



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

(11) PI 0912879-4 B1

(22) Data do Depósito: 15/05/2009

(45) Data de Concessão: 26/06/2018



(54) Título: CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA

(51) Int.Cl.: C22C 38/04; C21D 8/02; C23C 2/06; C23C 2/02

(30) Prioridade Unionista: 21/05/2008 EP 08 290474.9

(73) Titular(es): ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

(72) Inventor(es): ANTOINE MOULIN; VÉRONIQUE SARDOY; CATHERINE VINCI; GLORIA RESTREPO GARCES; TOM WATERSCHOOT; MOHAMED GOUNE

“CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A invenção refere-se à fabricação de chapas laminadas a frio e recozidas de aços ditos "fase dual", apresentando uma resistência muito elevada e uma aptidão à deformação para a fabricação de peças por conformação, em particular na indústria automobilística.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Os aços bifásicos, cuja estrutura compreende a martensita, eventualmente a bainita, no meio de uma matriz ferrítica, conheceram um grande desenvolvimento, pois aliam uma resistência elevada a possibilidades importantes de deformação. No estado de entrega, seu limite de elasticidade é relativamente baixo comparado à sua resistência à ruptura, o que lhe confere uma relação (limite de elasticidade / resistência) muito favorável, quando das operações de conformação. Sua capacidade de consolidação é muito grande, o que permite uma boa distribuição das deformações no caso de uma colisão e a obtenção de um limite de elasticidade nitidamente mais importante sobre peças, após conformação. Podem-se realizar assim peças tão complexas quanto com aços convencionais, mas com propriedades mecânicas mais elevadas, o que permite uma diminuição de espessura para ter um caderno de encargos funcional idêntico. Desse modo, esses aços são uma resposta eficaz às exigências de controle e de segurança dos veículos. No domínio das chapas laminadas a quente (de espessura indo, por exemplo, de 1 a 10 mm), ou laminadas a frio (espessura que vai, por exemplo, de 0,5 a 3 mm), esse tipo de aços encontra notadamente aplicações para peças de estruturas e de segurança para os veículos automóveis, tais como as travessas, longarinas, peças de reforço, ou ainda as voiles de rodas.

[003] As exigências recentes de controle e de redução do consumo de energia levaram a uma demanda aumentada de aços bifásicos de resistência muito elevada, isto é, cuja resistência mecânica R_m está compreendida entre 980 e 1100 MPa. Além desse nível de resistência, esses aços devem apresentar uma boa soldabilidade e uma boa aptidão à galvanização por mergulho quente. Esses aços devem também apresentar uma boa aptidão ao dobramento.

[004] A fabricação de aço bifásico de elevada resistência é, por exemplo, descrita no documento EP 12011780 A1 relativos a aços de composição: 0,01 – 0,3% C, 0,01-2% Si, 0,05 – 3% Mn, 0,1% P, < 0,01% S, 0,005-1% Al, cuja resistência mecânica é superior a 540 MPa, que apresentam uma boa resistência à fadiga e uma aptidão à expansão de furo. Todavia, a maior parte dos exemplos apresentados nesse documento revelam uma resistência inferior a 875 MPa. Os raros exemplos nesse documento indo além desse valor são relativos a aços de elevado teor em carbono (0,25 ou 0,31%) para as quais a aptidão à soldagem e à expansão de furo não é suficiente.

[005] O documento EP0796928A 1 descreve, por outro lado, aços bifásicos laminados a frio, cuja resistência é superior a 550 MPa, de composição 0,05-0,3% C, 0,8-3% Mn, 0,4- 2,5% Al, 0,01 – 0,2% Si. A matriz ferrítica contém martensita, bainita e/ou a austenita residual. Os exemplos apresentados mostram que a resistência não ultrapassa 660 MPa, mesmo para um teor em carbono elevado (0,20 – 0,21%).

[006] O documento JP 11350038 descreve aços bifásicos, cuja resistência é superior a 980 MPa, de composição 0,10 – 0,15% C, 0,8 -1,5% Si, 1,5 – 2,0% Mn, 0,01 – 0,05% P, menos de 0,005% S, 0,01-0,07% Al em solução, menos de 0,01% N, contendo além disso um ou vários elementos: 0,001 – 0,02% Nb, 0,001-0,02% V, 0,001 – 0,02% Ti. Essa resistência elevada é, todavia, obtida ao preço de uma adição importante de silício que permite certamen-

te a formação de martensita, mas pode, todavia, levar à formação de óxidos superficiais que deterioram a capacidade de recobrimento por imersão.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[007] A finalidade da presente invenção é de propor um processo de fabricação de chapas de aços bifásicos com resistência muito elevada, laminadas a frio, sem ou com revestimento, não apresentando os inconvenientes mencionados anteriormente.

[008] Ela visa colocar à disposição chapas de aço bifásico que apresentam uma resistência mecânica compreendida entre 980 e 1100 MPa conjuntamente com um alongamento à ruptura superior a 9% e uma boa aptidão à conformação, notadamente ao dobramento.

[009] A invenção visa também a colocar à disposição um processo de fabricação, cujas variações pequenas dos parâmetros não acarretam modificações importantes da microestrutura ou propriedades mecânicas.

[010] A invenção visa também a 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.

[011] Ela visa também a dispor de uma chapa de aço apta ao depósito de um revestimento metálico, em particular por galvanização por mergulho quente, segundo os processos usuais.

[012] Ela visa ainda a 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.

[013] A invenção visa também a colocar à disposição um processo de fabricação econômico, evitando a adição de elementos de liga onerosos.

[014] Para isso, a invenção tem por objeto uma chapa de aço bifásico laminada a frio e recozida de resistência compreendida entre 980 e 1100

MPa, de alongamento à ruptura superior a 9%, cuja composição compreende, os teores sendo expressos em peso: $0,055\% \leq C \leq 0,095\%$, $2\% \leq Mn \leq 2,6\%$, $0,005\% \leq Si \leq 0,35\%$, $S \leq 0,005\%$, $P \leq 0,050\%$, $0,1 \leq Al \leq 0,3\%$, $0,05\% \leq Mo \leq 0,25\%$, $0,2\% \leq Cr \leq 0,5\%$, naturalmente que $Cr+2Mo \leq 0,6\%$, $Ni \leq 0,1\%$, $0,010 \leq Nb \leq 0,040\%$, $0,010 \leq Ti \leq 0,050\%$, $0,0005 \leq B \leq 0,025\%$, $0,002\% \leq N \leq 0,07\%$, o resto da composição sendo constituído de ferro e de impurezas inevitáveis resultantes da elaboração.

[015] Preferencialmente, a composição do aço contém, o teor sendo expresso em peso: $0,12\% \leq Al \leq 0,25\%$.

[016] Sendo um modo preferido, a composição do aço contém, o teor sendo expresso em peso: $0,10\% \leq Si \leq 0,30\%$.

[017] A composição do aço contém a título preferencial: $0,15\% \leq Si \leq 0,28\%$.

[018] Segundo um modo preferido, a composição contém: $P \leq 0,015\%$.

[019] A microestrutura da chapa contém preferencialmente 35 a 50% de martensita em proporção de área superficial.

[020] Segundo um modo particular, o complemento da microestrutura é constituído de 50 a 65% de ferrita em proporção de área superficial.

