



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

(11) PI 0709041-2 B1

(22) Data do Depósito: 14/03/2007

(45) Data de Concessão: 05/06/2018



(54) Título: CHAPA DE AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE COM ALTA RESISTÊNCIA À CORROSÃO

(51) Int.Cl.: C23C 2/06; C22C 18/04; C22C 23/04

(30) Prioridade Unionista: 02/02/2007 JP 2007-024427, 03/04/2006 JP 2006-102108, 20/03/2006 JP 2006-076547

(73) Titular(es): NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION

(72) Inventor(es): KOICHI NOSE; KOHEI TOKUDA; YUICHI SATO; MAKOTO NAKAZAWA

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"CHAPA DE AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE COM ALTA RESISTÊNCIA À CORROSÃO"**.

CAMPO TÉCNICO

5 A presente invenção refere-se a um material de aço com superfície tratada e alta resistência à corrosão, mais particularmente refere-se a um material de aço galvanizado por imersão a quente com alta resistência à corrosão.

ANTECEDENTES DA TÉCNICA

10 O aço galvanizado é usado em uma ampla faixa de campos tais como automóveis, eletrodomésticos, materiais de construção, e similares, mas a partir do objetivo de garantir um efeito de prevenção contra a ferrugem a longo prazo, geralmente A eletrodisposição com um alto peso de deposição é eficaz. Isto se dá porque a galvanização em si reduz a taxa de
15 corrosão em um material de aço, em adição, o zinco, cujo potencial de corrosão é baixo, tem uma proteção sacrificial em relação ao material de aço em lugares onde o ferro metálico é exposto, e o efeito anti-corrosão devido a esses é obtido pelo consumo de zinco, então quanto maior a quantidade de zinco por unidade de área, por mais tempo o efeito pode ser mantido. Recentemente, foi aprendido que os produtos da corrosão do zinco em si têm
20 também o efeito de suprimir a corrosão da camada revestida e do ferro metálico, mas esse efeito é também relacionado à quantidade absoluta do zinco, então novamente uma grande quantidade de zinco é desejada. Por outro lado, se a quantidade de deposição de zinco torna-se grande, a capacidade
25 de trabalho, a capacidade de soldagem, e outras características necessárias do material de aço tendem a se degradar. Se possível, é desejado o uso de uma quantidade menor de deposição para obter uma alta resistência à corrosão.

Para transmitir uma resistência à corrosão suficiente por uma
30 quantidade menor de deposição de eletrodisposição, foram feitas muitas tentativas para aumentar a resistência à corrosão da galvanização pela adição de elementos de ligação. Na atualidade, eletrodisposições de liga Zn-Ni, ele-

trodisposições de liga Zn-Fe, e similares estão sendo amplamente usadas principalmente para chapas de aço para automóveis, enquanto eletrodisposições de liga de Zn-Al estão sendo amplamente usadas principalmente para materiais de construção. Em particular, em eletrodisposições de liga de Zn-Al, foram também desenvolvidas camadas revestidas com Mg ou Si para também melhorar a resistência à corrosão.

Entretanto, se for usada a adição de componentes de ligação para melhorar a resistência à corrosão da camada revestida, dependendo da combinação do tipo de componentes de ligação e do ambiente de corrosão, a camada revestida algumas vezes acaba se tornando passivada. Conforme descrito acima, na resistência à corrosão em um material de aço galvanizado, tanto a pequena taxa de corrosão da camada revestida quanto a função de proteção sacrificial da dissolução sacrificial da camada revestida que protege o ferro metálico quando o ferro metálico está exposto são importantes. Se a camada revestida for passivada, embora a taxa de corrosão da própria camada revestida se torne extremamente pequena, a função da proteção sacrificial acaba sendo perdida ou mesmo reciprocamente surge o fenômeno de que a corrosão do ferro metálico acaba sendo promovida se o ferro metálico estiver exposto.

Não há muitas descrições em documentos de patente até agora acerca do método para se obter tanto as funções contraditórias de maior resistência à corrosão da própria camada revestida quanto a garantia da proteção sacrificial quando o ferro metálico estiver exposto.

Por exemplo, a Publicação de Patente Japonesa (A) nº 6-248424 descreve a idéia em relação a uma eletrodisposição de liga Zn-Al de dar um gradiente à distribuição de concentração dos componentes da liga para garantir alta resistência à corrosão na camada da superfície e proteção sacrificial próximo ao ferro metálico. Esta idéia seria excelente se pudesse ser alcançada por um método econômico, mas para dar um gradiente aos componentes na direção da espessura da camada revestida, o método de eletrodisposição por deposição de vapor ou outro método oneroso e de baixa produtividade têm que ser empregados. O uso de eletrodisposição por

imersão a quente de produtividade superior para dar um gradiente ao componente na direção da espessura da eletrodisposição de liga é muito difícil. A eletrodisposição dos componentes do gradiente pela ligação com o ferro metálico tal como na galvanização por imersão a quente é possível, mas o
5 que pode ser controlado pela ligação com o ferro metálico é basicamente a razão do elemento Fe e dos outros componentes de ligação, então a resistência à corrosão que pode ser obtida permanece na faixa dos componentes de eletrodisposição contendo principalmente Fe, e uma resistência à corrosão suficientemente alta não pode ser esperada.

10 Além disso, a Publicação de Patente Japonesa (A) nº 6-346254 descreve um método de uso de uma estrutura de eletrodisposição de múltiplas camadas compreendida de um metal base revestido com Zn por deposição de vapor e também revestida de Cr por deposição de vapor de modo a reduzir a taxa de corrosão do Zn e manter a proteção sacrificial por um longo
15 tempo. Este é também um método de eletrodisposição por deposição de vapor.

A Publicação de Patente Japonesa (A) nº 2001-234361 descreve, embora sem galvanização, um método de eletrodisposição de múltiplas camadas de Ni-Au suprimindo a corrosão da camada base de Ni pelo Au de
20 alta resistência à corrosão pelo fornecimento à camada base de Ni de uma camada de Ni precioso no fundo e uma camada de Ni no topo e usando-se a função de proteção sacrificial do Ni do topo da base para melhorar a resistência total à corrosão. Aplicar essa idéia à galvanização por imersão a quente com recozimento iria requerer novamente uma estrutura de camadas
25 múltiplas, então um grande aumento nos custos de produção não pode ser evitado.

As tecnologias descritas na mencionada Publicação de Patente Japonesa (A) nº 6-346254 e na Publicação de Patente Japonesa (A) nº 2001-234361 são ambas idéias de separação das funções de resistências à
30 corrosão e proteção sacrificial através de eletrodisposições de camadas múltiplas tendo estruturas em camadas. A tecnologia descrita na Publicação de Patente Japonesa (A) nº 6-248424 pode ser dita como sendo uma idéia simi-

lar quanto à separação de funções entre a parte superior da camada e a parte inferior da camada. Isto é, até agora a única idéia tem sido a separação das duas funções contraditórias entre várias camadas.

Além disso, um dos problemas que ocorre quando se melhora a
5 resistência à corrosão da camada revestida pela adição de componentes de ligação é o defeito de que a eletrodisposição de ligação é geralmente insatisfatória em capacidade de trabalho. Em particular, quanto maior o número de tipos de elementos adicionados, tais como um terceiro ou um quarto elemento, mais fácil a formação de compostos intermetálicos de ductilidade insatis-
10 fatória ou solutos supersaturados, etc. mais insatisfatória tende a ser a capacidade de trabalho.

Além disso, elementos componentes adicionados para melhorar a resistência à corrosão também formam compostos intermetálicos de diferentes composições ou provocam precipitação de compostos intermetálicos
15 de diferentes composições de matriz na matriz dos solutos. Naquele estado, um par de compostos intermetálicos com a composição diferente de um par da matriz e compostos intermetálicos formam células de união eletroquímica de corrosão onde reciprocamente a corrosão algumas vezes acaba sendo promovida.

20 Para tratar com os efeitos negativos provocados pela formação desses compostos intermetálicos etc., se fosse possível tornar amorfa a estrutura metálica da eletrodisposição de ligação, nenhum composto intermetálico seria formado, então os efeitos negativos poderiam ser eliminados e seria possível produzir uma chapa de aço revestida com uma liga com alta re-
25 sistência à corrosão e excelente capacidade de trabalho.

Entretanto, geralmente para se produzir metal amorfo, há um grande problema de que a taxa de resfriamento necessária para a formação de uma estrutura amorfa é extremamente grande.

Por exemplo, a Publicação de Patente Japonesa (A) nº 2005-
30 126795 descreve um método de formação de uma cobertura amorfa compreendendo o espalhamento de uma chama de um pó metálico tendo Mg e Zn como componentes químicos em um material base de modo a dar uma

taxa de resfriamento de 100.000°C/s ou mais.

Dessa forma, em uma liga amorfa usual, quando se solidifica a partir de um estado fundido, é necessária uma grande taxa de resfriamento. Na eletrodisposição por imersão a quente convencional, a taxa de resfriamento na faixa de temperatura quando se solidifica a partir do estado fundido da eletrodisposição é dita ser 100°C/s ou menos, a formação de uma estrutura amorfa no estado de eletrodisposição não é possível. Com o método da produção de espalhamento de chamas, é difícil produzir em massa de forma econômica um material uniforme.

10 A Publicação de Patente Japonesa (A) nº 2005-60805 descreve um membro de liga do tipo película contendo uma fase amorfa formada fazendo com que partículas de ligas amorfas, compreendidas de um sistema de liga à base de Fe, Co e Ni, mas capaz de incluir Zn até 20 em % como elemento adicionado seletivamente e tendo uma forma amorfa em termos de
15 volume percentual de 50% ou mais, atinjam um substrato a uma alta velocidade. Esse método é também um método de produção de partículas de ligas amorfas e formação de uma película em um substrato tendo ineficiências similares ao espalhamento de chamas e não pode ser dito como sendo um método adequado para produção em massa de modo econômico.

20 Em relação à emissão da taxa de resfriamento, em anos recentes foram descobertas composições de ligas capazes de serem tornadas amorfas mesmo com uma pequena taxa de resfriamento e pesquisadas energeticamente. Tal liga que pode ser tornada amorfa mesmo se solidificada a uma pequena taxa de resfriamento, pode ser tornada amorfa mesmo se
25 uma liga de um tamanho relativamente grande uma vez que a taxa de resfriamento for pequena, então é chamada "amorfa em massa". Se a taxa de resfriamento necessária para a formação de uma estrutura amorfa tornar-se suficientemente pequena e uma liga amorfa puder ser formada por uma taxa de resfriamento capaz de ser realizada por um processo de eletrodisposição
30 por imersão a quente convencional ou menos, haveria a possibilidade de uma eletrodisposição amorfo por eletrodisposição por imersão a quente.

Entretanto, até agora, os únicos exemplos relatados de sistemas

de liga que formam estruturas amorfas em massa foram baseadas em Zr, Mg, Fe, Pd, Co, Ca e outros elementos limitados. Não houve exemplos de ligas à base de Zn.

Houve alguns exemplos de Zn como elemento adicionado seletivamente a uma estrutura amorfa em massa com base de outros elementos. Por exemplo, como na Publicação de Patente Japonesa (A) nº 2006-2252, uma liga amorfa em massa contendo Zn como elemento seletivo em uma quantidade de até 30 em % e, como na Publicação de Patente Japonesa (A) nº 2004-149914, foi descrita uma liga amorfa em massa à base de Zr/Hf contendo Zn como elemento seletivo em uma quantidade de 5 a 15 em %.

Entretanto, não há exemplo de uma liga amorfa em massa contendo Zn, necessária para resistência à corrosão de uma chapa de aço revestida por imersão a quente, como seu principal componente. Além disso, não há exemplo de uma combinação de elementos considerando o desempenho e a produtividade da chapa de aço revestida por imersão a quente. Conseqüentemente, não há exemplos relatados ou exemplos de patentes de chapas de aço revestidas por imersão a quente amorfas à base de Zn.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

A presente invenção tem como seu objetivo o fornecimento de um material de aço galvanizado por imersão a quente com alta resistência à corrosão que alcance tanto uma alta resistência à corrosão da própria camada revestida quanto desempenho de proteção sacrificial do ferro metálico pela camada revestida ou capacidade de trabalho livre da degradação provocada pela formação de compostos intermetálicos pelos elementos adicionados.

Os presentes inventores pesquisaram a maior resistência à corrosão de um material de aço galvanizado por imersão a quente e recozido e nos métodos de processo estudados para alcançar tanto a maior resistência à corrosão de uma camada revestida por elementos adicionados à camada revestida e o desempenho de proteção sacrificial protegendo o ferro metálico pelo eletrodisposição e descobriram que em um certo sistema específico de componentes, quando a taxa de resfriamento no momento da solidificação

da eletrodisposição é um pouco alta, pode ser alcançado uma eletrodisposição tendendo a alcançar essas duas propriedades. Além disso, eles executaram experiências mudando os componentes químicos e o resfriamento de solidificação e investigaram as propriedades físicas da eletrodisposição correlacionadas com a solução do problema e como resultado descobriram que é possível alcançar tanto uma alta resistência à corrosão da camada revestida em si quanto um desempenho de proteção sacrificial protegendo o ferro metálico em uma eletrodisposição mantendo partes em fase de desequilíbrio na eletrodisposição.

