



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0821572-3 B1**



**(22) Data do Depósito:** 28/04/2008

**(45) Data de Concessão:** 01/10/2019

**(54) Título:** CHAPA DE AÇO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CHAPA DE AÇO LAMINADA A FRIO E RECOZIDAS

**(51) Int.Cl.:** C21D 8/02; C21D 9/46; C22C 38/04; C22C 38/02; C22C 38/06; (...).

**(30) Prioridade Unionista:** 11/05/2007 FR 07 290598.7.

**(73) Titular(es):** ARCELORMITTAL FRANCE.

**(72) Inventor(es):** JAVIER GIL OTIN; ANTOINE MOULIN.

**(86) Pedido PCT:** PCT FR2008000609 de 28/04/2008

**(87) Publicação PCT:** WO 2008/145871 de 04/12/2008

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 10/11/2009

**(57) Resumo:** PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO LAMINADAS A FRIO E RECOZIDAS COM RESISTÊNCIA MUITO ELEVADA, E CHAPAS ASSIM PRODUZIDAS". A invenção refere-se a uma chapa de aço laminada a frio e recozida de resistência superior a 1200 MPa, cuja composição compreende , os teores sendo expressos em peso: O, 10% C 0,25%, 1 % : Mn 3%, Al > 0,010%, Si 2,990%, S 0,015%, P 0,1%, N 0,008%, naturalmente que 1 % Si + Al 3%, a composição compreendendo eventualmente: 0,05% 0,15%, B 0,005%, Mo 0,25% Cr 1,65% naturalmente que  $Cr+(3 \times Mo) > 0,3\%$ , Ti em quantidade tal que  $Ti/N \sim 4$  e que Ti0,040%, o resto da composição sendo constituído de ferro e de impurezas inevitáveis resultante da elaboração, a microestrutura do aço compreendendo 15 a 90% de bainita, o saldo sendo constituído de martensita e de austenita residual.

## **"CHAPA DE AÇO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CHAPA DE AÇO LAMINADA A FRIO E RECOZIDAS"**

### **CAMPO DA INVENÇÃO**

[001] A invenção refere-se à fabricação de chapas finas laminadas a frio e recozidas de aços que apresentam uma resistência superior a 1200 MPa e um alongamento com ruptura superior a 8%. O setor automobilístico e a indústria em geral constituem notadamente domínios de aplicação dessas chapas de aços.

### **ANTECEDENTES DA INVENÇÃO**

[002] Existe, em particular, na indústria automobilística, uma necessidade contínua de alijamento dos veículos e aumento da segurança. Foram propostas sucessivamente diferentes famílias de aços para responder essa necessidade de resistência aumentada: inicialmente foram propostos aços que comportam elementos de micro liga. Seu endurecimento é devido à precipitação desses elementos e ao afinamento do tamanho de grãos. Em seguida, assistiu-se ao desenvolvimento de aços "Dual-Phase" no qual a presença de martensita, constituinte de uma grande dureza, no meio de uma matriz ferrítica mais suave, permite conseguir uma resistência superior a 450 MPa associada a uma boa aptidão à enformação a frio.

[003] A fim de aumentar ainda a resistência, foram desenvolvidos aços que apresentam um comportamento "TRIP"(Transformation Induced Plasticity) com combinações de propriedades (resistência-aptidão à deformação) muito vantajosas: essas propriedades são ligadas à estrutura desses aços constituída de uma matriz ferrítica, comportando a bainita e a austenita residual. A presença deste constituinte confere uma ductilidade elevada a uma chapa não deformada. Sob o efeito de uma deformação posterior, por exemplo, quando de uma solicitação uniaxial, a austenita residual de uma peça em aço TRIP se transforma progressivamente em martensita, o

que se traduz por uma consolidação importante e retarda o aparecimento de uma deformação localizada.

[004] Chapas de aços Dual Phase ou TRIP foram propostas, com um nível de resistência máxima da ordem de 1000MPa. A obtenção de níveis de resistência significativamente superior, por exemplo, 1200-1400 MPa se choca com diferentes dificuldades:

- o aumento de resistência mecânica necessita de uma análise química nitidamente mais carregada em elementos de liga, em detrimento da aptidão à soldagem desses aços;

- observa-se um aumento de diferença de dureza entre a matriz ferrítica e os constituintes endurecedores: isto tem por consequência uma concentração local dos esforços e das deformações e um dano mais precoce, conforme testemunha a baixa do alongamento;

- observa-se também um aumento da fração dos constituintes endurecedores no meio da matriz ferrítica: nesse caso, as ilhotas, inicialmente isoladas e de pequeno tamanho, quando a resistência é fraca, se tornam progressivamente conexas e formam constituintes de tamanho maior que favorecem ainda um dano precoce.

[005] As possibilidades de se conseguirem níveis muito elevados de resistência e determinadas outras propriedades de uso por meio de aços TRIP ou de microestrutura Dual Phase, parecem assim limitadas. Para atingir uma resistência ainda mais elevada, isto é, um nível superior a 800-1000 MPa, foram desenvolvidos aços ditos "multifásicos" de estrutura majoritariamente bainítica. Na indústria automobilística ou na indústria geral, chapas de aços multifásicos de média espessura são utilizadas com proveito para peças estruturais tais como travessas de para-choques, montantes, reforços diversos.

[006] Em particular, no domínio das chapas de aço multifásicas laminadas a frio de mais de 980 MPa, a patente EP 1559798 descreve a

fabricação de aços de composição: 0,10-0,25% C, 1,0-2,0% Si, 1,5-3% Mn, a microestrutura sendo constituída de pelo menos 60% de ferrita bainítica e de pelo menos 5% de austenita residual, a ferrita poligonal sendo inferior a 20%. Os exemplos de realização apresentados nesse documento mostram que a resistência não ultrapassa 1200 MPa.

[007] A patente EP 1589126 descreve também a fabricação de chapas finas laminadas a frio, cujo produto (resistência x alongamento) é superior a 20000 MPa%. A composição dos aços contém: 0,10-0,28% C, 1,0 - 2,0% Si, 1-3% Mn, menos de 0,10% Nb. A estrutura é constituída de mais de 50% de ferrita bainítica, de 5 a 20% de austenita residual, e de menos de 30% de ferrita poligonal. Ainda, os exemplos apresentados mostram que a resistência é ainda inferior a 1200 MPa.

#### **DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO**

[008] A presente invenção visa resolver os problemas evocados acima. A invenção visa colocar à disposição uma chapa de aço fina laminada a frio e recozida que apresenta uma resistência mecânica superior a 1200 MPa conjuntamente com um alongamento com ruptura superior a 8% e uma boa aptidão para enformação a frio. A invenção visa também colocar à disposição um aço pouco sensível ao dano, quando do recorte por um processo mecânico.

[009] Por outro lado, a invenção visa colocar à disposição um processo de fabricação de chapas finas das quais pequenas variações dos parâmetros não acarretam modificações consideráveis da microestrutura ou das propriedades mecânicas. A invenção visa também colocar à disposição uma chapa de aço facilmente fabricável por laminação a frio, isto é, cuja dureza após a etapa de laminação a quente é limitada de tal modo que os esforços de laminação permanecem moderados, quando da etapa de laminação a frio.

[0010] A invenção visa também dispor de uma chapa de aço fina apta ao depósito eventual de um revestimento metálico, segundo os processos

usuais.

[0011] A invenção visa também colocar dispor uma chapa de aço pouco sensível a um dano por recorte e apta à expansão de orifício.

[0012] A invenção visa ainda dispor de um aço que apresenta uma boa aptidão à soldagem por meio dos processos de ligação usuais, tais como a soldagem por resistência por pontos.

