



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

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



CARTA PATENTE N.º PI 0702910-1

Patente de Invenção

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito : PI 0702910-1

(22) Data do Depósito : 13/04/2007

(43) Data da Publicação do Pedido : 25/10/2007

(51) Classificação Internacional : C22C 38/00; C22C 38/58; C22C 38/14; C21D 8/02

(30) Prioridade Unionista : 13/04/2006 JP 2006-110590; 15/03/2007 JP 2007-066716

(54) Título : CHAPA GROSSA DE AÇO

(73) Titular : NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION, Sociedade Japonesa. Endereço: 6-1, Marunouchi 2-Chome, Chiyoda-Ku, Tokyo 100-8071, JP-Japão., Japão (JP).

(72) Inventor : KIYOTAKA NAKASHIMA. Endereço: A/C NIPPON STEEL CORPORATION, 6-3, OTEMACHI 2-CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 1008071, Japão. Cidadania: Japonesa.; MASANORI MINAGAWA. Endereço: A/C NIPPON STEEL CORPORATION, 6-3, OTEMACHI 2-CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 1008071, Japão. Cidadania: Japonesa.; KOUJI ISHIDA. Endereço: A/C NIPPON STEEL CORPORATION, 6-3, OTEMACHI 2-CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 1008071, Japão. Cidadania: Japonesa.; AKIRA ITO. Endereço: A/C NIPPON STEEL CORPORATION, 6-3, OTEMACHI 2-CHOME, CHIYODA-KU, TOKYO 1008071, Japão.

Prazo de Validade : 20 (vinte) anos contados a partir de 13/04/2007, observadas as condições legais.

Expedida em : 2 de Setembro de 2014.

Assinado digitalmente por
Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"CHAPA GROSSA DE AÇO"**.

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a uma chapa grossa de aço de
5 alta resistência superior na capacidade de captura de trinca.

ANTECEDENTES DA TÉCNICA

Há atualmente a exigência de que a chapa grossa de aço usada para construção naval, construção, tanques, estruturas marinhas, tubulações e outras estruturas exibam a capacidade de suprimir a propagação de fraturas frágeis, isto é, uma capacidade de impedir trincamento, de modo a se
10 suprimirem as fraturas frágeis devido à fragilidade destas estruturas. Nos últimos anos, juntamente com o aumento das estruturas, uma chapa grossa de aço de alta resistência com um limite de escoamento de 390 MPa a 500 MPa e uma espessura de placa de 40 mm a 100 mm está sendo usada cada
15 vez mais. Contudo, de modo geral, a resistência e a espessura de placa são contraditórias na capacidade de captura de trinca. A capacidade de captura de trinca acima cai juntamente com o aumento na resistência e na espessura da placa. Por esta razão, uma tecnologia para melhoria da capacidade de captura de trinca em uma chapa grossa de aço de alta resistência é dese-
20 da.

Como uma tecnologia para melhoria da capacidade de captura de trinca, por exemplo, o método de controle de tamanho de grão de cristal, o método de controle da segunda fase frágil e o método de controle da textura são conhecidos.

25 Como o método de controle do tamanho de grão de cristal, a tecnologia descrita na Publicação de Patente Japonesa (A) N° 61-235534, na Publicação de Patente Japonesa (A) N° 2003-221619, e na Publicação de Patente Japonesa (A) N° 5-148542 é conhecida. Isto usa ferrita como a fase de matriz e torna a ferrita mais fina, de modo a melhorar a capacidade de
30 captura de trinca.

Ainda, como o método de controle da segunda fase frágil, há a tecnologia descrita na Publicação de Patente Japonesa (A) N° 59-47323.

Esta dispersa uma segunda fase frágil fina (por exemplo, martensita) na ferrita formando a fase de matriz, de modo a causar fissuras finas na segunda fase frágil nas extremidades de frente das fissuras frágeis e, desse modo, liberar as condições de tensão nas pontas de fissura.

5 Ainda, como o método de controle de textura, há a tecnologia descrita na Publicação de Patente Japonesa (A) Nº 2002-241891. Esta promove a formação de uma textura de plano {211} paralela à superfície laminada em um aço de fase única de bainita de carbono ultrabaixo ($C < 0,003\%$).

10 Contudo, estas tecnologias têm os problemas a seguir.

A tecnologia de controle do tamanho de grão usa ferrita macia como uma fase de matriz, de modo que obter uma chapa grossa de aço de alta resistência é difícil.

15 Ainda, com a tecnologia de controle da segunda fase frágil, a martensita é dispersa na ferrita, de modo que a propriedade de iniciação de fissura da fratura frágil termina se deteriorando notadamente.

Ainda, uma vez que a ferrita é usada como a fase de matriz, a obtenção de uma chapa grossa de aço de alta resistência é difícil, da mesma forma.

20 Ainda, na tecnologia para controle da textura, um aço de carbono ultrabaixo é usado, e a estrutura é tornada uma fase única de bainita para promoção da formação de uma textura uniforme na direção de espessura de placa, de modo que a capacidade de captura de trinca não pode ser notadamente melhorada. Ainda, a carga requerida para a fabricação de aço para
25 a obtenção de um aço de carbono ultrabaixo é extremamente grande.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

A presente invenção foi feita considerando-se a situação acima e tem como seu objetivo a capacidade de prover uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca, a qual é de alta
30 resistência, livre de deterioração da tenacidade de HAZ (zona termicamente afetada) e livre de anisotropia, a um custo baixo de fabricação.

Para a obtenção do objetivo acima, a chapa grossa de aço de

alta resistência de acordo com a presente invenção é conforme se segue:

(1) Uma chapa grossa de aço de alta resistência contendo, em % em massa, C: 0,03 a 0,15%, Si: 0,1 a 0,5%, Mn: 0,5 a 2,0%, P: $\leq 0,02\%$, S: $\leq 0,01\%$, Al: 0,001 a 0,1%, Ti: 0,005 a 0,02%, Ni: 0,15 a 2%, e N: 0,001 a 0,008% e tendo um saldo de ferro e impurezas inevitáveis como componentes químicos, tendo uma microestrutura de uma ferrita e/ou uma estrutura de perlita com bainita como a fase de matriz, e tendo um diâmetro equivalente de círculo médio de grãos de cristal com um ângulo de desorientação de cristal de 15° ou mais de $15\ \mu\text{m}$ ou menos nas regiões de 10% de espessura de placa a partir das superfícies dianteira e traseira e de $40\ \mu\text{m}$ ou menos na outra região incluindo a parte central da espessura de placa.