Além disso, os presentes inventores conduziram vários estudos no método de suprimir a degradação da capacidade de trabalho e resistência à corrosão devido aos compostos intermetálicos através dos elementos adicionados à camada revestida de um material de aço galvanizado por imersão a quente e descobriram um método de solução tornando a camada revestida amorfa. Eles também estudaram sistemas de componentes químicos que melhorassem a capacidade de formar uma estrutura amorfa contendo principalmente Zn e não contendo elementos que tivessem um efeito negativo na resistência à corrosão e na capacidade de trabalho, adicionando apenas elementos eficazes para a resistência à corrosão ou elementos que não tivessem efeito negativo e finalmente descobriram que é possível alcançar um material de aço galvanizado por imersão a quente com alta resistência à corrosão capaz de ser produzido pelo processo de eletrodisposição por imersão a quente convencional ou apenas fazendo algumas melhorias no processo de eletrodisposição por imersão a quente convencional.

A presente invenção foi feita com base nas descobertas acima, e tem como sua essência o seguinte:

(1) um material de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão caracterizado por ter uma camada revestida de liga contendo Zn em uma quantidade de 35% em massa ou mais, e pelo fato de que a mencionada camada revestida com a mencionada liga contém uma fase em desequilíbrio com a capacidade de aquecimento pela calorimetria de varredura diferencial de 1 J/g ou mais.

(2) Um material de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão caracterizado por ter uma camada revestida de liga compreendendo Zn em uma quantidade de 35% em massa ou mais, e pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém
5 uma fase em desequilíbrio com uma capacidade de aquecimento por calorimetria de varredura diferencial de uma taxa de aumento de temperatura de 0,5°C/s de 1 J/g ou mais.

(3) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (1) ou (2), onde o teor do mencionado Zn é de 40% em massa ou mais.
10

(4) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (1) a (3), onde a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Mg: 1 a 60% e Al: 0,07 a 59%.

(5) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (4) onde a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Zn: 40% ou mais, Mg: 1 a 45%, e Al: 0,07 a 59%.
15

(6) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (4) ou (5), onde os teores de Mg e Al na mencionada camada revestida de liga satisfazem as relações das fórmulas a seguir (Fórmula 1 à fórmula 5).
20

$$40 \leq \text{Zn}\% \leq 94,3 \quad (\text{fórmula 1})$$

$$0,08 \leq \text{Al}\% \leq 20 \quad (\text{fórmula 2})$$

25 $3 \leq \text{Mg}\% \leq 18 \quad (\text{fórmula 3})$

$$\text{Al}\% \leq 2 \times \text{Mg}\% \quad (\text{fórmula 4})$$

$$\text{Al}\% \geq 1,24 \times \text{Mg}\% - 12,32 \quad (\text{fórmula 5})$$

(onde o nome do elemento% é o teor do elemento em % em massa)

(7) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (1) a (6), também contendo como componentes na mencionada camada revestida de liga, em % em massa, um ou mais elementos selecionados entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni e
30

Cu em um total de 0,1 a 10%.

(8) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (1) a (7), também contendo como componentes na mencionada camada revestida de liga, em
5 % em massa, um ou mais elementos selecionados entre Bi, Mo, W e Y em um total de 0,1 a 10%.

(9) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (1) a (8) também contendo como componentes na mencionada camada revestida de liga, em
10 % em massa, um ou mais entre La: 0,1 a 10%, Ce: 0,1 a 10%, Ca: 0,1% a 10%, Sn: 0,1% a 10%, P: 0,005% a 2% e Si: 0,02% a 7%.

(10) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (1) ou (2), onde a mencionada camada revestida de liga contém uma fase amorfa em um % em volume de
15 5% ou mais.

(11) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (10), onde a mencionada camada revestida de liga contém Al e Mg e os teores de Zn, Al, e Mg satisfazem as relações das fórmulas a seguir (fórmula 6 à fórmula 8):

20 $35 \leq \text{Zn}\% \leq 75$ (fórmula 6)

$0,08 \leq \text{Al}\% \leq 25$ (fórmula 7)

$22 \leq \text{Mg}\% \leq 60$ (fórmula 8)

(onde o nome do elemento% é o teor em % em massa do elemento)

(12) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido
25 de alta resistência à corrosão conforme o item (10) ou (11), onde a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, um ou mais entre Ca, Y e La em um total de 0,1 a 10%.

(13) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (10) a (12),
30 onde o teor de Al na mencionada camada revestida de liga é de 14% em massa ou menos.

(14) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido

de alta resistência à corrosão conforme o item (1) ou (2), caracterizado pelo fato de que 50% ou mais em % em volume na mencionada camada revestida de liga é uma fase amorfa.

- 5 (15) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (14), onde a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Zn: 35 a 60%, Mg: 25 a 60%, Ca: 1 a 10%, e Al: 0,07 a 25% e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

- 10 (16) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, caracterizado por ter uma camada revestida de liga contendo Zn em uma quantidade de 40% em massa ou mais e pelo fato de que 50% ou mais em % em volume na mencionada camada revestida de liga é uma fase amorfa.

- 15 (17) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (16), onde a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Mg: 1 a 55%, Ca: 1 a 45%, e Al: 0,07 a 45%, tem um total de teores de Mg e Ca de não menos que 5%, e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

- 20 (18) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (16), onde a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Mg: 1 a 25%, Ca: 1 a 10%, e Al: 0,07 a 25%, tem um total de teores de Mg e Ca de 5% ou mais, e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

- 25 (19) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme o item (16), onde a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Zn: 40 a 60%, Mg: 34 a 55%, Ca: 1 a 10%, e Al: 0,07 a 25% e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

- 30 (20) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (14) a (19), também contendo um ou mais elementos selecionados entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, e Cu em um total de 0,1 a 10% em massa.

(21) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (14) a (20), também contendo como componentes na mencionada camada revestida de liga um ou mais elementos selecionados entre Bi, Mo, W, Si, Ti, V, Ag e Y em um total de 0,1 a 10% em massa.

(22) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (14) a (21) também contendo, em % em massa, como componentes na mencionada camada revestida de liga um ou mais elementos selecionados entre La: 0,1 a 10%, Sn: 0,1 a 10%, e P: 0,005 a 2%.

(23) Um material galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão conforme qualquer um dos itens (1) a (22), contendo a mencionada camada revestida de liga pelo menos em parte da superfície do material de aço.

15 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 é uma vista mostrando a área para cálculo do pico DSC e capacidade de calor devido à fase de desequilíbrio.

A figura 2 é uma vista ilustrando a faixa de composição da reivindicação 5 para o caso de um sistema tripartite Zn-Mg-Al.

20 MELHOR FORMA DE EXECUÇÃO DA INVENÇÃO

A presente invenção será explicada abaixo em detalhes.

Os presentes inventores descobriram, da forma acima, que tanto a maior resistência à corrosão da camada revestida quanto o desempenho de proteção sacrificial protegem o ferro metálico no eletrodisposição mantendo uma fase de desequilíbrio no eletrodisposição. Em particular, foi descoberto que quanto maior o grau de razão da fase de desequilíbrio, mais é melhorad a desempenho da proteção sacrificial que protege o ferro metálico enquanto mantém a alta resistência à corrosão da própria camada revestida pelos componentes da liga. Além disso, foi descoberto que a contribuição da fase em desequilíbrio para o desempenho de proteção sacrificial pode ser analisada pela capacidade total de aquecimento do pico exotérmico devido à fase em desequilíbrio da liga de eletrodisposição que ocorre na calorimetria

de varredura diferencial (DSC) no momento do aumento da temperatura da eletrodisposição.

A presença de uma fase de desequilíbrio é detectada medindo-se a reação exotérmica pelo aumento da medição da temperatura DSC até o ponto de fusão ou menos. A fase de desequilíbrio é uma fase metaestável, então torna-se um estado de maior energia que a fase de equilíbrio mais estável. No momento de transição para a fase de equilíbrio, a diferença de energia da fase de equilíbrio e da fase de desequilíbrio é liberada como calor gerado. Por outro lado, a transformação de fase entre as fases de equilíbrio a partir de uma fase de equilíbrio de baixa temperatura até uma fase de equilíbrio a uma alta temperatura, fusão ou outro fenômeno são detectados como reações endotérmicas no DSC. Entretanto, uma reação de oxidação, similar à transformação de fase de desequilíbrio para a fase de equilíbrio, torna-se uma reação que libera calor, então é necessário aumentar a temperatura em uma atmosfera de gás inerte para evitar uma reação de oxidação durante a medição. Além disso, se medindo o valor da análise termogravimétrica (TG) com DSC simultaneamente ou em paralelo e não houver mudança na massa à temperatura onde ocorre a reação exotérmica do DSC, pode ser identificado como geração de calor devido à fase de desequilíbrio, se for visto um aumento na massa, pode ser identificado como geração de calor devido a uma reação de oxidação. Se há uma diminuição na massa, enquanto houver possibilidade de decomposição oxidativa, com a liga do escopo da presente invenção, nenhuma reação de decomposição oxidativa ocorre.

Se a mesma quantidade de fase de desequilíbrio, quanto maior o grau de desequilíbrio, maior a capacidade de aquecimento. Se a mesma fase de desequilíbrio, quanto maior a % de volume da fase de desequilíbrio no total, maior a capacidade de aquecimento, então os dois são expressos juntos pela capacidade de calor do DSC no momento de um aumento de temperatura.

A reação exotérmica é medida pela medição DSC como pico exotérmico. Se for integrada a área de pico, a capacidade de aquecimento

pode ser calculada quantitativamente.

Se for explicado o método de cálculo em maiores detalhes, a quantidade de calor por unidade de massa e por unidade de tempo medida pela DSC é designada como $W_0(t)$ (unidade: W/g). t é o tempo (unidade: segundos). Mesmo com um gráfico da temperatura T (unidade: °C) e $W_0(T)$, é possível a conversão por $t=T/V$ pela taxa de aumento de temperatura V durante a medição (unidade: °C/s). Se for estimada a quantidade de calor $WBG(t)$ (unidade: W/g) formando o fundo da parte reta antes e após o pico exotérmico e a integração $W_0(t)-WBG(t)$ na região incluindo o pico exotérmico, a capacidade de calor ΔH (unidade: J/g) pode ser calculada a partir do pico exotérmico. O cálculo acima é expresso por uma fórmula numérica (fórmula 9):

$$\Delta H = \int_t (W_0(t) - WBG(t))dt \quad (\text{fórmula 9})$$

Entretanto, o pico do DSC no método de detecção da fase de desequilíbrio conforme a presente invenção, como pico único, é um pico com um valor mediano em unidades de temperatura de 30°C ou menos e um valor mediano em medição de unidades de tempo de 60 segundos ou menos na medição DSC de 0,5°C/s de 60 segundos ou menos. Dependendo do equipamento de medição ou do estado da amostra, algumas vezes o valor de DSC muda por uma ondulação leve pelo nível do fundo. Se for usado esse como o pico e se for integrado o mesmo por um longo período de tempo ou por uma ampla faixa de temperatura, algumas vezes o resultado se torna uma grande capacidade de aquecimento no cálculo. Dessa forma, a capacidade de aquecimento aparente calculada em uma ampla faixa de integração difere da geração de calor devido à fase de desequilíbrio da essência da presente invenção, então é excluído.

Além disso, quando há um número de picos exotérmicos com valores medianos de 30°C ou menos, o total dos valores integrados é usado como capacidade de calor. Quando uma camada amorfa é formada etc., no processo de cristalização, algumas vezes picos correspondem a relaxamento estrutural da fase amorfa, nucleação de cristal, crescimento do grão de cristal, e similares separados. Quando se vê o pico da composição, o pico

composto total é integrado. Em um pico composto, o valor mediano total algumas vezes excede 30°C em unidades de temperatura, mas com um pico composto tornando-se maior na largura pela combinação de picos com valores medianos originariamente pequenos, os centros dos diferentes picos são separados uns dos outros até certo ponto, então uma pluralidade de pontos de inflexão ocorrem dentro do pico composto e uma pluralidade de picos extremos aparecem na forma de protuberâncias. Quantitativamente falando, ao se plotar numa curva a quantidade de mudança do valor DSC por 60 segundos em relação ao tempo ou temperatura, isto é, em uma curva do valor DSC diferenciado pelo tempo (DDSC), mudanças na DDSC de dois tempos ou mais o nível de ruído do DDSC é reconhecido no pico composto. Em oposição a isso, com mudanças no nível do fundo tendo uma leve ondulação, apenas ondulações da curva escondidas no nível de ruído são observadas.

Além disso, quando um pico endotérmico é detectado uma vez devido à fusão ou geralmente à transformação de fase entre fases de equilíbrio, o pico exotérmico detectado na faixa de temperaturas acima que é um sinal relativo ao fenômeno claramente não relacionado à fase de desequilíbrio conforme a presente invenção, então não é usado para cálculo conforme a presente invenção.

