

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

(21) PI 0809006-8 A2



(22) Data de Depósito: 03/03/2008
(43) Data da Publicação: 16/09/2014
(RPI 2280)

(51) Int.Cl.:

C21D 1/18
C21D 6/00
C21D 7/13
C21D 8/02
C21D 8/04
C21D 9/48
C22C 38/02
C22C 38/04
C22C 38/06
C22C 38/12
C22C 38/14
C23C 2/06
C23C 2/12
C23F 17/00

(54) Título: AÇO, PARA CONFORMAÇÃO A QUENTE OU RESFRIAMENTO BRUSCO EM UMA FERRAMENTA, TENDO DUCTILIDADE MELHORADA **(57) Resumo:**

(30) Prioridade Unionista: 14/03/2007 FR
PCT/FR2007/000441

(73) Titular(es): Arcelormittal France

(72) Inventor(es): Jean-Pierre Laurent, Thierry Malot

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

(86) Pedido Internacional: PCT FR2008000278 de
03/03/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2008/132303de
06/11/2008

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "AÇO, PARA CONFORMAÇÃO A QUENTE OU RESFRIAMENTO BRUSCO EM UMA FERRAMENTA, TENDO DUCTILIDADE MELHORADA".

A presente invenção refere-se à produção de peças de aço laminadas a quente ou laminadas a frio tendo, após a conformação a quente ou o resfriamento em uma ferramenta, propriedades particularmente favoráveis e homogêneas de resistência, alongamento e resistência à corrosão.

Para algumas aplicações, o objetivo é produzir peças de aço que combinem alta resistência, alta resistência ao impacto e uma boa resistência à corrosão. Esse tipo de combinação é particularmente desejável na indústria automobilística na qual é buscada uma diminuição significativa do peso dos veículos. Isto pode, em particular, ser obtido graças ao uso de peças de aço que tenham altas propriedades mecânicas, cuja microestrutura seja martensítica ou bainítica-martensítica, peças anti-intrusão, peças estruturais ou peças que contribuam para a segurança dos veículos a motor, tais como barras transversais de para-choques ou reforço da coluna central, por exemplo, requerem as propriedades acima.

Assim, a patente FR 2 780 984 descreve uma chapa de aço revestida de alumínio tendo uma resistência muito alta após o tratamento térmico, esse tratamento compreendendo o aquecimento entre A_{c3} e 1200°C seguido de conformação a quente em uma ferramenta. Os elementos da composição do aço são os seguintes: C: 0,15 a 0,5%; Mn: 0,5 a 3%; Si: 0,1 a 0,5%; Cr: 0,01 a 1%; Ti: < 0,2%; Al, P: < 0,1%, S: < 0,05%; B: 0,0005 a 0,08%. O composto ligado formado pela interdifusão entre o pré-revestimento e o aço durante o tratamento térmico fornece proteção contra a decarbonização e a corrosão.

Em uma modalidade, o uso de um aço compreendendo 0,231% de C, 1,145% de Mn, 0,239% de Si, 0,043% de Al, 0,020% de P, 0,0038% de S, 0,179% de Cr, 0,009% de Cu, 0,020% de Ni, 0,032% de Ti, 0,0042% de N, 0,0051% de Ca, e 0,0028% de B torna possível obter, após a conformação a quente, uma resistência maior que 1500 MPa associada a uma estrutura completamente martensítica.

O aspecto negativo desse nível de resistência muito alto é o alongamento na fratura, que é relativamente baixo após o tratamento térmico, cerca de 5%. Entretanto, certas aplicações não precisam tal nível de alta resistência, mas por outro lado elas requerem uma capacidade de alongamento na fratura acima de 15%. Essas aplicações também requerem boa proteção à corrosão das peças.

Essas aplicações estruturais referem-se a peças reforçadas com uma espessura entre 0,5 e 4 mm aproximadamente. O que se busca é um aço que tenha uma resistência e um alongamento na fratura, após o tratamento térmico das peças, maior que 500 MPa e 15% respectivamente. A combinação dessas propriedades mecânicas garante, no caso de um impacto, uma alta absorção de energia. Esses requisitos de resistência e alongamento devem ser satisfeitos mesmo se as taxas de resfriamento em uma peça difiram entre peças de 0,5 mm de espessura e aquelas de cerca de 4 mm de espessura. Essa situação, por exemplo, permitiria que os ajustes da linha comercial compreendendo tanto aquecimento quanto resfriamento não fossem mudados quando peças de diferentes espessuras, dentro da faixa de espessuras mencionada acima, sejam tratadas em sucessão na linha.

Além disso, é sabido que a estampagem a quente de uma peça ou seu resfriamento brusco entre ferramentas podem resultar em deformação local de magnitude relativamente grande em certas regiões. O contato entre a peça e a ferramenta pode ser mais perfeito, ou menos perfeito, a tal ponto que a taxa de resfriamento pode não ser a mesma em todos os pontos. Essas variações locais em termos de grau de deformação ou taxa de resfriamento podem ter as consequências que, após o tratamento térmico, a peça tenha estrutura heterogênea e propriedades não-uniformes.

O objetivo da presente invenção é resolver os problemas acima mencionados. Em particular, o objetivo da invenção é fornecer peças de aço laminadas a quente ou laminadas a frio que tenham, após a conformação a quente ou resfriamento brusco em uma ferramenta, uma resistência maior que 500 MPa e um alongamento na fratura maior que 15%, para uma faixa de espessuras que vai de aproximadamente 0,5 a 4 mm. Um outro objetivo

da invenção é fornecer peças com excelente homogeneidade estrutural e propriedades mecânicas uniformes, quer dizer, aquelas nas quais a resistência e o alongamento não variam nas várias porções das peças, mesmo se o grau local de deformação ou a taxa local de resfriamento não for uniforme durante a produção.