[021] Segundo um outro modo particular, o complemento da microestrutura é constituído de 1 a 10% de bainita e de 40 a 64% de ferrita em proporção de área superficial.

[022] A fração de área superficial de ferrita não recristalizada em relação à totalidade da fase ferrítica é preferencialmente inferior ou igual a 15%.

[023] A chapa de aço possui preferencialmente uma relação entre seu limite de elasticidade R_e e sua resistência R_m , tal como: $0,6 \leq R_e/R_m \leq 0,8$.

[024] Segundo um modo particular, a chapa comporta um revestimento galvanizado.

[025] A invenção tem também por objeto um processo de fabricação de uma chapa de aço bifásico laminada a frio e recozida, caracterizado pelo fato de se aprovisionar um aço de composição, de acordo com qualquer uma das características acima, onde

- se lingota na forma de um produto semi-acabado, depois
- se leva o produto semi-acabado a uma temperatura $1150^{\circ}\text{C} \leq T_R \leq 1250^{\circ}\text{C}$, depois
- se lamina a quente o produto semi-acabado com uma temperatura de fim de laminação $T_{FL} \geq Ar3$ para se obter um produto laminado a quente, depois
- se bobina o produto laminado a quente a uma temperatura de $500^{\circ}\text{C} \leq T_{bob} \leq 570^{\circ}\text{C}$, depois se decapa o produto laminado a quente, depois se efetua uma laminação a frio com uma taxa de redução compreendida entre 30 e 80% para se obter um produto laminado a frio, onde
- se aquece o produto laminado a frio a uma velocidade $1^{\circ}\text{C/s} \leq V_c \leq 5^{\circ}\text{C/s}$ até uma temperatura de recozimento T_M , tal como: $Ac1+40^{\circ}\text{C} \leq T_M \leq Ac3 - 30^{\circ}\text{C}$, na qual se efetua uma manutenção por uma duração: $30 \text{ s} \leq t_M < 300 \text{ s}$, de forma a se obter um produto aquecido e recozido com uma estrutura que compreende a austenita, onde
- se resfria o produto até uma temperatura inferior à temperatura M_s com uma velocidade V suficiente para que a austenita se transforme totalmente em martensita.

[026] A invenção tem também por objeto um processo de fabricação de uma chapa de aço bifásico laminada a frio, recozida e galvanizada, caracterizado pelo fato de se aprovisionar o produto aquecido e recozido com uma estrutura que compreende a austenita, segundo a característica acima,

depois

- se resfria o produto aquecido e recozido com uma velocidade V_R suficiente para evitar a transformação da austenita em ferrita, até atingir uma temperatura próxima da temperatura T_{Zn} de galvanização por mergulho quente, depois

- se galvaniza em contínuo o produto por imersão em um banho de zinco ou de liga de Zn a uma temperatura $450^\circ\text{C} \leq T_{Zn} \leq 480^\circ\text{C}$ para se obter um produto galvanizado, depois

- se resfria o produto galvanizado até à temperatura ambiente com uma velocidade V'_R superior a 4°C/s para se obter uma chapa de aço laminada a frio, recozida e galvanizada.

[027] A invenção tem também por objeto um processo de fabricação de uma chapa de aço bifásico laminada a frio e galvanizada, caracterizado pelo fato de se aprovisionar o produto aquecido e recozido com uma estrutura que compreende austenita, segundo a característica acima, depois,

- se resfria o produto aquecido e recozido com uma velocidade V_R suficiente para evitar a transformação dessa austenita em ferrita, até atingir uma temperatura próxima da temperatura T_{Zn} de galvanização por mergulho quente, depois

- se galvaniza em contínuo o produto por imersão em um banho de zinco ou de liga de Zn a uma temperatura $450^\circ\text{C} \leq T_{Zn} \leq 480^\circ\text{C}$ para se obter um produto galvanizado, depois

- se aquece o produto galvanizado a uma temperatura T compreendida entre 490 e 550°C , por uma duração t_G compreendida entre 10 e 40 s para se obter um produto galvanizado, depois

- se resfria o produto galvanizado até à temperatura ambiente a uma velocidade V''_R superior a 4°C/s para se obter uma chapa de aço laminado a frio e galvanizado.

[028] A invenção tem também por objeto um processo de fabricação, segundo uma das características acima, caracterizado pelo fato de a temperatura T_M estar compreendida entre 760 e 830 °C.

[029] De acordo com um modo particular, a velocidade de resfriamento V_R é superior ou igual a 15 °C C/s.

[030] A invenção tem também por objetivo a utilização de uma chapa de aço, de acordo com qualquer uma das reivindicações acima, ou fabricada por um processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações características acima, para a fabricação de peças de estruturas ou de segurança para veículos automóveis.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

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

- a figura 1 apresenta um exemplo de microestrutura de uma chapa de aço, segundo a invenção;

- as figuras 2 e 3 apresentam exemplos de microestrutura de chapas de aço não de acordo com a invenção.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[032] A invenção vai a seguir ser descrita de forma mais precisa, mas não limitativa, considerando-se seus diferentes elementos característicos:

[033] No que se refere à composição química do aço, o carbono exerce um papel importante sobre a formação da microestrutura e sobre as propriedades mecânicas: abaixo de 0,055% em peso, a resistência se torna insuficiente. Além de 0,095%, um alongamento de 9% não pode mais ser garantido. A soldabilidade é também reduzida.

[034] Além de um efeito endurecedor por solução sólida, o manganês é um elemento que aumenta a temperabilidade e reduz a precipitação

de carbonetos. Um teor mínimo de 2% em peso é necessário para serem obtidas as propriedades mecânicas desejadas. Todavia, além de 2,6%, seu caráter gamagênico leva à formação de uma estrutura de bandas bastante pronunciada.

[035] O silício é um elemento que participa da desoxidação do aço líquido e do endurecimento em solução sólida. Esse elemento exerce, além disso, um papel importante na formação da microestrutura, impedindo a precipitação dos carbonetos e favorecendo a formação de martensita que entra na estrutura dos aços bifásicos. Ele exerce um papel efetivo além de 0,005%. Uma adição de silício em quantidade superior a 0,10%, preferencialmente superior a 0,15%, permite atingir os mais altos níveis de resistência visado pela invenção. Todavia, um aumento do teor em silício degrada a aptidão para a capacidade de recobrimento por imersão, favorecendo a formação de óxidos aderentes à superfície dos produtos: seu teor deve ser limitado a 0,35% em peso, e preferencialmente a 0,30% para se obter um bom revestimento. Além disso, o silício diminui a soldabilidade: um teor inferior a 0,28% permite assegurar simultaneamente uma aptidão muito boa à soldagem, assim como um bom revestimento.

[036] Além de um teor em enxofre de 0,0005%, a ductilidade é reduzida em razão da presença excessiva de sulfetos, tais como MnS que diminuem a aptidão à deformação, em particular quando de testes de expansão de furo.

[037] O fósforo é um elemento que endurece em solução sólida, mas que diminui a soldabilidade por pontos e a ductilidade a quente, particularmente em razão de sua aptidão à segregação às junções de grãos ou à co-segregação com o manganês. Por essas razões, seu teor deve ser limitado a 0,050% e preferencialmente a 0,015%, a fim de se obter uma boa aptidão à soldagem por pontos.