A figura 1 mostra esquematicamente um gráfico dos dados DSC e a parte para cálculo da capacidade de aquecimento. Na FIG. 1, 1 mostra o pico exotérmico devido à fase de desequilíbrio, 2 mostra a área para descoberta da capacidade de aquecimento do pico exotérmico devido à fase de desequilíbrio, e 3 mostra o pico endotérmico do ponto de fusão.

Esse cálculo pode ser executado automaticamente pelos recentemente disponibilizados comercialmente equipamentos de medição DSC fornecidos com computadores, por exemplo, pela série EXSTAR 6000 produzida pela SII NanoTechnology Inc. etc., apenas pela designação das fronteiras em torno da região de dados incluindo o pico desejado a ser calculado.

Especificamente, em eletrodisposições contendo uma fase de desequilíbrio com uma capacidade de aquecimento de 1 J/g ou mais por um DSC com uma taxa de aumento de temperatura de 0,5°C/s, os inventores

descobriram que um desempenho de prevenção à corrosão sacrificial suficiente é obtido enquanto se mantém a maior resistência à corrosão da própria camada revestida, isto é, as duas podem ser simultaneamente alcançadas. A resistência à corrosão da própria camada revestida é quase completamente não afetada pela capacidade de aquecimento (capacidade de aquecimento DSC) devido à fase de desequilíbrio, mas a propriedade de proteção sacrificial torna-se maior devido à capacidade de aquecimento DSC, então uma eletrodisposição tendo uma capacidade de aquecimento DSC de 2 J/g ou mais é preferível.

10 Mesmo em chapas de aço revestidas disponibilizadas comercialmente, com o eletrodisposição de ligas incluindo dois ou mais tipos de componentes, há eletrodisposição incluindo uma pequena quantidade de uma fase de desequilíbrio. Por exemplo, uma chapa de aço revestida com 55% em massa de Al-Zn / 1,5% em massa de Si contém solutos supersaturados conforme produzidos, então pode ser dito ser um tipo de eletrodisposição de fase em desequilíbrio, mas o grau de desequilíbrio é, em termos de capacidade de aquecimento DSC, de um nível de 0,1 J/g ou menos. Em adição, na faixa de chapas de aço revestidas por imersão a quente disponibilizadas comercialmente que os inventores poderiam procurar, mesmo com 15 eletrodisposição incluindo algumas fases em desequilíbrio, foi de 0,1 J/g ou similar no máximo em termos de capacidade de aquecimento DSC. Não houve eletrodisposição por imersão a quente com um próximo de 1 J/g.

Se não há a idéia de aumentar o desequilíbrio, a razão para aumentar a taxa de resfriamento é para aumentar a taxa de produção, refinar os grãos da camada revestida, tratamento térmico para melhorar as propriedades do substrato chapa de aço, etc. A taxa de resfriamento necessária para esses é aumentada no máximo para 10^2 °C/s ou algo assim. Com a faixa de componentes da eletrodisposição por imersão a quente convencional, provavelmente não teria sido possível produzir eletrodisposição com um 25 desequilíbrio suficientemente alto.

30 Na eletrodisposição incluindo uma fase em desequilíbrio, a razão porque um desempenho de proteção sacrificial pode ser obtido não foi ainda

elucidada, mas esta é termicamente instável na fase em desequilíbrio comparado com a fase em equilíbrio. Da mesma forma, também no comportamento de dissolução eletroquímica, a dissolução é mais fácil que na fase em equilíbrio. Por causa disso, mesmo com componentes de liga apresentando

5 uma alta resistência à corrosão passiva, uma leve dissolução ocorre parcialmente na fase em desequilíbrio. Há a possibilidade de que um potencial de corrosão suficientemente baixo possa ser mantido para proteção sacrificial sem fazer com que a taxa de corrosão total aumente muito. Entretanto, é necessária uma pesquisa detalhada futura para elucidar o mecanismo preciso da expressão.

10

Note que para a medição DSC da liga de eletrodisposição depositada em um material de aço revestido, a camada revestida é aparada para se obter uma amostra. Nesse momento, aparas do material de aço do ferro metálico inevitavelmente incluído podem ser removidas por um ímã. Também, se considerado o trabalho que gera calor na amostra, esse calor pode provocar uma mudança de fase em desequilíbrio para fase em equilíbrio, então é necessário cuidado. Especificamente, quando se tritura continuamente pela trituração final, etc., é preferível obter-se a amostra enquanto se resfria com querosene ou outro solvente não aquoso que não reaja quimicamente com o metal da eletrodisposição. Se uma quantidade de calor da extensão quando aparando a camada por trabalho manual usando-se uma faca, cinzel ou similar, não há influência no estado da liga e a resfriamento não é necessário.

15

20

Mesmo com uma camada revestida que inclui uma grande quantidade de fase em desequilíbrio, se a concentração de Zn for menor que 35% em massa, o efeito de supressão da corrosão da camada revestida ou do ferro metálico pelos produtos de corrosão de zinco torna-se notavelmente pequeno, então do ponto de vista da resistência geral à corrosão, a concentração de Zn é necessária ser de 35% em massa ou mais. Também, se a

25

30

concentração de Zn for menor de 40% em massa, torna-se difícil para o Zn sozinho garantir um desempenho de proteção sacrificial suficiente, então a concentração de Zn é mais preferivelmente 40% em massa ou mais.

Também, como elementos de liga adicionados para se obter a camada revestida ou uma alta resistência à corrosão, Mg e Al são preferidos. Tanto o Mg quanto o Al melhoram a resistência à corrosão da própria camada revestida com liga à base de Zn e estabiliza o produto de corrosão à base de Zn tendo uma alta capacidade de proteger a chapa de aço base mesmo após a corrosão da camada revestida, isto é, o cloreto de zinco básico, para contribuir também para a melhoria da resistência à corrosão. A adição de Mg tem efeito também na formação da fase em desequilíbrio.

Quando o Mg for menor que 1% em massa, o efeito na formação da fase em desequilíbrio é insuficiente. Se acima de 60% em massa, ele torna-se muito ativo e a resistência à corrosão da camada revestida em si reciprocamente se deteriora. Mesmo quando for de 60% em massa ou menos, se a quantidade de Mg estiver acima de 45% em massa, não há efeito de melhoria da resistência à corrosão proporcionado pelo aumento na quantidade adicionada. Os dejetos devido ao Mg tendem a aumentar. Do ponto de vista de manutenção do banho de eletrodisposição e similares, 45% em massa ou menos é mais preferível.

O Al é adicionado do ponto de vista de garantir a adesão da camada revestida. Se for menos de 0,07% em massa, o efeito é pequeno, então a adição de 0,07% em massa ou mais é preferível. A resistência à corrosão da camada revestida é melhorada quando o Al é maior, mas se acima de 59% em massa o equilíbrio do Zn e do Mg se quebra, então isso não é preferível. Mais preferivelmente, 45% em massa ou menos permite que a propriedade de proteção sacrificial seja garantida mesmo com uma pequena fase em desequilíbrio, então isso é preferível.

Para se produzir eletrodisposição contendo suficientemente uma fase em desequilíbrio, a taxa de resfriamento necessária difere dependendo dos componentes da liga. Ao contrário, se fosse possível dar uma taxa de resfriamento extremamente grande, seria possível produzir uma camada revestida de liga do material de aço da presente invenção sem seleção de componentes da liga.

Do ponto de vista do processo de produção de eletrodisposição

por imersão a quente, uma composição de eletrodisposição formando uma fase em desequilíbrio por um resfriamento tão lento quanto possível é preferível. Mesmo considerando-se resfriamento por imersão em água ou instalando-se um equipamento de resfriamento a gás usando um gás super-resfriado, é preferível que a fase em desequilíbrio possa ser gerada por uma taxa de resfriamento de menos de 10^4 °C/s. Se considerada a estabilidade do equipamento e a economia, seria mais preferível se a formação fosse possível a 10^3 °C/s ou menos. Assim, a produção seria possível sem muitas mudanças no processo de produção convencional.

10 Por outro lado, do ponto de vista de expansão do grau de liberdade dos componentes da eletrodisposição, seria eficaz melhorar a taxa de resfriamento do processo. Preferivelmente, um processo dando uma taxa de resfriamento de 10^2 °C/s ou mais é desejável. Um processo que dê uma taxa de resfriamento de 10^3 °C/s ou mais é mais desejável. Se uma taxa de resfriamento de 10^4 °C/s ou mais puder ser obtida, será ainda mais desejável.

15 Entretanto, na atualidade, a taxa de resfriamento na qual a camada revestida submete-se a um processo de solidificação muda não apenas dependendo do método de resfriamento, mas também da espessura do material de aço resfriado ou da espessura da eletrodisposição.

20 Isto é, em geral, o resfriamento da eletrodisposição rouba calor da superfície externa, então quanto mais próximo da superfície externa, maior se torna a taxa de resfriamento. Conseqüentemente, a taxa de resfriamento da camada revestida difere da taxa média de resfriamento do material de aço. Por esta razão, mesmo se forem resfriadas as camadas revestidas de liga com a mesma capacidade de formação de fase em desequilíbrio

25 pelo mesmo método de resfriamento, a razão da fase de desequilíbrio na camada revestida de liga muda dependendo da espessura da eletrodisposição. Isto é, quanto mais próximo da camada da superfície, maior a taxa de resfriamento, então mais fácil se torna a formação de fase em desequilíbrio.

30 Quanto mais fina a eletrodisposição, maior a razão da camada de superfície, então maior a razão da fase em desequilíbrio. Mesmo com uma eletrodisposição grossa, a razão da camada de superfície é relativamente baixa, então

a razão da fase em desequilíbrio também se torna pequena.

Mesmo no material de aço revestido da presente invenção, com uma eletrodisposição de uma composição de liga onde uma fase em desequilíbrio é um pouco difícil de se formar, para se obter uma fase em desequilíbrio com uma capacidade de aquecimento de 1 J/g ou mais por DSC, é necessário tornar a espessura da eletrodisposição extremamente pequena com o método de resfriamento usual. Por outro lado, mesmo com tal eletrodisposição de uma composição de liga onde uma fase em desequilíbrio é difícil de se formar, por exemplo, se for resfriada com um gás a temperatura superbaixa de -150°C usando o gás imediatamente após a evaporação do nitrogênio líquido, é algumas vezes possível obter-se uma fase em desequilíbrio com uma capacidade de aquecimento de 1 J/g ou mais por DSC mesmo se a espessura da eletrodisposição tornar-se maior.

Quando se produz o material de aço revestido da presente invenção por eletrodisposição por imersão a quente dando uma maior espessura de eletrodisposição, no mínimo, o resfriamento a água é necessário. Dependendo dos ingredientes, um resfriamento especial, tal como imersão em nitrogênio líquido, é necessário.

Da discussão acima da taxa de resfriamento e espessura de eletrodisposição, para ser possível a produção de um material de aço revestido da presente invenção por um método mais oneroso e espessura de eletrodisposição suficiente, é necessário selecionar uma liga de uma faixa específica de componentes químicos onde uma fase em desequilíbrio é fácil de se formar. Em particular, os presentes inventores estudaram um sistema Zn-Al-Mg sob suas anotações como eletrodisposição de alta resistência à corrosão e como resultado descobriram que, na faixa de componentes a seguir, é possível produzir um material de aço revestido tendo uma fase em desequilíbrio suficiente por um método comparativamente econômico:

Os componentes da liga estão expressos em uma faixa de composição que satisfaz todas as cinco fórmulas:

$$40 \leq \text{Zn}\% \leq 94,3 \quad (\text{fórmula 1})$$

$$0,08 \leq \text{Al}\% \leq 20 \quad (\text{fórmula 2})$$

$$3 \leq \text{Mg}\% \leq 18 \quad (\text{fórmula 3})$$

$$\text{Al}\% \leq 2 \times \text{Mg}\% \quad (\text{fórmula 4})$$

$$\text{Al}\% \geq 1,24 \times \text{Mg}\% - 12,32 \quad (\text{fórmula 5})$$

(onde o nome do elemento% é o teor do elemento em % em massa).

- 5 A faixa da composição para o sistema ternário simples de componentes Zn-Al-Mg está ilustrado na FIG. 2. O interior do polígono hachurado da FIG. 2 é aquela faixa de componentes. Na FIG. 2, 4 é uma linha (% em massa de Zn) = 94,3, 5 é uma linha (% em massa de Al) = 0,08, 6 é uma linha (% em massa de Al) = 2x (% em massa de Mg), 7 é uma linha (% em massa de Al) = 1,24x (% em massa de Mg) – 12,32, e 8 está na faixa de composição da reivindicação 5 (no caso do sistema ternário Zn-Mg-Al). A razão porque uma fase em desequilíbrio é facilmente formada nesta faixa em um sistema ternário de Zn-Al-Mg não é necessariamente clara, mas pode ser considerada a possibilidade de que a fase em desequilíbrio é formada facilmente como resultado da competição da formação de um estável pela composição estável de compostos intermetálicos e uma eutética pela composição eutética na região intermediária de composição das duas.
- 10
- 15

- A camada revestida de liga do material de aço revestido da presente invenção pode conter como elementos adicionados um ou mais dos elementos selecionados entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, e Cu em um total de 0,1 a 10% em massa. A adição desses elementos melhora principalmente a adesão da eletrodisposição ao material de aço. Se for menor de 0,1% em massa, esse efeito é pequeno, enquanto se for maior que 10%, o ponto de fusão do banho de eletrodisposição é susceptível de aumentar muito e a produção torna-se difícil.
- 20
- 25

- Também a camada pode conter como elementos adicionados um ou mais dos elementos selecionados entre Bi, Mo, W e Y em um total de 0,1 a 10% em massa. A adição desses elementos melhora principalmente a adesão da eletrodisposição ao material de aço, mas tem adicionalmente o efeito de formar facilmente a fase em desequilíbrio. Se for menor que 0,1% em massa, há pouco efeito, enquanto se for maior que 10% em massa, o ponto de fusão do banho de eletrodisposição aumenta muito ou são forma-
- 30

dos muitos dejetos, então a produção é susceptível de tornar-se difícil. Em particular, o Y também tem o efeito de melhorar a resistência à corrosão.