Um outro objetivo da presente invenção é fornecer peças de aço que possam ser facilmente soldadas pelo processo usual de montagem (soldagem com resistência, soldagem a arco, soldagem a laser), sendo possível para as peças serem soldadas tanto antes quanto depois de conformadas a quente ou resfriadas em uma ferramenta.

Para esse propósito, um objetivo da invenção é uma peça de aço, cuja composição do aço compreende os teores sendo expressos em % em peso: $0,040\% \leq C \leq 0,100\%$; $0,80 \leq Mn \leq 2,00\%$; $Si \leq 0,30\%$; $S \leq 0,005\%$; $P \leq 0,030\%$; $0,010\% \leq Al \leq 0,070\%$; $0,015\% \leq Nb \leq 0,100\%$; $0,030\% \leq Ti \leq 0,080\%$; $N \leq 0,009\%$; $Cu \leq 0,100\%$; $Ni \leq 0,100\%$; $Cr \leq 0,100\%$; $Mo \leq 0,100\%$; e $Ca \leq 0,006\%$, o saldo da composição consistindo em ferro e as inevitáveis impurezas resultantes da fundição, a microestrutura do aço consistindo em pelo menos 75% de ferrita equiaxial, martensita em uma quantidade de no mínimo 5% mas não excedendo 20%, e bainita em uma quantidade não excedendo 10%.

Um outro objetivo da invenção é uma peça de aço conforme as características dadas acima, que seja caracterizada pelo fato de que a composição do aço compreende, os teores sendo expressos em % em peso: $0,050\% \leq C \leq 0,080\%$; $1,20\% \leq Mn \leq 1,70\%$; $Si \leq 0,070\%$; $S \leq 0,004\%$; $P \leq 0,020\%$; $0,020\% \leq Al \leq 0,040\%$; $0,030\% \leq Nb \leq 0,070\%$; $0,060\% \leq Ti \leq 0,080\%$; $N \leq 0,009\%$; $Cu \leq 0,100\%$; $Ni \leq 0,100\%$; $Cr \leq 0,100\%$; $Mo \leq 0,100\%$; $Ca \leq 0,005\%$, o saldo da composição consistindo em ferro e as inevitáveis impurezas resultantes da fundição.

De acordo com uma configuração particular, o tamanho médio de grão da ferrita do aço da peça é menor que 6 microns.

De acordo com uma configuração particular, a peça de aço é revestida com uma camada ligada sobre toda a sua espessura dessa camada.

Essa camada ligada resulta de pelo menos um tratamento térmico para ligação entre o aço e o pré-revestimento, este último sendo uma liga à base de zinco ou alumínio.

De acordo com uma configuração preferida, a resistência da peça de aço é maior ou igual a 500 MPa e seu alongamento na fratura é maior que 15%.

Um outro objetivo da invenção é um produto soldado, pelo menos uma parte do qual é uma peça conforme qualquer uma das características acima.

Um outro objetivo da invenção é um processo para produção de uma peça de aço revestida, compreendendo uma etapa na qual é fornecida uma chapa de aço laminada a quente ou laminada a frio com uma composição conforme acima; então é aplicado um pré-revestimento à chapa, o pré-revestimento sendo uma liga à base de zinco ou alumínio. A chapa é cortada de modo a se obter um disco; então, opcionalmente, esse disco é soldado. Opcionalmente, o disco é conformado a frio; então ele é aquecido até uma temperatura T_c no forno de modo a formar, pela ligação entre o aço e o pré-revestimento, uma camada ligada na superfície do disco, a ligação sendo produzida por toda a espessura da camada, e de forma a dar ao aço uma estrutura completamente austenítica. O disco é removido do forno. Então, opcionalmente, o disco é deformado a quente de forma a se obter uma peça que seja resfriada sob condições adequadas para dar mais tarde as propriedades mecânicas pretendidas.

Um outro objetivo da invenção é um processo para produção de uma peça, compreendendo as etapas nas quais: é fornecida uma chapa de aço laminada a quente ou laminada a frio com uma composição conforme reivindicado na reivindicação acima; então a chapa é cortada de modo a se obter um disco. Opcionalmente, o disco é soldado; então, opcionalmente, esse disco é laminado a frio. Esse último é aquecido até uma temperatura T_c em um forno de modo a dar ao aço uma estrutura completamente austenítica; então o disco é removido do forno. Opcionalmente, o mencionado disco é deformado a quente de modo a se obter uma peça; então essa peça é res-

friada sob condições adequadas para dar a essa última as propriedades mecânicas pretendidas; e então opcionalmente é aplicado um revestimento à peça.

De acordo com um método particular, a temperatura T_c está entre 880 e 950°C, e o tempo de enxágue t_c a essa temperatura está entre 3 e 10 minutos.

De acordo com um método particular, a taxa média de resfriamento V_c entre a temperatura T_c e 400°C está entre 30 e 80°C/s.

Preferivelmente a taxa média de resfriamento V_c entre a temperatura T_c e 400°C está entre 35 e 60°C/s.

Ainda outro objetivo da invenção é o uso de uma peça ou produto mencionado acima, ou produzido conforme um dos processos descritos acima, para a produção de peças estruturais ou de segurança para um veículo terrestre a motor ou para maquinário agrícola ou no campo de construção naval.

Outras características e vantagens da invenção se tornarão aparentes no curso da descrição dada abaixo como exemplo e em relação às seguintes figuras anexas:

- figura 1, que mostra a microestrutura de um aço conforme a invenção, após o tratamento térmico; e

- figura 2, que mostra a microestrutura de um aço em desacordo com a invenção, após o tratamento térmico.