[0013] Com essa finalidade, a invenção tem por objeto uma chapa de aço laminada a frio e recozida de resistência superior a 1200 MPa, cuja composição compreende, os teores sendo expressos em peso:  $0,10\% \leq C \leq 0,25\%$ ,  $1\% \leq Mn \leq 3\%$ ,  $Al \geq 0,010\%$ ,  $Si \leq 2,990\%$ ,  $S \leq 0,015\%$ ,  $P \leq 0,1\%$ ,  $N \leq 0,008\%$ , naturalmente que  $1\% \leq Si + Al \leq 3\%$ , a composição compreendendo eventualmente:  $0,05\% \leq V \leq 0,15\%$ ,  $B \leq 0,005\%$ ,  $Mo \leq 0,25\%$ ,  $Cr \leq 1,65\%$ , naturalmente que  $Cr + (3 \times MO) \geq 0,3\%$ , Ti em quantidade tal que  $Ti/N \geq 4$  e que  $Ti \leq 0,040\%$ , o resto da composição sendo constituído de ferro e de impurezas inevitáveis resultante da elaboração, a microestrutura desse aço compreendendo 15 a 90% de bainita, o saldo sendo constituído de martensita e de austenita residual.

[0014] A invenção tem também por objeto uma chapa de aço de composição acima, de alongamento com ruptura superior a 10%, caracterizada pelo fato de  $Mo < 0,005\%$ ,  $Cr < 0,005\%$ ,  $B = 0$ , a microestrutura do aço compreendendo 65 a 90% de bainita, a solda sendo constituída de ilhotas de martensita e de austenita residual.

[0015] A invenção tem também por objeto uma chapa de aço de composição acima, caracterizada pelo fato de conter:  $Mo \leq 0,25\%$ ,  $Cr \leq 1,65\%$ , naturalmente que  $Cr + (3 \times MO) \geq 0,3\%$ ,  $B = 0$ , a microestrutura do aço compreendendo 65 a 90% de bainita, o soldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual.

[0016] A invenção tem ainda por objeto uma chapa de aço de

composição acima, de resistência superior a 1400 MPa, de alongamento à ruptura superior a 8%, caracterizada pelo fato de conter:  $Mo \leq 0,25\%$ ,  $Cr \leq 1,65\%$ , naturalmente que  $Cr + (3 \times MO) \geq 0,3\%$ , a microestrutura do aço compreendendo 45 a 65% de bainita, o saldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual. A invenção tem também por objeto uma chapa de aço de composição acima, de resistência superior a 1600 MPa, de alongamento com ruptura superior a 8%, caracterizada pelo fato de conter:  $Mo < 0,25\%$ ,  $Cr < 1,65\%$ , naturalmente que  $Cr + (3 \times MO) \geq 0,3\%$ , a microestrutura do aço compreendendo 15 a 45% de bainita, o saldo sendo constituído de martensita e de austenita residual.

[0017] De acordo com um modo particular, a composição compreende:  $0,19\% \leq C \leq 0,23\%$ .

[0018] De acordo com um modo preferido, a composição compreende:  $1,5\% \leq Mn \leq 2,5\%$ .

[0019] Preferencialmente, a composição compreende:  $1,2\% \leq Si \leq 1,8\%$ .

[0020] A título preferido, a composição compreende:  $1,2\% \leq Al \leq 1,8\%$ .

[0021] De acordo com um modo particular, a composição compreende:  $0,05\% \leq V \leq 0,15\%$   $0,04 \leq N \leq 0,008\%$ .

[0022] A título preferencial, a composição compreende:  $0,12\% \leq V \leq 0,15\%$ .

[0023] De acordo com um modo preferido, a composição compreende:  $0,0005 \leq B \leq 0,003\%$ .

[0024] Preferencialmente, o tamanho médio das ilhotas de martensita e de austenita residual é inferior a 1 micrometro, a distância média entre as ilhotas sendo inferior a 6 micrometros.

[0025] A invenção tem também por objeto um processo de

fabricação de uma chapa de aço laminada a frio de resistência superior a 1200 MPa, de alongamento com ruptura superior a 10%, segundo o qual se aprovisiona um aço de composição:  $0,10\% \leq C \leq 0,25\%$ ,  $1\% \leq Mn \leq 3\%$ ,  $Al \geq 0,010\%$ ,  $Si \leq 2,990\%$ , naturalmente que:  $1\% \leq Si + Al \leq 3\%$ ,  $S \leq 0,015\%$ ,  $P \leq 0,1\%$ ,  $N \leq 0,008\%$ ,  $Mo < 0,005\%$ ,  $Cr < 0,005\%$ ,  $B = 0$ , a composição compreendendo eventualmente:  $0,05\% \leq V \leq 0,15\%$ , Ti em quantidade tal que  $Ti/N \geq 4$  e que  $Ti \leq 0,040\%$ . Procede-se à fundição de um semiproduto a partir desse aço, depois se leva o semiproduto a uma temperatura superior a 1150°C e lamina-se a quente o semiproduto para se obter uma chapa laminada a quente. Bobina-se e decapa-se a chapa, depois se lamina a frio esta com uma taxa de redução compreendida entre 30 e 80% de forma a se obter uma chapa laminada a frio. Aquece-se a chapa laminada a frio a uma taxa  $V_c$  compreendida entre 5 e 15°C/s até uma temperatura  $T_1$  compreendida entre  $Ac_3$  e  $Ac_3 + 20^\circ C$ , durante um tempo  $t_1$  compreendido entre 50 e 150 s, depois se resfria a chapa a uma taxa  $VT_1$  superior a 40°C/s e inferior a 100°C/s até uma temperatura  $T_2$  compreendida entre ( $Ms-30^\circ C$  e  $Ms+30^\circ C$ ). Mantém-se a chapa a essa temperatura  $T_2$  durante um tempo  $t_2$  compreendido entre 150 e 350s, depois se efetua um resfriamento a uma taxa  $VR_2$  inferior a 30°C/s até à temperatura ambiente.

[0026] A invenção tem também por objetivo um processo de fabricação de uma chapa de aço laminada a frio de resistência superior a 1200 MPa, de alongamento com ruptura superior a 8%, segundo o qual se aprovisiona um aço de composição  $0,10 \leq C \leq 0,25\%$ ,  $1 \leq Mn \leq 3\%$ ,  $Al \geq 0,010\%$ ,  $Si \leq 2,990\%$ , naturalmente que:  $1\% \leq Si + Al \leq 3\%$ ,  $S \leq 0,015\%$ ,  $P \leq 0,1\%$ ,  $N \leq 0,008\%$ ,  $Mo \leq 0,25\%$ ,  $Cr \leq 1,65\%$ , naturalmente que  $Cr+(3 \times Mo) \geq 0,3\%$ , eventualmente  $0,05\% \leq V \leq 0,15\%$ ,  $B \leq 0,005\%$ , Ti em quantidade tal que  $Ti/N \geq 4$  e que  $Ti \leq 0,040\%$ . Procede-se à fundição de um semiproduto a partir desse aço, leva-se o semiproduto a uma temperatura superior a 1150°C, depois se

lamina a quente o semiproduto para se obter uma chapa laminada a quente. Bobina-se a chapa, decapa-se esta, depois se lamina a frio a chapa com uma taxa de redução compreendida entre 30 e 80%, de forma a se obter uma chapa laminada a frio. Aquece-se a chapa laminada a frio a uma taxa  $V_c$  compreendida entre 5 e 15°C/s até uma temperatura  $T_1$  compreendida entre  $Ac_3$  e  $Ac_3+20^\circ C$ , durante um tempo  $t_1$  compreendido entre 50 e 150s, depois se resfria esta a uma taxa  $VR_1$  superior a 25°C/s e inferior a 100°C/s até uma temperatura  $T_2$  compreendida entre  $B_s$  e  $(M_s - 20^\circ C)$ . Mantém-se a chapa à temperatura  $T_2$  durante um tempo  $t_2$  compreendido entre 150 e 350s, depois se faz um resfriamento a uma taxa  $VR_2$  inferior a 30°C/s até à temperatura ambiente.

[0027] A temperatura  $T_1$  está preferencialmente compreendida entre  $Ac_3+10^\circ C$  e  $Ac_3+20^\circ C$ .