Além disso, a camada pode também conter como elementos adicionados, em % em massa, um ou mais entre La: 0,1 a 10%, P: 0,005 a 2%, e Si: 0,02 a 7%. A adição desses elementos permite a melhoria da ducti-
5 lidade da eletrodisposição que contém a fase em desequilíbrio e um aumento da capacidade de trabalho e tem também o efeito de formar facilmente uma fase em desequilíbrio. Se menos que o limite inferior das quantidades de adição, o efeito é pequeno, enquanto se estiver acima dos limites superi-
10 ores, a resistência à corrosão é susceptível de degradar.

Os presentes inventores também se engajaram em R&D nas espécies de eletrodisposições incluindo a fase em desequilíbrio e no meio disso descobriram que mesmo em fases em desequilíbrio há espécies de eletrodisposição que melhoram notavelmente o efeito da fase em desequilí-
15 brio dependendo do teor da fase em desequilíbrio típica. Isto é, eles descobriram que mesmo na faixa de eletrodisposição contendo uma fase em desequilíbrio da presente invenção, há um efeito notável de melhoria do desempenho de proteção sacrificial em espécies de eletrodisposição com uma porcentagem de volume amorfo de 5% ou mais comparado com uma por-
20 centagem de volume amorfo de menos de 5%. Geralmente, se a propriedade de proteção sacrificial for melhorada, a taxa de corrosão da eletrodisposição dissolvida sacrificialmente aumenta em comparação com o caso de nenhuma proteção sacrificial. No material de aço da presente invenção com a fase em desequilíbrio, há uma propriedade superior da propriedade de pro-
25 teção sacrificial sendo mantida enquanto melhora a resistência à corrosão da eletrodisposição, mas mesmo assim no estado onde o ferro metálico estiver exposto e corroído sacrificialmente, um pouco de aumento da taxa de corrosão é visto em comparação com o estado de corrosão da eletrodisposição sozinho sem exposição do ferro metálico. Este aumento na taxa de cor-
30 rosão pela proteção sacrificial é também suprimido quando a fase amorfa for 5% ou mais em comparação com quando a forma amorfa é de apenas menos de 5%.

Mesmo entre eletrodisposições com uma fase amorfa de 5% ou mais, em particular se os teores de Zn, Al e Mg estiverem nas faixas que satisfaçam as relações das fórmulas 6 a 8 a seguir, o efeito de supressão do aumento na taxa de corrosão da eletrodisposição durante a proteção sacrificial é grande.

$$35 \leq \text{Zn}\% \leq 75 \quad (\text{fórmula 6})$$

$$0,08 \leq \text{Al}\% \leq 25 \quad (\text{fórmula 7})$$

$$22 \leq \text{Mg}\% \leq 60 \quad (\text{fórmula 8})$$

(onde o nome do elemento % é o teor em % em massa do elemento)

10 Preferivelmente, fazendo a concentração do Al 14% em massa ou menos resulta em uma melhor propriedade de proteção sacrificial, então é preferível.

Além disso, em uma espécie de eletrodisposição tendo um percentual de volume amorfo de 5% ou mais, incluindo-se na camada revestida um ou mais dos elementos entre Ca, Y e La em um total em % em massa de 0,1 a 10%, há um efeito de melhoria da propriedade de proteção sacrificial. Com a adição de 0,1% em massa ou menos, esse efeito não é claro, enquanto se for acima de 10% em massa, formam-se dejetos, o ponto de fusão aumenta, etc. e portanto a eficiência da produção se deteriora.

20 Os presentes inventores também se engajaram em separar pesquisas que estudaram a melhoria da resistência à corrosão de materiais de aço galvanizado e no processo descobriram que adicionando-se componentes de liga à camada revestida para melhorar a resistência à corrosão, Zn e os componentes de liga adicionados formam em conjunto compostos intermetálicos que provocam a deterioração da capacidade de trabalho e da resistência à corrosão da camada revestida. Mesmo se não houver compostos intermetálicos, se uma eletrodeposição de liga de fase cristalina, a formação de um soluto supersaturado algumas vezes provoca a deterioração da capacidade de trabalho. Em relação a isso, os inventores criaram a idéia de fazer a camada de eletrodisposição amorfa de modo a eliminar todos os defeitos prejudiciais devido aos compostos intermetálicos ou solutos supersaturados e estudaram isso. Como resultado, eles descobriram que se incluir Zn em

35% em massa ou mais e formar uma eletrodisposição com uma estrutura amorfa de uma porcentagem de volume de 50% ou mais, a resistência à corrosão e a capacidade de trabalho são significativamente melhoradas em comparação com a eletrodisposição convencional com compostos intermetálicos e solutos supersaturados. Uma estrutura amorfa é um tipo de fase em

5 desequilíbrio típica, então eletrodisposição amorfa é um tipo de eletrodisposição de fase em desequilíbrio.

Note que, em geral, a capacidade de aquecimento no DSC é proporcional à porcentagem de volume da estrutura amorfa, mas algumas

10 mudanças ocorrem mesmo com o mesmo percentual em volume de fases amorfas dependendo da combinação dos elementos. Entretanto, na faixa das experiências executadas pelos presentes inventores, eletrodisposição contendo uma fase amorfa de uma porcentagem de volume de 5% ou mais sempre apresentam uma capacidade de aquecimento se 1 J/g ou mais pela

15 DSC.

Se o Zn for menor que 35% em massa, em particular o efeito de supressão de corrosão do material de aço pelos produtos de corrosão de Zn pode não mais ser obtido. Se o Z for menor que 40% em massa, algumas vezes a propriedade de proteção sacrificial necessária para um material de

20 aço revestido torna-se insuficiente ou a resistência à corrosão da eletrodisposição torna-se insuficiente, então preferivelmente o Zn é contido em uma quantidade de 40% em massa ou mais. Se uma concentração de Zn for 50% em massa ou mais, é mais preferível. Se a porcentagem em volume da estrutura amorfa for menor que 50%, a deterioração da capacidade de trabalho

25 devido à fase cristalina ou a um efeito negativo na resistência à corrosão devido ao acoplamento eletroquímico das fases cristalinas é susceptível de não ser capaz de ser coberta. Quanto maior a porcentagem em volume da estrutura amorfa, melhor. Se for 90% ou mais, quase não há efeito prejudicial da fase cristalina, então isto é especialmente preferível.

30 A eletrodisposição de liga amorfa contendo Al a 0,07 a 45% em massa como componente da liga forma uma liga Al-Fe ou uma liga à base de Al-Fe-X na interface com o ferro metálico de modo a garantir uma exten-

são mínima de adesão da eletrodisposição como eletrodisposição por imersão a quente e forma uma película óxida relativamente estável na camada de superfície do banho de eletrodisposição de modo a garantir a formação de dejetos, então é preferível. Se for menor que 0,07% em massa, o efeito é difícil de parecer. O Al tende a inibir um pouco a capacidade de formar uma estrutura amorfa em uma liga à base de Zn, então mesmo se incluído acima de 45% em massa, uma capacidade suficiente para formar uma estrutura amorfa capaz de ser realizada pelo método de eletrodisposição por imersa a quente não pode mais ser obtida, então o limite superior é feito 45% em massa. 25% em massa ou menos é mais preferível.

O Mg melhora a capacidade de formação de uma estrutura amorfa de uma liga à base de Zn e também contribui para a resistência à corrosão, então sua inclusão em uma quantidade de 1 a 55% em massa é preferível. Se for menor que 1% em massa, esse efeito é difícil de aparecer. Se acima de 55% em massa, a eletrodisposição torna-se muito ativa e a resistência à corrosão é susceptível de degradar-se. Quando se pressiona a resistência à corrosão, ao fazê-lo 25% em massa ou menos é preferível. Se for 25% em massa ou mais, a formação de dejetos é melhor suprimida e a capacidade de operação é também melhorada.

Por outro lado, quando se pressiona a melhoria da capacidade de formação de uma estrutura amorfa, o teor de Mg é preferivelmente feito 25 a 60% em massa. Em particular, com esse teor de Mg, quando o Zn é feito 35 a 60% em massa e o Ca é feito 1 a 10% em massa, a capacidade de formação de uma estrutura amorfa é alta, a produção é possível mesmo com uma baixa taxa de resfriamento, e uma porcentagem de volume amorfo suficiente é obtida mesmo com uma grande quantidade de deposição de eletrodisposição. Nesta faixa de componentes, quando se faz o teor de Mg 34 a 55% em massa, Zn 40 a 60% em massa, e Ca 1 a 10% em massa, a capacidade de formação de uma estrutura amorfa é alta e a capacidade de produção é melhorada, então isso é preferível.

O Ca também melhora a capacidade de formação de uma estrutura amorfa de uma liga à base de Zn e contribui para a resistência à corro-

são, então a inclusão de 1 a 45% em massa é preferível. Se for menor que 1% em massa, esse efeito é difícil de aparecer. Se acima de 45% em massa, a eletrodisposição torna-se muito ativa e a resistência à corrosão é susceptível de degradar-se. Quando se pressiona a resistência à corrosão, torna-lo 10% em massa ou menos é preferível.

Além disso, a inclusão de Mg e de Ca em um total de 5% em massa ou mais é preferível para garantir a capacidade mínima de formação de uma estrutura amorfa para produção de uma eletrodisposição por imersão a quente. A quantidade total de adição de Mg e Ca é preferivelmente grande até certo ponto do ponto de vista da capacidade de formação de uma estrutura amorfa, mas ambos são elementos ativos, então quando se pressiona a resistência à corrosão, um total de 60% em massa ou menos é preferível. Um total de 35% em massa ou menos é mais preferível.

Como elementos adicionados, a inclusão de um ou mais elementos selecionados entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, e Cu em um total de 0,1 a 10% em massa é possível. A adição desses elementos melhora principalmente a adesão da eletrodisposição ao material de aço. Se for menos de 0,1% em massa, esse efeito é difícil de aparecer, enquanto se for maior que 10%, o ponto de fusão do banho de eletrodisposição aumenta muito e a produção é susceptível de tornar-se difícil.

Como elementos adicionados, a inclusão de um ou mais elementos selecionados entre Bi, Mo, W, Si, Ti, V e Ag em um total de 0,1 a 10% em massa é possível. Esses elementos têm o efeito composto de melhorar a capacidade de formação de uma estrutura amorfa e melhorar a adesão da eletrodisposição ao material de aço. Se for menor que 0,1% em massa, esse efeito é difícil de aparecer, enquanto se for maior que 10% em massa, o ponto de fusão do banho de eletrodisposição aumenta muito, uma grande quantidade de dejetos é formada, e a produção é susceptível de tornar-se difícil.

Além disso, como elementos adicionados, a inclusão de um ou mais entre La: 0,1 a 10% em massa, Sn: 0,1 a 10% em massa, e P: 0,005 a 2% em massa é possível. A adição desses elementos pode melhorar a ducti-

lidade da fase amorfa e também aumentar a capacidade de trabalho e tem também o efeito de melhoria da capacidade de formação de uma estrutura amorfa. Se menor que os limites inferiores das quantidades adicionadas, o efeito é difícil de aparecer, enquanto se acima dos limites superiores, a resistência à corrosão é susceptível de degradar-se.

Note que um material de aço galvanizado por imersão a quente com alta resistência à corrosão da presente invenção pode ter a camada revestida de liga acima mencionada na superfície das locações do material de aço que necessita uma alta resistência à corrosão. Não há necessariamente uma necessidade de fornecer a camada revestida sobre toda a superfície do material de aço.

O material de aço galvanizado por imersão a quente de alta resistência à corrosão da presente invenção pode ser usado como material de aço base de um material de aço com superfície tratada usado pintado. Nesse momento, é possível suprimir o avanço das bolhas de corrosão no caso de dano que ocorra alcançando o ferro metálico após a pintura. Devido à característica de poucas fraturas na camada revestida mesmo após o trabalho, a resistência à corrosão de uma peça trabalhada após a pintura é particularmente melhorada.

O material de aço usado como substrato na presente invenção não é particularmente limitado. Um aço acalmado ao Al, um aço de carbono ultrabaixo, um aço de alto carbono, vários aços de alta resistência, aços contendo Ni, Cr, etc. podem ser usados. O método de produção do aço, a resistência do aço, o método de laminação a quente, o método de decapagem, o método de laminação a frio, e outros pré-tratamentos do material de aço não são também particularmente limitados.

