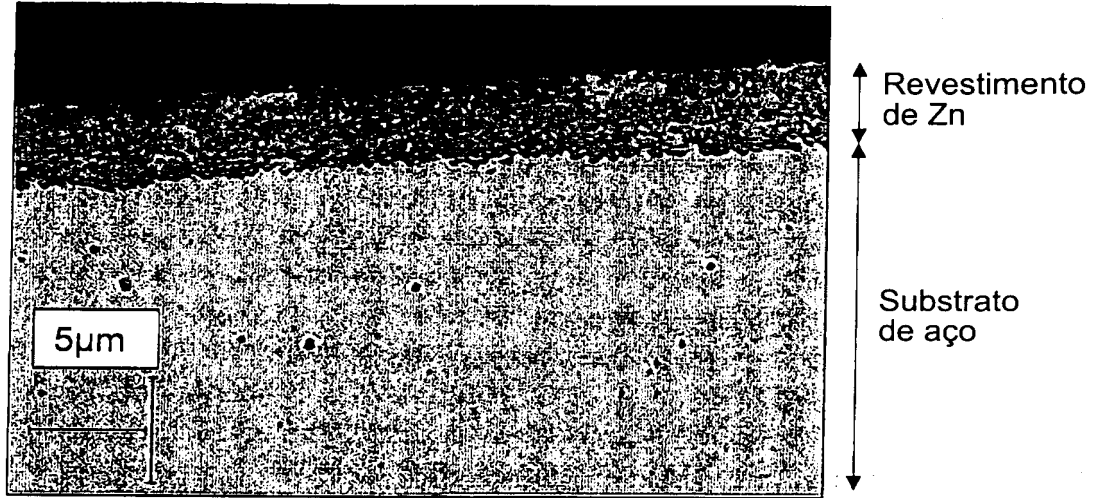


FIG.1

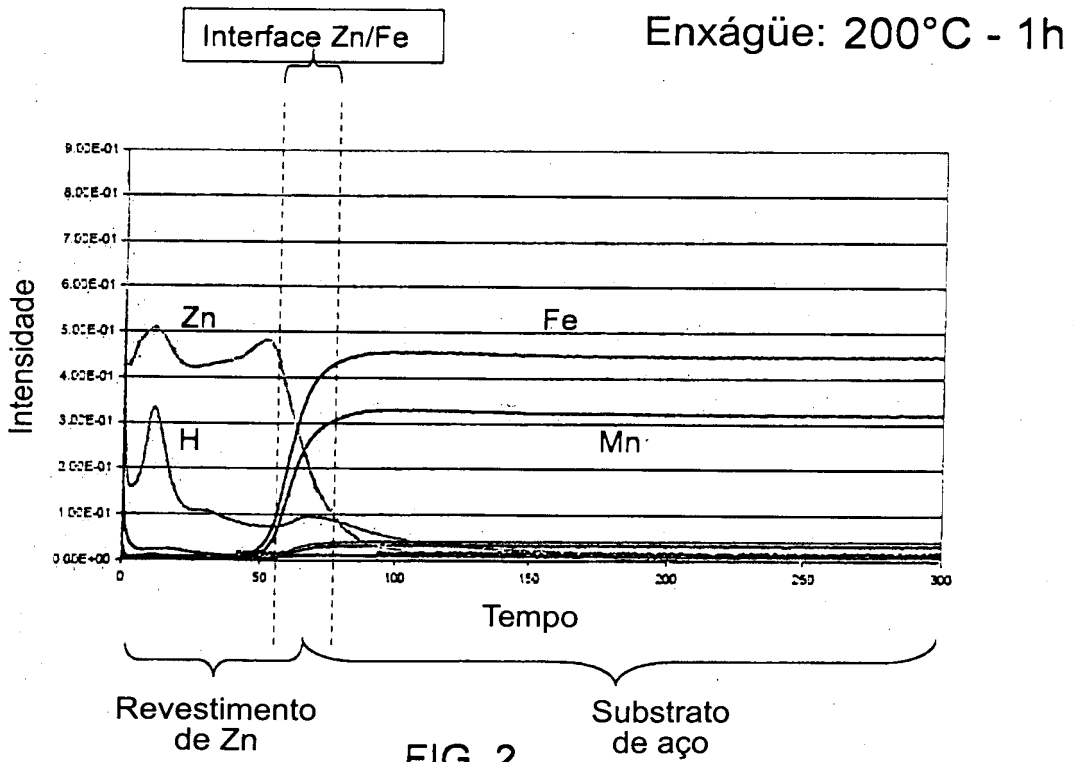


FIG. 2

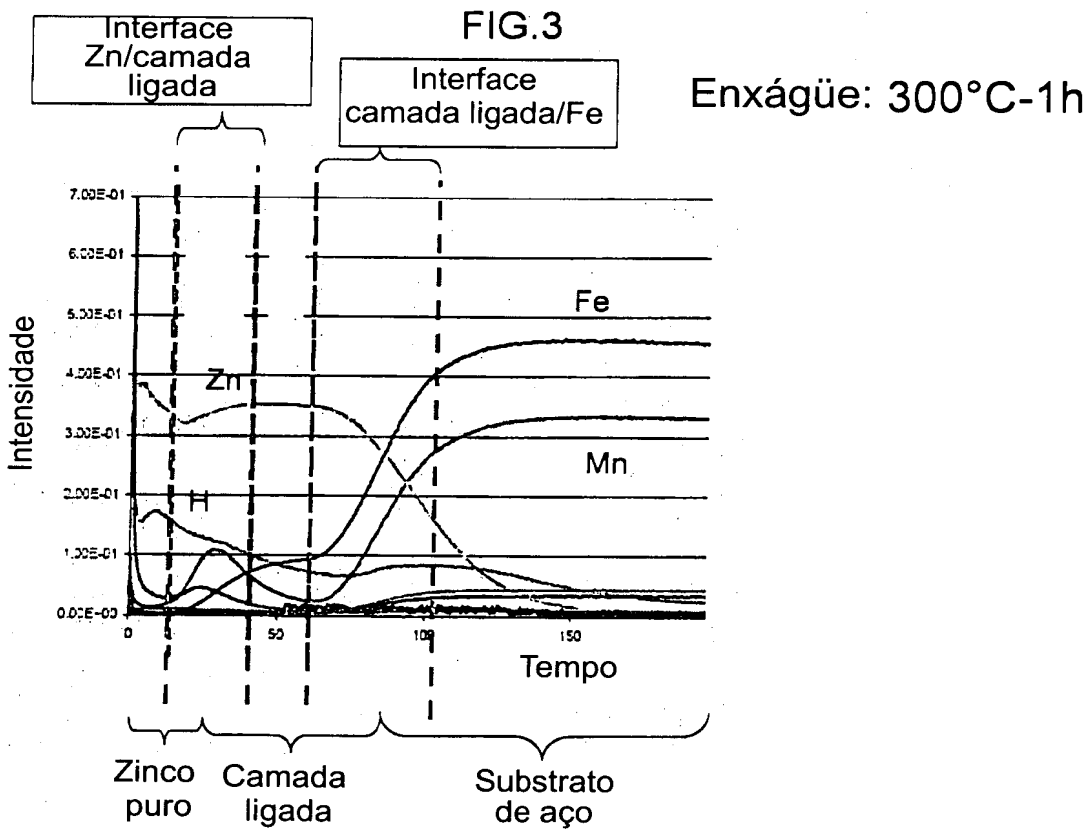
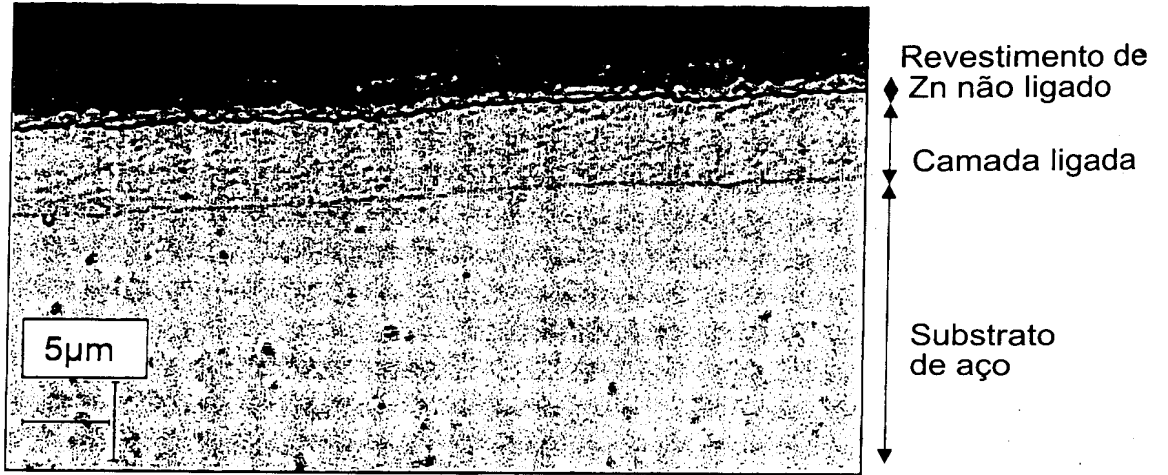


FIG.4

RESUMO

Patente de Invenção: "PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE CHAPA DE AÇO AUSTENÍTICO DE FERRO-CARBONO-MANGANÊS COM EXCELENTE RESISTÊNCIA ÀS FRATURAS RETARDADAS, E A CHAPA ASSIM PRODUZIDA".

A presente invenção refere-se a uma chapa de aço austenítico excelente em resistência à fratura retardada, a composição do dito aço compreendendo, em peso: $0,35\% \leq C \leq 1,05\%$, $15\% \leq Mn \leq 26\%$, $Si \leq 3\%$, $Al \leq 0,050\%$, $S \leq 0,030\%$, $P \leq 0,080\%$, $N \leq 0,1\%$, pelo menos um elemento metálico X escolhido entre vanádio, titânio, nióbio, molibdênio, cromo: $0,050\% \leq V \leq 0,50\%$, $0,040\% Ti \leq 0,50\%$, $0,070\% \leq Nb \leq 0,50\%$, $0,14\% \leq Mo \leq 2\%$, $0,070\% \leq Cr \leq 2\%$ e, opcionalmente, um ou vários elementos escolhidos entre: $0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$, $Ni \leq 2\%$, $Cu \leq 5\%$, o restante sendo de ferro e as inevitáveis impurezas inerentes à fabricação, inclusive hidrogênio, a quantidade X_p do dito pelo menos um elemento metálico sob a forma de carbonetos, nitretos ou carbonitretos sendo, em peso: $0,030\% < V_p < 0,40\%$, $0,030\% < Ti_p < 0,50\%$, $0,040\% < Nb_p < 0,40\%$, $0,14\% < Mo_p < 0,44\%$, $0,070\% < Cr_p < 0,6\%$, o teor de hidrogênio H_{max} designando o teor máximo de hidrogênio que pode ser medido a partir de uma série de pelo menos cinco espécimes, bem como a quantidade X_p , em peso, sendo tal que

$$\frac{1000 \cdot H_{max}}{X_p} \leq 3,3.$$