[0028] A invenção tem também por objetivo a utilização de uma chapa de aço laminada a frio e recozida, segundo um dos modos acima, ou fabricada por um processo, de acordo com um dos modos acima, para a fabricação de peças de estrutura ou de elementos de reforço no domínio automobilístico.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0029] Outras características e vantagens da invenção aparecerão no decorrer da descrição abaixo, dada a título de exemplo e feita com referência às figuras anexadas:

- a figura 1 apresenta um exemplo de estrutura de uma chapa de aço, de acordo com a invenção, a estrutura sendo revelada por reagente LePera;

- a figura 2 apresenta um exemplo de estrutura de uma chapa de aço, de acordo com a invenção, a estrutura sendo revelada por reagente Nital.

#### **DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO**

[0030] Os inventores colocaram em evidência que problemas

acima eram resolvidos, quando a chapa de aço fina laminada a frio e recozida apresentava uma microestrutura bainítica, com, em complemento, ilhotas de martensita e de austenita residual, ou ilhotas "M-A". Para aços cuja resistência é a mais elevada, superior a 1600 MPa, a microestrutura comporta uma quantidade mais considerável de martensita e de austenita residual.

[0031] No que se refere à composição química do aço, o carbono exerce um papel muito importante sobre a formação da microestrutura e sobre as propriedades mecânicas: em relação com outros elementos da composição (Cr, Mo, Mn) e com o tratamento térmico de recozimento após laminação a frio, ele aumenta a temperabilidade e permite obter uma transformação bainítica. Os teores em carbono, de acordo com a invenção, levam também à formação de ilhotas de martensita e de austenita residual, cuja quantidade, cuja morfologia, cuja composição permitem obter as propriedades visadas acima.

[0032] O carbono retarda também a formação da ferrita pró-eutectoide após tratamento térmico de recozimento, após laminação a frio: caso contrário, a presença dessa fase de baixa dureza provocaria um dano local muito importante na interface com a matriz, cuja dureza é mais elevada. A presença de ferrita pró-eutectoide oriunda do recozimento deve, portanto, ser evitada para se conseguir níveis elevados de resistência mecânica.

[0033] De acordo com a invenção, o teor em carbono está compreendido entre 0,10 e 0,25% em peso: abaixo de 0,10%, uma resistência suficiente não pode ser conseguida e a estabilidade da austenita residual não é satisfatória. Além de 0,25%, a soldabilidade é reduzida em razão da formação de microestruturas de têmpera na Zona Afetada pelo Calor.

[0034] De acordo com um modo preferido, o teor em carbono está compreendido entre 0,19 e 0,23%: no meio dessa faixa, a soldabilidade é muito satisfatória, e a quantidade, a estabilidade e a morfologia das ilhotas M-A são particularmente adaptadas para se obter um binário favorável de propriedades

mecânicas (resistência-alongamento).

[0035] Em quantidade compreendida entre 1 e 3% em peso, uma adição de manganês, elemento de caráter gamagênio, permite evitar a formação de ferrita pró-eutectoide, quando do resfriamento ao recozimento após laminação a frio. O manganês contribui também para desoxidar o aço, quando da elaboração em fase líquida. A adição de manganês participa também a um endurecimento eficaz em solução sólida e à obtenção de uma resistência aumentada. Preferencialmente, o manganês está compreendido entre 1,5 e 2,5%, de forma que esses efeitos sejam obtidos, e isto sem risco de formação de estrutura nefasta em faixas.

[0036] O silício e o alumínio exercem, de forma conjunta, um papel importante, de acordo com a invenção.

[0037] O silício retarda a precipitação da cementita, quando do resfriamento, a partir da austenita, após recozimento. Uma adição de silício, de acordo com a invenção, contribui, portanto, para estabilizar uma quantidade suficiente de austenita residual sob a forma de ilhotas que se transformam posteriormente e progressivamente em martensita sob o efeito de uma deformação. Uma outra parte da austenita se transforma diretamente em martensita, quando do resfriamento após recozimento.

[0038] O alumínio é um elemento muito eficaz para a desoxidação do aço. A esse respeito, seu teor é superior ou igual a 0,010%. Como o silício, ele estabiliza a austenita residual.

[0039] Os efeitos do alumínio e do silício sobre a estabilização da austenita são próximos; quando os teores em silício e em alumínio são tais que:  $1\% < \text{Si} + \text{Al} < 3\%$ , uma estabilização satisfatória da austenita é obtida, o que permite formar as microestruturas buscadas, conservando propriedades de uso satisfatórias. Considerando-se o fato de o teor mínimo em alumínio ser de 0,010%, o teor em silício é inferior ou igual a 2,990%.

[0040] O teor em silício está, de preferência, compreendido entre 1,2 e 1,8% para estabilizar uma quantidade de austenita residual suficiente e para evitar uma oxidação intergranular, quando da etapa de bobinagem a quente que precede a laminação a frio. Evita-se também, dessa forma, a formação de óxidos muito aderentes e o aparecimento eventual de defeitos de superfície, levando notadamente a uma falta de umedecimento nas operações de galvanização na imersão.

[0041] Esses efeitos são também obtidos quando o teor em alumínio está, de preferência, compreendido entre 1,2 e 1,8%. Com teor equivalente, os efeitos do alumínio são, com efeito, semelhantes àqueles expostos acima para o silício, mas o risco de aparecimento de defeitos superficiais é, todavia, menor.

[0042] Os aços, de acordo com a invenção, comportam eventualmente molibdênio e/ou cromo: o molibdênio aumenta a temperabilidade, evita a formação de ferrita pró-eutectoide e afina eficazmente a microestrutura bainítica. Todavia, o teor superior a 0,25% em peso aumenta o risco de formar uma microestrutura majoritariamente martensítica em detrimento da formação de bainita.

[0043] O cromo contribui também para evitar a formação de ferrita pró-eutectoide e para o afinamento da microestrutura bainítica. Além de 1,65%, o risco de obter uma estrutura majoritariamente martensítica é importante.

[0044] Comparado ao molibdênio, seu efeito é, todavia, menos marcado; de acordo com a invenção, os teores em cromo e em molibdênio são tais que:  $Cr + (3 \times Mo) \geq 0,3\%$ . Os coeficientes do cromo e do molibdênio nessa relação traduzem sua influência sobre a temperabilidade, em particular a aptidão respectiva desses elementos para evitar a formação de ferrita pró-eutectoide nas condições de resfriamento particulares da invenção.

[0045] De acordo com um modo econômico da invenção, o aço

pode comportar teores em molibdênio e em cromo muito baixos ou nulos, isto é, teores inferiores a 0,005% em peso para esses dois elementos, e 0% de boro.

[0046] Para se obter uma resistência superior a 1400 MPa, a adição de cromo e/ou de molibdênio é requerida, em quantidades mencionadas acima. Quando o teor em enxofre é superior a 0,015%, a aptidão para a mesma em formação é reduzida, em razão da presença excessiva de sulfetos de manganês.

[0047] O teor em fósforo está limitado a 0,1% de forma a manter uma ductilidade a quente suficiente.

[0048] O teor em nitrogênio está limitado a 0,008% para evitar um envelhecimento eventual.

[0049] O aço, de acordo com a invenção, contém eventualmente vanádio em quantidade compreendida entre 0,05 e 0,15%. Em particular, quando o teor em nitrogênio está compreendido conjuntamente entre 0,004 e 0,008%, a precipitação do vanádio pode intervir, quando do recozimento após laminação a frio sob a forma de finos carbonitretos que conferem um endurecimento suplementar.

[0050] Quando o teor em vanádio está compreendido entre 0,12 e 0,15% em peso, o alongamento uniforme ou com ruptura é particularmente aumentado.

[0051] O aço pode eventualmente compreender boro em quantidade inferior ou igual a 0,005%. De acordo com um modo preferido, o aço contém preferencialmente entre 0,0005 e 0,003% de boro, o que contribui para a supressão da ferrita pró-eutectoide em presença de cromo e/ou de molibdênio. Em complemento dos outros elementos de adição, o acréscimo de boro em quantidade mencionada acima permite obter uma resistência superior a 1400 MPa.

[0052] O aço pode eventualmente compreender titânio em quantidade tal que  $Ti/N \geq 4$  e que  $Ti \leq 0,40\%$ , o que permite a formação de carbonitreto de titânio e aumenta o endurecimento.