Em relação à composição química do aço, o carbono desempenha um papel importante na capacidade de endurecimento e na resistência à tração obtida após o resfriamento que segue pa tratamento de austenitização. Abaixo de um teor de 0,040% em peso, não é possível obter uma resistência acima de 500 MPa sob quaisquer condições de resfriamento. Acima de um teor de 0,100%, há um risco da formação de uma proporção muito grande de martensita sob as condições de resfriamento mais rápido, por exemplo, quando as peças são mantidas na ferramenta resfriada. O alongamento na fratura pode então ser menor que 15%. Um teor de carbono de entre 0,050 e 0,080% torna possível, dependendo das condições de produ-

ção, para as propriedades de resistência e alongamento serem muito estáveis e para o aço apresentar uma capacidade de soldagem muito boa nos processos de montagem usuais.

5 Fora seu papel na desoxidação, o manganês também tem um efeito importante na capacidade de endurecimento, em particular quando seu teor em peso é de pelo menos 0,80%. Acima de 2,00%, seu caráter de formação de austenita leva, entretanto, à formação de uma estrutura ligada muito pronunciada. Uma faixa de 1,20 a 1,70% Mn é preferida de modo a se obter uma capacidade de endurecimento satisfatória sem risco de segrega-
10 ção. Em adição, uma tenacidade muito boa é assim obtida sob condições de tensão mecânica estática ou dinâmica.

 O silício ajuda a desoxidar o aço líquido e contribui para o endurecimento do aço. Seu teor, entretanto, deve ser limitado de modo a evitar a formação excessiva de óxidos de superfície e de promover a capacidade de
15 revestimento e de soldagem. Uma adição de mais de 0,30% em peso de silício resulta na possível estabilização da austenita após o resfriamento na ferramenta, algo que não é desejado aqui. Um teor de silício abaixo de 0,070% é preferido para se obter os resultados acima.

 Quando em quantidades excessivas, o enxofre e o fósforo redu-
20 zem a ductilidade. Isto é porque seu teor é limitado a 0,005 e 0,030% em peso respectivamente. Um teor abaixo de 0,004% e 0,020% respectivamente torna possível aumentar mais particularmente a ductilidade e a tenacidade.

 Quando em uma quantidade entre 0,010 e 0,070% em peso, o
25 alumínio permite que o aço líquido seja desoxidado. Uma quantidade preferivelmente entre 0,020% e 0,040% evita qualquer estabilização da austenita.

 O titânio e o nióbio pertencem à categoria de elementos de microligação, esses elementos sendo eficazes mesmo em pequenas quantidades variando de uns poucos 10^{-3} até uns poucos $10^{-2}\%$.

30 - quando o teor de nióbio do aço está entre 0,015 e 0,100%, precipitados de carbonitretos finos de endurecimento Nb(CN) se formam na austenita ou na ferrita durante a laminação a quente. Esses precipitados

também tornam possível limitar o crescimento do grão austenítico durante a subsequente soldagem. Um teor de nióbio entre 0,030 e 0,070% fornece um endurecimento apreciável enquanto ainda moderadamente melhora as propriedades mecânicas a alta temperatura, tornando assim possível limitar as

5 forças durante a laminação a quente nos laminadores de tiras;

- quando o teor de titânio está entre 0,030 e 0,080% em peso, a precipitação a uma temperatura muito alta ocorre na forma de nitretos TiN e então, a uma temperatura menor, na austenita na forma de carbonetos finos TiC, resultando em endurecimento. O TiN precipitado limita efetivamente o

10 crescimento de grão austenítico durante quaisquer operações de soldagem. Um teor de titânio entre 0,060% e 0,080% resulta em uma precipitação mais intensa de TiC ou carbossulfetos de titânio; e

- o teor de nitrogênio é menor que 0,009% de modo a evitar a precipitação de TiN que ocorreria logo após a solidificação na forma bruta.

15 Após a laminação a quente ou a frio e recozimento, o nióbio e o titânio estão na forma de precipitados. No processo, conforme a invenção, a austenitização completa do aço é então executada, seguida de resfriamento rápido dentro de uma ferramenta. Os inventores demonstraram que os precipitados, particularmente os precipitados de titânio, são eficazes para retardar o crescimento do grão de austenita a partir do aquecimento e limitar a

20 formação de constituintes secundários muito duros que reduzem a ductilidade. Esse controle do tamanho de grão da austenita torna possível alcançar uma baixa sensibilidade à variação na taxa de resfriamento.

A composição do aço pode também conter elementos tais como

25 cobre, cromo, níquel e molibdênio, que ajuda a aumentar a resistência através do endurecimento da solução sólida, ou por sua influência na capacidade de endurecimento. Entretanto, seus teores individuais devem ser limitados a 0,1%, ou de outra forma as estruturas bainíticas se formam após a austenitização no forno, essas estruturas sendo sensíveis a uma variação na

30 taxa de resfriamento.

O aço pode também conter uma adição de cálcio, variando até 0,006%, e preferivelmente 0,005%, com o propósito de coalescimento dos

sulfetos e melhoria da resistência à fadiga.

O processo de produção conforme a invenção é como segue:

- é fornecida uma chapa, ou um disco cortado de uma chapa, de uma das composições acima. A microestrutura inicial dessa chapa desempenha um papel relativamente menor à medida que ocorre a austenitização completa subsequentemente. Entretanto, os elementos de microligação devem estar na forma de precipitados: por exemplo, chapas ou discos podem ser produzidos fundindo-se aço líquido seguido de reaquecimento até 1100°C. A laminação a quente será realizada com uma temperatura final de laminação abaixo de 940°C. A chapa será então resfriada até 500-700°C a uma taxa entre 20 e 100°C/s. Após o subsequente resfriamento a ar, a chapa será então bobinada a uma temperatura entre 450 e 680°C. Essas condições tornam possível obter uma precipitação fina dispersa dos elementos de microligação.