[038] O alumínio exerce um papel importante na invenção, impedindo a precipitação dos carbonetos e favorecendo a formação dos constituintes martensíticos ao resfriamento. Esses efeitos são obtidos quando o teor em alumínio é superior a 0,1% e preferencialmente, quando o teor em alumínio é superior a 0,12%.

[039] Sob a forma de AlN, o alumínio limita o aumento do grão, quando do recozimento após laminação a frio. Esse elemento é também utilizado para desoxidação do aço líquido em quantidade usualmente inferior a aproximadamente 0,050%. Consideram-se, com efeito, habitualmente teores mais importantes aumentam a erosão dos refratários e o risco de bloqueio de bocal de vazamento. Em quantidade excessiva, o alumínio diminui a ductilidade a quente e aumenta o risco de aparecimento de defeitos em fundição contínua. Procura-se também limitar as inclusões de alumina, em particular sob a forma de amontoado com a finalidade de garantir propriedades de alongamento suficientes. Ora, os inventores colocaram em vidência, em relação com os outros elementos da composição, que uma quantidade de alumínio que vai até 0,3% em peso podia ser acrescentada, sem efeito nefasto face outras propriedades requeridas, em particular face à aptidão à deformação, e permitia também conseguir propriedades microestruturas e mecânicas visadas. Além de 0,3%, existe um risco de interação entre o metal líquido e a escória, quando da fundição contínua, que leva ao aparecimento eventual de defeitos. Um teor de alumínio de até 0,25% em peso permite assegurar a formação de uma microestrutura fina sem “ilhas” martensíticas de grande tamanho que exerceriam um papel nefasto sobre a ductilidade.

[040] Os inventores mostraram que, de maneira surpreendente, era possível obter um nível de resistência elevado, compreendido entre 980 e 1100 MPa, mesmo apesar da limitação das adições de alumínio e de silício. Isto é obtido pela combinação particular dos elementos de liga ou de micro liga,

segundo a invenção, em particular graças às adições de Mo, Cr, Nb, Ti, B.

[041] Em quantidade superior a 0,05% em peso, o molibdênio exerce um papel eficaz sobre a temperabilidade e retarda o engrossamento da ferrita e o aparecimento da bainita. Todavia, um teor superior a 0,25% aumenta excessivamente o custo das adições.

[042] Em quantidade superior a 0,2%, o cromo, por seu papel sobre a temperabilidade, contribui também para retardar a formação de ferrita proeutectoide. Além de 0,5%, o custo da adição está lá também excessivo.

[043] Os efeitos conjuntos do cromo e do molibdênio sobre a temperabilidade são considerados na invenção, segundo suas características próprias; segundo a invenção, os teores em cromo e em molibdênio são tais que: $Cr + (2 \times Mo) \leq 0,6\%$. Os coeficientes nessa relação traduzem a influência respectiva desses dois elementos sobre a temperabilidade visando favorecer a obtenção de uma estrutura ferrítica fina.

[044] O titânio e o nióbio são elementos de micro liga utilizados conjuntamente, segundo a invenção:

- em quantidade compreendida entre 0,010 e 0,050%, o titânio se combina essencialmente ao nitrogênio e ao carbono para precipitar sob a forma de nitretos e/ou de carbonitretos. Esses precipitados são estáveis, quando de um aquecimento dos lingotes a 1150-1250 °C, antes da laminação a quente, o que permite controlar o tamanho do grão austenítico. Além de um teor em titânio de 0,050%, existe um risco de formar nitretos de titânio grosseiros precipitados a partir do estado líquido, que tendem a reduzir a ductilidade;

- em quantidade superior a 0,10%, o nióbio é muito eficaz para formar fins precipitados de Nb (CN) na austenita ou na ferrita, quando da laminação a quente, ou ainda quando do recozimento em uma faixa de temperatura próxima do intervalo de transformação intercrítica. Ele retarda a cristalização quando da laminação a quente e quando do recozimento e afina a microestru-

tura. Todavia, uma quantidade excessiva em nióbio, diminuindo a soldabilidade, convém limitar está a 0,040%.

[045] Os teores em titânio e em nióbio acima permitem agir de modo que o nitrogênio seja inteiramente preso sob a forma de nitretos ou de carbonitretos, embora o boro se ache sob a forma livre e possa exercer um papel eficaz sobre a temperabilidade. O efeito do boro sobre a temperabilidade é fundamental. Limitando-se a atividade do carbono, o boro permite com efeito controlar e limitar as transformações de fase difundidas (transformação ferrítica ou perlítica, quando do resfriamento) e formar fases endurecedoras (bainita ou martensita) necessárias à obtenção de elevadas características de resistência mecânica. O acréscimo de boro é, portanto, uma componente importante da presente invenção, ele permite limitar, por outro lado, a adição de elementos de têmpera, tais como Mn, Mo, Cr e reduzir o custo analítico da nuance de aço.

[046] O teor mínimo em boro para assegurar uma temperabilidade eficaz é de 0,0005%. Além de 0,0025%, o efeito sobre a temperabilidade é saturado e constata-se um efeito nefasto sobre o revestimento e sobre a ductilidade a quente.

[047] A fim de formar uma quantidade suficiente de nitretos e de carbonitretos, um teor mínimo de 0,002% em nitrogênio é requerido. O teor em nitrogênio é limitado a 0,007% para evitar a formação de BN que diminuiria a quantidade de boro livre necessária ao endurecimento da ferrita.

[048] Uma adição opcional de níquel pode ser realizada de forma a se conseguir um endurecimento suplementar da ferrita. Essa adição está, todavia, limitada a 0,1% por razões de custo.

[049] A utilização do processo de fabricação de uma chapa laminada, de acordo com a invenção, comporta as seguintes etapas sucessivas:

- se aprovisiona um aço de composição, de acordo com a invenção;

- se procede à fundição de um produto semi-acabado 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 tiras entre cilindros de aço contrarrotativos.

[050] Os produtos semi-acabados fundidos são inicialmente levados a uma temperatura T_R superior a 1150 °C, para atingir em qualquer ponto uma temperatura favorável às deformações elevadas que vai sofrer o aço, quando da laminação.

[051] Todavia, se a temperatura T_R for muito considerável, os grãos austeníticos aumentarão de forma indesejável. Nesse domínio de temperatura, os únicos precipitados capazes de controlar eficazmente o tamanho do grão austenítico são os nitretos de titânio, e convém limitar a temperatura de aquecimento a 1250 °C, a fim de manter um grão austenítico fino nesse estágio.

[052] Naturalmente, no caso de uma fundição direta de lingotes finos ou de tiras entre cilindro contrarrotativos, a etapa de laminação a quente desses produtos semi-acabados começando a mais de 1150 °C pode ser realizada diretamente após fundição, embora uma etapa de aquecimento intermediário não seja necessária nesse caso.

[053] Lamina-se a quente o produto semi-acabado em um domínio de temperatura no qual a estrutura do aço é totalmente austenítica: se T_{FL} for inferior à temperatura de início de transformação da austenita ao resfriamento A_{r3} , os grãos de ferrita serão martelados pela laminação e pela ductilidade será reduzida. Preferencialmente, escolher-se-á uma temperatura de fim de laminação superior a 850 °C.