[0053] O resto da composição é constituído de impurezas inevitáveis resultantes da elaboração. Os teores dessas impurezas, tais como Sn, Sb, As, são inferiores a 0,005%.

[0054] De acordo com um modo de realização da invenção destinado à fabricação de chapas de aço de resistência superior a 1200 MPa, a microestrutura do aço é composta de 65 a 90% de bainita, esses teores referindo-se a percentagens surfácicas, o saldo é constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual (ilhotas de compostos M-A).

[0055] Essa estrutura em maioria bainítica, não comportando ferrita pró-eutectoide de baixa dureza, apresenta uma capacidade de alongamento com ruptura superior a 10%.

[0056] De acordo com a invenção, as ilhotas M-A regularmente dispersadas na matriz têm um tamanho médio inferior a 1 micrometro.

[0057] A figura 1 apresenta um exemplo de microestrutura de uma chapa de aço, de acordo com a invenção. A morfologia das ilhotas M-A foi revelada por meio de reagentes químicos apropriados: após ataque, as ilhotas M-A aparecem em branco sobre uma matriz bainítica mais ou menos escura. Certas ilhotas de pequeno tamanho ficam localizadas entre as latas de ferrita bainítica. Observam-se as ilhotas com aumentos que vão de 500 a 1500 x aproximadamente sobre uma superfície estatisticamente representativa e mede-se, graças a um programa de análise de imagens, o tamanho médio das ilhotas, assim como a distância média entre essas ilhotas. No caso da figura 1, a percentagem surfácica das ilhotas é de 12% e o tamanho médio das ilhotas M-A é inferior a 1 micrometro.

[0058] Colocou-se em evidência que uma morfologia específica

das ilhotas M-A era a pesquisar particularmente: quando o tamanho médio das ilhotas é inferior a 1 micrometro e quando a distância média entre essas ilhotas é inferior a 6 micrometros, conseguem-se os seguintes efeitos:

- um dano limitado em razão da ausência de atração da ruptura sobre ilhotas M-A de tamanho maior;
- um endurecimento significativo, em razão da proximidade de numerosos constituintes M-A de tamanho pequeno.

[0059] De acordo com um outro modo de realização da invenção destinado à fabricação de chapas de aço de resistência superior a 1400 MPa e de alongamento com ruptura superior a 8%, a microestrutura é composta de 45 a 65% de bainita, o saldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual.

[0060] De acordo com um outro modo de realização da invenção, destinado à fabricação de chapas de aço de resistência superior a 1600 MPa e de alongamento com ruptura superior a 8%, a microestrutura é composta de 15 a 45% de bainita, o saldo sendo constituído de martensita e de austenita residual.

[0061] A aplicação do processo de fabricação de uma chapa fina laminada a frio e recozida, de acordo com a invenção, é a seguinte:

- aprovisiona-se um aço de composição, de acordo com a invenção;
- procede-se à fundição de um semiproduto a partir desse aço. Essa fundição pode ser realizada em lingotes ou em contínuo sob a forma de lingotes de espessura da ordem de 200 mm. Pode-se também efetuar a fundição sob a forma de lingotes finos de algumas dezenas de milímetros de espessura, ou de cintas finas, entre cilindros de aço contrarrotativos.

[0062] Os semiprodutos fundidos são inicialmente levados a uma temperatura superior a 1150°C para atingir em qualquer ponto uma

temperatura favorável às deformações elevadas que vai sofrer o aço, quando da laminação.

[0063] Naturalmente, no caso de uma fundição direta de lingotes ou de cintas finas entre cilindros contrarrotativos, a etapa de laminação a quente desses semiprodutos começando a mais de 1150°C pode ser feita diretamente após fundição, embora uma etapa de aquecimento intermediário não seja necessária, nesse caso.

[0064] Lamina-se o semiproduto a quente. Uma vantagem da invenção é que as características finais e a microestrutura da chapa laminada a frio e recozida são relativamente pouco dependentes da temperatura de fim de laminação e do resfriamento seguindo a laminação a quente.

[0065] Bobina-se em seguida a chapa a quente. A temperatura de bobinagem é preferencialmente inferior a 550°C para limitar a duração da chapa laminada a quente e a oxidação intergranular na superfície. Uma dureza muito considerável da chapa laminada a quente leva a esforços excessivos, quando da laminação posterior a frio assim eventualmente quanto a defeitos em bordas.

[0066] Decapa-se, em seguida, a chapa laminada a quente, segundo um processo conhecido em si, de forma a conferir a esta um estado de superfície própria à laminação a frio. Esta é feita, reduzindo-se a espessura da chapa laminada a quente de 30 a 80%.

[0067] Faz-se, em seguida, um tratamento térmico de recozimento, preferencialmente por um recozimento em contínuo, que comporta as seguintes fases:

- uma fase de aquecimento com uma taxa  $V_c$  compreendida entre 5 e 15°C/s, até uma temperatura  $T_1$ . Quando  $V_c$  é superior a 15°C/s, a recristalização da chapa malhada pela laminação a frio pode não ser total. Um valor mínimo de 5°C/s é requerido pela produtividade. Uma taxa  $V_c$

compreendida entre 5 e 15°C/s permite conseguir um tamanho de grão de austenita particularmente adaptado à microestrutura final desejada.

[0068] A temperatura  $T_1$  está compreendida entre  $Ac_3$  e  $Ac_3+20^\circ C$ , a temperatura  $Ac_3$  correspondendo à transformação total em austenita, quando do aquecimento.  $Ac_3$  depende da composição do aço e da taxa de aquecimento e pode ser determinada, por exemplo, por dilatométrica. A austenitização total permite limitar a formação posterior de ferrita pró-eutectoide. É importante que a temperatura  $T_1$  seja inferior a  $Ac_3 + 20^\circ C$  com a finalidade de evitar um aumento exagerado do grão austenítico. No meio dessa faixa ( $Ac_3 - Ac_3 + 20^\circ C$ ), as características do produto final são pouco sensíveis a uma variação de temperatura  $T_1$ .

[0069] Muito preferencialmente, a temperatura  $T_1$  está compreendida entre  $Ac_3 + 10^\circ C$  e  $Ac_3 + 20^\circ C$ . Nessas condições, os inventores colocaram em evidência que o tamanho de grão austenítico é mais homogêneo e mais fino, o que leva, por conseguinte, à formação de uma microestrutura final que apresenta ela também essas características;

- uma manutenção à temperatura  $T_1$  durante um tempo  $t_1$  compreendido entre 50s e 150s. Essa etapa leva a uma homogeneização da austenita.

[0070] A etapa seguinte do processo depende do teor em cromo e em molibdênio do aço:

- quando o aço não comporta praticamente cromo, molibdênio e boro, isto é, quando  $Cr < 0,005\%$ ,  $MO < 0,005\%$ ,  $B = 0\%$ , faz-se um resfriamento com uma taxa  $V_{R1}$  superior a  $40^\circ C/s$  e inferior a  $100^\circ C/s$  até uma temperatura  $T_2$  compreendida entre  $M_s - 30^\circ C$  e  $M_s + 30^\circ C$ . Para essas condições de taxa de resfriamento, a difusão do carbono na austenita é limitada. Esse efeito é saturado além de  $100^\circ C/s$ . Uma manutenção é realizada a essa temperatura  $T_2$  durante um tempo  $t_2$  compreendido entre 150 e 350s.  $M_s$

designa a temperatura de começo de transformação martensítica. Essa temperatura depende da composição do aço utilizado e pode ser determinada, por exemplo, por dilatometria. Essas condições permitem evitar a formação de ferrita pró-eutectoide, quando do resfriamento. Consegue-se também nessas condições uma transformação bainítica da maior parte da austenita. A fração restante é transformada em martensita ou eventualmente estabilizada sob a forma de austenita residual;