(2) Uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca, conforme estabelecido em (1) caracterizada por conter, adicionalmente, em % em massa, um ou mais dentre Cu: 0,1 a 1%, Cr: 0,1 a 1%, Mo: 0,05 a 0,5%, Nb: 0,005 a 0,05%, V: 0,02 a 0,15%, e B: 0,0003 a 0,003% como componentes químicos.

(3) Uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca, conforme estabelecido em (1) ou (2), caracterizada por conter, adicionalmente, em % em massa, um ou mais dentre Ca: 0,0003 a 0,005%, Mg: 0,0003 a 0,005%, e REM: 0,0003 a 0,005% como componentes químicos.

(4) Uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca, conforme estabelecido em qualquer um de (1) a (3), caracterizada pelo fato de que planos {100} formando um ângulo de $\pm 15^\circ$ com respeito ao plano vertical com a direção de carregamento terem uma relação de área de 30% ou menos nas ditas regiões de 10% de espessura de chapa das superfícies dianteira e traseira.

(5) Uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca, conforme estabelecido em qualquer um de (1) a (4), caracterizada pelo fato de os referidos planos {100} formando um ângulo de $\pm 15^\circ$ com respeito ao plano vertical com a direção de carregamento terem uma relação de área de 15% ou menos nas referidas regiões incluindo

a parte central da espessura de placa além das referidas regiões de 10% de espessura de placa a partir das superfícies dianteira e traseira.

(6) Uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca, conforme estabelecido em qualquer um de (1) a (5), caracterizada pelo fato de a espessura de placa ser de 40 mm ou mais.

(7) Uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca, conforme estabelecido em qualquer um de (1) a (6), caracterizada pelo fato de o limite de escoamento ser de 390 MPa ou mais.

De acordo com a presente invenção, a placa de aço se torna extremamente superior na capacidade de captura de trinca, de alta resistência, mesmo se espessa na espessura de placa, e livre de deterioração na tenacidade de HAZ, de modo que se torna possível diminuir o custo e melhorar a segurança de estruturas de aço soldadas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 é uma vista que mostra a relação entre a quantidade de adição de Nitrogênio e o tamanho de grão de cristal.

A figura 2 é uma vista que mostra um mapa de fronteira de grão obtido pela medição pelo método de EBSP.

A figura 3 é uma vista que mostra um mapa de plano {100} obtido pela medição pelo método de EBSP.

MELHOR MODO PARA REALIZAÇÃO DA INVENÇÃO

Abaixo, as modalidades da presente invenção serão explicadas.

A chapa grossa de aço de alta resistência de acordo com a presente modalidade tem uma microestrutura compreendida por ferrita e/ou uma estrutura de perlita com bainita como a fase de matriz e é controlada no tamanho de grão de cristal e na textura na direção de espessura de placa de modo a ser melhorada na capacidade de captura de trinca.

A razão para tornar a bainita a fase de matriz é obter uma placa de aço com uma espessura de placa espessa e alta resistência. Com ferrita como a fase de matriz, a obtenção de uma placa de aço como essa é difícil.

Se tornar a bainita a fase de matriz permite que a placa de aço da espessura de placa desejada e resistência seja obtida, a ferrita e/ou a perlita também podem ser tornadas a segunda fase.

Em geral, o tamanho de grão da bainita depende do tamanho de grão da austenita antes da transformação para bainita. Por esta razão, tornar o tamanho de grão da bainita mais fino é difícil. Em oposição a isto, os inventores se engajaram em estudos intensivos e, como resultado, aprenderam que ao se tornar a quantidade de adição de Ni um valor adequado, é possível tornar o tamanho de grão da bainita mais fino.

O gráfico da figura 1 mostra a relação entre a quantidade de adição de Ni e o diâmetro equivalente de círculo médio dos grãos de cristal tendo um ângulo de desorientação de cristal de 15° ou mais em uma estrutura de bainita (tamanho de grão de cristal) no caso de mudança da taxa de resfriamento após uma laminação a quente para de 5 a 30 °C/s. Os outros componentes químicos além de Ni são, em % massa, C: 0,01%, Si: 0,2%, Mn: 1,3%, P: 0,005%, S: 0,003%, Al: 0,03%, Ti: 0,01%, e N: 0,003%. A partir deste gráfico, revela-se que, caso se aumente a quantidade de Ni adicionada, os grãos de cristal se tornam mais finos e, ainda, caso se aumente a taxa de resfriamento, os grãos de cristal se tornam mais finos.

A taxa de resfriamento de uma placa de aço de uma espessura de placa de mais de 40 mm freqüentemente é de em torno de 30 °C/s nas regiões de 10% de espessura de placa a partir das superfícies dianteira e traseira da placa de aço (referidas a partir deste ponto como "as partes de camada de superfície da placa de aço"). Neste caso, a outra região além das partes de camada de superfície da placa de aço incluindo a parte central da espessura de placa (abaixo denominada a "parte central da placa de aço") freqüentemente é de em torno de 5 °C/s. O fato que, quando se torna a quantidade de Ni adicionada de 0,15% ou mais nesta taxa de resfriamento, os tamanhos de grão de cristal nas partes de camada de superfície da placa de aço e na parte central da placa de aço se tornam de 15 µm ou menos e 40 µm ou menos pode ser lido a partir da figura 1.

Ainda, neste caso, foi aprendido que, quando o tamanho de grão

de cristal é de 15 μm ou menos nas partes de camada de superfície da placa de aço e é de 40 μm ou menos na parte central da placa de aço, uma capacidade de captura de trinca alta de um Kca a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de 170 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0,5}$ ou mais é exibida.