A invenção pode ser executada em uma chapa ou disco, quer sejam não-revestidos ou pré-revestidos. Nesse último caso, um pré-revestimento é aplicado à chapa, o pré-revestimento sendo uma liga à base de zinco ou alumínio. Em particular, esse pré-revestimento pode ser aplicado por um processo de imersão a quente, por eletrodeposição ou pelo processo de deposição a vácuo. A deposição pode ser executada em uma única etapa ou através de uma combinação de etapas sucessivas. A deposição é preferivelmente executada continuamente. A espessura desse pré-revestimento pode estar entre 5 e 35 microns, com o propósito de obter um revestimento resistente às condições de processamento.

A liga do pré-revestimento pode ser alumínio ou uma liga à base de alumínio. Por exemplo, o pré-revestimento pode ser aplicado por imersão a quente em um banho à base de alumínio que, além disso, contém de 8 a 11% em peso de silício e de 2 a 4% em peso de ferro.

A liga do pré-revestimento pode também ser zinco ou uma liga à base de zinco. Essa liga de zinco pode também conter alumínio, por exemplo, em uma quantidade variando até 5% em peso. A liga à base de zinco pode também conter, opcionalmente, um ou mais elementos tais como silí-

cio, chumbo, antimônio, bismuto, lantânio e cério.

A chapa pré-revestida é então cortada de modo a obter um disco que tenha uma geometria de acordo com aquela da porção final a ser obtida.

De acordo com uma variante da invenção, o disco pré-revestido
5 pode opcionalmente ser soldado a outras peças de aço. Na verdade, é sabido que certas aplicações não requerem o mesmo nível de propriedades mecânicas em todos os pontos das peças. Assim, houve um desenvolvimento no uso de discos soldados sob medida, que são montagens feitas de chapas de aço tendo possivelmente diferentes composições de diferentes espessu-
10 ras. O disco pré-revestido conforme a invenção pode assim ser incorporado por soldagem em uma montagem mais complexa. A soldagem pode ser executada por um processo contínuo, por exemplo, soldagem a raio laser e soldagem a arco elétrico, ou por um processo descontínuo tal como, por exemplo, soldagem a resistência por pontos. O disco pode ser montado com
15 um ou mais discos de aço, cuja composição e espessura podem ser idênticas ou diferentes, de modo a se obter na etapa final peças cujas propriedades mecânicas, após a conformação e o tratamento térmico, cariar entre elas e podem ser adaptadas localmente às tensões subsequentes. Fora o ferro e as inevitáveis impurezas, a composição em peso dos discos de aço montados com os discos conforme a invenção compreenderá, por exemplo,
20 0,040 a 0,25% de C; 0,8 a 2% de Mn; $\leq 0,4\%$ de Si; $\leq 0,1\%$ de Al.

De acordo com outra variante da invenção, o disco pré-revestido pode opcionalmente ser deformado a frio. Essa deformação pode ser executada de forma tal que a geometria seja relativamente próxima da geometria da porção que se deseja obter. No caso de uma deformação executada a
25 frio, esta pode ser suplementada com uma deformação executada a quente, como será explicado mais tarde. Se a deformação a frio resulta praticamente na geometria final, a peça é então aquecida, antes de ser submetida a uma etapa de conformação em uma ferramenta. O propósito dessa última etapa é
30 evitar qualquer deformação das peças no resfriamento e fornecer um ciclo de resfriamento particular graças ao contato adequado entre a peça e a ferramenta. Esta etapa de conformação é, portanto, caracterizada por uma for-

ça mínima aplicada pela ferramenta à peça.

Após essas etapas opcionais de soldagem e deformação a frio, o disco é aquecido em um forno de tratamento térmico. O propósito desse tratamento é executar uma austenitização completa do aço. Se o disco for
5 pré-revestido, esse tratamento também tem o propósito de formar um revestimento capaz de proteger sua superfície durante o tratamento e durante o uso subsequente da peça.

O papel do pré-revestimento à base de alumínio ou à base de zinco é o seguinte: durante o aquecimento em um forno, ocorre uma reação
10 de ligação entre o substrato de aço e o pré-revestimento, e uma camada ligada se forma na superfície do disco. A ligação ocorre por toda a espessura do pré-revestimento. Dependendo da composição de pré-revestimento, uma ou mais fases intermetálicas são formadas nessa camada ligada. Uma vez que o ponto de fusão dessas fases está acima da temperatura na qual a
15 peça é aquecida, o revestimento não se funde a alta temperatura. O termo "pré-revestimento" é entendido como significando a liga antes do aquecimento e o termo "revestimento" é entendido como significando a camada ligada formada durante o aquecimento. O tratamento térmico, portanto, modifica a natureza do pré-revestimento e sua geometria, uma vez que a espessura do revestimento é maior que a do pré-revestimento por causa das
20 reações de difusão para o substrato de aço. Como mencionado, o tratamento térmico forma uma camada resistente à temperatura. Essa camada protege o substrato ao evitar que ele entre em contato com a atmosfera do forno. Consequentemente, os problemas de descarbonização e oxidação que ocorreriam se o aquecimento fosse executado em uma peça sem um pré-revestimento são evitados. Os revestimentos formados também têm a vantagem de serem aderentes e de serem adequados para as subseqüentes operações de conformação a quente que seguirão.

