

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 991 302**

(51) Int. Cl.:

C21D 1/26 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01)
C22C 18/04 (2006.01)
C23C 2/06 (2006.01)
C23C 2/28 (2006.01)
C23C 30/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.09.2021 PCT/JP2021/032749**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **16.03.2023 WO23037396**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2021 E 21944420 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024 EP 4174203**

(54) Título: **Acero chapado por inmersión en caliente**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.12.2024

(73) Titular/es:

NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8071, JP

(72) Inventor/es:

MITSUNOBU, TAKUYA;
SAITO, MAMORU;
TOKUDA, KOHEI y
TAKEBAYASHI, HIROSHI

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 991 302 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aceros chapados por inmersión en caliente

[Campo Técnico de la Invención]

La presente invención se refiere a un acero chapado por inmersión en caliente.

5 [Antecedentes de la Invención]

Los aceros que tienen una capa galvanizada por inmersión en caliente que contiene Al y Mg formada sobre una superficie (aceros chapados por inmersión en caliente a base de Zn-Al-Mg) tienen una excelente resistencia a la corrosión. Por lo tanto, los aceros chapados por inmersión en caliente a base de Zn-Al-Mg se utilizan ampliamente como materiales para miembros estructurales que requieren resistencia a la corrosión, tal como los materiales de construcción.

10 Por ejemplo, el Documento de Patente 1 describe un acero chapado que tiene un acero y una capa de recubrimiento que incluye una capa de aleación de Zn-Al-Mg dispuesta sobre una superficie del acero, en el que la capa de recubrimiento tiene una composición química predeterminada, en una imagen de electrones reflejados de la capa de aleación de Zn-Al-Mg que se obtiene observando una superficie de la capa de aleación de Zn-Al-Mg pulida hasta 1/2 del espesor de la capa con un microscopio electrónico de barrido con un aumento de 100 veces, los cristales de Al están presentes y el valor promedio de los perímetros acumulativos de los cristales de Al es de 88 a 195 mm/mm².

15 El Documento de Patente 2 describe una lámina de acero chapado que tiene una lámina de acero y una capa de recubrimiento formada en al menos una parte de una superficie de la lámina de acero, en la cual la composición química de la capa de recubrimiento contiene, en % en masa, Al: más de 5,00 % y 35,00 % o menos, Mg: 3,00 % a 15,00 %, Si: 0 % a 2,00 %, Ca: 0 % a 2,00 %, y un resto que consiste en Zn e impurezas, en una sección transversal de la capa de recubrimiento en la dirección de espesor, la relación de área de una estructura laminar en la cual una fase de (Al-Zn) y una fase de MgZn₂ están dispuestas en capas es 10 % a 90 %, y el espaciamiento laminar de la estructura laminar es 2,5 µm o menos, y la relación de área de dendritas (Al-Zn) es 35 % o menos.

[Documento de la Técnica Anterior]

[Documento de Patente]

25 [Documento de Patente 1] Publicación Internacional PCT Nº WO 2019/221193

[Documento de Patente 2] Publicación Internacional PCT Nº WO 2020/213686

[Divulgación de la Invención]

[Problemas que Serán Resueltos por la Invención]

30 En los últimos años, también se requiere que los aceros chapados por inmersión en caliente a base de Zn-Al-Mg tengan una resistencia a la corrosión bajo agua corriente. La resistencia a la corrosión bajo agua corriente es la resistencia a la corrosión en estado de exposición al agua corriente. En un entorno de agua corriente, un producto de corrosión unido a la superficie de una capa de recubrimiento por inmersión en caliente se elimina por lavado, y el efecto antioxidante del producto de corrosión se deteriora. Por lo tanto, la resistencia a la corrosión de los aceros bajo agua corriente se evalúa por medios diferentes de aquellos utilizados para la resistencia a la corrosión normal. Por ejemplo, los materiales que se utilizan como un material para las superficies de las paredes de los canales de irrigación, a través de los cuales fluye agua de lluvia, agua industrial y similares, en todo momento se requiere que tengan una alta resistencia a la corrosión bajo agua corriente.

35 En la técnica anterior, rara vez se han realizado estudios sobre la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por ejemplo, en el Documento de Patente 1, la resistencia a la corrosión de la porción plana se evaluó de acuerdo con JASO M609-91 y, en esta evaluación, se supuso que una solución corrosiva estaba en un estado sin flujo. Por lo tanto, en el Documento de Patente 1, no se estudia ni evalúa la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. También en el Documento de Patente 2, la resistencia a la corrosión después de la pintura se evalúa en un entorno sin agua corriente, y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente no se estudia ni evalúa.