- 5 A figura 2 é um mapa de fronteira de grão mostrando os resultados de medição pelo método de EBSD na chapa grossa de aço de uma espessura de placa de 80 mm tendo como componentes químicos, em % em massa, C: 0,08%, Si: 0,2%, Mn: 1,1%, P: 0,005%, S: 0,005%, Al: 0,01%, Ti: 0,008%, Ni: 1,0%, N: 0,002%, Nb: 0,015%, B: 0,001%, e Ca: 0,001%. No
- 10 exemplo mostrado na figura 2, o tamanho de grão de cristal é de 6 μm em uma porção posicionada 5 mm abaixo da superfície da placa de aço, 11 μm em uma porção posicionada a $\frac{1}{4}$ da espessura de placa a partir da superfície e 18 μm em uma porção posicionada a $\frac{1}{2}$ da espessura de placa. A chapa grossa de aço tendo um tamanho de grão de cristal de 15 μm ou menos nas
- 15 partes de camada de superfície da placa de aço e de 40 μm ou menos na parte central da placa de aço exibe uma capacidade de captura de trinca alta de um Kca a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de 200 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{0,5}$.

- Quanto mais fino o tamanho de grão de cristal, melhor a capacidade de captura de trinca, mas, se considerarmos a produtividade, o limite
- 20 inferior do tamanho de grão de cristal preferencialmente é de 3 μm nas partes de camada de superfície da placa de aço e de 10 μm na parte central da placa de aço.

- A razão porque o tamanho de grão de cristal se tornar mais fino resulta na capacidade de captura de trinca se tornar melhorada desta forma
- 25 é conforme se segue: na fronteira de grão de cristal, a orientação de cristal difere entre grãos de cristal adjacentes, de modo que, nesta parte, a direção na qual a fissura se propaga difere. Por esta razão, ocorrem regiões sem fratura. Devido às regiões sem fratura, a tensão é compartilhada e se torna uma tensão de fechamento de fissura. Portanto, a força condutora para pro-
- 30 pagação de fissura cai, e a capacidade de captura de trinca é melhorada. Ainda, as regiões sem fratura finalmente fraturam por uma fratura dúctil, de modo que a energia requerida para uma fratura frágil seja absorvida. Por

esta razão, a capacidade de captura de trinca é melhorada.

Em geral, na camada de superfície de chapa grossa de aço, uma fratura frágil não ocorre facilmente e uma região de fratura dúctil (beirada de fratura oblíqua) facilmente se forma. Se a camada de superfície se tornar de grão mais fino e a espessura da camada de grão mais fino se tornar maior, a região de beirada de fratura oblíqua será aumentada. Na região sem fratura antes da formação da beirada de fratura, a tensão é compartilhada e se torna uma tensão de fechamento de fissura. Ainda, a energia requerida para uma fratura frágil é absorvida pela formação da beirada de fratura oblíqua. Por esta razão, a capacidade de captura de trinca é melhorada.

A razão para tornar o ângulo de desorientação de cristal com grãos adjacentes de 15° ou mais é que, caso menor do que 15° , as fronteiras de grão de cristal não se tornam facilmente resistentes a uma propagação das fissuras frágeis e o efeito acima de melhoria da capacidade de captura de trinca é reduzido. Ainda, a razão para tornar o tamanho de grão de cristal das partes de camada de superfície da placa de aço de $15\ \mu\text{m}$ ou menos é que, caso além de $15\ \mu\text{m}$, a tenacidade requerida para a formação de uma beirada de fratura oblíqua não pode ser obtida. A razão para tornar o tamanho de grão de cristal da parte central da placa de aço de $40\ \mu\text{m}$ ou menos é que, caso além de $40\ \mu\text{m}$, a tenacidade cai, uma propagação de fissuras frágeis dentro da espessura de placa se torna dominante, e a força condutora para fraturas nas partes de camada de superfície se torna maior, por meio do que se torna mais difícil a formação de beiradas de fratura oblíqua.

Por outro lado, as fraturas frágeis ocorrendo na placa de aço se propagam ao longo do plano de clivagem do plano $\{100\}$, de modo que é aprendido que se uma textura de plano $\{100\}$ se desenvolver no plano vertical com a direção de carregamento, o efeito de melhoramento da capacidade de captura de trinca, quando do controle do tamanho de grão de cristal desta forma, termina sendo reduzido.

Neste momento, se a textura do plano $\{100\}$ formando um ângulo de $\pm 15^\circ$ com respeito ao plano vertical em relação à direção de carregamento se tornar, por uma relação de área, 30% ou menos nas regiões de

espessura de placa de 10% a partir das superfícies dianteira e traseira (partes de camada de superfície da placa de aço), será aprendido que o efeito de melhoramento da capacidade de captura de trinca devido à finura aumentada do tamanho de grão de cristal pode ser exibido e um valor suficiente da capacidade de captura de trinca é mostrado. Adicionalmente, em região outra que as partes de superfície de camada da chapa de aço que inclui a parte do centro da espessura de chapa (parte de dentro da chapa de aço), é ensinado que se fizer a relação de área de textura 15% ou menos, o efeito da melhoria da capacidade de captura de trinca devido à fineza aumentada do tamanho do grão de cristal que pode ser exibida e valor suficiente da capacidade de captura de trinca são mostrados.

A figura 3 é um mapa do plano {100} mostrando os resultados de medição pelo método de EBSP na chapa grossa de aço usada na figura 2. No exemplo mostrado na figura 3, as partes em preto são os planos {100} formando um ângulo de $\pm 15^\circ$ com respeito ao plano vertical para a tensão externa. A relação de área dos planos {100} é de 14% na posição 5 mm abaixo da superfície do material de aço, 14% em uma porção posicionada a $\frac{1}{4}$ da espessura de placa a partir da superfície, e 6% em uma porção posicionada a $\frac{1}{2}$ da espessura de placa. Uma chapa grossa de aço com uma relação de área {100} de 30% ou menos nas partes de camada de superfície da placa de aço e de 15% ou menos na parte central da placa de aço, desta forma, conforme explicado acima, exibe uma capacidade de captura de trinca alta de um Kca a -10°C de $200\text{ MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$. Ainda, se observarmos a superfície de fratura da peça de teste, uma beirada de fratura oblíqua de em torno de 10% da espessura de placa foi observada nas partes de camada de superfície.