O aquecimento é executado a uma temperatura T_c acima da A_{c3} ,
30 essa última temperatura denotando o término da temperatura de transformação austenítica do aço durante o aquecimento. A temperatura T_c está preferivelmente entre 800 e 950°C. O tempo de enxágue t_c para 3 a 10 minutos à

T_c pode ser executado de forma a homogeneizar a temperatura do disco. Sob essas condições, um grão austenítico fino é formado dentro dessa faixa de temperaturas levemente acima da Ac^3 . A capacidade de endurecimento é moderada a partir de tal estrutura, evitando assim a formação de constituintes microestruturais que tenham uma baixa ductilidade. Uma variação de temperatura dentro dessa faixa não confere uma grande variação nas propriedades mecânicas finais.

O disco aquecido é então removido do forno e transferido até uma ferramenta onde ele sofre uma deformação a quente, com o propósito de obter a geometria desejada da peça, ou uma simples operação de conformação, conforme descrito acima. Naturalmente, se o disco não tiver sido previamente deformado, é na etapa de deformação a quente que a deformação será inteiramente executada. Em ambos os casos, a presença da peça na ferramenta resulta em resfriamento, que ocorre essencialmente por condução térmica. A taxa de resfriamento depende de parâmetros tais como o tempo de transferência entre o forno e a ferramenta, da espessura e da temperatura da peça, qualquer resfriamento da própria ferramenta por um meio de resfriamento, e por quanto tempo a peça é mantida na ferramenta. De acordo com uma variante, a peça pode ser transferida para outra ferramenta, chamada de ferramenta "secundária", que permite que o término do ciclo de resfriamento seja controlado.

Os inventores demonstraram que alcançar as propriedades mecânicas desejadas depende e controlar um parâmetro particular, ou seja, V_c : esse parâmetro denota a taxa média de resfriamento entre a temperatura T_c da peça ao sair do forno e a temperatura de 400°C . Essa faixa de temperatura entre T_c e 400°C cobre um intervalo particular no qual ocorrem as transformações alotrópicas que resultam nas microestruturas desejadas das composições do aço conforme a invenção.

A taxa V_c está entre 30 e 80°C/s quando V_c está abaixo de 30°C/s , a estrutura das peças é muito predominantemente ferrítica e um nível de resistência maior que 500 MPa não pode ser sempre alcançado. Quando a taxa V_c está entre 35 e 60°C/s , a variação nas propriedades me-

cânicas obtidas é particularmente pequena.

Quando a taxa é maior que 80°C/s, uma quantidade excessiva de bainita é descoberta dentro da microestrutura: as propriedades desse constituinte são sensíveis a uma leve variação de V_c . Consequentemente, uma variação local nas condições de contato entre peça e ferramenta, ou uma variação inadvertida nas condições de processamento em relação aos parâmetros nominais, resultará em uma variação nas propriedades mecânicas, ou dentro de uma dada peça ou de uma peça para outra.

A microestrutura conforme a invenção consiste em pelo menos 75% de ferrita equiaxial fina, este teor percentual correspondendo à fração de superfície que pode, por exemplo, ser medida em uma seção polida e causticada. O termo "equiaxial" denota uma estrutura na qual a razão média do comprimento maior dos grãos de ferrita para o seu comprimento menor não excede 1,2. Preferivelmente, o tamanho médio do grão de ferrita é menor que 6 microns de modo a obter tanto uma alta resistência quanto um alongamento na fratura muito maior que 15%.

A estrutura também contém martensita, cuja fração de superfície está entre 5 e 20%. Esse constituinte está na forma de ilhas dispersas dentro da matriz ferrita, o tamanho dessas ilhas geralmente sendo igual ou menor que aquele dos grãos de ferrita. Nessa forma fina dispersa, a presença de 5 a 20% de martensita permite que a resistência à tração seja aumentada sem uma redução muito pronunciada na ductilidade.

A estrutura pode também conter bainita em uma quantidade limitada a 10%. Isto é porque foi mostrado que a presença desse constituinte não é desejável para a produção de peças que tenham que apresentar uma grande uniformidade das propriedades mecânicas.

As peças conformadas assim obtidas podem então ser opcionalmente montadas através de sua soldagem a outras peças, das mesmas espessura e composição ou de espessura e composição diferentes, de modo a constituir, por exemplo, uma estrutura mais complexa.

Se a chapa ou disco inicial não tiver pré-revestimento, as peças formadas podem, naturalmente, ser revestidas após o tratamento térmico

por uma operação adequada de revestimento se for requisitado delas uma proteção contra a corrosão.

Para dar um exemplo, as configurações a seguir ilustram outras vantagens conferidas pela invenção.

5 Exemplo 1:

Foram consideradas chapas de aço laminadas a quente ou laminadas a frio com uma espessura variando de 1,2 a 2 mm, tendo a seguinte composição em % em peso:

Tabela 1: Composição do aço (em % em peso):

10 (Os valores sublinhados indicam características fora da invenção)

Aço	C	Mn	Si	S	P	Al	Nb	Ti	N	Outros
A	0,059	1,646	0,022	0,004	0,016	0,024	0,048	0,067	0,005	Cu: 0,009 Mo: 0,003 Ni: 0,016 Cr: 0,027 Ca: 0,003
B	0,063	1,677	0,018	0,003	0,018	0,030	0,050	0,071	0,005	Cr: 0,023
C	0,125	1,444	<u>0,384</u>	0,002	0,020	0,030	<u>0,003</u>	<u>0,011</u>	0,005	Cr: 0,189
D	0,057	<u>0,626</u>	0,074	<u>0,008</u>	0,018	0,030	0,066	<u>0,001</u>	0,005	Cr: 0,021

Os aços A e B são aços que têm as composições conforme a invenção. Os aços C e D são aços de controle. A chapa laminada a quente do aço A teve uma espessura de 2 mm. O aço B foi submetido a experiências na forma de chapas laminadas a quente de 2 mm de espessura e chapas laminadas a frio e recozidas com 1,5 e 1,2 mm de espessura.