- quando o aço comporta um teor em cromo e em molibdênio, tais como  $Mo \leq 0,25\%$ ,  $Cr \leq 1,65\%$ , e  $Cr + (3 \times Mo) \geq 0,3\%$ , faz-se um resfriamento com uma taxa  $V_{R1}$  superior a  $25^\circ\text{C/s}$  e inferior a  $100^\circ\text{C/s}$  até uma temperatura  $T_2$  compreendida entre ( $B_s$  e  $M_s - 20^\circ\text{C}$ ). Uma manutenção é realizada a essa temperatura  $T_2$  durante um tempo  $t_2$  compreendido entre 150 e 350 s.  $B_s$  designa a temperatura de começo de transformação bainítica. Essas condições permitem obter as mesmas características microestruturais que acima. A adição de cromo e/ou de molibdênio permite, em particular, garantir que a formação de ferrita pro-eutectoide não intervenha. Nos limites de taxa de resfriamento  $V_{R1}$ , de acordo com a invenção, as características finais do produto são relativamente pouco sensíveis a uma variação dessa taxa  $V_{R1}$ ;

- a etapa seguinte do processo é idêntica, quer o produto comporte ou não cromo e/ou molibdênio: efetua-se um resfriamento a uma taxa  $V_{R2}$  inferior a  $30^\circ\text{C/s}$  até a temperatura ambiente. Em particular, quando a temperatura  $T_2$  é pouco elevada no meio das faixas, de acordo com a invenção, o resfriamento a uma taxa  $V_{R2}$  inferior a  $30^\circ\text{C/s}$  provoca um revenido das ilhotas de martensita novamente formada, o que é favorável em termos de propriedades de uso.

### **EXEMPLO**

[0071] Foram elaborados aços, cuja composição figura na tabela abaixo, expressa em percentagem ponderal. Além dos aços I-1 a I-5 que

serviram à fabricação de chapas, de acordo com a invenção, indicou-se, a título de comparação, a composição de aços R-1 a R-5 que serviu à fabricação de chapas de referência.

| Aço | C (%)        | Mn (%)       | Si (%) | Al (%) | Si+Al (%)    | Mo (%)     | Cr (%) | Cr+(3xmo) (%) | S (%) | P (%) | V (%) | Ti (%) | B (%)  | N (%) |
|-----|--------------|--------------|--------|--------|--------------|------------|--------|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| I-1 | 0,19         | 2            | 1,5    | 0,040  | 1,54         | -          | -      | -             | 0,003 | 0,015 | -     | -      | -      | 0,004 |
| I-2 | 0,2          | 2            | 1,5    | 0,040  | 1,54         | 0,25       | -      | 0,75          | 0,003 | 0,015 | -     | -      | -      | 0,004 |
| I-3 | 0,19         | 2            | 1,5    | 0,040  | 1,54         | 0,14       | 0,34   | 0,76          | 0,003 | 0,015 | -     | -      | -      | 0,004 |
| I-4 | 0,2          | 2            | 1,5    | 0,040  | 1,54         | 0,25       | -      | 0,75          | 0,003 | 0,015 | -     | -      | -      | 0,004 |
| I-5 | 0,2          | 2            | 1,5    | 0,040  | 1,54         | 0,25       | -      | 0,75          | 0,003 | 0,015 | 0,15  | 0,020  | 0,0038 | 0,004 |
| R-1 | 0,110        | 2,2          | 0,347  | 0,031  | <u>0,378</u> | 0,13       | 0,4    | 0,79          | 0,003 | 0,015 | -     | 0,027  | -      | 0,004 |
| R-2 | <u>0,038</u> | <u>0,212</u> | 0,036  | 0,053  | <u>0,089</u> | <u>1,1</u> | 0,21   | 3,51          | 0,003 | 0,015 | -     | 0,002  | -      | 0,004 |
| R-3 | <u>0,035</u> | 0,21         | 0,035  | 0,054  | <u>0,089</u> | <u>0,5</u> | 0,034  | 1,534         | 0,003 | 0,015 | -     | 0,002  | -      | 0,004 |
| R-4 | 0,19         | 1,3          | 0,25   | 0,040  | <u>0,29</u>  | -          | 0,18   | 0,18          | 0,003 | 0,015 | -     |        | 0,003  | 0,004 |
| R-5 | 0,148        | 1,925        | 0,214  | 0,214  | <u>0,238</u> | -          | 0,19   | 0,19          | 0,002 | 0,012 | -     | 0,024  |        | 0,005 |

- Tabela 1: Composições de aços (% em peso). I = De acordo com a invenção. R = referência

- Valores sublinhados: não de acordo com a invenção.

[0072] Semiprodutos correspondentes às composições acima foram aquecidos a 1200°C, laminados a quente até uma espessura de 3 mm e bobinados a uma temperatura inferior a 550°C. As chapas foram, em seguida, laminadas a frio até uma espessura de 0,9 mm, seja uma taxa de redução de 70%. A partir de uma mesma composição, certos aços constituíram o objeto de diferentes condições de fabricação. As referências I1-a, I1-b e I1-c, I1-d designam, por exemplo, quatro chapas de aços fabricadas, segundo condições diferentes, a partir da composição de aço I1. A tabela 2 indica as condições de fabricação das chapas recozidas após laminação a frio. A taxa de aquecimento Vc é de 10°C/s em todos os casos.

[0073] As temperaturas de transformação Ac3, Bs e Ms foram também levadas à tabela 2.

[0074] Foram também indicados os diferentes constituintes microestruturais medidos por microscopia quantitativa: fração surfácica de

bainita, martensita e de austenita residual.

[0075] As ilhotas M-A foram colocadas em evidência pelo reagente de LePera. Sua morfologia foi examinada por meio de um programa de análise de imagens Scion®.

| Chapa de aço | T <sub>1</sub> (°C) | Ac3 (°C) | t <sub>1</sub> (s) | V <sub>R1</sub> (°C/s) | T <sub>2</sub> (°C) | B <sub>s</sub> (°C) | M <sub>s</sub> (°C) | t <sub>2</sub> (s) | V <sub>R2</sub> (°C/s) |
|--------------|---------------------|----------|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| I1-a         | 850                 | 830      | 100                | 54                     | 350                 | 600                 | 380                 | 200                | 15                     |
| I1-b         | <u>800</u>          | 830      | 100                | 54                     | 400                 | 600                 | 380                 | 200                | 15                     |
| I1-c         | <u>825</u>          | 830      | 100                | 54                     | 400                 | 600                 | 380                 | 200                | 15                     |
| I1-d         | 850                 | 830      | 100                | 54                     | <u>450</u>          | 600                 | 380                 | 200                | 15                     |
| I2-a         | 850                 | 830      | 100                | 54                     | 400                 | 575                 | 375                 | 200                | 15                     |
| I2b          | 850                 | 830      | 120                | 54                     | 400                 | 575                 | 375                 | 240                | 15                     |
| I2-c         | 850                 | 830      | 95                 | <u>22</u>              | 400                 | 575                 | 375                 | 200                | 5                      |
| I3-a         | 850                 | 830      | 100                | 54                     | 400                 | 565                 | 395                 | 200                | 15                     |
| I3-b         | 850                 | 830      | 100                | 65                     | <u>350</u>          | 565                 | 395                 | 200                | 15                     |
| I4           | 850                 | 830      | 100                | 54                     | 400                 | 575                 | 375                 | 200                | 15                     |
| I5           | 850                 | 830      | 100                | 54                     | 400                 | 575                 | 375                 | 200                | 15                     |
| R1           | 850                 | 845      | 100                | 54                     | <u>400</u>          | 520                 | 425                 | 200                | 15                     |
| R2           | <u>800</u>          | 930      | 60                 | <u>20</u>              | <u>460</u>          | 695                 | 510                 | <u>20</u>          | 15                     |
| R3           | 800                 | 915      | 60                 | <u>20</u>              | <u>460</u>          | 760                 | 520                 | <u>20</u>          | 15                     |
| R4           | 850                 | 845      | <u>300</u>         | <u>20</u>              | 460                 | 650                 | 425                 | <u>20</u>          | 15                     |
| R5           | <u>800</u>          | 900      | <u>60</u>          | <u>20</u>              | 460                 | 605                 | 425                 | <u>60</u>          | 20                     |

- Tabela 2: condições de fabricação e microestrutura das chapas laminadas a quente obtidas. I = De acordo com a invenção

- R = referência

- Valores sublinhados: não de acordo com a invenção.