Quanto menor a relação de área dos planos {100}, melhor a capacidade de captura de trinca, mas, caso extremamente pequena, a outra textura cresce e uma anisotropia termina ocorrendo na capacidade de captura de trinca, de modo que a relação para as partes de camada de superfície da placa de aço preferencialmente seja de 5% ou mais e para a parte central da placa de aço seja de 3% ou mais.

O efeito acima de melhoria da capacidade de captura de trinca é particularmente notável em uma placa de aço com um limite de escoamento de 390 a 500 MPa e uma placa de aço com uma espessura de placa de 40 a 100 mm. A razão é que na região em que o limite de escoamento é menor do que 390 MPa ou maior do que 500 MPa e a espessura de placa é menor do que 40 mm ou maior do que 100 mm, é difícil formar uma distribuição em que o tamanho de grão de cristal ou a textura difere na direção de espessura de placa, tal como prescrito na presente invenção.

Abaixo, as razões para limitação das quantidades dos elementos serão explicadas.

O C tem que ser de 0,03% ou mais para se garantirem a resistência e a tenacidade da chapa grossa de aço. Este é o limite inferior. Ainda, caso C exceda a 0,15%, é difícil garantir uma boa tenacidade de HAZ, de modo que isto se torna o limite superior.

O Si é efetivo como um elemento de desoxidação e elementos de aumento de resistência, de modo que 0,1% ou mais é necessário, mas caso além de 0,5%, a tenacidade de HAZ se deteriora grandemente, de modo que este é o limite superior.

O Mn tem que ser de 0,5% ou mais, de modo a se garantirem economicamente a resistência e a tenacidade do material de matriz de calibre espesso. Contudo, caso Mn seja adicionado além de 2,0%, a segregação de centro se tornará notável. O material de matriz nesta parte e a tenacidade de HAZ se deterioram, de modo que este é o limite superior.

O P é um elemento de impureza e tem que ser reduzido para 0,02% ou menos para se garantir de forma estável a tenacidade de HAZ.

Ainda, o S também é um elemento de impureza e tem que ser reduzido para 0,01% ou menos para se garantirem de forma estável as características do material de matriz e a tenacidade de HAZ.

O Al funciona para a desoxidação e é requerido para redução do elemento de impureza O. Além de Al, Mn e Si também contribuem para a desoxidação, mas, mesmo se estes elementos forem adicionais, caso 0,001% ou mais de Al não esteja presente, é difícil suprimir de forma estável

o O. Contudo, caso Al seja de mais de 0,1%, óxidos grosseiros à base de alumina e seus agrupamentos são formados e o material de matriz e a tenacidade de HAZ são prejudicados, de modo que este é tornado o limite superior.

5 O Ti é importante na presente invenção. Pela adição de Ti, TiN é formado e é possível impedir os graus de austenita de se tornarem maiores no tamanho no momento do aquecimento da chapa grossa de aço. Conforme explicado acima, se o tamanho de grão de austenita se tornar maior, o tamanho de grão da bainita após a transformação também se tornará maior,
10 de modo que para obter o tamanho necessário de grãos de bainita, o Ti tem que ser adicionado em uma quantidade de 0,005% ou mais. Contudo, uma adição excessiva de Ti convida a uma queda na tenacidade de HAZ devido à formação de TiC, de modo que 0,02% foi tornado o limite superior.

 O Ni é o mais importante na presente invenção. Pelo controle da
15 quantidade de adição de Ni para um valor adequado desta forma e controlando-se a taxa de resfriamento no processo de resfriamento da placa de aço, da forma acima, as subunidades de bainita, isto é os grãos de cristal quando da definição da fronteira em que o ângulo de desorientação de cristal é de 15° ou mais como a fronteira de grão, podem ser feitos mais finos.
20 Para exibição deste efeito, a quantidade de ângulo de Ni tem que ser de 0,15% ou mais. Contudo, Ni é um elemento dispendioso. Uma adição excessiva é dispendiosa. Ainda, também há um limite superior para o efeito de adição de Ni, de modo que 2% preferencialmente sejam feitos o limite superior.

25 O N é importante na presente invenção. Conforme explicado acima, o TiN tem que ser formado no material de aço, de modo que 0,001% seja feito o limite inferior. Por outro lado, se a quantidade de adição de N se tornar excessiva, uma fragilização do material de aço é incorrida, de modo que 0,008% é tornado o limite superior.

30 Ainda, além dos elementos adicionados acima, em % em massa, um ou mais dentre Cu: 0,1 a 1%, Cr: 0,1 a 1%, Mo: 0,05 a 0,5%, Nb: 0,005 a 0,05%, V: 0,02 a 0,15%, e B: 0,0003 a 0,003% podem ser incluídos como

componentes químicos. Pela adição destes nos limites inferiores ou mais, a resistência e a tenacidade do material de matriz são asseguradas. Contudo, se estes elementos forem grandes demais, a tenacidade de HAZ e a soldabilidade cairão, de modo que é necessário regular limites superiores para estes elementos.

Ainda, além dos elementos adicionados acima, um ou mais dentre, em % em massa, Ca: 0,0003 a 0,005%, Mg: 0,0003 a 0,005%, e REM: 0,0003 a 0,005% podem ser incluídos como componentes químicos. Pela adição destes, a tenacidade de HAZ é assegurada.