Em relação ao método de produção da eletrodisposição, a presente tecnologia pode ser aplicada a todo tipo de método de eletrodisposição por imersão a quente independentemente do tipo Sendzimir, do tipo fluxo, do tipo pré-eletrodisposição, ou outro método de produção. Entretanto, mesmo na faixa do material de aço da presente invenção, dependendo dos ingredientes, algumas vezes é necessário selecionar-se o método de resfri-

amento ou a espessura da eletrodisposição conforme a taxa de resfriamento requerida no momento da solidificação da camada de eletrodisposição.

Também no material de aço da presente invenção, para se obter uma estrutura amorfa de uma porcentagem de volume de 50% ou mais em uma eletrodisposição de uma composição de liga com uma capacidade um tanto baixa de formação de uma estrutura amorfa, a espessura da eletrodisposição tem que ser feita pequena. Isto é devido ao método de resfriamento usual, quanto mais próximo da superfície, maior a taxa de resfriamento, então uma espessura de eletrodisposição mais fina significa uma maior porcentagem de volume amorfo. Por outro lado, mesmo no caso de uma liga de uma composição de liga com uma capacidade um pouco baixa de formação de uma estrutura amorfa, por exemplo, usando-se um gás de temperatura ultrabaixa de -150°C usando-se o gás imediatamente após a evaporação do nitrogênio líquido para o resfriamento ou usando-se um resfriamento por névoa, mesmo se a espessura da eletrodisposição for mais grossa, uma estrutura amorfa com uma porcentagem de volume de 50% ou mais é obtida.

Quando se produz o material de aço da presente invenção por eletrodisposição por imersão a quente onde a espessura da eletrodisposição torna-se espessa, algumas vezes é requerido um resfriamento especial, tal como imersão em nitrogênio líquido. Alternativamente, quando a capacidade de trabalho não é particularmente requerida, usando-se como liga de eletrodisposição uma liga contendo uma grande quantidade de Hf ou Zr para melhorar a capacidade de formação de uma estrutura amorfa, a eletrodisposição por imersão a quente de uma porcentagem de volume amorfo caindo dentro da faixa da presente invenção é possível por uma taxa de resfriamento da extensão do resfriamento a água usual ou mesmo por resfriamento a ar dependendo da combinação de componentes. O Hf e o Zr são preferivelmente incluídos em uma faixa, como um total de 2% em massa a 35% em massa. Se for menor que 2% em massa, o efeito de melhoria da capacidade de formação de uma estrutura amorfa é insuficiente, enquanto se incluído acima de 35% em massa, da mesma forma que com o Ca, ocorre o efeito da atividade na camada de eletrodisposição tornando-se muito grande e a resis-

tência à corrosão da camada revestida ficando susceptível à degradação.

A porcentagem em volume da estrutura amorfa pode ser medida cortando-se uma seção transversal do material de aço revestido, polindo-se e causticando-se a mesma, e então observando-se a camada revestida da superfície por um microscópio óptico (doravante abreviado como "microscópio opt."). Na parte que se tornou amorfa, nenhuma textura pode ser observada por causticação, mas na parte remanescente da fase cristalina, a textura devido aos limites dos grãos, limites dos subgrãos, precipitados, e similares, é observada. Devido a isso, as regiões que se tornam as partes amorfas e as partes cristalinas são claramente distinguíveis, então é possível convertê-los para uma fração de volume pelo método de segmento de linha ou análise de imagem. Quando a textura é muito fina e a medição por um microscópio opt. se torna difícil, uma peça fina é fabricada a partir da seção transversal da camada revestida e observada por um microscópio de transmissão de elétrons para permitir a medição da mesma forma. No caso de um microscópio de transmissão de elétrons, na região não observada da textura, o padrão halo do padrão de difração de elétrons pode ser usado para confirmar a estrutura amorfa. No caso onde nenhuma textura pode ser observada sobre toda a superfície em observação por um microscópio opt. ou no caso em que mesmo quando há partes onde a textura não é observada, há uma questão de elas serem de grãos brutos livres de tensão, é preferível obter uma peça fina para um microscópio eletrônico e confirmar a fase amorfa pela ausência de pontos de difração na imagem de difração do raio eletrônico e a observação do padrão halo. Tanto com o microscópio opt. quanto com o microscópio eletrônico, é preferível descobrir as razões de área pelo processamento da imagem por um computador em 10 ou mais diferentes campos, obter a razão média de área, e usar essa como fração de volume.

EXEMPLOS

(Exemplo 1)

Cada material de aço com superfície tratada mostrado na Tabela 1 e na Tabela 2 (continuação da Tabela 1) foi preparado usando-se uma chapa de aço laminada a frio com uma espessura de chapa de 0,8 mm, aço

de ângulo igual com uma espessura de 10 mm e um comprimento de um lado de 10 cm, ou chapa de aço laminada a quente com uma espessura de chapa de 10 mm como material base.

5 A chapa de aço laminada a frio foi cortada em 10 cm x 10 cm e então revestida por um equipamento de teste de eletrodisposição por imersão a quente do tipo em grupo da Resca Co., Ltd. A temperatura do banho de eletrodisposição foi padronizado para o ponto de fusão da composição de eletrodisposição + 50°C de acordo com a composição de eletrodisposição. O peso de eletrodisposição foi ajustado por secagem a ar, então o material foi
10 resfriado conforme requerido por resfriamento por gás nitrogênio de 25°C, resfriamento por névoa a 25°C, ou resfriado por gás nitrogênio a baixa temperatura de -150°C para ajustar a taxa de resfriamento.

O aço de ângulo igual foi cortado em um comprimento de 10 cm na direção longitudinal, enquanto a chapa de aço laminada a quente foi cortada em um quadrado de 10 cm x 10 cm. Cada um foi revestido por imersão
15 a quente pelo método do fluxo usando um forno de cadinho. Ele foi então resfriado conforme necessário por resfriamento a água ou resfriamento com nitrogênio líquido. A peça de teste de eletrodisposição acima foi usada para cada teste de avaliação mostrado abaixo.

20 Em relação à facilidade de formação da fase em desequilíbrio, o material de aço revestido dando uma fase em desequilíbrio de uma capacidade de aquecimento DSC de 1 J/g ou mais foi julgado como "taxa de resfriamento requerida" pelo método de resfriamento e a deposição da eletrodisposição e a capacidade de aquecimento DSC naquele momento.

25 Para chapa de aço laminada a frio, uma amostra dando uma fase em desequilíbrio de uma capacidade de aquecimento DSC de 1 a 2 J/g por uma combinação de método de resfriamento de 25 g/m² ou menos pelo resfriamento com gás nitrogênio, 35 g/m² ou menos por resfriamento por névoa, ou 60 g/m² ou menos por resfriamento com gás nitrogênio a uma temperatura ultrabaixa utilizando o gás evaporado a partir do nitrogênio líquido e
30 a espessura da eletrodisposição foi julgado como "taxa de resfriamento requerida: G (bom)" e um dando uma fase em desequilíbrio de uma capacida-

de de aquecimento DSC acima de 2 J/g sob essas condições ou uma capacidade de aquecimento DSC de 1 J/g ou mais por uma espessura de eletrodisposição das condições ou mais como "taxa de resfriamento requerida: VG (muito boa)". Por outro lado, um com uma capacidade de aquecimento DSC de menos de 1 J/g foi julgado como "taxa de resfriamento requerida: P (deficiente)".

A chapa de aço laminada a quente e o aço de ângulo igual produzido por eletrodisposição por imersão a quente são difíceis de controlar Na espessura da eletrodisposição, então todos os materiais de aço revestidos dando uma fase em desequilíbrio com uma capacidade de aquecimento DSC de 1 J/g ou mais foram julgados como "taxa de resfriamento requerida: VG". Por outro lado, um material de aço revestido com uma capacidade de aquecimento DSC de menos de 1 J/g foi julgado como "taxa de resfriamento requerida: P".

A espessura de cada eletrodisposição foi medida pela diminuição em massa devido à dissolução ácida da camada revestida. Os componentes da liga na eletrodisposição foram determinados analisando-se uma solução dissolvendo a camada revestida por ácido pela análise espectroscópica do ICP (plasma de acoplamento indutivo).

Para analisar a fase em desequilíbrio da camada revestida, a camada revestida é moída incluindo o ferro metálico, então o pó moído é usado para medir a curva DSC da temperatura comum até o ponto de fusão a uma taxa de aumento de temperatura de 0,5°C/s e a capacidade de aquecimento é calculado a partir da área do pico exotérmico.

No teste de corrosão, a propriedade de proteção sacrificial e a resistência à corrosão da camada revestida durante a ação de proteção sacrificial foram avaliados simultaneamente pela preparação de uma amostra com uma peça de ferro metálico exposto e avaliando tanto a geração de ferrugem na peça de ferro metálico exposto e a perda de eletrodisposição por um teste de corrosão cíclica (CCT) repetindo os ciclos de secagem e umedecimento.

A superfície avaliada da amostra foi feita um retângulo de 50 mm

x 70 mm. O restante das peças foi protegido com uma fita de selagem. Uma peça retangular de 1 mm x 50 mm do centro da superfície avaliada foi moída 0,5 mm a partir da superfície por um moinho para expor o ferro metálico. O moinho foi executado enquanto se resfriava a peça processada. Foi dada
5 consideração de forma que a fase em desequilíbrio na camada revestida em torno da peça processada não muda para uma fase em equilíbrio.

As condições CCT usadas foram [pulverização de sal: 35°C, 5 g/l de solução aquosa de NaCl, 2 horas] → [secagem: 60°C, 20 a 30% RH, 4 horas] → [umedecimento: 50°C, 95% RH, 2 horas] (o tempo de transição
10 entre as condições é de 30 minutos, incluído nas condições). As 8 horas acima foram designadas como 1 ciclo. O teste foi conduzido por 21 ciclos.

Após o teste CCT, inicialmente, a presença de formação de ferrugem na parte do ferro metálico que foi exposta no centro da superfície de avaliação foi confirmada. Uma amostra onde nenhuma formação de ferrugem foi observada na parte de ferro metálico exposto foi julgada como tendo uma propriedade de proteção sacrificial "G", uma amostra onde a formação de ferrugem foi observada com uma razão de área enferrujada de 5% ou menos em relação à área da parte exposta foi julgada como "F" (regular), e
15 uma amostra onde a ferrugem formada sobre uma área maior que 5% foi julgada como "P". A seguir, os produtos da corrosão foram removidos por decapagem de cada amostra após a avaliação da formação de ferrugem, a mudança na massa antes e após o teste foi usada para medir a perda por corrosão da camada revestida. Uma amostra com uma perda por corrosão de menos de 2 g/m² foi designada como "VG", uma de 2 a 5 g/m² como "G",
20 e uma com 5 g/m² ou mais como "P".
25

Para peças dos materiais de aço revestidos com uma propriedade de proteção sacrificial "G", como peça de teste de outro tipo de teste de corrosão, uma peça retangular de 3 mm x 50 mm no centro da superfície de avaliação foi moída a 0,5 mm da superfície por um moinho para expor o ferro metálico. A amostra foi usada como "corpo de prova de promoção da proteção sacrificial". Esse "corpo de prova de promoção da proteção sacrificial" foi
30 usado para o mesmo CCT conforme acima. Após o teste CCT, inicialmente,

a presença de formação de ferrugem da peça de ferro metálico que tinha sido exposta no centro da superfície de avaliação foi confirmada. Uma amostra onde nenhuma formação de ferrugem foi observada na parte do ferro metálico exposto foi julgada como tendo uma propriedade de proteção sacrificial

5 "VGVG", enquanto uma amostra onde a formação de ferrugem foi observada com uma razão de área de ferrugem de 5% ou menos em relação à área da parte exposta foi julgada como "VG". Mesmo com uma amostra onde a ferrugem formada sobre uma área acima de 5% foi avaliada como "G" uma vez que a avaliação original era "G".

10 A seguir, também para os "corpos de prova da promoção da proteção sacrificial", os produtos da corrosão foram removidos de cada amostra após a avaliação da ferrugem por decapagem e a mudança na massa antes e após o teste foi usada para medir a perda por corrosão da camada revestida. Usando-se a perda por corrosão em uma amostra com uma superfície de

15 ferro metálico exposta com um tamanho de 1 mm x 50 mm como CR1 e a perda por corrosão nos "corpos de prova da promoção da proteção sacrificial" como CR2, o valor de CR2 dividido por CR1 ($CR2/CR1$) foi avaliado como a capacidade de supressão da aceleração da corrosão pela proteção sacrificial. Um valor de $CR2/CR1$ de 1,05 ou menos foi expresso como "VG",

20 um valor acima de 1,05 a 1,15 foi expresso como "G", e um valor de mais de 1,15 foi expresso como "F". Uma propriedade de proteção sacrificial originalmente inferior foi considerada fora do escopo da avaliação.