[0076] As propriedades mecânicas de tração obtidas (limite de elasticidade Re, resistência Rm, alongamento uniforme Au, alongamento com ruptura At) foram levadas à tabela 3 abaixo. A relação Re/Rm foi também indicada.

[0077] Em certos casos, determinou-se a energia de ruptura a - 40°C a partir de amostras de resiliência do tipo Charpy V de espessura reduzida a 1,4 mm.

[0078] Avaliou-se também o dano ligado a um recorte (cisalhamento ou puncionamento, por exemplo) que poderia eventualmente

diminuir as capacidades de deformação posterior de uma peça recortada. Com essa finalidade, foram recortadas por cisalhamento amostras de dimensão 20 x 80 mm<sup>2</sup>. Uma parte dessas amostras foi, em seguida, submetida a um polimento das bordas. As amostras foram revestidas de grades fotodepositadas, depois submetidas a uma tração uniaxial até ruptura. Os valores das deformações principais  $\varepsilon_1$  paralelas ao sentido da solicitação foram medidas o mais próximo possível da atração da ruptura a partir das grades deformadas. Essa medida foi feita sobre as amostras com bordas recortadas mecanicamente e sobre amostras com bordas polidas. A sensibilidade ao recorte foi avaliada pelo fator de dano:  $\Delta = \varepsilon_1$  (bordas recortadas) -  $\varepsilon_1$  (bordas polidas) /  $\varepsilon_1$  (bordas polidas).

[0079] Para certas chapas, avaliou-se o dano nas proximidades de bordas recortadas a partir de amostras de 105 x 105 mm<sup>2</sup>, comportando um orifício de um diâmetro inicial de 10 mm. Mede-se o aumento relativo do diâmetro do orifício, após introdução de um punção cônico até que uma fissura apareça.

| Chapa de aço   | fração bainítica (%) | fração (M-A) (%) | Tamanho de ilha (M-A) < 1 micron e distância média < 6 micrometros | Re (MPa) | Rm (MPa)    | Au (%) | At (%)     | KCV (-40°C) D/cm <sup>2</sup> | Dano $\Delta$ bordas recortadas (%) | Expansão (%) |
|----------------|----------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|----------|-------------|--------|------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| <u>num11-a</u> | 89                   | 11               | Sim                                                                | 718      | 1200        | 7,5    | 11,2       | 63                            |                                     | 35           |
| <u>I1-b</u>    | 43                   | 17               | <u>Não</u>                                                         | 490      | <u>1020</u> | 15     | 19         |                               |                                     |              |
| <u>I1-c</u>    | 63                   | 17               | Sim                                                                | 500      | <u>1040</u> | 14     | 17         | <u>36</u>                     |                                     |              |
| <u>I1-d</u>    | 83                   | 17               | <u>Não</u>                                                         | 550      | <u>1100</u> | 9      | 12         |                               |                                     |              |
| <u>I2-a</u>    | 88                   | 12               | Sim                                                                | 800      | 1250        | 8,8    | 12,7       |                               | -14                                 |              |
| <u>I2-b</u>    | 90                   | 10               | Sim                                                                | 790      | 1260        | 8,2    | 12         |                               |                                     |              |
| <u>I2-c</u>    | Nd                   | Nd               | Nd                                                                 | 700      | 1200        | 7      | <u>8,5</u> |                               |                                     |              |
| I3-a           | 88                   | 12               | Sim                                                                | 750      | 1200        | 8,5    | 12,7       |                               |                                     | 40           |
| I3-b           | Nd                   | Nd               | Nd                                                                 | 900      | 1300        | 9      | <u>8</u>   |                               |                                     |              |
| I4             | 60                   | 40               | Sim                                                                | 690      | 1420        | 8      | 11,2       |                               | -22,5                               |              |
| I5             | 45                   | 55               | Nd                                                                 | 800      | 1600        | 1600   | 7,5        | 10                            |                                     |              |
| <u>R1</u>      | Nd                   | Nd               | Nd                                                                 | 800      | <u>950</u>  | 4      | <u>6</u>   |                               |                                     |              |
| <u>R2</u>      | <u>Ferrite</u>       | <u>6</u>         | Nd                                                                 | 400      | <u>520</u>  | 10     | 16         |                               |                                     |              |

| Chapa de aço | fração bainítica (%) | fração (M-A) (%) | Tamanho de ilhota (M-A) < 1 micron e distância média < 6 micrometros | Re (MPa) | Rm (MPa)   | Au (%) | At (%)   | KCV (-40°C) D/cm <sup>2</sup> | Dano Δ bordas recortadas (%) | Expansão (%) |
|--------------|----------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|----------|------------|--------|----------|-------------------------------|------------------------------|--------------|
| <u>R3</u>    | <u>Ferrite</u>       | <u>5</u>         | Nd                                                                   | 300      | <u>450</u> | 16     | 21       |                               |                              |              |
| <u>R4</u>    | 60                   | 40               | Nd                                                                   | 650      | <u>950</u> | Nd     | <u>4</u> |                               |                              |              |
| <u>R5</u>    | <u>Ferrite</u>       | 16               | Sim                                                                  | 404      | <u>856</u> | 12,4   | 16       |                               | -43                          |              |

Tabela 3: propriedades mecânicas das chapas laminadas a frio e recozidas.

Valores sublinhados: não de acordo com a invenção. Nd: não determinado.

[0080] As chapas de composição, de acordo com a invenção e fabricadas segundo as condições da invenção (I1-a, I2-a-b, I3-a, I4, I5), apresentam uma combinação de propriedades mecânicas particularmente vantajosa: por um lado, uma resistência mecânica superior a 1200 MPa, por outro lado, um alongamento com ruptura sempre superior ou igual a 10%. Os aços, de acordo com a invenção, apresentam também uma energia de ruptura Charpy a -40°C superior a 40 Joules/cm<sup>2</sup>. Isto permite a fabricação de peças resistentes à propagação brutal de um defeito notadamente em caso de solicitações dinâmicas. As microestruturas dos aços com uma resistência mínima de 1200 MPa e um alongamento com ruptura mínima de 10%, de acordo com a invenção, comportam um teor em bainita compreendido entre 65 e 90%, o saldo sendo constituído de ilhotas M-A. A figura 1 apresenta assim a microestrutura da chapa de aço I3a, que comporta 88% de bainita e 12% de ilhotas M-A, revelada por um ataque ao reagente LePera. A figura 2 apresenta essa microestrutura revelada por um ataque Nital. No caso de aços que apresentam uma resistência mínima de 1400 MPa e um alongamento com ruptura mínima de 8%, os aços, de acordo com a invenção, apresentam um teor em bainita compreendido entre 45 e 65%, o saldo sendo ilhotas M-A. No caso de aços que apresentam uma resistência mínima de 1600 MPa e um

alongamento com ruptura mínima de 8%, os aços, de acordo com a invenção, apresentam um teor em bainita compreendido entre 15 e 35%, o saldo sendo a martensita e a austenita residual. As chapas de aço, de acordo com a invenção, apresentam um tamanho de ilhotas M-A inferior a 1 micrometro, a distância interilhotas sendo inferior a 6 micrometros.

[0081] Os aços, de acordo com a invenção, apresentam uma boa resistência ao dano em caso de recorte, já que o fator de dano  $\Delta$  é limitado a - 23%. Uma chapa de aço que não apresenta essas características (R5) pode apresentar um fator de dano de 43%. As chapas, de acordo com a invenção, apresentam uma boa aptidão à expansão de orifício.

[0082] Os aços, de acordo com a invenção, apresentam também uma boa aptidão para soldagem homogênea: para parâmetros de soldagem adaptados às espessuras reportados acima, as juntas soldadas estão isentas de fissuras a frio ou a quente.

[0083] As chapas de aço I1-b e I1-c foram recozidas a uma temperatura T1 muito baixa, a transformação austenítica não está completa. Em consequência, a microestrutura comporta a ferrita pró-eutectoide (40% para I1b, 20% para I1-c) e um teor excessivo em ilhotas M-A. A resistência mecânica é, então, diminuída pela presença de ferrita pró-eutectoide.