40 Además, como resultado de estudios, los presentes inventores encontraron que no se puede decir que incluso los aceros chapados por inmersión en caliente a base de Zn-Al-Mg normales que tienen una alta resistencia a la corrosión como se describe en los Documentos de Patente 1 y 2 tengan suficiente resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por ejemplo, en el Documento de Patente 1, en un intervalo de temperaturas desde una temperatura de partida de la solidificación del recubrimiento hasta la temperatura de partida de la solidificación del recubrimiento - 30 °C, el enfriamiento se lleva a cabo a una velocidad de enfriamiento promedio de 12 °C/s o más lenta. Los presentes inventores encontraron que, en un chapado por inmersión en caliente obtenido en tales condiciones de enfriamiento, es probable que la interfaz entre una fase α y la fase de MgZn₂ se corroa bajo un entorno de agua corriente como se describe más adelante. Además, en el Documento de Patente 2, una lámina de recubrimiento original después de detener el enfriamiento controlado se enfriá a 335 °C o menos de manera que la velocidad de enfriamiento promedio

llega a ser 5°C/s o más lenta; sin embargo, en un intervalo de temperaturas de 335 °C o inferior, no se lleva a cabo el control del enfriamiento propuesto para el control de la microestructura de la capa de recubrimiento. Los presentes inventores encontraron que, en un chapado por inmersión en caliente obtenido en tales condiciones de enfriamiento, una fase η cristaliza a partir de una fase α , y es probable que ocurra corrosión en la interfaz entre la fase α y la fase η y en la interfaz entre la fase α y la fase MgZn₂, y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente se ve alterada.

Además, para mejorar la resistencia a la corrosión de los aceros chapados por inmersión en caliente, es efectivo agregar una alta concentración de Mg al recubrimiento; sin embargo, en el caso en el que se haya añadido una concentración tan alta de Mg al recubrimiento, existe otro problema, ya que es probable que se produzca la formación de polvo. La formación de polvo es un fenómeno en el que una capa de recubrimiento por inmersión en caliente se exfolia y se convierte en polvo durante la formación en prensa de un acero chapado en caliente a base de Zn-Al-Mg. Para utilizar aceros chapados por inmersión en caliente a base de Zn-Al-Mg como materiales para una diversidad de componentes estructurales, también se requiere resistencia a la formación de polvo.

En vista de las circunstancias anteriores, un objeto de la presente invención es proporcionar un acero chapado en caliente que sea excelente en términos de resistencia a la formación de polvo y resistencia a la corrosión bajo agua corriente.

[Medios para Resolver el Problema]

La presente invención se define en las reivindicaciones adjuntas.

[Efectos de la Invención]

De acuerdo con la presente invención, es posible proporcionar un acero chapado por inmersión en caliente que sea excelente en términos de resistencia a la formación de polvo y resistencia a la corrosión bajo agua corriente.

[Breve Descripción de los Dibujos]

La FIG. 1 es una vista en sección transversal de un acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

La FIG. 2 es una vista esquemática de una fase α que tiene una forma de dendrita.

La FIG. 3 es una vista esquemática de condiciones de enfriamiento en la fabricación de un acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

[Realizaciones de la Invención]

Los presentes inventores repitieron estudios con respecto a medios para potenciar la resistencia a la corrosión bajo agua corriente de aceros chapados en caliente. Además, los presentes inventores se enfocaron en la relación de orientación del cristal entre una fase α y una fase de MgZn₂ en la superficie de una capa de recubrimiento por inmersión en caliente.

Una capa de recubrimiento por inmersión en caliente de una aleación a base de Zn-Al-Mg contiene una fase α y una fase de MgZn₂. La fase α es una solución sólida que tiene una estructura de cristal con láctices cúbicas centradas en las caras, cuya composición química está compuesta principalmente de Al y Zn. En un caso en el que Mg, Ni, Fe, Sn, y similares se agregan a la capa de recubrimiento como elementos distintos de Al y Zn, la fase α puede contener 0,5 % o menos de cada uno de estos elementos. La fase α está compuesta principalmente de Al y, por lo tanto, puede ser pasivada y tiene un efecto de mejorar la resistencia a la corrosión de la porción plana de la capa de recubrimiento. Además, la fase α también tiene alta deformabilidad plástica atribuida a su estructura cristalina y, de este modo, también tiene un efecto de mejorar la resistencia a la formación de polvo. La fase de MgZn₂ es una fase de compuesto intermetalíco, cuya composición química está compuesta principalmente de Mg y Zn. La fase de MgZn₂ es potencialmente base en entornos corrosivos y, de este modo, tiene resistencia de protección al sacrificio a metales base y mejora la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la protección de sacrificio de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente convirtiendo un producto corrosivo a base de Zn en una película aislante por Mg.