A adesão da eletrodisposição foi avaliada para uma chapa de aço laminada a frio por dobramento a 180° do corpo de prova revestido com

25 a camada revestida no lado externo, executando o assim chamado teste de dobramento da adesão OT, e então descascando-se a camada revestida da parte dobrada com uma fita adesiva. Uma amostra sem descascamento foi avaliada como "VG", uma amostra com descascamento, mas sem nenhum corpo de prova com um comprimento máximo acima de 0,1 mm em torno

30 dos 10 mm de comprimento da parte dobrada e com cinco ou menos corpos de prova descascados com um comprimento máximo de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "G", e similarmente uma amostra com um ou mais corpos

de prova descascados de um tamanho de mais de 0,1 mm ou acima de seis corpos de prova descascados com um tamanho de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "P".

Para a adesão da eletrodisposição do aço de ângulo igual e da chapa de aço laminada a quente, a camada revestida foi submetida a um teste de descascamento por fita adesiva sem dobramento e avaliada similarmente. Isto é, uma amostra sem descascamento foi avaliada como "VG", uma amostra com descascamento, mas sem nenhuma peça descascada com um comprimento máximo de mais de 0,1 mm na região quadrada de 10 mm x 10 mm e com cinco ou menos peças descascadas com um comprimento máximo de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "G", e similarmente uma amostra com uma ou mais peças de um tamanho de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "P". Com a chapa de aço laminada a frio e o aço de ângulo igual ou chapa de aço laminada a quente, a comparação direta não foi possível mas uma comparação relativa é possível nesses tipos de aço.

A capacidade de trabalho da camada revestida foi avaliada pelo diâmetro do círculo inscrito máximo onde nenhuma fratura foi observada na camada revestida pelo teste de dobramento a 180°. Entretanto, quando se usa como unidade do diâmetro do círculo inscrito a espessura da chapa T, a amostra com um diâmetro do círculo máximo inscrito sem fraturas de 0T, isto é, sem fraturas vistas mesmo com o dobramento da adesão, foi avaliada como "VG", uma amostra com um diâmetro do círculo máximo inscrito de 1T a 3T foi avaliada como "G", e uma amostra com 4T ou mais foi avaliada como "P". O aço de ângulo igual e a chapa de aço laminada a quente não são materiais que requeiram esta avaliação, então não foram avaliadas e foram indicadas como "-".

Além disso, parte dos tipos de aço que apresentam uma propriedade de proteção sacrificial suficiente na Tabela 1 e na Tabela 2 (continuação da Tabela 1), especificamente as Amostras nºs 1 a 10, 29, 47 a 51 e 54, foram medidas quanto à porcentagem de volume amorfo da camada revestida. A porcentagem de volume da estrutura amorfa da camada revestida foi determinada obtendo-se duas peças finas para uso em microscópio de

transmissão de elétrons em cada uma das posições que dividem a espessura da camada revestida do corpo de prova em cinco partes iguais, medindo-se a razão de área da região amorfa de cada campo pela análise da imagem usando-se um computador, e tomando-se o valor médio das razões de área das regiões amorfas de todos os campos como a porcentagem de volume da estrutura amorfa.

A Tabela 3 mostra a porcentagem de volume amorfo na camada de eletrodisposição, a propriedade de proteção sacrificial sob condições severas usando-se um "corpo de prova da promoção da proteção sacrificial" (propriedade de proteção sacrificial acelerada), e a supressão da aceleração da corrosão no momento da proteção sacrificial (CR2/CR1).

Tabela 1

Nº	Material de aço	Composição da eletrodisposição [massa%]				Método de resfriamento *1	Deposição g/m ²	Capacidade de aquecimento DSC, J/g	Resistência à corrosão	Proteção sacrificial	Adesão	Taxa de resfriamento requerida *2	Capacidade de trabalho
		Zn	Mg	Al	Outro								
1	Aço de ângulo igual	69,8	-	26	0,2Cr, 4Hf	A	20	5,5	G	G	VG	G	G
2		75	-	20	5Zr	B	30	2,5	G	G	G	G	G
3		82	-	15	3Ca	C	55	3,4	G	G	G	G	VG
4		50	43	5	2La	B	24	1,3	VG	G	G	G	VG
5		41	43	16		B	33	1,8	VG	G	G	G	G
6		67	28	5		B	33	1,6	VG	G	G	G	G
7		44	28	25	3Ce	B	33	1,5	VG	G	G	G	VG
8		82,9	17	0,1		C	15	1,1	VG	G	G	G	G
9		78	17	5		B	30	1,2	VG	G	G	G	G
10		72	17	11		B	45	3,6	VG	G	G	VG	G
11		67,8	17	15	0,2Fe	B	30	2,3	VG	G	VG	VG	G
12		65	17	18		C	70	4,7	VG	G	G	VG	G
13		56	17	25	2Ni	B	32	1,7	VG	G	VG	G	G
14		41	17	42		A	15	1,4	VG	G	G	G	G
15		87,9	12	0,1		C	20	1	VG	G	G	G	G
16		83	12	5		C	55	3,2	VG	G	G	VG	G
17		77	12	11		C	75	1,6	VG	G	G	VG	G
18		68,5	12	18	1Mn, 0,5Ca	B	30	5,3	VG	G	VG	VG	VG
19		62	12	25	1Sn	C	55	1,4	VG	G	G	G	VG
20		43	12	45		B	30	1,3	VG	G	G	G	G
21		91,9	8	0,1		C	70	1,1	VG	G	G	VG	G
22		89	8	3		B	45	2,2	VG	G	G	VG	G
23		87	8	5		B	60	1,8	VG	G	G	VG	G
24		81	8	11	0,2Si	C	70	2,5	VG	G	G	VG	VG
25		77	8	15		B	55	4,3	VG	G	G	VG	G
26		74	8	18		B	30	1,8	VG	G	G	G	G
27		67	8	25		B	25	1,6	VG	G	G	G	G
28		47	8	45	0,5Co	B	25	1,1	VG	G	VG	G	G

I n v e x .

Tabela 1 -continuação-

Nº	Material de aço	Composição da eletrodisposição [massa%]				Método de resfriamento *1	Deposição g/m ²	Capacidade de aquecimento DSC, J/g	Resistência à corrosão	Proteção sacrificial	Adesão	Taxa de resfriamento requerida *2	Capacidade de trabalho
		Zn	Mg	Al	Outro								
29	Aço de ângulo igual	94,9	5	0,1		C	15	1,1	VG	G	G	G	G
30		92	5	3		B	40	1,5	VG	G	G	VG	G
31		90	5	5		C	55	3,5	VG	G	G	VG	G
32		88	5	7		B	30	2,8	VG	G	G	VG	G
33		84	5	11		B	33	1,6	VG	G	G	G	G
34		70	5	25	1Cu	B	30	1,4	VG	G	VG	G	G
35		41	5	54		B	30	1,2	VG	G	G	G	G
36		96,9	3	0,1		C	15	1,1	VG	G	G	G	G
37		94	3	3		B	30	2,6	VG	G	G	VG	G
38		92	3	5		B	45	1,8	VG	G	G	VG	G
39		86	3	11		B	30	1,5	VG	G	G	G	G
40		69,9	3	25	2Ni, 0,1P	B	30	1,8	VG	G	VG	G	VG

Tabela 2 (Continuação da tabela 1)

Nº	Material de aço	Composição da eletrodisposição [massa%]				Método de resfriamento *1	Deposição g/m ²	Capacidade de aquecimento to DSC, J/g	Resistência à corrosão	Proteção sacrificial	Adesão	Taxa de resfriamento requerida *2	Capacidade de trabalho
		Zn	Mg	Al	Outro								
41	chapa de aço laminada a frio	41	3	56		B	20	1,6	VG	G	G	G	G
42		98,9	1	0,1		B	15	1	VG	G	G	G	G
43		94	1	5		B	20	1,5	VG	G	G	G	G
44		88	1	11		B	30	1,7	VG	G	G	G	G
45		43	1	56		B	34	1,3	VG	G	G	G	G
46		36	-	59,8	0,2Cr, 4Hf	A	20	5,5	G	F	VG	G	G
47		37	46	17		B	30	2,5	G	G	G	G	G
48		37	51	12		C	55	3,4	G	G	G	G	G
49		37	58	5		B	24	1,3	G	G	G	G	G
50		65,8	28	5	1Bi, 0,2W	B	33	2,8	VG	G	VG	VG	G
51		44	28	27	1Bi	B	42	2,2	VG	G	VG	VG	G
52		77,5	17	5	0,5Mo	B	46	1,9	VG	G	VG	VG	G
53		61,5	12	25	0,5W	C	75	2,1	VG	G	VG	VG	G
54		66,5	8	25	0,5Y	B	38	2,8	VG	G	VG	VG	G
55	chapa de aço laminada a quente	87	8	5		D	150	1,5	VG	G	G	VG	-
56	aço de ângulo igual	87	8	5		E	220	1,3	VG	G	G	VG	-
57	chapa de aço laminada a frio	85,8	3	12	0,2Si	A	90	0	VG	P	VG	P	P
58		40,5	3	55	1,5Si	A	60	0,1	VG	P	G	P	P
59		20	15	60	5Ca	B	45	5,2	VG	P	G	VG	G
60	chapa de aço laminada a quente	87	8	5		F	150	0	VG	P	G	P	-

*1 A: resfriamento a gás (nitrogênio a 25°C), B: resfriamento por névoa (25°C), C: gás super-resfriado (nitrogênio a -150°C), D: resfriamento a água, E: resfriamento com nitrogênio líquido, F: resfriamento natural

*2 Combinação de método de resfriamento (*1) e deposição de eletrodisposição capaz de alcançar a capacidade de aquecimento DSC de 1

VG (muito bom): com A, acima de 25 g/m², com B, acima de 35 g/m², e com C, acima de 60 g/m² (se a condição de G, 2 g/m² ou mais)

G (bom): Com A, 25 g/m² ou menos, com B, 35 g/m² ou menos, e com C, 60 g/m² ou menos

P (insuficiente): capacidade de aquecimento DSC de menos de 1 J/g

Tabela 3

	No.	material de aço	composição da eletrodisposição [mass%]			método de resfriamento *1	deposição g/m ²	capacidade de aquecimento DSC, J/g	percentual de volume amorfo vol (%)	resistência à corrosão	proteção acelerada	proteção acelerada
			Zn	Mg	Al	Outro						
I n v e x	1	chapa de aço laminada a frio	69,8	-	26	0,2Cr, 4Hf	A	5,5	22	G		G
	2		75	-	20	5Zr	B	2,5	10	G		G
	3		82	-	15	3Ca	C	3,4	14	G		G
	4		50	43	5	2La	B	1,3	5	VG	VG	VG
	5		41	43	16		B	1,8	7	VG	G	VG
	6		67	28	5		B	1,6	6	VG	VG	VG
	7		44	28	25	3Ce	B	1,5	6	VG	G	VG
	8		82,9	17	0,1		C	1,1	4	VG	G	F
	9		78	17	5		B	1,2	5	VG	VG	G
	10		72	17	11		B	3,6	14	VG	VG	G
	29		94,9	5	0,1		C	1,1	4	VG	G	F
	47		37	46	17		B	2,5	10	G	G	VG
	48		37	51	12		C	3,4	14	G	VG	VG
	49		37	58	5		B	1,3	5	G	VG	VG
	50		65,8	28	5	1Bi, 0,2W	B	2,8	11	VG	VG	VG
	51		44	28	27	1Bi	B	2,2	9	VG	G	VG
	54		66,5	8	25	0,5Y	B	2,8	11	VG	G	G
	57	chapa de aço laminada a frio	85,8	3	12	0,2Si	A	0	0	VG	P	-
	58		40,5	3	55	1,5Si	A	0,1	0	VG	P	-
	59		20	15	60	5Ca	B	5,2	21	VG	P	-

5 *1 A: resfriamento a gás (nitrogênio a 25°C), B: resfriamento por névoa (25°C), C: gás super-resfriado (nitrogênio a -150°C), D: resfriamento a água, E: resfriamento com nitrogênio líquido, F: resfriamento natural

Conforme mostrado na Tabela 1 e na Tabela 2 (continuação da Tabela 1), o material de aço da presente invenção é superior em resistência à corrosão e mantém um desempenho suficiente em termos de adesão da eletrodisposição, capacidade de trabalho, formação de dejetos, etc. Em particular, o material de aço da presente invenção contendo Mg em uma quantidade de 1 a 55% em massa e Al em uma quantidade de 0,07 a 45% em massa é também superior em termos de resistência à corrosão. Entre esses, o material de aço da presente invenção com um saldo Zn-Al-Mg de uma composição da faixa mostrada na FIG. 2 requer apenas uma pequena taxa de resfriamento para produção, então pode ser produzido mesmo com o resfriamento usando um resfriamento por névoa. Além disso, o material contendo um ou mais elementos selecionados entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, e Cu foi particularmente melhorado na adesão, enquanto um que contenha um ou mais elementos selecionados entre La, Ce, Ca, Sn e P foi particularmente melhorado na capacidade de trabalho. Além disso, com Zn de 40% em massa ou menos, algumas vezes a propriedade de prevenção à corrosão sacrificial torna-se um pouco inferior, mas com o eletrodisposição incluindo Mg e Al, uma propriedade de proteção sacrificial suficiente é garantida. Um material contendo Bi, Mo, W, ou Y é simultaneamente superior tanto em desempenho de adesão quanto em taxa de resfriamento requerida.