Os aços C e D são aços de controle, esses aços sendo laminados a frio e recozidos, com uma espessura de 1,2 mm.

Chapas desses vários aços foram pré-revestidas por imersão a quente em um banho de liga de alumínio fundida contendo 9,3% de silício e 2,8% de ferro, o saldo consistindo em alumínio e as inevitáveis impurezas. A espessura do pré-revestimento foi de cerca de 35 microns por face. As chapas foram cortadas na forma de discos.

Os discos foram então aquecidos até uma temperatura T_c para

um tempo de enxágue t_c indicado na tabela 2. Alguns dos aços foram submetidos a um número de diferentes condições de experiência, tais como o aço B sob condições identificadas como B1 a B3. As condições de aquecimento resultaram todas em uma transformação austenítica completa dos aços. Durante essa fase de aquecimento e enxágue, o pré-revestimento foi transformado em uma camada ligada sobre toda a sua espessura. Esse revestimento ligado, tendo um alto ponto de fusão e uma alta dureza, é muito resistente à corrosão e evita que o aço base seja oxidado e descarbonizado durante e após a fase de aquecimento.

Após a austenitização, os discos foram removidos do forno à temperatura T_c e então deformados a quente. A taxa média de resfriamento V_c foi variada de acordo com as condições indicadas na Tabela 2. As propriedades mecânicas medidas nas peças (limite de elasticidade R_e , resistência à tração R_m e alongamento na fratura A) estão também indicados na Tabela 2.

Tabela 2: Condições de austenitização e resfriamento:

Propriedades mecânicas obtidas

(os valores sublinhados indicam propriedades fora da invenção)

Condição do aço	$T_c(^{\circ}\text{C})$	$t_c(\text{min})$	$V_c(^{\circ}\text{C/s})$	$R_e(\text{MPa})$	$R_m(\text{MPa})$	R_e/R_m	A(%)
A1	900	6	45	380	600	0,63	22
A2	950	6	45	370	597	0,62	22
B1	920	7	30	366	562	0,65	22,5
B2	930	10	45	409	618	0,66	21,5
B3	920	7	<u>100</u>	470	703	0,67	<u>13</u>
C1	920	5	35	499	819	0,61	<u>14,5</u>
C2	920	5	50	543	831	0,65	<u>10</u>
C3	920	5	<u>90</u>	1069	1358	0,78	<u>5,5</u>
D1	920	6	35	410	<u>455</u>	0,90	23,5

As microestruturas obtidas após o tratamento térmico foram examinadas em seções polidas e causticadas. O tamanho médio de grão de ferrita foi determinado por análise de imagem.

As experiências executadas no aço A indicam que as propriedades mecânicas dependem pouco da temperatura de austenitização dentro da faixa do processo da invenção. A produção industrial será, portanto, muito pouco sensível a uma mudança não planejada desse parâmetro. Um exemplo da microestrutura é dado na figura 1. A estrutura, relativa à experiência B1, é feita de 93% de ferrita equiaxial, tendo um tamanho médio de 5 microns, e 7% de martensita.

As experiências A1, A2, B1 e B2 resultam todas em estruturas consistindo em mais de 75% de ferrita equiaxial, martensita em uma quantidade entre 5% e 20%, e menos de 10% de bainita.

Uma taxa de resfriamento muito alta (100°C/s, experiência B3) resulta em um teor de martensita levemente maior que 20%. A martensita está presente na forma de ilhas que podem exceder um tamanho de 5 microns. O alongamento é, então, menor que 15%.

O aço C tem um teor de carbono muito alto e um teor de silício muito alto, e não contém elementos de microligação suficientes para um controle efetivo de grão. Mesmo com condições de resfriamento de 35°C/s, a estrutura não é ferrítica, mas predominantemente bainítica conforme ilustrado na figura 2 em relação à experiência C1. O alongamento é então menor que 15%. Quando a taxa de resfriamento aumenta (experiências C2 e C3), a estrutura torna-se predominantemente martensítica, com traços de bainita. O alongamento sofre uma apreciável redução.

O aço D tem um teor insuficiente de manganês e titânio, e contém uma quantidade excessiva de enxofre. Consequentemente a resistência é insuficiente, sendo menos de 500 MPa sob as condições da experiência D1.

Exemplo 2:

Foi considerada uma chapa do aço B, com a composição conforme a invenção, detalhada na Tabela 1. A chapa com 2 mm de espessura foi pré-revestida com uma liga à base de alumínio conforme explicado no Exemplo 1. A chapa foi aquecida a 900°C por 8 minutos e então estampada a quente de forma a produzir uma peça. A taxa de resfriamento V_c foi

60°C/s. Dentro da morfologia da peça, a deformação equivalente ϵ varia de acordo, com as diferentes regiões: certas porções praticamente não foram deformadas localmente ($\epsilon = 0\%$) enquanto outras sofreram uma deformação de 20%. Observações micrográficas, medições de dureza e espécimes de tensão foram tomados nessas regiões deformadas diferentemente. O limite de elasticidade variou entre 430 e 475 MPa, a resistência à tração entre 580 e 650 MPa e o alongamento na fratura entre 17 e 22%. Assim, apesar do fato de que o grão de austenita é deformado a quente até uma extensão maior ou menor dependendo da posição em questão, o aço e o processo conforme a invenção são caracterizados pelo fato de que as propriedades permanecem muito homogêneas dentro da mesma peça. Em particular, a resistência à tração e o alongamento na fratura permanecem maiores que 500 MPa e 15%, respectivamente, qualquer que seja o grau de deformação em questão.