Los presentes inventores encontraron que es probable que la corrosión ocurra en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂. El potencial natural de la fase α es superior al potencial natural de la fase de MgZn₂. Por lo tanto, en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ ocurre la corrosión galvánica.

En la evaluación convencional de la resistencia a la corrosión de la porción plana en entornos de agua no corriente, la corrosión en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ no fue considerada como un problema. La razón de esto se considera por ser que, en entornos de agua no corriente, un producto de corrosión generado en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ se une a la superficie de una capa de recubrimiento por inmersión en caliente y exhibe un efecto antioxidante. Sin embargo, en entornos de agua corriente en donde un producto de corrosión se elimina por lavado de la superficie de una capa de recubrimiento por inmersión en caliente, no se puede obtener el efecto antioxidante del producto de corrosión. Por lo tanto, la corrosión que ocurre en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ se considera que altera la resistencia a la corrosión bajo agua corriente.

Además, los presentes inventores encontraron que la resistencia a la corrosión en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ se puede potenciar estableciendo la relación de orientación del cristal entre la fase α y la fase de MgZn₂ dentro de un intervalo específico. Además, los presentes inventores encontraron que la resistencia a la corrosión bajo agua corriente de aceros chapados por inmersión en caliente se puede potenciar mediante el potenciamiento, además de la resistencia a la corrosión de la porción plana, el cual se ha enfocado convencionalmente a la resistencia a la corrosión en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂.

Un acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con una realización de la presente invención y un método de fabricación del mismo obtenido basado en los hallazgos anteriores, se describirá en detalle más adelante. Posteriormente, la marca "%" para el contenido de cada uno de los elementos en la composición química significa "% en masa". El contenido de un elemento en la composición química se puede expresar como una concentración de elementos (por ejemplo, una concentración de Zn, una concentración de Mg, o similares). La expresión "resistencia a la corrosión de la porción plana" se refiere a una propiedad de una capa de recubrimiento por inmersión en caliente (específicamente, una capa de aleación de Zn-Al-Mg) que por sí misma no se corroe fácilmente. La expresión "resistencia a la protección de sacrificio" se refiere a una propiedad de suprimir la corrosión de un acero base en porciones no cubiertas del acero base (por ejemplo, una porción de cara de extremo de corte de un acero chapado, una porción fisurada en una capa de recubrimiento por inmersión en caliente durante el procesamiento y un lugar en donde el acero base se expone debido a la exfoliación de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente). La expresión "resistencia a la corrosión bajo agua corriente" se refiere a una propiedad de la propia capa de recubrimiento por inmersión en caliente que no se corroe fácilmente en entornos de agua corriente en que un producto de corrosión en la superficie del acero chapado se elimina por lavado. La expresión "capa de recubrimiento por inmersión en caliente" significa un recubrimiento de chapado fabricado mediante el denominado tratamiento de galvanización por inmersión en caliente.

Un acero chapado por inmersión en caliente 1 de acuerdo con la presente realización tiene un acero base 11. La forma del acero base no está particularmente limitada, y un ejemplo del acero base es una lámina de acero. Además, el acero base puede ser, por ejemplo, un acero base formado tal como un tubo de acero, un material de construcción y de ingeniería civil (una valla, un tubo corrugado, una cubierta de drenaje, una placa de prevención de arena volante, un perno, un malla de alambre, una barandilla, una pared divisoria o similar), un miembro de un electrodoméstico (una carcasa de una unidad exterior para acondicionadores de aire o similar), o un componente de vehículo (un miembro de suspensión o similar). La conformación es, por ejemplo, una diversidad de métodos de procesamiento de deformación como el prensado, el conformado por laminación y el doblado.