[054] Bobina-se em seguida o produto laminado a quente a uma temperatura T_{bob} compreendida entre 500 e 570 °C: essa faixa de temperatura permite obter uma transformação bainítica completa durante a manutenção

quase isoterma associada ao bobinamento. Essa faixa leva a uma morfologia de precipitados de Ti e Nb suficientemente fina, afim de permitir a exploração de seu poder endurecedor e de têmpera, quando das etapas posteriores do processo de fabricação. Uma temperatura de bobinamento superior a 570°C leva à formação de precipitados mais grosseiros, cuja coalescência quando do recozimento contínuo diminui significativamente a eficácia.

[055] Quando a temperatura de bobinamento é muito baixa, a dureza do produto é aumentada, o que aumenta os esforços necessários, quando da laminação a frio, a frio posterior.

[056] Decapa-se em seguida o produto laminado a quente, segundo um processo conhecido em si, depois se efetua uma laminação a frio com uma taxa de redução compreendida preferencialmente entre 30 e 80%.

[057] Aquece-se, em seguida, o produto laminado a frio, preferencialmente no meio de uma instalação de recozimento contínuo, com uma velocidade média de aquecimento V_C compreendida entre 1 e 5°C/s. Em relação com a temperatura de recozimento T_M abaixo, essa faixa de velocidade de aquecimento permite obter uma fração de ferrita não recristalizada inferior ou igual a 15%.

[058] O aquecimento é feito até uma temperatura de recozimento T_M compreendida entre a temperatura A_{c1} (temperatura de início de transformação alotrópica ao aquecimento) +40°C, e A_{c3} (temperatura de fim de transformação alotrópica ao aquecimento) -30°C, isto é, em uma faixa de temperatura particular do domínio intercrítico: quando T_M é inferior a ($A_{c1} + 40^\circ\text{C}$), a estrutura pode comportar ainda zonas de ferrita não recristalizadas, cuja fração de área superficial pode atingir 15%. Essa proporção de ferrita não recristalizada é avaliada da seguinte forma: após ter identificado a fase ferrítica no meio da microestrutura, quantifica-se a percentagem de área superficial de ferrita não recristalizada em relação à totalidade da fase ferrítica. Os inventores colocaram

em evidência que essas zonas não recristalizadas exercem um papel nefasto sobre a ductilidade e não permitem obter as características visadas pela invenção. Uma temperatura de recozimento T_M , segundo a invenção, permite obter uma quantidade de austenita suficiente para formar posteriormente ao resfriamento da martensita em quantidade tal que as características desejadas são atingidas. Uma temperatura T_M , inferior a $(A_{c3} - 30^\circ\text{C})$ permite também assegurar que o teor em carbono das “ilhas” de austenita formadas à temperatura T_M leva bem a uma transformação martensítica posterior: quando a temperatura de recozimento é muito elevada, o teor em carbono das “ilhas” de austenita muito baixo, o que leva a uma transformação posterior em bainita ou em perlita não favorável. Além disso, uma temperatura muito elevada leva a um aumento do tamanho dos precipitados de nióbio que perdem uma parte de sua capacidade de endurecimento. A resistência mecânica final é, então, diminuída.

[059] Escolher-se-á preferencialmente para isso uma temperatura T_M compreendida entre 760 e 830 °C.

[060] Uma duração de manutenção mínima t_M de 30s à temperatura T_M permite a dissolução dos carbonetos, uma transformação parcial em austenita é realizada. O efeito é saturado além de uma duração de 300 s. Um tempo de manutenção superior a 300 s é também dificilmente compatível com as exigências de produtividade das instalações de recozimento contínuo, em particular a velocidade de passagem. A duração de manutenção t_M está compreendida entre 30 e 300 s. As etapas seguintes do processo diferem segundo o fato de se fabricar uma chapa de aço não revestida, ou galvanizada por mergulho quente, ou galvanizada:

- no primeiro caso, no fim da manutenção de recozimento, efetua-se um resfriamento até uma temperatura inferior à temperatura M_s (temperatura de início de formação da martensita) com uma velocidade de resfriamento V suficiente para que a austenita formada quando do recozimento se transforma

totalmente em martensita.

[061] Esse resfriamento pode ser efetuado a partir da temperatura T_M em uma única ou em várias etapas e pode fazer intervir neste caso diferentes modos de resfriamento, tais como banhos de água fria ou fervendo, jatos de água ou de gás. Esses eventuais modos de resfriamento acelerado podem ser combinados de forma a se obter uma transformação martensítica completa da austenita. Após essa transformação martensítica, a chapa é resfriada até a temperatura ambiente.

[062] A microestrutura da chapa descoberta resfriada é, então, constituída de uma matriz ferrítica com “ilhas” de martensita, cuja proporção de área superficial está compreendida entre 35 e 50% e está isenta de bainita;

- no caso, em que se deseja fabricar uma chapa galvanizada por mergulho quente, no fim de manutenção de recozimento, resfria-se o produto até atingir uma temperatura próxima da temperatura T_{Zn} de galvanização por mergulho quente, velocidade de resfriamento V_R sendo suficientemente rápido para evitar a transformação da austenita em ferrita. Para isso, a velocidade de resfriamento V_R é preferencialmente superior a 15 °C/s. Efetua-se a galvanização por mergulho quente por imersão em um banho de zinco ou de liga de zinco, cuja temperatura T_{Zn} está compreendida entre 450 e 480 °C. Uma transformação parcial da austenita em bainita intervém nesse estágio, que leva à formação de 1 a 10% de bainita, esse valor sendo expresso em proporção surfá-cica. A manutenção nessa faixa de temperatura deve ser inferior a 80 s, de forma a limitar a proporção de área superficial bainita a 10% e obter assim uma proporção suficiente de martensita. Resfria-se em seguida o produto galvanizado a uma velocidade compreendida V'_R superior a 4 °C/s até à temperatura ambiente com a finalidade de transformar completamente a fração de austenita restante em martensita: obtém-se dessa forma uma chapa de aço laminada a frio, recozida e galvanizada contendo em proporção de área super-

ficial 40-64% de ferrita, 35-50% de martensita e 1-10% de bainita;