A invenção torna, assim, possível produzir peças revestidas tendo propriedades de alta resistência e ductilidade, essas propriedades sendo homogêneas em todas as peças. Os aços conforme a invenção não são muito sensíveis a uma modificação nos parâmetros de produção, isto sendo uma vantagem no caso de um atraso não programado na linha de produção, ou no caso de uma mudança de produção (por exemplo, peças de diferentes espessuras passando em sucessão no mesmo forno).

Essas peças serão usadas vantajosamente para produzir peças de segurança, e especialmente peças estruturais ou de reforço, para a construção de veículos a motor, e no maquinário agrícola ou no campo da construção naval.

REIVINDICAÇÕES

1. Peça de aço, a composição do aço que compreende, os teores sendo expressos em % em peso:

$$0,040\% \leq C \leq 0,100\%$$

5 $0,80\% \leq Mn \leq 2,00\%$

$$Si \leq 0,30\%$$

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

$$P \leq 0,030\%$$

$$0,010\% \leq Al \leq 0,070\%$$

10 $0,015\% \leq Nb \leq 0,100\%$

$$0,030\% \leq Ti \leq 0,080\%$$

$$N \leq 0,009\%$$

$$Cu \leq 0,100\%$$

$$Ni \leq 0,100\%$$

15 $Cr \leq 0,100\%$

$$Mo \leq 0,100\%$$

$$Ca \leq 0,006\%$$

o saldo da composição consistindo em ferro e as inevitáveis impurezas resultantes da fundição, a microestrutura do mencionado aço consistindo em pelo menos 75% de ferrita equiaxial, martensita em uma quantidade de no mínimo 5% e no máximo 20%, e bainita em uma quantidade de no máximo 10%.

2. Peça de aço de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a composição do mencionado aço compreender, os teores sendo expressos em % em peso:

25 $0,050\% \leq C \leq 0,080\%$

$$1,20 \leq Mn \leq 1,70\%$$

$$Si \leq 0,070\%$$

$$S \leq 0,004\%$$

30 $P \leq 0,020\%$

$$0,020\% \leq Al \leq 0,040\%$$

$$0,030\% \leq Nb \leq 0,070\%$$

$0,060\% \leq \text{Ti} \leq 0,080\%$

$\text{N} \leq 0,009\%$

$\text{Cu} \leq 0,100\%$

$\text{Ni} \leq 0,100\%$

5 $\text{Cr} \leq 0,100\%$

$\text{Mo} \leq 0,100\%$

$\text{Ca} \leq 0,005\%$

o saldo da composição consistindo em ferro e as inevitáveis impurezas resultantes da fundição.

10 3. Peça de aço de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizada pelo fato de que o tamanho médio do grão de ferrita do mencionado aço é menor que 6 microns.

15 4. Peça de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo fato de a mencionada peça é revestida com uma camada ligada sobre toda a espessura da mencionada camada, a mencionada camada ligada resultante de pelo menos um tratamento térmico para ligação entre o mencionado aço e um pré-revestimento, o mencionado pré-revestimento sendo uma liga à base de zinco ou de alumínio.

20 5. Peça de aço de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo fato de que sua resistência é maior que ou igual a 500 MPa e seu alongamento na fratura é maior que 15%.

6. Produto soldado, pelo menos uma porção do qual é uma peça como definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 5.

25 7. Processo para produção de uma peça de aço revestida, compreendendo as etapas nas quais:

- é fornecida uma chapa de aço laminada a quente ou laminada a frio com uma composição como definida na reivindicação 1 ou 2; então

- um pré-revestimento é aplicado à mencionada chapa, o mencionado pré-revestimento sendo uma liga à base de zinco ou alumínio; então

30 - a mencionada chapa é cortada de modo a se obter um disco; então

- opcionalmente, o mencionado disco é soldado; então

- opcionalmente, o mencionado disco é deformado a frio; então
- o mencionado disco é aquecido até uma temperatura T_c em um forno de modo a formar, pela ligação entre o mencionado aço e o mencionado pré-revestimento, uma camada ligada na superfície do mencionado disco,
- 5 a ligação sendo produzida sobre toda a espessura da mencionada camada, e de forma a dar a mencionado aço uma estrutura inteiramente austenítica; então
- o mencionado disco é removido do forno; então
- opcionalmente, o mencionado disco é deformado a quente de
- 10 modo a obter uma peça; e então
- a mencionada peça é resfriada em uma ferramenta sob condições adequadas para dar à mencionada peça de aço as propriedades mecânicas pretendidas.
- 8. Processo para produção de uma peça, compreendendo as etapas nas quais:
- 15 - é fornecida uma chapa de aço laminada a quente ou laminada a frio com uma composição como definida na reivindicação 1 ou 2;
- a mencionada chapa é cortada de modo a se obter um disco; então
- 20 - opcionalmente o mencionado disco é soldado; então
- opcionalmente o mencionado disco é deformado a frio; então
- o mencionado disco é aquecido até uma temperatura T_c em um forno de modo a dar ao mencionado aço uma estrutura completamente austenítica; então
- 25 - o mencionado disco é removido do forno; então
- opcionalmente, o mencionado disco é deformado a quente de modo a se obter uma peça; então
- a mencionada peça é resfriada em uma ferramenta sob condições adequadas para dar à mencionada peça de aço as propriedades mecânicas pretendidas; e então
- 30 - opcionalmente um revestimento é aplicado à mencionada peça.
- 9. Processo de produção de acordo com a reivindicação 7 ou 8,

caracterizado pelo fato de que a mencionada temperatura T_c está entre 880 e 950°C, o tempo de enxágue t_c na mencionada temperatura estando entre 3 e 10 minutos.