Em seguida, um método preferível de produção de chapa grossa de aço de alta resistência da presente invenção será explicado. Em primeiro lugar, um aço fundido ajustado para os componentes químicos adequados acima é produzido por um método de fabricação de aço conhecido, tal como um conversor, e tornado um material de aço, isto é, uma chapa grossa fundida, por fundição contínua ou por um outro método de fundição normal. Durante o resfriamento no momento de fundição ou após o resfriamento, a chapa grossa de aço é aquecida para uma temperatura de 950 a 1250 °C para se criar uma fase de austenita única. Se isto for realizado a menos do que 950 °C, a solubilização será insuficiente, enquanto se além de 1250 °C, a austenita aquecida se tornará extremamente grosseira no tamanho de grão, e obter uma estrutura fina após a laminação se tornará difícil, e a tenacidade cairá. Este material de aço aquecido pode ser laminado por laminação com recristalização a 900 °C ou mais para fins de tornar a austenita mais fina ou pode ser deixado sem laminação por laminação com recristalização. Em seguida, uma laminação de acabamento é usada para a criação de uma placa de aço de uma espessura predeterminada. Após a laminação, esta é resfriada em água. Neste momento, o aço preferencialmente é laminado a uma temperatura de 670 °C a 850 °C por uma taxa de laminação cumulativa de 30% ou mais e começada a ser resfriada a partir de uma temperatura de 650 °C ou mais. A taxa de resfriamento neste momento preferencialmente é de 25 °C/s ou mais na superfície da placa de aço e de 5 °C/s ou mais na parte central da placa de aço. Ainda, às vezes, um resfriamento

em água é comutado para um resfriamento a ar a partir de uma temperatura de 500 °C ou menos para a finalidade de auto-revenido. Ainda, de acordo com a necessidade, após um resfriamento, a placa pode ser revenida e tratada termicamente a uma temperatura de 300 a 650 °C para ajuste da resistência e da tenacidade do material de matriz. Desta forma, uma laminação a uma temperatura ultrabaixa e processos de tratamento térmico complicados não são requeridos, de modo que a chapa grossa de aço de alta resistência de acordo com a presente modalidade possa ser produzida com uma alta produtividade e por um custo baixo. Ainda, a tensão residual também é suprimida, de modo que um aumento no custo devido à correção do formato também possa ser suprimido. Isto é preferível, portanto.

Conforme explicado acima, de acordo com a presente modalidade, ao se tornar a quantidade de adição de Ni um valor adequado para tornar o tamanho de grão de cristal da estrutura de bainita principalmente mais fina e pela formação de uma distribuição de textura reduzindo a relação de área dos planos {100} orientados para um plano vertical com a direção de carregamento, uma chapa grossa de aço de alta resistência pode ser melhorada na capacidade de captura de trinca. Ainda, na placa de aço tendo um limite de escoamento de 390 a 500 MPa e uma espessura de placa de 40 a 100 mm, o K_{IC} a -10 °C mostrando a capacidade de captura de trinca pode ser tornado de 170 MPa.m^{0,5} ou mais. Ainda, a produtividade pode ser elevada e o custo reduzido.

EXEMPLOS

No processo de fabricação de aço, os componentes químicos de aços fundidos foram ajustados, então, os aços foram continuamente fundidos em chapas grossas fundidas. As chapas grossas fundidas foram reaquecidas e adicionalmente laminadas para a obtenção de placas de aço de espessuras de 40 a 100 mm, as quais então foram resfriadas em água. Neste momento, parte das placas de aço foi resfriada em ar (exemplos comparativos). Após isto, de acordo com a necessidade, as placas foram tratadas termicamente para a produção de placas de aço espessas de limites de escoamento de 390 MPa a 500 MPa. A Tabela 1 mostra os componentes quí-

micos das placas de aço espessas.

TABELA 1

unidade: % em massa

Cla s- se	Aç o	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Ni	N	Cu	Cr	Mo	Nb	V	B	Ca	Ma	RE M
Ex.i nv.	1	0,15	0,1	1,4	0,005	0,002	0,03	0,01 5	0,2	0,003	-	-	-	0,008	-	-	-	-	0,00 3
Ex.i nv.	2	0,12	0,3	1,2	0,004	0,003	0,05	0,00 6	0,6	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ex.i nv.	3	0,08	0,2	1,1	0,005	0,005	0,01	0,00 8	1,0	0,002	-	-	-	0,015	-	0,001	0,00 1	-	-
Ex.i nv.	4	0,05	0,1	0,7	0,003	0,004	0,01	0,01 4	1,4	0,006	0,8	-	-	0,006	0,05	-	-	0,00 2	-
Ex.i nv.	5	0,03	0,2	0,6	0,002	0,004	0,04	0,01 2	1,8	0,005	0,5	0,5	0,5	0,025	-	-	-	-	-
Ex.i nv.	6	0,04	0,1	1,9	0,005	0,003	0,03	0,01 0	0,4	0,004	-	-	-	-	-	-	0,00 2	-	-
Ex.i nv.	7	0,05	0,3	1,8	0,005	0,003	0,03	0,01 2	0,5	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ex.i nv.	8	0,08	0,1	1,5	0,006	0,005	0,02	0,01 4	0,4	0,002	0,4	-	-	0,006	-	-	-	-	-
Ex. co mp.	9	0,08	0,2	1,1	0,005	0,005	0,01	0,00 8	0	0,002	-	-	-	0,015	-	0,001	0,00 1	-	-
Ex. co mp.	10	0,13	0,2	1,2	0,005	0,002	0,03	0,01 5	0,1	0,005	-	-	-	0,015	0,05	-	-	-	0,00 4

unidade: % em massa

Cla	Aç	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Ni	N	Cu	Cr	Mo	Nb	V	B	Ca	Ma	RE M
Ex. co mp.	11	0,05	0,1	1,1	0,004	0,003	0,05	0,007	1,0	0,004	0,3	0,2	0,2	0,008	-	-	-	-	-
Ex. co mp.	12	0,11	0,1	0,9	0,003	0,003	0,02	-	1,0	0,002	0,3	-	-	0,012	-	-	-	0,001	-
Ex. co mp.	13	0,12	0,2	1,6	0,004	0,004	0,01	0,010	0,3	0,004	-	-	-	-	-	-	0,001	0,001	-