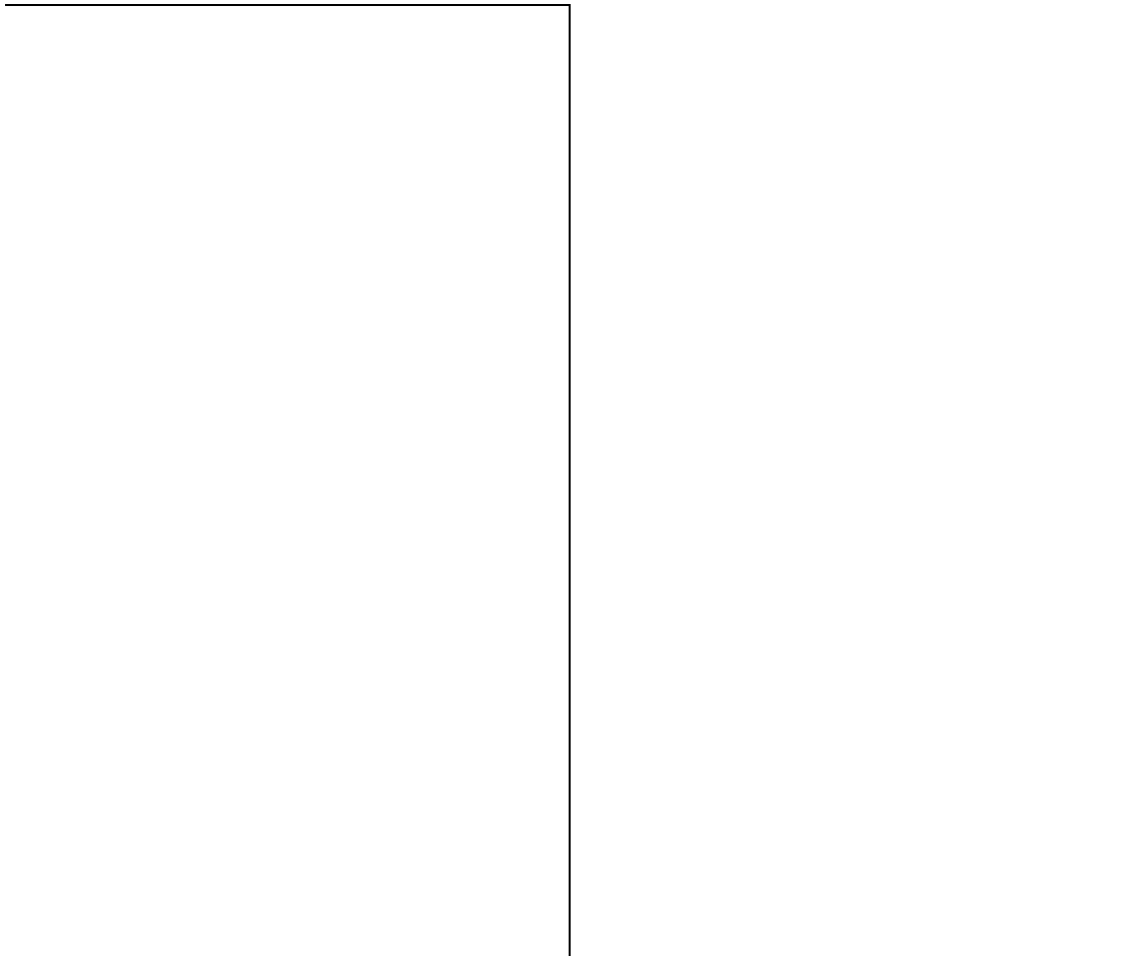
- no caso em que se deseja fabricar uma chapa de aço bifásico laminada a frio e "galvanizada", isto é, galvanizada – ligada, resfria-se o produto no fim da manutenção de recozimento até atingir uma temperatura próxima da temperatura T_{Zn} de galvanização por mergulho quente, a velocidade de resfriamento V_R sendo suficientemente rápida para evitar a transformação da austenita em ferrita. Para isso, a velocidade de resfriamento V_R é preferencialmente superior a 15°C/s. Efetua-se a galvanização por mergulho quente por imersão em um banho de zinco ou de liga de zinco, cuja temperatura T está compreendida entre 450 e 480°C. Uma transformação parcial da austenita em bainita intervém nesse estágio, que leva à formação de 1 a 10% de bainita, esse valor sendo expresso em proporção surfácica. A manutenção nessa faixa de tubos deve ser inferior a 80s, de forma a limitar a proporção de bainita a 10%. Após a saída do banho de zinco, aquece-se o produto galvanizado a uma temperatura T_G compreendida entre 490 e 550°C por uma duração t_G compreendida entre 10 e 40s. Provoca-se assim a interdifusão do ferro e da fina camada de zinco ou de liga de zinco depositada quando da imersão, o que permite obter um produto galvanizado. Resfria-se esse produto até a temperatura ambiente com uma velocidade V''_R superior a 4°C/s; obtém-se dessa forma uma chapa galvanizada com matriz ferrítica, contendo em proporção de área superficial 40-64% de ferrita, 35-50% de martensita e 1-10% de bainita. A martensita se acha tipicamente sob a forma de "ilhas" de tamanho médio inferior a 4 micrometros, até mesmo dois micrometros, essas "ilhas" apresentam majoritariamente, para mais de 50% dentre eles, uma morfologia maciça mais do que morfologia alongada. A morfologia de uma "ilha" determinada é caracterizada pela relação entre seu tamanho máximo L_{max} e mínimo L_{min} . Uma "ilha" determinada é considerada como possuindo uma morfologia maciça, quando sua relação L_{max}/L_{min} é inferior ou igual a 2.

[063] Além disso, os inventores constataram que pequenas variações dos parâmetros de fabricação no meio das condições definidas, de acordo com a invenção, não acarretam modificações consideráveis da microestrutura ou propriedades mecânicas, o que é uma vantagem para a estabilidade das características dos produtos industriais fabricados.

[064] A presente invenção vai ser então ilustrada a partir dos seguintes exemplos dados a título não limitativo:

EXEMPLO:

[065] Foram elaborados aços cuja composição figura na tabela abaixo, expressa em percentagem ponderal. Além dos aços IX a IZ tendo servido à fabricação de chapas, de acordo com a invenção, indicou-se a título de comparação a composição de um aço R que serviu à fabricação de chapas de referência.



| Aço | C (%) | Mn (%) | Si (%) | S (%) | P (%) | Al (%) | Mo (%) | Cr (%) | Cr+2Mo (%) | Ni (%) | Nb (%) | Ti (%) | B (%) | N (%) |
|-----|--------------|--------------|-----------|----------|----------|--------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| IX | 0,071 | 2,498 | 0,275 | 0,003 | 0,011 | 0,150 | 0,104 | 0,304 | 0,512 | 0,022 | 0,039 | 0,025 | 0,0024 | 0,004 |
| IY | 0,076 | 2,430 | 0,3 | 0,003 | 0,012 | 0,120 | 0,09 | 0,33 | 0,51 | 0,030 | 0,024 | 0,024 | 0,0018 | 0,0035 |
| IZ | 0,062 | 2,030 | 0,153 | 0,003 | 0,011 | 0,125 | 0,055 | 0,27 | 0,38 | 0,020 | 0,011 | 0,015 | 0,0011 | 0,004 |
| R | <u>0,143</u> | <u>1,910</u> | 0,23 | 0,002 | 0,012 | <u>0,035</u> | 0,1 | 0,24 | 0,44 | - | = | = | = | 0,004 |

Tabela 1: Composições de aços (% em peso). R = Referência

Valores sublinhados: não de acordo com a invenção.