5 10. Processo de produção de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, caracterizado pelo fato de que a taxa média de resfriamento V_c entre a mencionada temperatura T_c e 400°C está entre 30 e 80°C/s.

10 11. Processo de produção de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, caracterizado pelo fato de que a taxa média de resfriamento V_c entre a mencionada temperatura T_c e 400°C está entre 35 e 60°C/s.

15 12. Uso de uma peça ou produto como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, ou produzida como definida em qualquer uma das reivindicações 7 a 11, para a produção de peças estruturais ou de segurança para um veículo terrestre a motor ou ara maquinário agrícola ou no campo de construção naval.

1/1

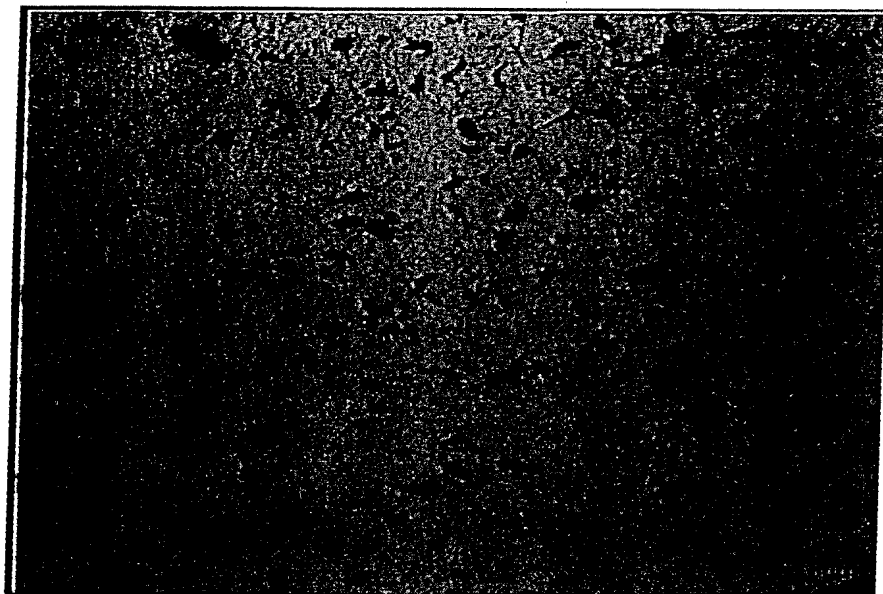


Fig 1

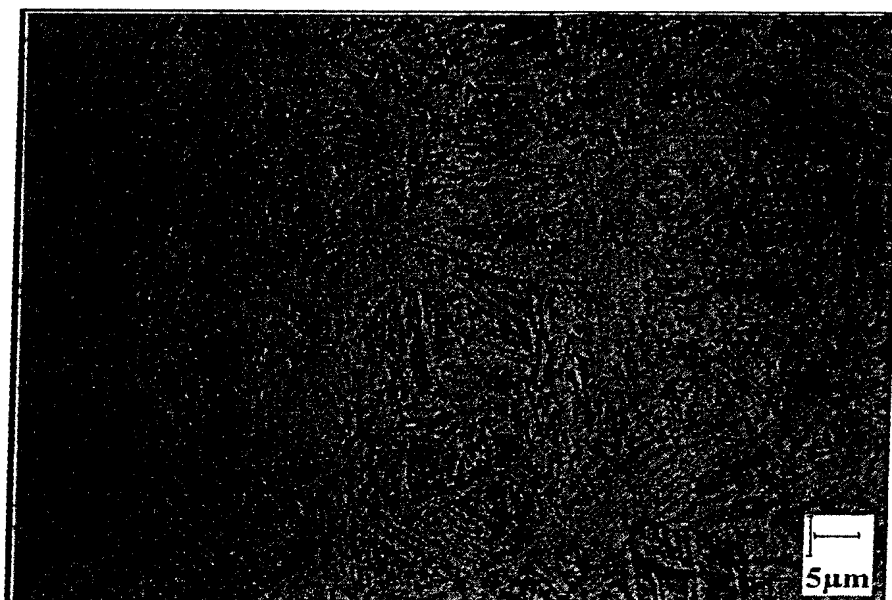


Fig 2

RESUMO

Patente de invenção: **"AÇO, PARA CONFORMAÇÃO A QUENTE OU RESFRIAMENTO BRUSCO EM UMA FERRAMENTA, TENDO DUCTILIDADE MELHORADA"**.

- 5 A presente invenção refere-se a uma peça de aço, cuja composição do aço compreende, os teores sendo expressos em % em peso: $0,040\% \leq C \leq 0,100\%$; $0,80 \leq Mn \leq 2,00$; $Si \leq 0,30\%$; $S \leq 0,005\%$; $P \leq 0,030\%$; $0,010\% \leq Al \leq 0,070\%$; $0,015\% \leq Nb \leq 0,100\%$; $0,030\% \leq Ti \leq 0,080\%$; $N \leq 0,009\%$; $Cu \leq 0,10\%$; $Ni \leq 0,100\%$; $Cr \leq 0,100\%$; $Mo \leq 0,100\%$; e $Ca \leq 0,006\%$, o saldo
- 10 da composição consistindo em ferro e as inevitáveis impurezas, resultantes da fundição, a microestrutura do aço consistindo em pelo menos 75% de ferrita equiaxial, martensita em uma quantidade de no mínimo 5% mas não excedendo 20%, e bainita em uma quantidade que não exceda 10%.