Um material sem uma faixa de componentes químicos do material de aço revestido da presente invenção ou com uma capacidade de aquecimento DSC devido à fase em desequilíbrio de menos de 1 J/g é insuficiente em resistência à corrosão ou mesmo se for bom em resistência à corrosão da camada revestida em si, é insuficiente na propriedade de proteção sacrificial e sofre com ferrugem de uma razão de área de 5% ou mais na parte do ferro metálico exposto.

Conforme mostrado na Tabela 3, o material de aço da presente invenção com uma porcentagem de volume amorfo de 5% ou mais é suprimido na aceleração da corrosão no momento da proteção sacrificial comparado com outros tipos de aço. Esse efeito torna-se mais notável na faixa de componentes definida na (fórmula 6) até a (fórmula 8). Além disso, o materi-

al de aço da presente invenção com Al de 14% em massa ou menos foi superior na propriedade de proteção sacrificial comparado com outro material de aço da presente invenção.

(Exemplo 2)

5 Cada material de aço com superfície tratada mostrado na Tabela 4 e na Tabela 5 (continuação da Tabela 4) foi preparado usando-se chapa de aço laminada a frio com uma espessura de chapa de 10 mm e um comprimento de um lado de 10 mm, ou uma chapa de aço laminada a quente com uma espessura de 10 mm como materiais base.

10 A chapa de aço laminada a frio foi cortada em 10 cm x 10 cm, e então revestida por um equipamento de teste de eletrodisposição por imersão a quente do tipo em grupo da Resca Co., Ltd. A temperatura do banho de eletrodisposição foi padronizada para o ponto de fusão da composição de eletrodisposição +50°C de acordo com a composição de eletrodisposição. O
15 peso da eletrodisposição foi ajustado por secagem a ar, então o material foi resfriado conforme requerido por resfriamento por gás nitrogênio de 25°C, resfriamento por névoa a 25°C, ou resfriado por gás nitrogênio a baixa temperatura a -150°C para ajustar a taxa de resfriamento.

O aço de ângulo igual foi cortado em um comprimento de 10 cm
20 na direção longitudinal, enquanto a chapa de aço laminada a quente foi cortada em um quadrado de 10 cm x 10 cm. Cada um foi revestido por imersão a quente pelo método de fluxo usando um forno de cadinho. Eles foram então resfriados conforme necessário por resfriamento a água ou por resfriamento com nitrogênio líquido. O corpo de prova de eletrodisposição acima
25 foi usado para cada teste de avaliação mostrado abaixo.

Em relação à taxa de resfriamento crítico requerida mostrando a capacidade de formar uma estrutura amorfa, a estrutura amorfa é formada pela camada revestida da superfície do material de aço, então não corresponde sempre à taxa de resfriamento em massa do material de aço. Por
30 causa disso, o método de resfriamento e a deposição de eletrodisposição e a porcentagem de volume amorfo nesse momento foram usadas para julgamento. A capacidade de formar uma estrutura amorfa é um pouco baixa de-

pendendo da composição de liga do banho de eletrodisposição. Dependendo do método de resfriamento, materiais que requeiram redução da deposição de eletrodisposição para 25 g/m² ou menos com resfriamento com gás nitrogênio, 35 g/m² ou menos com resfriamento por névoa, e 60 g/m² ou menos mesmo com gás nitrogênio a uma temperatura ultrabaixa utilizando gás evaporado de nitrogênio líquido para obter uma porcentagem de volume amorfo de 50% ou mais foram julgados como "G". Materiais que não alcançaram uma porcentagem de volume amorfo de 50% mesmo sob essas condições foram julgados como "P". Além disso, entre os materiais com uma alta capacidade para formar estrutura amorfa de "G", aqueles que permitem um aumento na deposição de eletrodisposição para menos de 30 g/m² por resfriamento com gás nitrogênio, para menos de 45 g/m² por resfriamento por nevos, e para 80 g/m² por resfriamento com gás nitrogênio a temperatura ultrabaixa utilizando o gás evaporado do nitrogênio líquido para obter uma porcentagem de volume amorfo de não menos que 50% foram julgados como "VG", enquanto aqueles que dão uma porcentagem de volume amorfo de 50% ou mais mesmo sob condições de 30 g/m² ou mais por resfriamento por gás nitrogênio, 45 g/m² ou mais por resfriamento por névoa, e 80 g/m² ou mais por resfriamento com gás nitrogênio a uma temperatura ultrabaixa utilizando gás evaporado do nitrogênio líquido foram julgados como "VGVG".

O estado dos dejetos no momento da produção da eletrodisposição foi observado visualmente. Um material com dejetos muito grandes e eletrodisposição difícil foi julgado como "P", um com uma quantidade relativamente grande de dejetos e uma eletrodisposição possível foi julgado como "F", um com uma pequena quantidade de dejetos e produção de eletrodisposição fácil foi julgado como "G", e um com uma quantidade extremamente pequena de dejetos, fácil produção de eletrodisposição, e propriedades relativamente boas da superfície da eletrodisposição foi julgado como "VG".

A deposição da eletrodisposição foi medida pela perda de massa devida à dissolução ácida da camada revestida. Os componentes da liga na eletrodisposição foram determinados pela análise da solução na qual a camada revestida foi dissolvida por um ácido por análise espectroscópica por

ICP (plasma de acoplamento indutivo).

A porcentagem de volume da estrutura amorfa da camada revestida foi determinada pela obtenção de duas peças finas pelo uso de microscópio de transmissão de elétrons em cada uma das posições que dividem a espessura da camada revestida do corpo de prova em cinco partes iguais, medindo-se a razão de área da região amorfa de cada campo pela análise de imagem usando um computador, e tirando o valor médio das razões de área das regiões amorfas de todos os campos como a porcentagem de volume da estrutura amorfa.

10 O teste de corrosão foi executado com base no teste de pulverização de sal (SST) descrito na JIS-Z-2371. Entretanto, a perda por corrosão após execução do teste usando uma concentração de água salgada de 10 g/l por 3000 horas foi usada para a avaliação. Um material com menos de 2 g/m² foi julgado como "VG", 2 a 5 g/m² como "G", 5 a 10 g/m² como "F", e 15 acima de 10 g/m² como "P".

A adesão da eletrodisposição foi avaliada para uma chapa de aço laminada a frio pelo dobramento do corpo de prova revestido a 180° com a camada de eletrodisposição exterior, executando-se o assim chamado teste de dobramento de adesão OT, e então descascando-se a camada revestida a partir da parte dobrada pela fita adesiva. Uma amostra sem nenhum descascamento foi avaliada como "VG", uma amostra com descascamento, mas sem nenhuma peça descascada com um comprimento máximo de mais de 0,1 mm em torno do comprimento de 10 mm da parte dobrada e com cinco ou menos peças descascadas com um comprimento máximo de 0,1 mm 20 ou menos foi avaliada como "G", similarmente uma amostra com seis a 10 peças descascadas de um tamanho de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "F", e uma amostra com uma ou mais peças de um tamanho maior que 0,1 mm ou acima de 10 peças descascadas de um tamanho de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "P".

30 Para a adesão da eletrodisposição do aço de ângulo igual e a chapa de aço laminada a quente, a camada de eletrodisposição foi submetida a um teste de descascamento por fita adesiva sem dobramento e simi-

larmente avaliada. Isto é, uma amostra sem nenhum descascamento foi avaliada como "VG", uma amostra com descascamento, mas nenhuma peça descascada com um comprimento máximo de mais de 0,1 mm na região quadrada de 10 mm x 10 mm e com cinco ou menos peças descascadas com um comprimento máximo de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "G", 5
similarmente uma amostra com seis a 10 peças descascadas de um tamanho acima de 0,1 mm ou mais de seis peças descascadas de um tamanho de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "F", e uma amostra com uma ou mais peças descascadas de um tamanho acima de 0,1 mm ou mais de 10
10 peças descascadas de um tamanho de 0,1 mm ou menos foi avaliada como "F". Com a chapa de aço laminada a frio e o aço de ângulo igual ou a chapa de aço laminada a quente, a comparação direta não foi possível, mas uma comparação relativa é possível nesses tipos de aço.

A capacidade de trabalho da camada revestida foi avaliada pelo
15 diâmetro do círculo máximo inscrito onde nenhuma fratura é observada na camada revestida por um teste de dobramento a 180°. Entretanto, quando se usa a unidade do diâmetro do círculo inscrito a espessura da chapa T, uma amostra com um diâmetro do círculo máximo inscrito sem fraturas de 0T, isto é, sem fraturas vistas mesmo com o dobramento de adesão, foi avaliada como "VG", uma amostra com um diâmetro do círculo máximo inscrito
20 de 1T foi avaliada como "G", uma amostra com um diâmetro do círculo máximo inscrito de 2T a 3T foi avaliada como "F", e uma amostra com 4T ou mais foi avaliada como "P". O aço de ângulo igual e a chapa de aço laminada a quente são materiais que não exigem essa avaliação, então não foram
25 avaliadas e foram indicadas como "-".

Tabela 4

Nº	material de aço	composição da eletrodissolução %					Deposição g/m ²	Método de resfriamento *1	Percentual de volume amorfo	Resistência à corrosão	Adesão da eletrodissolução	Taxa de resfriamento requerida	Capacidade de trabalho	Dejetos
		Zn	Mg	Ca	Al	outro								
61	chapa de aço laminada a frio	42	-	55	-	3Hf	34	B	80	G	F	G	F	F
62		44,8	-	50	-	5Zr, 0,2Cr	23	A	80	G	VG	G	G	F
63		55	10	-	-	30Zr, 5La	45	B	95	G	F	VGVG	F	F
64		41	53	6	-	-	90	A	100	G	F	VGVG	F	F
65		58	37	5	-	-	120	A	100	G	F	VGVG	F	F
66		55	40	-	-	5La	55	A	100	G	F	VGVG	F	F
67		41,9	52	6	0,1	-	80	A	100	G	G	VGVG	G	G
68		46,4	52	1,5	0,1	-	50	A	100	G	G	VGVG	G	G
69		51,7	40	8	0,1	0,2Mn	60	A	100	G	VG	VGVG	G	G
70		41	40	8	11	-	60	A	100	G	G	VGVG	G	G
71		54,7	40	5	0,1	0,2Sn	90	A	100	G	G	VGVG	VG	G
72		61,9	35	1,5	0,1	1Mn, 0,5Sn	45	A	100	G	VG	VGVG	VG	G
73		52,2	35	1,5	11	3Sn	50	A	100	G	G	VGVG	VG	G
74		41,9	30	28	0,1	-	34	B	80	G	G	G	G	G
75		63,9	30	6	0,1	-	55	C	80	G	G	G	G	G
76		67,7	30	2	0,1	0,2La	30	A	70	G	G	VGVG	VG	G
77		41,7	20	38	0,1	0,2Fe	50	B	60	G	VG	G	G	G
78		41,8	20	30	7	1Ni, 0,2P	30	A	70	G	VG	VGVG	VG	G
79		59,9	20	20	0,1	-	40	C	80	G	G	G	G	G
80		42	20	20	18	-	30	C	80	G	G	G	G	G
81		70,9	20	9	0,1	-	50	C	70	VG	G	G	G	VG
82		66	20	9	5	-	50	C	70	VG	G	G	G	VG
83		60	20	9	11	-	50	C	70	VG	G	G	G	VG
84		48	20	9	23	-	50	C	70	VG	G	G	G	VG
85		74,7	20	5	0,1	0,2Co	45	C	70	VG	VG	G	G	VG
86		70	20	5	5	-	50	C	70	VG	G	G	G	VG
87		77,9	20	2	0,1	-	50	C	60	VG	G	G	G	VG
88		41,9	14	44	0,1	-	50	B	90	G	G	G	G	G

Tabela 4 - continuação-

Nº	material de aço	composição da eletrodisposição %					Deposição g/m ²	Método de resfriamento *1	Percentual de volume amorfo	Resistência à corrosão	Adesão da eletrodisposição	Taxa de resfriamento requerida	Capacidade de trabalho	Dejetos
		Zn	Mg	Ca	Al	outro								
89	chapa de aço laminada a frio	76,9	14	9	0,1		30	C	80	VG	G	G	G	VG
90		42	14	9	35		25	C	80	G	G	G	G	G
91		80,9	14	5	0,1		30	C	80	VG	G	G	G	VG
92		78	14	5	3		40	C	70	VG	G	G	G	VG
93		76	14	5	5		45	C	65	VG	G	G	G	VG
94		83,9	14	2	0,1		60	C	70	VG	G	G	G	VG
95		42	8	42	8		50	B	90	G	G	G	G	G
96		56	8	30	5	1Ni	60	B	90	G	VG	G	G	G
97		73,9	8	18	0,1		50	B	70	G	G	G	G	G
98		82,9	8	9	0,1		60	C	90	VG	G	G	G	VG
99		80	8	9	3		35	C	80	VG	G	G	G	VG
100		86,9	8	5	0,1		40	C	80	VG	G	G	G	VG