[066] Produtos semi-acabados fundidos correspondendo às composições acima foram aquecidos a 1230 °C, depois laminados a quente até uma espessura de 2,8 – 4 mm em um domínio no qual a estrutura é inteiramente austenítica. As condições de fabricação desses produtos laminados a quente (temperatura de fim de laminação T_{FL} , temperatura de bobinamento T_{bob}) são indicadas na tabela 2.

| Aço | T_{FL} (°C) | Ar3 (°C) | T_{bob} (°C) |
|-----|---------------|----------|----------------|
| IX | 890 | 705 | 530 |
| IY | 880 | 715 | 540 |
| IZ | 880 | 735 | 530 |
| R | 880 | 700 | 550 |

[067] Os produtos laminados foram em seguida decapados, depois laminados a frio até uma espessura de 1,4 a 2 mm seja uma taxa de redução de 50%. A partir de uma mesma composição, certos aços constituíram o objeto de diferentes condições de fabricação. As referências IX1, IX2 e IX3 designam, por exemplo, três chapas de aços fabricadas segundo condições diferentes a partir da composição de aço IX. As chapas foram galvanizadas à temperatura em um banho de zinco a uma temperatura T de 460 °C, outras foram, além disso, o objeto de um tratamento de galvanização. A tabela 3 indica as condições de fabricação das chapas recozidas após laminação a frio:

- velocidade de aquecimento V_C ;
- temperatura de recozimento T_M ;
- tempo de manutenção ao recozimento t_M ;
- velocidade de resfriamento, após recozimento V_R
- velocidade de resfriamento, após galvanização V'_R
- temperatura de galvanização T_G ;

- duração de galvanização t_G ;
- velocidade de resfriamento V''_R , após tratamento de galvanização.

[068] As temperaturas de transformação A_{c1} e A_{c3} foram também levadas à tabela 3.

| Chapa de aço | V_c (°C/s) | T_M (°C) | $A_{c1}-A_{c3}$ (°C) | t_M (s) | V_R (°C/s) | V'_R (°C/s) | T_G (°C) | t_G (s) | V''_R (°C/s) |
|-------------------|-----------------|---------------|-------------------------|--------------|-----------------|------------------|---------------|--------------|-------------------|
| IX1 invenção | 2 | 800 | 710-870 | 90 | 20 | 18 | - | - | - |
| IX2 invenção | 2 | 780 | 710-870 | 90 | 20 | 18 | - | - | - |
| IX3 referência | 2 | <u>740</u> | 710-870 | 100 | 17 | 15 | - | - | - |
| IX4 invenção | 2 | 800 | 710-870 | 100 | 20 | - | 520 | 10 | 10 |
| IX5 referência | 2 | <u>850</u> | 710-870 | 100 | 20 | - | 520 | 10 | 10 |
| IX6 referência | 2 | <u>745</u> | 710-870 | 100 | 20 | - | 520 | 10 | 10 |
| Ix7 referência | 2 | 800 | 710-870 | 100 | <u>10</u> | - | 520 | 10 | 10 |
| IY1 exemplo | 2 | 780 | 710-865 | 90 | 20 | 18 | - | - | - |
| IY2 exemplo | 2 | 800 | 710-865 | 100 | 20 | - | 520 | 10 | 10 |
| IZ exemplo | 2 | 800 | 710-865 | 100 | 20 | - | 520 | 10 | 10 |
| R referência | 2 | 800 | 715-810 | 90 | 20 | 18 | - | - | - |

Tabela 3: Condições de fabricações das chapas laminadas a frio e recozidas
Valores sublinhados: não de acordo com a invenção

[069] As propriedades mecânicas de tração obtidas (limite de elasticidade R_e , resistência R_m , alongamento à ruptura A foram levadas na

tabela 4 abaixo. A relação Re/Rm foi também indicada.

[070] Determinou-se tb a microestrutura dos aços, cuja matriz é ferrítica. As frações de áreas superficiais de bainita e de martensita foram quantificadas após ataque aos reagentes Picral e Le Pêra respectivamente, seguidas por uma análise de imagem graças ao programa Aphelion®. Determinou-se também a fração de área superficial ferrita não recristalizada, graças a observações em microscopia óptica e eletrônica de varredura na qual se identificou a fase ferrítica, depois quantificado a fração recristalizada no meio dessa fase ferrítica. A ferrita não recristalizada se apresenta em geral sob a forma de “ilhas” alongadas pela laminação.

[071] A aptidão ao dobramento foi quantificada da seguinte forma: chapas foram dobradas com bloco sobre elas próprias em várias voltas. Dessa forma, o raio de dobra diminui a cada volta. A aptidão ao dobramento é em seguida avaliada, destacando a presença de fissuras à superfície do bloco dobrado, a cotação sendo expressa de 1 (pequena aptidão ao dobramento) a 5 (muito boa aptidão). Resultados cotados 1-2 são consideradas como não satisfatórios.

| Chapa de aço | Fração de ferrita (%) | Fração de bainita (%) | Fração de martensita (%) | Fração de ferrita não recristalizada (%) | Re (MPa) | Rm (MPa) | Re/Rm | A (%) | Aptidão ao dobramento |
|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--|----------|-------------|-------------|----------|-----------------------|
| IX1 invenção | 50 | 6 | 44 | 0 | 720 | 1020 | 0,71 | 11 | 3 |
| IX2 invenção | 52 | 2 | 46 | 0 | 680 | 1030 | 0,66 | 10 | 3 |
| IX3 referência | 48 | <u>0</u> | <u>52</u> | <u>25</u> | 700 | <u>1120</u> | 0,62 | <u>8</u> | <u>1</u> |
| IX4 invenção | 50 | 8 | 42 | 0 | 760 | 1030 | 0,74 | 10 | 3 |
| IX5 referência | 55 | <u>12</u> | <u>33</u> | 0 | 780 | <u>950</u> | <u>0,82</u> | 12 | 3 |
| IX6 referência | 46 | 1 | <u>53</u> | <u>20</u> | 750 | <u>1130</u> | 0,66 | <u>7</u> | <u>1</u> |
| IX7 referência | 56 | <u>11</u> | <u>33</u> | 0 | 755 | <u>955</u> | 0,79 | 12 | 3 |
| IY1 exemplo | 52 | 2 | 46 | 0 | 650 | 1030 | 0,63 | 13 | 4 |
| IY2 exemplo | 50 | 7 | 43 | 0 | 680 | 1020 | 0,67 | 12 | 4 |
| IZ exemplo | 48 | 6 | 46 | 0 | 630 | 1025 | 0,61 | 14 | 4 |
| R referência | <u>72</u> | 3 | <u>25</u> | 0 | 490 | <u>810</u> | 0,60 | 18 | <u>2</u> |

Tabela 4: resultados obtidos sobre as chapas laminadas a frio e recozidas.

Valores sublinhados: não de acordo com a invenção.

[072] As chapas de aços, de acordo com a invenção, apresentam um conjunto de características microestruturais e mecânicas que permitem a fabricação vantajosa de peças, notadamente para aplicações estruturais: resistência compreendida entre 980 e 1100 MPa, relação R_e/R_m compreendida entre 0,6 e 0,8, alongamento com ruptura superior a 9%, boa aptidão ao dobramento. A figura 1 ilustra a morfologia da chapa de aço IX1, na qual a ferrita é totalmente recristalizada.

[073] As chapas, de acordo com a invenção, apresentam uma boa aptidão à soldagem, notadamente por resistência, o carbono equivalente sendo inferior a 0,25. Em particular, o domínio de soldabilidade, tal como definido pela norma ISO 18278-2, em soldagem por pontos é muito larga, da ordem de 3500A. É aumentado em relação a uma nuance de referência de mesmo grau. Além disso, testes de tração em cruz ou de tração-cisalhamento efetuados sobre pontos soldados de chapas, de acordo com a invenção, revelam que a resistência desses pontos soldados é muito elevada em relação às características mecânicas.

[074] Por comparação, as chapas de referência não oferecem essas mesmas características.