El material del acero base no está particularmente limitado. Como el acero base, es posible utilizar una diversidad de aceros base, por ejemplo, acero general, acero pre-chapado, acero calmado con Al, acero con contenido de carbono ultrabajo, acero con alto contenido de carbono, una diversidad de aceros de alta resistencia a la tracción y algunos aceros de alta aleación (aceros que contienen un elemento de refuerzo tal como Ni o Cr y similares). Como el acero base, se puede utilizar una lámina de acero laminada en caliente, una tira de acero laminada en caliente, una lámina de acero laminada en frío, una tira de acero laminada en frío o similares descritos en JIS G 3302:2010. Tampoco están particularmente limitados un método para fabricar la lámina de acero base (un método de laminación en caliente, un método de decapado, un método de laminación en frío o similares), condiciones de fabricación específicas del mismo y similares.

El acero base puede ser un acero pre-chapado que haya sido previamente chapado. El acero pre-chapado se puede obtener, por ejemplo, mediante un tratamiento electrolítico o un chapado por desplazamiento. El tratamiento electrolítico se lleva a cabo sumergiendo el acero base en un baño de ácido sulfúrico o un baño de cloruro que contiene los iones metálicos de una diversidad de composiciones de pre-chapado y llevando a cabo el tratamiento electrolítico. El chapado por desplazamiento se lleva a cabo sumergiendo el acero base en una solución acuosa que contiene iones metálicos de una diversidad de composiciones de pre-chapado y que tiene un pH ajustado con ácido sulfúrico para provocar la precipitación por desplazamiento de los metales. Un ejemplo de acero pre-chapado es un acero pre-chapado con Ni.

El acero chapado por inmersión en caliente 1 de acuerdo con la presente realización tiene una capa de recubrimiento por inmersión en caliente 12 dispuesta sobre la superficie del acero base. La capa de recubrimiento por inmersión en caliente del acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización está compuesta principalmente de una capa de aleación de Zn-Al-Mg debido a una composición química que se describirá más adelante. Además, la capa de recubrimiento por inmersión en caliente del acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización puede incluir una capa de aleación de Al-Fe entre el acero base y la capa de aleación de Zn-Al-Mg. Es decir, la capa de recubrimiento por inmersión en caliente puede tener una estructura de capa única de la capa de aleación de Zn-Al-Mg o puede tener una estructura laminada que incluye la capa de aleación de Zn-Al-Mg y la capa de aleación de Al-Fe.

La composición química de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización está compuesta de Zn y otros elementos de la aleación. La composición química de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente se describirá en detalle a continuación. Un elemento para el cual se describe que el límite inferior de la concentración es 0 % es un elemento arbitrario que no es esencial para resolver el problema del acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización, pero está contenido en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente con el propósito de mejorar las propiedades o similares.

<Al: 10,00 % a 30,00 %>

El Al forma una fase α que es una solución sólida con Zn y contribuye a la mejora en la resistencia a la corrosión de la porción plana, resistencia a la protección de sacrificio, resistencia a la corrosión bajo agua corriente, y capacidad de trabajo. Por lo tanto, la concentración de Al se establece en 10,00 % o más. La concentración de Al se puede establecer en 11,00 % o más, 12,00 % o más o 15,00 % o más.

Por otro lado, en un caso en el que existe un exceso de Al, α cristaliza delante de MgZn₂. Además, α crece sin satisfacer una relación de orientación de cristal con una fase de MgZn₂. Como resultado, no se forma una cantidad suficiente de una estructura que satisface la relación de orientación de cristal de α /MgZn₂ y, de este modo, se deteriora la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de Al se establece en 30,00 % o menos.

10 La concentración de Al se puede establecer en 28,00 % o menos, 25,00 % o menos o 20,00 % o menos.

<Mg: 3,00 % a 12,00 %>

Mg es un elemento esencial para asegurar la resistencia a la corrosión de la porción plana, resistencia a la protección de sacrificio y resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de Mg se establece en 3,00 % o más. La concentración de Mg se puede establecer en 4,00 % o más, 5,00 % o más o 6,00 % o más.

15 Por otro lado, cuando la concentración de Mg es excesiva, la capacidad de trabajo, en particular, la propiedad de formación de polvo, se deteriora. Por lo tanto, la concentración de Mg se establece en 12,00 % o menos. La concentración de Mg se puede establecer en 11,00 % o menos, 10,00 % o menos, 8,00 % o menos, menos de 8,00 % o 6,00 % o menos.