As placas de aço espessas foram medidas quanto a frações de fase de microestrutura, propriedades mecânicas, tamanho de grão de cristal médio e capacidade de captura de trinca. Dentre estas, quanto às frações de fase de microestrutura, um microscópio ótico foi usado para fotografar as microestruturas em uma posição 5 mm abaixo da superfície da espessura de placa e em posições a $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ da espessura de placa por uma potência de X400, então, uma análise de imagem foi usada para se encontrar o valor médio das relações de área das fases diferentes com respeito às regiões de campo pleno medidas nas posições diferentes. Ainda, como o limite de escoamento (YS) e a tensão de tração (TS), os valores médios de duas peças de testes foram encontrados. Ainda, como a energia absorvida de Charpy (vE-40) a -40°C , o valor médio de três peças de teste foi encontrado. Ainda, o tamanho de grão de cristal médio foi encontrado pelo uso de um método de EBSP (Padrão de Retrodifusão de Elétron) para medição de regiões de $500\text{ }\mu\text{m} \times 500\text{ }\mu\text{m}$ a $1\text{ }\mu\text{m}$ de passo, preparando-se um mapa de fronteiras de grão com um ângulo de desorientação de cristal com grãos adjacentes de 15° ou mais, e encontrando-se o diâmetro equivalente de círculo dos grãos de cristal naquele momento por uma análise de imagem. Ainda, os dados de EBSP medidos foram usados para análise da direção de cristal, um mapa de planos $\{100\}$ formando um ângulo de $\pm 15^{\circ}$ com respeito ao plano vertical em relação à direção de carregamento foi preparado, e a relação de área com respeito à região de campo total foi encontrada por relação de área. Note que as posições de medição do tamanho de grão de cristal médio e da relação de área dos planos $\{100\}$ são posições a em torno de 10% da espessura de placa abaixo da superfície da chapa grossa de aço (referidas abaixo como as "camadas de superfície") e a parte central da placa de aço (referida abaixo como o "centro"). Ainda, a capacidade de captura de trinca foi testada por um teste ESSO padrão de tipo de gradiente de temperatura (espessura original e largura de placa de 500 mm, respectivamente). Os resultados de medição das placas de aço espessas são mostrados nas Tabelas 2 e 3 em conjunto com os métodos de produção.

TABELA 2

Classe	Aço	Espes- sura de placa (mm)	Método de Produção de Placa de Aço					Microestrutura		
			Temp. de A- quec. (°C)	Lami- na- ção	Resfria- mento		Temp. de Re- cozi- mento (°C)	Relação de Área de Fases (%)		
				Co- meço (°C)	Co- meço (°C)	Fim (°C)		Ferrita	Perlita	Baini- ta
Aço Inv.	1	50	1150	1050	800	400	-	10	0	90
Aço Inv.	2	40	1200	1100	780	350	-	20	10	70
Aço Inv.	3	80	1050	950	750	150	630	10	5	85
Aço Inv.	4	100	1100	1000	730	100	580	25	5	70
Aço Inv.	5	60	1080	980	770	200	550	30	5	65
Aço Inv.	6	70	1020	950	740	300	-	15	5	80
Aço Inv.	7	70	1200	1100	770	500	-	25	0	75
Aço Inv.	8	50	1050	950	700	150	500	30	5	65
Aço Comp.	9	80	1150	1050	750	150	630	20	10	70
Aço Comp.	10	40	1250	1150	780	200	580	15	5	80
Aço Comp.	11	60	1100	1000	Resfria- mento a Ar		-	40	20	40
Aço Comp.	12	100	1050	950	800	400	-	10	0	90
Aço Comp.	13	90	1150	1100	820	300	-	10	5	85

TABELA 3 (CONTINUAÇÃO DA TABELA 2)

Classe	Aço	Matriz-t/2 ¹⁾			Tamanho de Grão de Cristal Médio ²⁾		Relação de Área {100} ³⁾		Capacidade de Captura de trinca ⁴⁾
		YS (MPa)	TS (MPa)	vE-40 (J)	Cama- da de Sup. (μm)	Centro (μm)	Ca- mada de Sup. (%)	Centro (%)	Kca a-10°C (MPa√m)
Aço Inv.	1	480	630	200	12	35	20	5	240
Aço Inv.	2	395	530	200	10	30	18	10	250

Classe	Aço	Matriz-t/2 ¹⁾			Tamanho de Grão de Cristal Médio ²⁾		Relação de Área {100} ³⁾		Capacidade de Captura de trinca ⁴⁾
		YS (MPa)	TS (MPa)	vE-40 (J)	Cama-da de Sup. (μm)	Centro (μm)	Ca-mada de Sup. (%)	Centro (%)	Kca a-10°C (MPa√m)
Aço Inv.	3	470	600	250	6	18	14	6	200
Aço Inv.	4	420	580	240	6	16	25	12	195
Aço Inv.	5	440	550	250	5	17	15	7	220

Classe	Aço	Matriz-t/2 ¹⁾			Tamanho de Grão de Cristal Médio ²⁾		Relação de Área {100} ³⁾		Capacidade de Captura de trinca ⁴⁾
		YS (MPa)	TS (MPa)	vE-40 (J)	Cama-da de Sup. (μm)	Centro (μm)	Ca-mada de Sup. (%)	Centro (%)	Kca a-10°C (MPa√m)
Aço Inv.	6	465	590	300	7	25	17	8	210
Aço Inv.	7	400	540	220	14	30	34	16	170
Aço Inv.	8	480	640	300	6	15	40	10	180
Aço Comp.	9	440	550	200	20	45	35	10	80
Aço Comp.	10	490	610	180	18	42	25	4	95
Aço Comp.	11	390	520	250	25	28	32	9	75
Aço Comp.	12	420	560	250	20	35	19	18	120
Aço Comp.	13	410	530	100	12	50	16	5	150

1) Posição de centro na espessura de placa, YS e TS são valores médios de duas peças de teste, energia absorvida de Charpy (vE-40) a -40 °C é um valor médio de três peças de teste.

2) Diâmetro equivalente de círculo de grãos de cristal circundados por fronteira de grão de ângulo de desorientação de 15° ou mais com grãos adjacentes pelo método de EBSP.

3) Relação de área de planos de cristal {100} formando um ângulo de $\pm 15^\circ$ com respeito ao plano vertical com a direção de carregamento pelo método de EBSP.

4) Valor de Kca a -10 °C em um teste ESSO padrão de tipo de gradiente de temperatura (espessura original, largura de placa de 500 mm).