[0084] Para a chapa de aço I1-d, a temperatura de manutenção T2 é superior a  $MS+30^{\circ}C$ : a transformação bainítica que intervém à temperatura mais elevada dá origem a uma estrutura mais grosseira e leva a uma resistência mecânica insuficiente.

[0085] Para a chapa de aço I-2c, a taxa de resfriamento VR1, após recozimento não é suficiente, a microestrutura formada é mais homogênea e o alongamento com ruptura é reduzido abaixo de 10%.

[0086] Para a chapa I-3b, a temperatura de manutenção T2 é inferior a  $Ms-20^{\circ}C$ : em consequência, o resfriamento VR1 provoca o

aparecimento de uma bainita formada à baixa temperatura e de martensita, associadas a um alongamento insuficiente.

[0087] O aço R1 tem um teor em (silício + alumínio) insuficiente, a temperatura de manutenção T2 é inferior a  $M_s - 20^{\circ}\text{C}$ . Em razão do teor insuficiente em (Si+Al), a quantidade de ilhotas M-A formada é insuficiente para se conseguir uma resistência superior ou igual a 1200 MPa.

[0088] Os aços R2 e R3 têm teores em carbono, manganês, silício+ alumínio, insuficientes. A quantidade de compostos M-A formados é inferior a 10%. Além disso, a temperatura de recozimento T1 inferior a  $A_{c3}$  leva a um teor excessivo em ferrita pró-eutectoide e em cementita, e a uma resistência insuficiente.

[0089] O aço R4 tem um teor insuficiente em (Si+Al). A taxa de resfriamento VR1 é notadamente muito reduzida. O enriquecimento da austenita em carbono ao resfriamento é, então, insuficiente para permitir a formação de martensita e para serem obtidas as propriedades de resistência e de alongamento visadas pela invenção.

[0090] O aço R5 apresenta também um teor insuficiente em (Si+Al). A taxa de resfriamento insuficientemente rápida, após o recozimento, leva a um teor excessivo em ferrita pró-eutectoide e a uma resistência mecânica insuficiente.

[0091] Partindo do processo de fabricação de chapa de aço I2-a, uma chapa de aço I2-d foi fabricada segundo um processo que apresenta características idênticas, com exceção da temperatura T1 igual a  $830^{\circ}\text{C}$ , seja a temperatura  $A_{c3}$ . No caso em que T1 é igual a  $A_{c3}$ , a aptidão à expansão de orifício cônico é de 25%. Quando a temperatura T1 é igual a  $850^{\circ}\text{C}$  ( $A_{c3} + 20^{\circ}\text{C}$ ), a aptidão à expansão é aumentada até 31%.

[0092] Assim, a invenção permite a fabricação de chapas de aços ligantes com uma resistência muito elevada e uma ductilidade elevada. As

chapas de aços, de acordo com a invenção, são utilizadas com proveito para a fabricação de peças de estrutura ou de elementos de reforço no domínio automóvel e da indústria geral.

### **REIVINDICAÇÕES**

1. Chapa de aço laminada a frio e recozida, caracterizada pelo fato de que apresenta resistência a tração igual a ou superior a 1200MPa e alongamento com ruptura superior a 8%, compreendendo os teores sendo expressos em peso:

$$0,10\% \leq C \leq 0,25\%,$$

$$1\% \leq Mn \leq 3\%,$$

$$Al \geq 0,010\%,$$

$$1,2 \leq Si \leq 1,8\%,$$

$$S \leq 0,015\%,$$

$$P \leq 0,1\%,$$

$$0,004 \leq N \leq 0,008\%,$$

em que

$$1,2 \leq Si + Al \leq 3\%,$$

a composição compreendendo eventualmente:

$$0,05\% \leq V \leq 0,15\%,$$

$$B \leq 0,005\%,$$

$$Mo \leq 0,25\%,$$

$$Cr \leq 1,65\%,$$

em que

$$Cr + (3 \times Mo) \geq 0,3\%,$$

Ti em quantidade tal que  $Ti/N \geq 4$  e que  $Ti \leq 0,040\%$ ,

o resto da composição sendo constituído de ferro e de impurezas inevitáveis resultantes da elaboração, a microestrutura desse aço compreendendo 15 a 90% de bainita, o saldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual, em que o tamanho médio das ilhotas de martensita e de austenita residual é inferior a 1 micrometro e a distância média entre as ilhotas é inferior a 6 micrometros.

2. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que apresenta alongamento com ruptura superior a 10%, compreendendo:

$$Mo < 0,005\%$$

$$Cr < 0,005\%$$

$$B = 0\%$$

a microestrutura desse aço compreendendo 65 a 90% de bainita, o saldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual.

3. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que contém:

$$Mo \leq 0,25\%,$$

$$Cr \leq 1,65\%,$$

em que:

$$Cr + (3 \times Mo) \geq 0,3\%,$$

$$B = 0\%,$$

a microestrutura desse aço compreendendo 65 a 90% de bainita, o saldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual.

4. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que apresenta resistência a tração superior a 1400MPa e alongamento com ruptura superior a 8%, compreendendo:

$$Mo \leq 0,25\%,$$

$$Cr \leq 1,65\%,$$

em que:

$$Cr + (3 \times Mo) \geq 0,3\%,$$

a microestrutura desse aço compreendendo 45 a 65% de bainita, o saldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual.

5. Chapa de aço de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que apresenta resistência a tração superior a

1600MPa e alongamento com ruptura superior a 8%, compreendendo:

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

$$\text{Cr} \leq 1,65\%,$$

em que:

$$\text{Cr} + (3 \times \text{Mo}) \geq 0,3\%,$$

a microestrutura desse aço compreendendo 15 a 35% de bainita, o saldo sendo constituído de ilhotas de martensita e de austenita residual.

6. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada pelo fato de que a composição desse aço contém, o teor sendo expresso em peso:

$$0,19\% \leq \text{C} \leq 0,23\%.$$

7. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pelo fato de que a composição desse aço contém, o teor sendo expresso em peso:

$$1,5\% \leq \text{Mn} \leq 0,25\%.$$

8. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada pelo fato de que a composição desse aço contém, o teor sendo expresso em peso:

$$1,2\% \leq \text{Al} \leq 1,8\%.$$

9. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizada pelo fato de que a composição desse aço contém, o teor sendo expresso em peso:

$$0,05\% \leq \text{V} \leq 0,15\%.$$

10. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizada pelo fato de que a composição desse aço contém, o teor sendo expresso em peso:

$$0,12\% \leq \text{V} \leq 0,15\%.$$

11. Chapa de aço de acordo com qualquer uma das

reivindicações 1, 4 e 5, caracterizada pelo fato de que a composição desse aço contém, o teor sendo expresso em peso:

$$0,0005\% \leq B \leq 0,003\%.$$

12. Processo de fabricação de uma chapa de aço laminada a frio, de resistência a tração superior a 1200MPa, de alongamento com ruptura superior a 10%, caracterizado pelo fato de que:

- se aprovisiona um aço de composição, conforme definido na reivindicação 1, depois,
- se procede à fundição de um semiproduto a partir desse aço, depois,
- se leva esse semiproduto a uma temperatura superior a 1150°C, depois
- se lamina a quente esse semiproduto para se obter uma chapa laminada a quente, depois
- se bobina essa chapa, depois
- se decapa essa chapa laminada a quente, depois
- se lamina a frio essa chapa com uma taxa de redução compreendida entre 30 e 80%, de forma a se obter uma chapa laminada a frio, depois,
- se aquece essa chapa laminada a frio a uma taxa  $V_c$  compreendida entre 5 e 15°C/s até uma temperatura  $T_1$  compreendida entre  $A_{c3}$  e  $A_{c3}+20^\circ\text{C}$ , durante um tempo  $t_1$  compreendido entre 50 e 150 s, depois se resfria essa chapa a uma taxa  $V_{R1}$  superior a 40°C/s e inferior a 100°C/s até uma temperatura  $T_2$  compreendida entre  $(M_s - 30^\circ\text{C})$  e  $(M_s + 30^\circ\text{C})$ , se mantém essa chapa a essa temperatura  $T_2$  durante um tempo  $t_2$  compreendido entre 150 e 350 s, depois se faz um resfriamento a uma taxa  $V_{R2}$  inferior a 30°C/s até a temperatura ambiente.

13. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 12,

caracterizado pelo fato de que a temperatura  $T_1$  está compreendida entre  $A_{c3} + 10^\circ\text{C}$  e  $A_{c3} + 20^\circ\text{C}$ .

14. Processo de fabricação de uma chapa de aço laminada a frio, de resistência a tração superior ou igual a 1200MPa, de alongamento com ruptura superior a 8%, caracterizado pelo fato de que:

- se aprovisiona um aço de composição, conforme definido na reivindicação 1, os teores em Mo e em Cr sendo tais que  $Mo \leq 0,25\%$ ,  $Cr \leq 1,65\%$ , naturalmente que:  $Cr + (3 \times Mo) \geq 0,3\%$ , depois

- fabrica-se uma chapa laminada a frio, por meio de um processo compreendendo as etapas de fundição, reaquecimento, laminação a quente, bobinagem, decapagem, laminação a frio, conforme definido na reivindicação 12, depois

- se aquece essa chapa laminada a frio a uma taxa  $V_c$  compreendida entre 5 e 15°C/s até uma temperatura  $T_1$  compreendida entre  $A_{c3}$  e  $A_{c3} + 20^\circ\text{C}$ , durante um tempo  $t_1$  compreendido entre 50 e 150 s, depois se resfria essa chapa a uma taxa  $V_{R1}$  superior a 25°C/s e inferior a 100°C/s até uma temperatura  $T_2$  compreendida entre  $B_s$  e  $(M_s - 20^\circ\text{C})$ , se mantém essa chapa a essa temperatura  $T_2$  durante um tempo  $t_2$  compreendido entre 150 e 350 s, depois se faz um resfriamento a uma taxa  $V_{R2}$  inferior a 30°C/s até a temperatura ambiente.

15. Processo de fabricação de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a temperatura  $T_1$  está compreendida entre  $A_{c3} + 10^\circ\text{C}$  e  $A_{c3} + 20^\circ\text{C}$ .

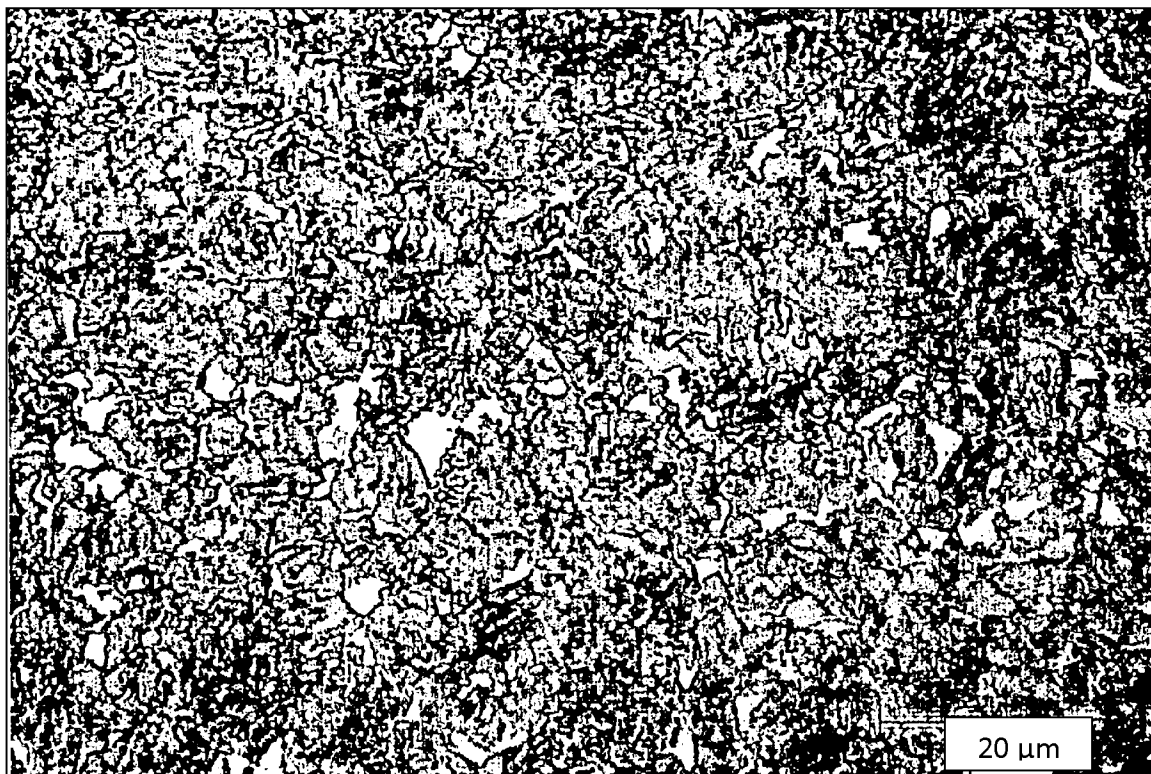


FIG. 1

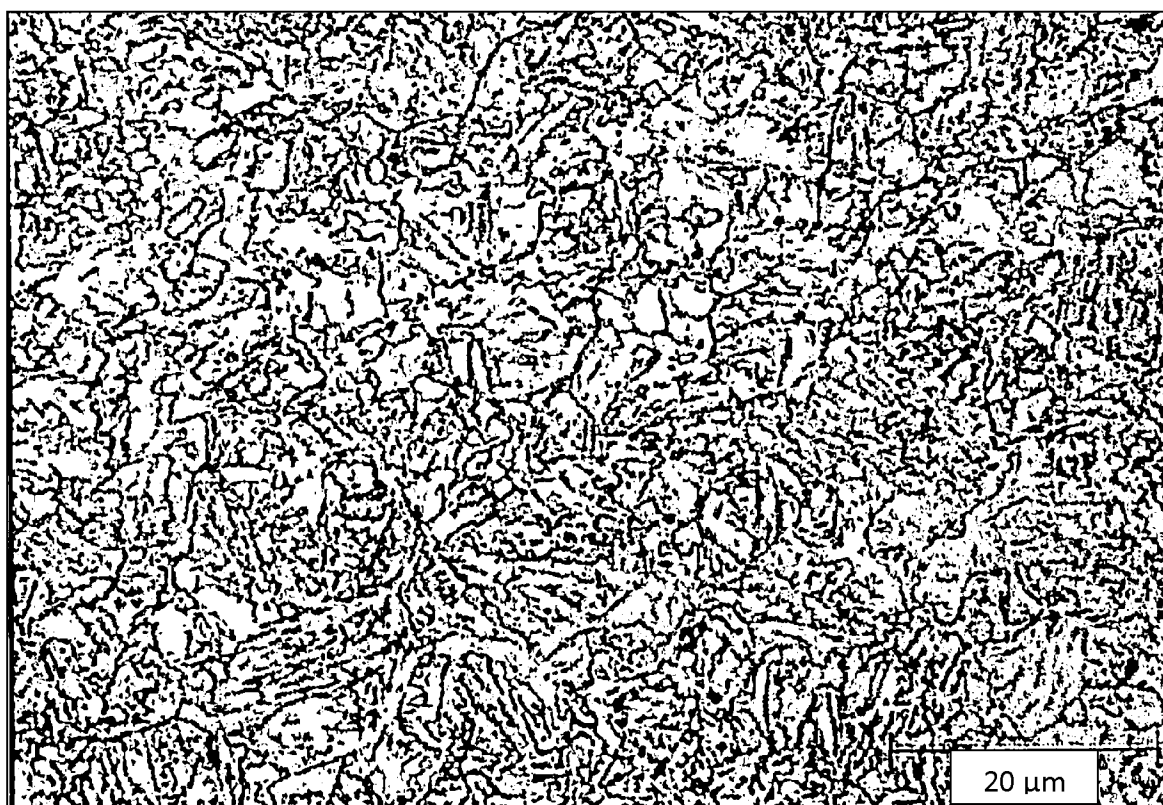


FIG. 2