<Sn: 0 % a 2,00 %>

20 La concentración de Sn puede ser 0 %. Por otro lado, Sn es un elemento que forma un compuesto intermetálico con Mg y mejora la resistencia a la protección de sacrificio de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. Por lo tanto, la concentración de Sn se puede establecer en 0,05 % o más, 0,10 % o más, 0,20 % o más o 0,50 % o más.

25 Sin embargo, cuando la concentración de Sn es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de Sn se establece en 2,00 % o menos. La concentración de Sn se puede establecer en 1,80 % o menos, 1,50 % o menos o 1,20 % o menos.

<Si: 0 % a 2,50 %>

La concentración Si puede ser 0 %. Incidentalmente, Si contribuye a la mejora en la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de Si se puede establecer en 0,05 % o más, 0,10 % o más, 0,20 % o más o 0,50 % o más.

30 Por otro lado, cuando la concentración de Si es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana, la resistencia a la protección de sacrificio y la capacidad de trabajo. Por lo tanto, la concentración de Si se establece en 2,50 % o menos. La concentración de Si se puede establecer en 2,40 % o menos, 1,80 % o menos o 1,20 % o menos.

<Ca: 0 % a 3,00 %>

35 La concentración de Ca puede ser 0 %. Incidentalmente, Ca es un elemento capaz de ajustar la cantidad óptima de Mg eluido para impartir resistencia a la corrosión de la porción plana y resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de Ca puede ser 0,05 % o más, 0,1 % o más o 0,5 % o más.

40 Por otro lado, cuando la concentración de Ca es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana, la resistencia a la corrosión bajo agua corriente y la capacidad de trabajo. Por lo tanto, la concentración de Ca se establece en 3,00 % o menos. La concentración de Ca se puede establecer en 2,40 % o menos, 1,80 % o menos o 1,20 % o menos.

<Ni, Cr, Ti, Co, V, Nb, Cu, y Mn: 0 % o más y menos de 0,25 % cada uno>

La concentración de cada uno de Ni, Cr, Ti, Co, V, Nb, Cu y Mn puede ser 0 %. Incidentalmente, estos contribuyen a la mejora en la resistencia a la protección de sacrificio. Por lo tanto, la concentración de cada uno de Ni, Cr, Ti, Co, V, Nb, Cu y Mn se puede establecer en 0,05 % o más, 0,08 % o más o 0,1 % o más.

45 Por otro lado, cuando la concentración de cada uno de Ni, Cr, Ti, Co, V, Nb, Cu y Mn es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de cada uno de Ni, Cr, Ti, Co, V, Nb, Cu, y Mn se establece en menos de 0,25 %. La concentración de cada uno de Ni, Cr, Ti, Co, V, Nb, Cu y Mn se puede establecer en 0,22 % o menos, 0,20 % o menos o 0,15 % o menos.

<Bi: 0 % o más y menos de 5,000 %>

50 La concentración de Bi puede ser 0 %. Incidentalmente, Bi contribuye a la mejora en la resistencia a la protección de

sacrificio. Por lo tanto, la concentración de Bi se puede establecer en 0,100 % o más, 1,000 % o más o 3,000 % o más.

Por otro lado, cuando la concentración de Bi es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de Bi se establece en menos de 5,000 %. La concentración de Bi se puede establecer en 4,800 % o menos, 4,500 % o menos o 4,000 % o menos.

5 <In: 0 % o más y menos de 2,00 %>

La concentración de In puede ser 0 %. Incidentalmente, In contribuye a la mejora en la resistencia a la protección de sacrificio. Por lo tanto, la concentración de In puede ser 0,10 % o más, 0,50 % o más o 1,00 % o más.

Por otro lado, cuando la concentración de In es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de In se establece en menos de 2,00 %.

10 La concentración de In se puede establecer en 1,80 % o menos, 1,50 % o menos o 1,00 % o menos.

<Y: 0 % a 0,50 %>

La concentración de Y puede ser 0%. Incidentalmente, Y contribuye a la mejora en la resistencia a la protección de sacrificio. Por lo tanto, la concentración de Y puede ser 0,10 % o más, 0,15 % o más o 0,20 % o más.

Por otro lado, cuando la concentración de Y es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de Y se establece en 0,50 % o menos.