[075] As chapas de aço IX3 (galvanizada) e IX6 (galvanizada) foram recozidas a uma temperatura T_M muito baixa: em constituída, a fração de ferrita não recristalizada é excessiva, assim como a fração de martensita. Essas características microestruturais são associadas a uma diminuição do alongamento e da aptidão ao dobramento. A figura 2 ilustra a microestrutura da chapa de aço IX3: anota-se a presença de ferrita não recristalizada sob a forma de “ilhas” alongadas (marcados (A)) coexistindo com a ferrita recristalizada e a martensita, este constituinte aparecendo mais escuro sobre a micrografia. Uma micrografia em Microscopia Eletrônica com Varredura (figura 3) permite distinguir finamente as zonas de ferrita não recristalizada (A) daquelas recristaliza-

das (B).

[076] A chapa IX5 é uma chapa galvanizada recozida a uma temperatura T_M muito elevada: o teor em carbono da austenita à alta temperatura se torna então muito baixo e o aparecimento da bainita é favorecida em detrimento da formação de martensita. Assiste-se também a uma coalescência dos precipitados de nióbio, o que provoca uma perda de endurecimento. A resistência é então insuficiente, a relação R_e/R_m sendo muito elevada.

[077] A chapa IX7 galvanizada foi resfriada a uma velocidade V_R muito lenta após a etapa de recozimento: a transformação da austenita formada em ferrita ocorre, então, nessa etapa de resfriamento, de forma excessiva, a chapa de aço contendo, no estágio final, uma proporção de bainita muito importante e uma proporção de martensita muito pequena, o que leva a uma resistência insuficiente.

[078] A composição da chapa de aço R não corresponde à invenção, seu teor em carbono sendo muito importante, e seu teor em manganês, alumínio, nióbio, titânio, boro sendo muito baixos. Em consequência, a fração de martensita é muito pequena, embora a resistência mecânica seja insuficiente. As chapas de aços, de acordo com a invenção, serão utilizadas com proveito para a fabricação de peças de estruturas ou de segurança na indústria automobilística.

REIVINDICAÇÕES

1. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RE-COZIDA caracterizada por compreender uma resistência entre 980 e 1100 MPa, uma fração de área superficial de ferrita não recristalizada em relação à totalidade da fase ferrítica inferior ou igual a 15% e um alongamento à ruptura superior a 9%, a chapa de aço bifásico sendo constituída de uma composição que consiste de, os teores sendo expressos em peso:

$$0,055\% \leq C \leq 0,095\%,$$

$$2\% \leq Mn \leq 2,6\%,$$

$$0,005\% \leq Si \leq 0,35\%,$$

$$S \leq 0,005\%,$$

$$P \leq 0,050\%,$$

$$0,1 \leq Al \leq 0,3\%,$$

$$0,05\% \leq Mo \leq 0,25\%,$$

$$0,2\% \leq Cr \leq 0,5\%,$$

$$\text{em que } Cr + 2Mo \leq 0,6\%,$$

$$Ni \leq 0,1\%,$$

$$0,010 \leq Nb \leq 0,040\%,$$

$$0,010 \leq Ti \leq 0,050\%,$$

$$0,0005 \leq B \leq 0,025\%,$$

$$0,002\% \leq N \leq 0,07\%,$$

o resto da composição da chapa de aço sendo constituído de ferro e de impurezas inevitáveis resultantes da elaboração.

2. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RE-COZIDA , de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de a composição desse aço conter, o teor sendo expresso em peso:

$$0,12\% \leq Al \leq 0,25\%.$$

3. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RE-

COZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizada pelo fato de a composição do aço conter, o teor sendo expresso em peso:

$$0,10\% \leq \text{Si} \leq 0,30\%.$$

4. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizada pelo fato de a composição desse aço conter, o teor sendo expresso em peso:

$$0,15\% \leq \text{Si} \leq 0,28\%.$$

5. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo fato de a composição desse aço conter, o teor sendo expresso em peso:

$$P \leq 0,015\%.$$

6. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada pelo fato de sua microestrutura conter 35 a 50% de martensita em proporção de área superficial.

7. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com a reivindicação 6, caracterizada pelo fato de o complemento dessa microestrutura ser constituída de 50 a 65% de ferrita em proporção de área superficial.

8. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com a reivindicação 6, caracterizada pelo fato de o complemento dessa microestrutura ser constituída de 1 a 10% de bainita e de 40 a 64% de ferrita em proporção de área superficial.

9. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracteri-

zada pelo fato de a relação entre seu limite de elasticidade R_e e sua resistência R é tal que: $0,6 < R_e/R_m \leq 0,8$.

10. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6 ou 8 a 9, caracterizada pelo fato de ser galvanizada em contínuo.

11. CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6 ou 8 a 10, caracterizada pelo fato de comportar um revestimento galvanizado.

12. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, caracterizado pelo fato de se aprovisionar um aço de composição, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 5, depois:

- se lingota na forma de um produto semi-acabado, depois
- se leva o produto semi-acabado a uma temperatura $1150^\circ\text{C} \leq T_R \leq 1250^\circ\text{C}$, depois
- se lamina a quente o produto semi-acabado com uma temperatura de fim de laminação $T_{FL} \geq Ar3$ para se obter um produto laminado a quente, depois
- se bobina o produto laminado a quente a uma temperatura de $500^\circ\text{C} \leq T_{bob} \leq 570^\circ\text{C}$, depois
- se decapa o produto laminado a quente, depois
- se efetua uma laminação a frio com uma taxa de redução compreendida entre 30 e 80% para se obter um produto laminado a frio, onde
- se aquece o produto laminado a frio a uma velocidade $1^\circ\text{C/s} \leq V \leq 5^\circ\text{C/s}$ até uma temperatura de recozimento T_M , tal como: $Ac1+40^\circ\text{C} \leq T_M \leq Ac3 - 30^\circ\text{C}$, na qual se efetua uma manutenção por uma duração: $30 \text{ s} \leq t_M \leq 300 \text{ s}$, de forma a se obter um produto aquecido e recozido com uma

estrutura que compreende a austenita, onde

- se resfria o produto até uma temperatura inferior à temperatura M_s com uma velocidade V suficiente para que a austenita se transforme totalmente em martensita.

13. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, caracterizado pelo fato de se provisionar um produto aquecido e recozido com uma estrutura que compreende a austenita, de acordo com a reivindicação 12, depois,

- se resfria o produto aquecido e recozido com uma velocidade V_R suficiente para evitar a transformação da austenita em ferrita, até atingir uma temperatura próxima da temperatura T_{Zn} de galvanização por mergulho quente, depois

- se galvaniza em contínuo o produto por imersão em um banho de zinco ou de liga de Zn a uma temperatura $450\text{ °C} \leq T_{Zn} \leq 480\text{ °C}$ para se obter um produto galvanizado, depois

- se resfria o produto galvanizado até a temperatura ambiente com uma velocidade V'_R superior a 4 °C/s para se obter uma chapa de aço laminada a frio, recozida e galvanizada.

14. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, caracterizado pelo fato de se aprovisionar um produto aquecido e recozido com uma estrutura que compreende a austenita, de acordo com a reivindicação 12, depois

- se resfria o produto aquecido e recozido com uma velocidade V_R suficiente para evitar a transformação dessa austenita em ferrita, até atingir uma temperatura próxima da temperatura T_{Zn} de galvanização por mergulho quente, depois

- se galvaniza em contínuo o produto por imersão em um banho de zinco ou de ligação de Zn a uma temperatura $450\text{ °C} \leq T_{Zn} \leq 480\text{ °C}$

para se obter uma chapa de aço, depois

- se aquece o produto galvanizado a uma temperatura T_G compreendida entre 490 e 550 °C por uma duração t_g compreendida entre 10 e 40 s para se obter um produto galvanizado, depois

- se resfria o produto galvanizado até a temperatura ambiente a uma velocidade V'' superior a 4 °C/s, para se obter uma chapa de aço laminada a frio e galvanizada.

15. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 14, caracterizado pelo fato de essa temperatura T_M estar compreendida entre 760 e 830 °C.

16. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UMA CHAPA DE AÇO BIFÁSICO LAMINADA A FRIO E RECOZIDA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 14, caracterizado pelo fato de essa velocidade de resfriamento V ser superior ou igual a 15 °C/s.

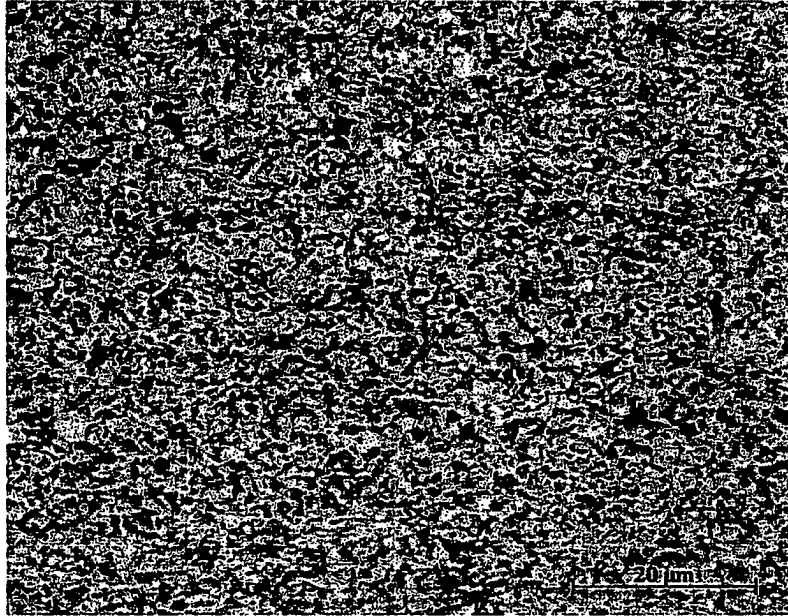


Fig. 1

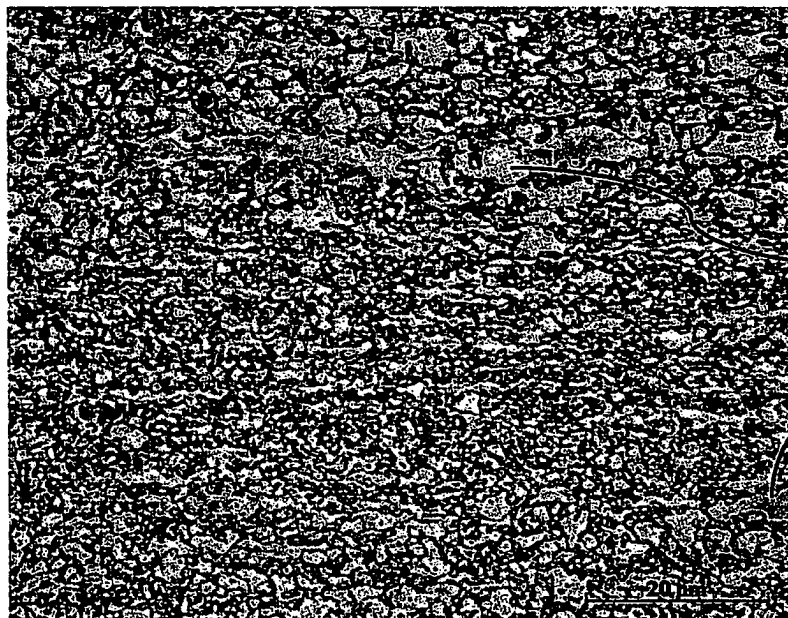


Fig. 2

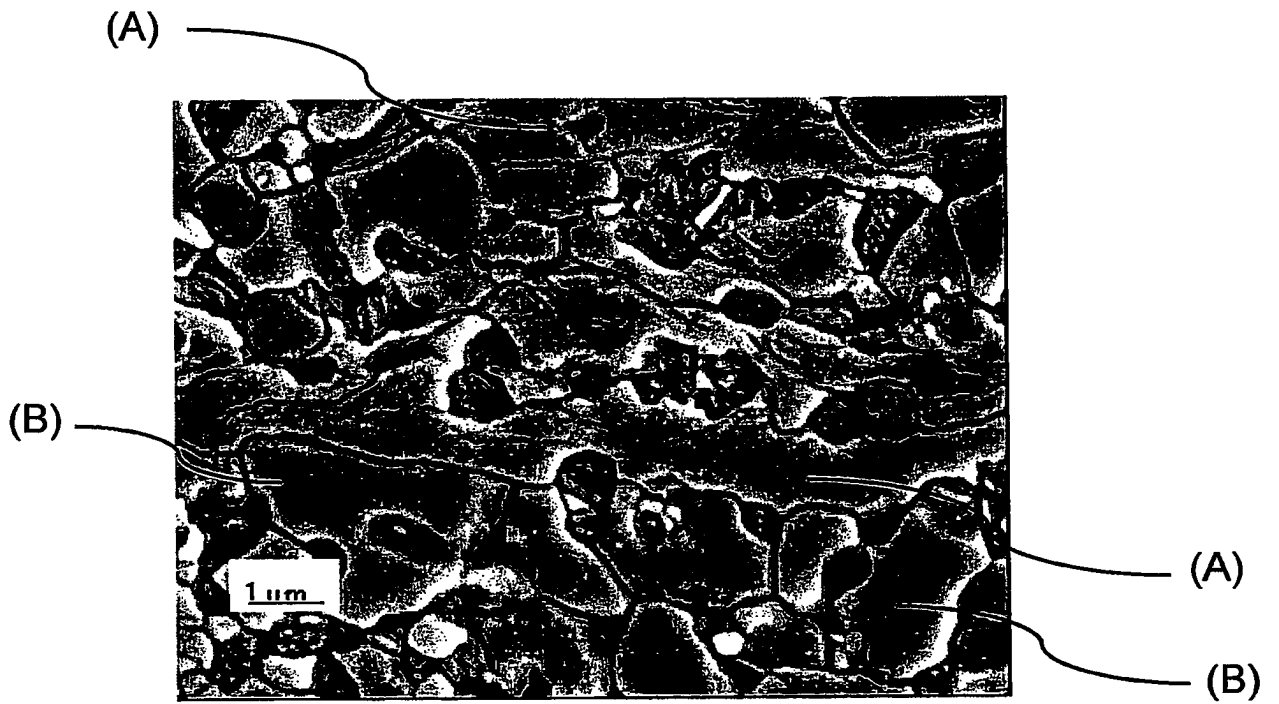


Fig. 3