Os Aços 1 a 8 satisfazem às exigências da presente invenção em componentes químicos e tamanho de grão de cristal, de modo que teve um Kca a -10 °C mostrando a capacidade de captura de trinca de valores superiores de 170 MPa.m^{0,5} ou mais. Em particular, os Aços 1 a 6 satisfazem às exigências da presente invenção em relação de área {100}, de modo que exibiram valores superiores de 195 MPa.m^{0,5} ou mais. Ainda, eles exibiram principalmente microestruturas de bainita e tiveram como propriedades mecânicas os limites de escoamento (YS) de 395 a 480 MPa e resistências à tração (TS) de 530 a 640 MPa – todos valores altos.

Em oposição a isto, os Aços 9 e 10 tiveram quantidades de adição de Ni de 0% e 0,1% ou menos do que o limite inferior da presente invenção. Como resultado, o tamanho de grão de cristal na camada de superfície e na parte central está além do limite superior da faixa da presente invenção. Ainda, o Aço 9 tem uma relação de área {100} nas partes de camada de superfície além do limite superior da faixa da presente invenção. Por esta razão, eles exibiram um Kca a -10 °C de um valor baixo de 80 a 95 MPa.m^{0,5}.

Ainda, o Aço 11 tem componentes químicos que satisfazem às exigências da presente invenção, mas tem um tamanho de grão de cristal e uma relação de área {100} nas partes de camada de superfície além do limite superior da faixa da presente invenção. Por esta razão, exibiu um Kca a -10 °C de um valor baixo de 75 MPa.m^{0,5}.

Ainda, o Aço 12 não satisfaz às exigências da presente invenção no Ti dos componentes químicos, de modo que o tamanho de grão de cristal está além do limite superior da faixa da presente invenção nas partes de camada de superfície. Ainda, ele tem uma relação de área {100} na parte central além do limite superior da faixa da presente invenção. Por esta razão, exibiu um Kca a -10°C de um valor baixo de $120 \text{ MPa.m}^{0.5}$.

Ainda, o Aço 13 satisfaz às exigências da presente invenção em componentes químicos e tamanho de grão de cristal das partes de camada de superfície, mas tem um tamanho de grão de cristal na parte central mais alto do que o limite superior da presente invenção. Por esta razão, mesmo se ele satisfizer às exigências da presente invenção na relação de área {100}, o Kca a -10°C se torna de $150 \text{ MPa.m}^{0.5}$ e uma alta capacidade de captura de trinca poderia não ser exibida.

A partir das modalidades acima, foi confirmado que, pela aplicação da presente invenção, uma chapa grossa de aço de alta resistência superior na capacidade de captura de trinca tendo um limite de escoamento de 390 a 500 MPa, tendo uma espessura de placa de 40 a 100 mm, tendo uma estrutura principalmente compreendida por bainita e tendo um Kca a -10°C de $170 \text{ MPa.m}^{0.5}$ ou mais pode ser provida.

Ainda, a presente invenção não está limitada às modalidades acima e pode ser realizada mudada de várias formas na faixa, não se desviando da essência principal da presente invenção.

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

A presente invenção pode prover uma chapa grossa de aço superior na capacidade de captura de trinca, de alto limite de escoamento, e tendo uma espessura de placa de 40 mm ou mais a um custo baixo, e pode se adequar às demandas por segurança e custo mais baixo em construção naval, tanques, construções e outras estruturas de tamanho grande, de modo que tem grande aplicabilidade industrial.

REIVINDICAÇÕES

1. Chapa grossa de aço contendo, em % em massa, em C: 0,03 a 0,15%, Si: 0,1 a 0,5%, Mn: 0,5 a 2,0%, P: $\leq 0,02\%$, S: $\leq 0,01\%$, Al: 0,001 a 0,1%, Ti: 0,005 a 0,02%, Ni: 0,15 a 2%, N: 0,001 a 0,008% e, opcionalmente,
5 um ou mais dentre Cu: 0,1 a 1%, Cr: 0,1 a 1%, Mo: 0,05 a 0,5%, Nb: 0,005 a 0,05%, V: 0,02 a 0,15%, B: 0,0003 a 0,003%, Ca: 0,0003 a 0,005%, Mg: 0,0003 a 0,005%, e REM: 0,0003 a 0,005%, e tendo um saldo de ferro e impurezas inevitáveis como componentes químicos, a chapa tendo uma micro-
10 estrutura de uma estrutura de ferrita e/ou de perlita com bainita como a fase de matriz, **caracterizada** pelo fato de possuir um diâmetro equivalente de círculo médio de grãos de cristal com um ângulo de desorientação de cristal entre grãos adjacentes de 15° ou mais de 15 μm ou menos nas regiões de 10% de espessura de chapa a partir das superfícies dianteira e traseira e de 40 μm ou menos na outra região que inclui a parte central da espessura de
15 chapa.

2. Chapa grossa de aço, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada** pelo fato de que os planos {100} formando um ângulo de $\pm 15^\circ$ com respeito ao plano vertical para a direção de carregamento têm uma relação de área de 30% ou menos nas ditas regiões de 10% de espessura de
20 chapa a partir das superfícies dianteira e traseira.

3. Chapa grossa de aço, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizada** pelo fato de os referidos planos {100} formando um ângulo de $\pm 15^\circ$ com respeito ao plano vertical com a direção de carregamento terem uma relação de área de 15% ou menos nas referidas regiões incluindo a par-
25 te central da espessura da chapa, excluindo as referidas regiões de 10% de espessura de placa a partir das superfícies dianteira e traseira.

4. Chapa grossa de aço, de acordo com a qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizada** pelo fato de a espessura de placa ser de 40 mm ou mais.

30 5. Chapa grossa de aço, de acordo com a qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizada** pelo fato de o limite de escoamento ser de 390 MPa ou mais.