15 La concentración de Y puede ser 0,30 % o menos, 0,25 % o menos o 0,22 % o menos.

<La y Ce: 0 % o más y menos de 0,50 % cada uno>

La concentración de cada uno de La y Ce puede ser 0 %. Incidentalmente, La y Ce contribuyen a la mejora en la resistencia a la protección de sacrificio. Por lo tanto, la concentración de La y la concentración de Ce se puede establecer cada una en 0,10 % o más, 0,15 % o más o 0,20 % o más.

Por otro lado, cuando la concentración de La y la concentración de Ce son excesivas, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de La y la concentración de Ce se establece cada una en menos de 0,50 %. La concentración de La y la concentración de Ce se puede establecer cada una en 0,40 % o menos, 0,30 % o menos o 0,25 % o menos.

25 <Fe: 0 % a 5,00 %>

La concentración de Fe puede ser 0 %. Por otro lado, Fe puede estar contenido en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. Se ha confirmado que, cuando la concentración de Fe es 5,00 % o menos, no existe influencia adversa en el desempeño de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. La concentración de Fe se puede establecer, por ejemplo, en 0,05 % o más, 0,10 % o más, 0,50 % o más o 1,00 % o más. La concentración de Fe se

30 puede establecer, por ejemplo, en 4,00 % o menos, 3,50 % o menos o 3,00 % o menos. Puesto que no existen casos en los que el Fe se incorpore a partir de una lámina de acero base, la concentración de Fe puede ser 0,05 % o más.

<Sr, Sb, Pb, y B: 0 % o más y menos de 0,50 % cada uno>

La concentración de cada uno de Sr, Sb, Pb y B puede ser 0 %. Incidentalmente, Sr, Sb, Pb y B contribuyen a la mejora en la resistencia a la protección de sacrificio. Por lo tanto, la concentración de cada uno de Sr, Sb, Pb y B se puede establecer en 0,05 % o más, 0,10 % o más o 0,15 % o más.

Por otro lado, cuando la concentración de cada uno de Sr, Sb, Pb, y B es excesiva, se deterioran la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la concentración de cada uno de Sr, Sb, Pb y B se establece en menos de 0,50 %. La concentración de cada uno de Sr, Sb, Pb y B se puede establecer en 0,40 % o menos, 0,30 % o menos o 0,25 % o menos.

40 <Resto: Zn e impurezas>

El resto de la composición de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización es Zn e impurezas. Zn es un elemento que proporciona resistencia a la corrosión de la porción plana y resistencia a la protección de sacrificio a la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. Las impurezas se refieren a componentes que están contenidos en materias primas o componentes que se incorporan en las etapas de fabricación

45 y componentes que no están intencionadamente contenidos. Por ejemplo, en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente existen casos en los que una pequeña cantidad de componentes distintos del Fe se incorporan como impurezas debido a una difusión atómica mutua entre el acero base y un baño de recubrimiento.

La composición química de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente se mide por el siguiente método. Primero, se obtiene una solución ácida mediante exfoliación y disolución de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente utilizando un ácido que contiene un inhibidor que suprime la corrosión del acero base. A continuación, la solución ácida obtenida es analizada con ICP. Esto hace posible obtener la composición química de la capa de

recubrimiento por inmersión en caliente. Las especies de ácido no están particularmente limitadas en la medida en que las especies de ácido sean un ácido capaz de disolver la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. La composición química que se mide por el método descrito anteriormente es la composición química promedio de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente completa.

- 5 A continuación, se describirá la estructura metalográfica de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente.

<Fase α >

La estructura metalográfica de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente 12 contiene 5 a 45 % de área de una fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm . Esta relación de área es la relación de área de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm a todas las fases que configuran la capa de recubrimiento por inmersión en caliente 12.

10 La fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm mejora la resistencia a la corrosión de la porción plana y la resistencia a la formación de polvo de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. Sin embargo, en un caso en el que la cantidad de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm es menor que 5 % de área, estos efectos no se pueden obtener. Por lo tanto, la cantidad de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se establece en 5 % de área o más. La cantidad de fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se puede establecer en 6 % de área o más, 8 % de área o más o 10 % de área o más.

15 Por otro lado, en un caso en el que la cantidad de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm es más de 45 % de área, la cantidad de la fase α llega a ser excesiva con respecto a la fase de MgZn₂. Por lo tanto, la fase α crece en un estado de no ser adyacente a la fase de MgZn₂, como resultado llega a ser difícil formar una relación de orientación de cristal en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂, y se deteriora la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por lo tanto, la cantidad de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se establece en 45 % de área o menos. La cantidad de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se puede establecer en 42 % de área o menos, 40 % de área o menos o 35 % de área o menos.