Tabela 5 (Continuação da Tabela 4)

Nº	material de aço	composição da eletrodisposição %					Deposição g/m²	Método de resfriamento *1	Percentual de volume amorfo	Resistência à corrosão	Adesão da eletrodisposição	Taxa de resfriamento requerida	Capacidade de trabalho	Dejetos
		Zn	Mg	Ca	Al	Other								
101	chapa de aço laminada a frio	89,9	8	2	0,1		45	C	70	VG	G	G	G	VG
102		87,9	3	9	0,1		45	C	90	VG	G	G	G	VG
103		85	3	9	3		40	C	80	VG	G	G	G	VG
104		82,7	3	9	5	0,3Cu	40	C	70	VG	VG	G	G	VG
105		91,9	3	5	0,1		35	C	70	VG	VG	G	G	VG
106		88,8	3	5	3	0,2La	30	A	60	VG	VG	VG	VG	VG
107		93,9	3	3	0,1		35	C	60	VG	VG	G	G	VG
108		55,4	1,5	43	0,1		30	B	80	G	G	G	G	G
109		50,3	1,5	43	5	0,2Sn	60	A	80	G	G	VG	VG	G
110		89,4	1,5	9	0,1		35	C	80	VG	VG	G	G	VG

Tabela 5 (Continuação da Tabela 4) -continuação-

Nº	material de aço	composição da eletrodisposição %					Deposição g/m ²	Método de resfriamento *1	Percentual de volume amorfo	Resistência à corrosão	Adesão da eletrodisposição	Taxa de resfriamento requerida	Capacidade de trabalho	Dejetos
111		86,5	1,5	9	3		40	C	70	VG	G	G	G	VG
112		93,4	1,5	5	0,1		40	C	60	VG	G	G	G	VG
113		35,5	46	15	-	3,5Hf	50	B	100	F	F	VGVG	F	G
114		36	58	6	-		90	C	100	F	F	VGVG	F	G
115		35,9	58	6	0,1		40	B	100	F	G	VG	G	G
116		38,9	56	5	0,1		75	C	100	F	G	VG	G	G
117		38	56	5	1		40	B	100	F	G	VG	G	G
118		57	27	8	8		70	C	100	G	G	VG	G	G
119		59	31	1,5	8,5		65	C	100	G	G	VG	G	G
120		41	51	6	-	2Bi	45	A	100	G	G	VGVG	G	G
121		40,9	52	6	0,1	1Mo	40	A	100	G	VG	VGVG	G	G
122		41,4	30	28	0,1	0,5W	85	C	80	G	VG	VGVG	G	G
123		63,4	30	6	0,1	0,5V	50	B	80	G	VG	VGVG	G	G
124		58,9	20	20	0,1	1Ti	90	C	80	G	VG	VGVG	G	G
125		41,5	20	20	18	0,5Si	90	C	80	G	VG	VGVG	G	G
126		68,9	20	9	0,1	2Ag	95	C	70	VG	VG	VGVG	G	VG
127		59,5	20	9	11	0,5Y	55	B	70	VG	VG	VGVG	G	VG
128	chapa de aço laminada a quente	51,7	40	8	0,1	0,2Mn	150	D	100	G	VG	VGVG	-	G
129	aço de ângulo igual	55,7	38	6	0,1	0,2Ni	220	E	100	G	VG	VGVG	-	G
130		84,5	3	0,5	12		55	A	0	P	F	P	P	G
131	chapa de	97,5	0,5	2	0,1		60	A	0	P	F	P	P	F
132	aço laminada a frio	43,5	-	-	55	1,5Si	60	A	0	G	G	P	P	G
133		30,5	8,5	61	-		100	A	100	P	P	VGVG	P	P

*1: A: resfriamento a gás (nitrogênio a 25°C), B: resfriamento por névoa (25°C), C: gás super-resfriado (nitrogênio a -150°C), D: resfriamento a água, E: resfriamento com nitrogênio líquido

*2 Combinação de método de resfriamento (*1) e deposição de eletrodisposição capaz de alcançar a capacidade de aquecimento

5 to DSC de 1 J/g ou mais

VGVG: com A, acima de 30 g/m², com B, acima de 45 g/m², com C, acima de 80 g/m²

VG: com A, 25 a 30 g/m², com B, 35 a 45 g/m², e com C, 60 a 80 g/m²

5 G: com A, 25 g/m² ou menos, com B, 35 g/m² ou menos, e com C, 60 g/m² ou menos.

P: porcentagem de volume amorfo de 50% ou menos mesmo sob condições G.

Conforme mostrado na tabela 4 e na Tabela 5 (continuação da Tabela 4), o material de aço da presente invenção é superior em resistência à corrosão e mantém um desempenho suficiente em termos de adesão de eletrodisposição, capacidade de trabalho, formação de dejetos, etc. Em particular, o material de aço da presente invenção contendo Mg em 1 a 55% em massa, Ca em 1 a 45% em massa, e Al em 0,07 a 45% em massa é também superior em termos de adesão de eletrodisposição e capacidade de trabalho.

15 Entre esses, um material contendo Mg em 1 a 25% em massa, Ca em 1 a 10% em massa, e Al em 0,07 a 25% em massa é também superior em resistência à corrosão. Alternativamente, um material especificando o Mg como 25 a 60% em massa, em particular 34 a 55% em massa, e contendo Ca em 1 a 10% em massa e Al em 0,07 a 25% em massa apresentou resistência à

20 corrosão similar nos materiais de aço da presente invenção, mas tiveram particularmente alta capacidade de formar uma estrutura amorfa e permitiram a produção de material de aço revestido de uma grande deposição com uma boa eficiência por um equipamento econômico de resfriamento. Além disso, um material contendo um ou mais elementos selecionados entre Cr,

25 Mn, Fe, Co, Ni e Cu foi particularmente melhorado em adesão, enquanto um material contendo um ou mais elementos selecionados entre La, Sn e P foi particularmente melhorado em capacidade de trabalho. Além disso, um material contendo um ou mais elementos selecionados entre Si, Mo, W, Si, Ti, V, Ag, e Y foi melhorado tanto em adesão quanto em capacidade de for-

30 mar uma estrutura amorfa.

O material de aço comparativo fora da faixa de componentes do material de aço revestido da presente invenção ou com uma pequena por-

centagem de volume amorfo foi insuficiente em resistência à corrosão ou mesmo se for bom em resistência à corrosão foi insuficiente em capacidade de trabalho.

APLICABILIDADE INDUSTRIAL

- 5 O material de aço galvanizado por imersão a quente com alta resistência à corrosão da presente invenção pode ser produzido por um processo convencional de eletrodisposição por imersão a quente e é tanto rico em resistência à corrosão quanto superior na propriedade de proteção sacrificial. Em adição, o material de aço tendo uma fase amorfa da presente invenção é superior em resistência à corrosão e capacidade de trabalho se comparado com eletrodisposição por imersão a quente cristalino. Isto pode ser amplamente aplicado a automóveis, construções e residências, e similares e melhora o tempo de vida dos membros e contribui grandemente para a utilização efetiva de recursos, redução da carga ambiental, e diminuição do
- 10
- 15 trabalho e custos de manutenção enquanto mantém uma capacidade de produção similar ao passado.

REIVINDICAÇÕES

1. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, caracterizado pelo fato de ter uma camada revestida de liga compreendendo Zn em uma quantidade de 35% em massa ou mais e Mg em uma quantidade de 22 a 60% em massa, em que a mencionada camada revestida de liga contém uma fase em desequilíbrio tendo uma capacidade de aquecimento de 1 J/g ou mais por calorimetria diferencial de varredura com uma taxa de aumento de temperatura de 0,5°C/s.

2. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Al: 0,07 a 59%.

3. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Zn: 40% ou mais, e Mg: 22 a 45%.

4. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que também contém como componentes na mencionada camada revestida de liga, em % em massa, um ou mais elementos selecionados entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni e Cu em um total de 0,1 a 10%.

5. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que também contém como componentes na mencionada camada revestida de liga, em % em massa, um ou mais elementos selecionados entre Bi, Mo, W e Y em um total de 0,1 a 10%.

6. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que também contém na mencionada camada revestida de liga, em % em massa, um ou mais entre La: 0,1 a 10%, Ce: 0,1 a 10%, Ca: 0,1% a 10%, Sn: 0,1% a 10%, P: 0,005% a 2% e Si:

0,02% a 7%.

7. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém uma
5 fase amorfa em um % em volume de 5% ou mais.

8. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém Al e Mg e os teores de Zn, Al, e Mg satisfazem as relações das fórmulas a seguir
10 (fórmula 6)a (fórmula 8):

$$35 \leq \text{Zn}\% \leq 75 \quad (\text{fórmula 6})$$

$$0,08 \leq \text{Al}\% \leq 25 \quad (\text{fórmula 7})$$

$$22 \leq \text{Mg}\% \leq 60 \quad (\text{fórmula 8})$$

(onde o nome do elemento% é o teor em % em massa do elemento)

9. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, um ou mais entre Ca, Y e La em um total de 0,1 a 10%.

10. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, onde o teor de Al na mencionada camada revestida de liga é de 14% em massa ou menos.

11. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que 50% ou mais em % em volume na mencionada camada revestida de liga é uma fase amorfa.

12. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Zn: 35 a 60%, Mg: 25 a 60%, Ca: 1 a 10%, e Al: 0,07 a 25% e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

13. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido

de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que 50% ou mais em % em volume na mencionada camada revestida de liga é uma fase amorfa.

5 14. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Mg: 22 a 55%, Ca: 1 a 45%, e Al: 0,07 a 45%, tem um total de teores de Mg e Ca de não menos que 5%, e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

10 15. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Ca: 1 a 10%, e Al: 0,07 a 25%, tem um total de teores de Mg e Ca de 23% ou mais, e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

15 16. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que a mencionada camada revestida de liga contém, em % em massa, Zn: 40 a 60%, Mg: 34 a 55%, Ca: 1 a 10%, e Al: 0,07 a 25% e tem um saldo de impurezas inevitáveis.

20 17. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 16, caracterizado pelo fato de que também contém como componentes na mencionada camada revestida de liga um ou mais elementos selecionados entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, e Cu em um total de 0,1 a 10% em
25 massa.

18. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 17, caracterizado pelo fato de que também contém como componentes na mencionada camada revestida de liga um ou mais elementos se-
30 lecionados entre Bi, Mo, W, Si, Ti, V, Ag e Y em um total de 0,1 a 10% em massa.

19. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido

de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 18, caracterizado pelo fato de que também contém, em % em massa, como componentes na mencionada camada revestida de liga um ou mais elementos selecionados entre La: 0,1 a 10%, Sn: 0,1 a 10%, e P: 0,005 a 2%.

20. Chapa de aço galvanizado por imersão a quente e recozido de alta resistência à corrosão, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 19, caracterizado pelo fato de que contém a mencionada camada revestida de liga pelo menos em parte da superfície do material de aço.

Fig. 1

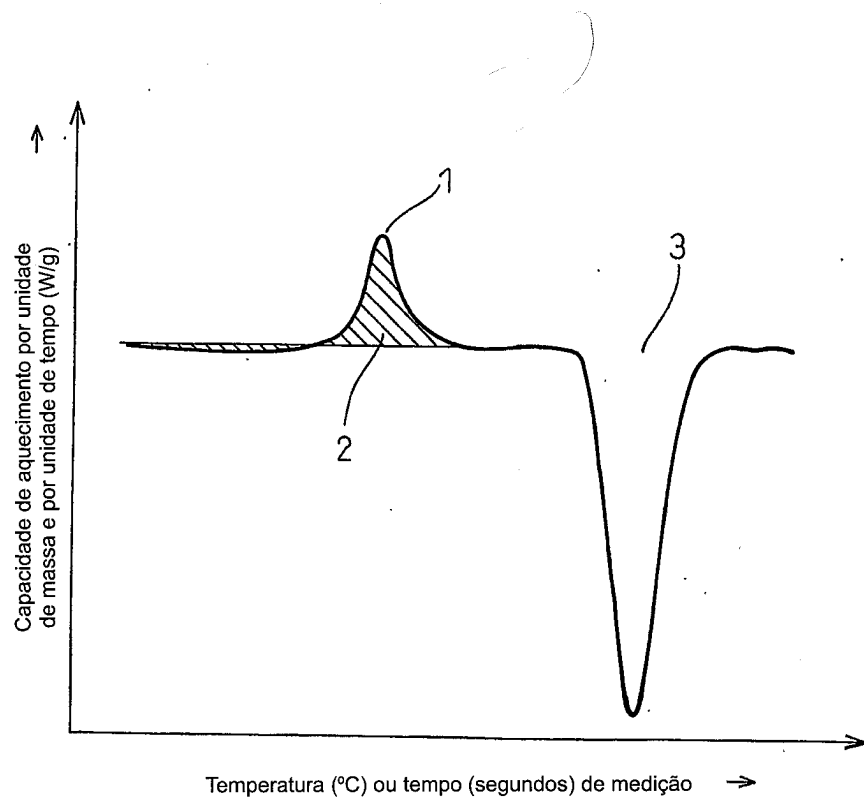


Fig.2