Fig. 1

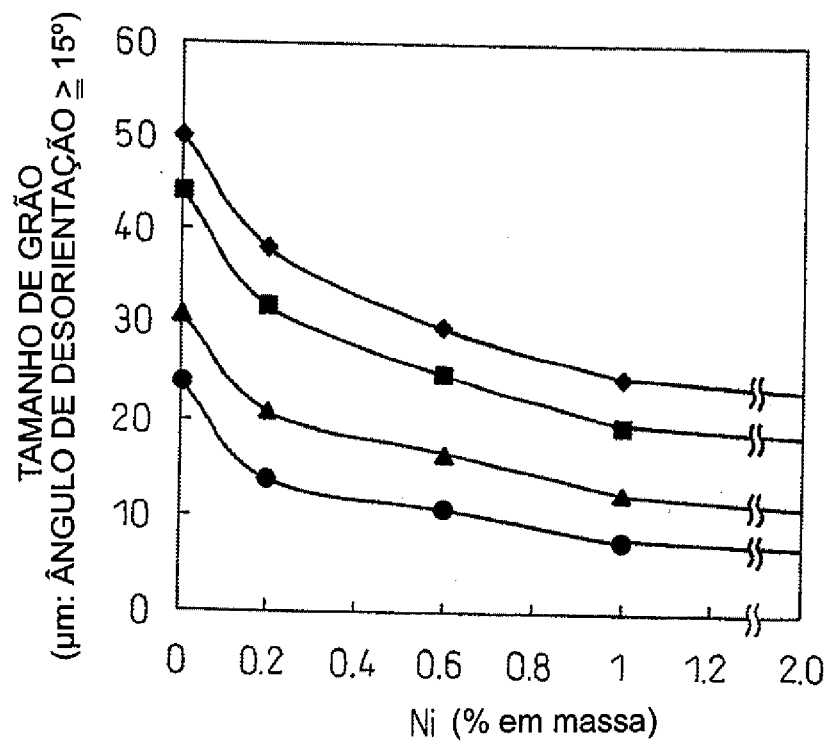


Fig.2

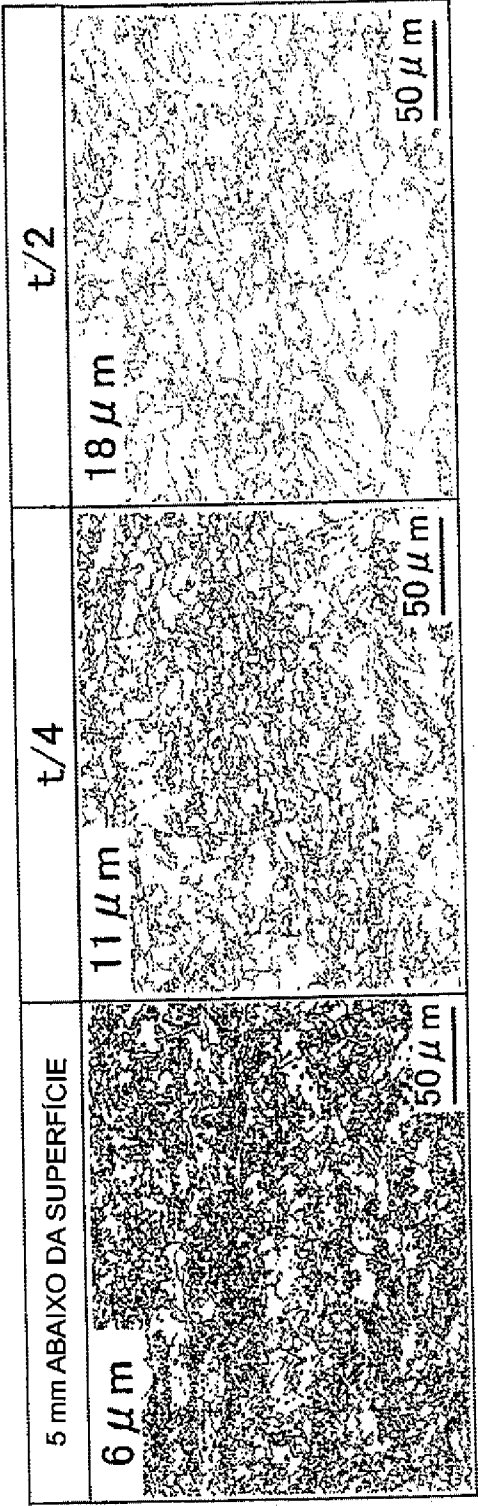
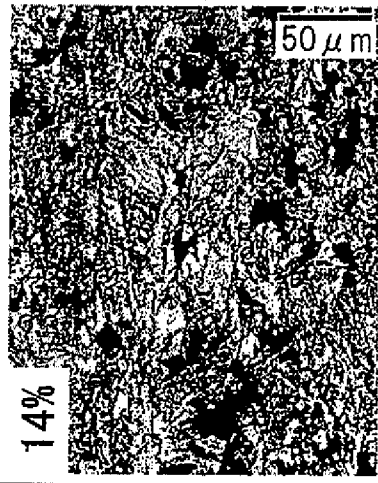


Fig.3

5 mm ABAIXO DA SUPERFÍCIE	$t/4$	$t/2$
<div>14%</div> 	<div>14%</div> 	<div>6%</div> 

RESUMO

Patente de Invenção: **"CHAPA GROSSA DE AÇO"**.

A presente invenção refere-se a uma chapa grossa de aço superior na capacidade de captura de trinca, de alta resistência, livre de deterioração de tenacidade de HAZ e livre de anisotropia, essa placa de aço con-
5 tendo, em % em massa, C: 0,03 a 0,15%, Si: 0,1 a 0,5%, Mn: 0,5 a 2,0%, P: $\leq 0,02\%$, S: $\leq 0,01\%$, Al: 0,001 a 0,1%, Ti: 0,005 a 0,02%, Ni: 0,15 a 2%, e N: 0,001 a 0,008% e tendo um saldo de ferro e impurezas inevitáveis como componentes químicos, tendo uma microestrutura de uma ferrita e/ou uma
10 estrutura de perlita com bainita como a fase de matriz, e tendo um diâmetro equivalente de círculo médio de grãos de cristal com um ângulo de desorientação de cristal de 15° ou mais de $15\ \mu\text{m}$ ou menos nas regiões de 10% de espessura de placa a partir das superfícies dianteira e traseira e de $40\ \mu\text{m}$ ou menos na outra região que inclui a parte central da espessura de placa.