20 Las relaciones de área de una fase α que tiene un diámetro de grano de menos de 0,5 μm y la relación de área de una fase α que tiene un diámetro de grano de más de 2 μm no están particularmente limitadas en la medida en que la relación de área de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm está dentro del intervalo descrito anteriormente. En el momento de evaluar la estructura de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente, se ignoran las relaciones de área de la fase α que tiene un diámetro de grano de menos de 0,5 μm y la fase α que tiene un diámetro de grano de más de 2 μm .

25 30 <Fase de MgZn₂>

35 La fase de MgZn₂ mejora la resistencia a la corrosión de la porción plana, resistencia a la corrosión bajo agua corriente, y resistencia a la formación de polvo de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente 12. Sin embargo, en un caso en el que la cantidad de la fase de MgZn₂ es menor que 15 % de área, estos efectos no se pueden obtener. Por lo tanto, la cantidad de la fase de MgZn₂ se establece en 15 % de área o más. La cantidad de la fase de MgZn₂ se puede establecer en 18 % de área o más, 20 % de área o más o 25 % de área o más.

40 Por otro lado, en un caso en el que la cantidad de la fase de MgZn₂ es más de 70 % de área, se deteriora la resistencia al polvo del acero chapado por inmersión en caliente. Esto es debido a que la fase de MgZn₂ es frágil. Por lo tanto, la cantidad de la fase de MgZn₂ se establece en 70 % de área o menos. La cantidad de la fase de MgZn₂ se puede establecer en 65 % de área o menos, 60 % de área o menos o 50 % de área o menos.

45 50 La capa de recubrimiento por inmersión en caliente 12 puede contener fases distintas de la fase α y la fase de MgZn₂. Por ejemplo, en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente que tiene la composición química descrita anteriormente, pueden estar contenidas una fase de Mg₂Sn, una estructura eutéctica ternaria de $\alpha/\eta/\text{MgZn}_2$, una fase de $\eta\text{-Zn}$, una fase de Al-Ca-Si, y similares. En la medida en que los contenidos de la fase α y la fase de MgZn₂ están dentro de los intervalos descritos anteriormente, es posible asegurar la resistencia a la corrosión bajo agua corriente y la resistencia a la formación de polvo y, de este modo, la configuración de fases distintas de la fase α y la fase de MgZn₂ no está particularmente limitada.

55 <Interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂>

50 El potencial natural de la fase α es superior al potencial natural de la fase de MgZn₂. Por lo tanto, en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ ocurre la corrosión galvánica. Esto llega a ser particularmente significativo en un caso en el que la cantidad de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm es 5 % de área o más. Esto es debido a que la longitud de la interfaz de la fase α que está expuesta a un entorno de agua corriente aumenta cuando aumenta la cantidad de una fase α fina que tiene un diámetro de grano de 2 μm o menos. Con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión bajo agua corriente del acero chapado por inmersión en caliente, es necesario aumentar la resistencia a la corrosión en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂.

55 Por las razones anteriores, en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente del acero chapado por inmersión en

caliente de acuerdo con la presente realización, entre las fases α que tienen un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm , la relación de área de una fase α que tiene una relación de orientación $(111)_{\alpha}/(0001)_{\text{MgZn}_2}$ a la fase MgZn_2 adyacente se establece en 25 % a 100 %. En otras palabras, en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente del acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización, se satisface la siguiente fórmula.

$$5 \quad 0,25 \leq A_2/A_1 \leq 1,00$$

A1: El área de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm , el cual se mide en una sección transversal de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente

10 A2: El área de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm , el cual se mide en la sección transversal de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente, y que tiene la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{\text{MgZn}_2}$ con la fase MgZn_2 adyacente.

Aquí, "la fase α que tiene la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{\text{MgZn}_2}$ con la fase MgZn_2 adyacente" se refiere a una fase α que es adyacente a la fase de MgZn_2 y en la cual un plano (111) de la fase α y un plano (0001) de la fase MgZn_2 adyacente son paralelos entre sí.

15 En un caso en el que existe la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{\text{MgZn}_2}$ entre la fase α y la fase de MgZn_2 adyacente a ésta, la interfaz entre estas fases es químicamente estable y tiene una alta resistencia a la corrosión. Por lo tanto, cuando aumenta la cantidad de la fase α que tiene la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{\text{MgZn}_2}$, es posible suprimir la corrosión en la interfaz de la fase y potenciar la resistencia a la corrosión bajo agua corriente. Por la razón anterior, A2/A1 se establece en 0,25 o más. A2/A1 se puede establecer en 0,35 o más, 0,50 o más o 0,60 o más. Puesto que A2/A1 es preferiblemente lo más alta posible, A2/A1 puede ser 1,00. Por otro lado, A2/A1 también puede ser 0,95 o menos, 0,90 o menos o 0,85 o menos.

20 Un método para medir la relación de área de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm es como se describe a continuación. La superficie de la capa de recubrimiento de una muestra cortada a 30 mm \times 30 mm se ajusta para ser plana por pulido mecánico. A continuación, la superficie de la capa de recubrimiento es químicamente pulida mediante pulido coloidal y se pule hasta que la superficie cae en un estado de superficie en espejo. La superficie de la capa de recubrimiento después del pulido se observa con un microscopio electrónico de barrido (SEM). Específicamente, se captura una imagen de distribución de elementos utilizando SEM-EDS a un aumento de 5000 veces. En esta imagen de distribución de elementos, las fases en las que Al y Zn coexisten se especifican como las fases α . Después de que las fases α se especifican, una fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se selecciona a partir de las fases α que están contenidas en el campo visual. Después de eso, la relación de área de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se calcula mediante binarización por lo cual se utiliza el software de análisis de imagen. Con respecto a una fase α que tiene una forma granular, el diámetro de grano de la fase α se refiere al diámetro del círculo equivalente. Además, con respecto a una fase α que crece dendríticamente, el diámetro de grano de la fase α se refiere al eje menor de una dendrita. El eje menor de la dendrita es el valor máximo de las anchuras de la dendrita que son medidas en una dirección ortogonal a la dirección del eje principal de la dendrita como se muestra en la Figura 2.

25 Un método para medir la relación de área de la fase de MgZn_2 es como se describe más adelante. La superficie de la capa de recubrimiento de una muestra cortada a 30 mm \times 30 mm se ajusta para ser plana mediante pulido mecánico. A continuación, la superficie de la capa de recubrimiento se pule químicamente mediante pulido coloidal y se pule hasta que esta superficie caiga en un estado de superficie en espejo. La superficie de la capa de recubrimiento después del pulido se observa con un microscopio electrónico de barrido (SEM). Específicamente, se captura una imagen de distribución de elemento utilizando SEM-EDS en un aumento de 5000 veces. En esta imagen de distribución de elementos, las fases en las que Mg y Zn coexisten están especificadas como las fases de MgZn_2 . Después de que se especifican las fases de MgZn_2 , la relación de área de las fases de MgZn_2 que están contenidas en el campo visual se calculan mediante binarización por lo cual se utiliza el software de análisis de imágenes.

30 35 40 45 Un método para medir la relación de área de la fase α que tiene la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{\text{MgZn}_2}$ a la fase MgZn_2 adyacente entre las fases α que tienen un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm es como se describe a continuación.

50 Primero, la superficie de la capa de recubrimiento es pulida de forma especular y es pulida químicamente según sea necesario. A continuación, la superficie pulida se observa con un SEM en un aumento de 5000 veces. Además, se seleccionan cinco campos visuales en los que la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se pueden reconocer visualmente en una relación de área de 5 % o más. El análisis de la orientación del cristal se lleva a cabo utilizando EBSD en estos campos visuales. Además, se obtienen una figura del polo (111) de la fase α y una figura del polo (0001) de la fase de MgZn_2 . Estas figuras del polo se comparan y se selecciona una orientación del cristal en la que coinciden las orientaciones de la fase α y la fase de MgZn_2 .

55 Una orientación del cristal en la que coinciden las figuras polares de orientación del cristal se puede especificar por el procedimiento anterior. Una fase α que tiene una orientación del cristal dentro de $\pm 10^\circ$ a partir de esta orientación del cristal en el sistema de medición se muestra en un mapa de IPF. La imagen de este mapa de IPF es binarizada y analizada por imágenes, con lo que es posible calcular la relación de área de la fase α que tiene una orientación del

cristal dentro de $\pm 10^\circ$ de la orientación del cristal en la que coinciden las orientaciones de la fase α y la fase de MgZn₂ y que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm a la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm en los campos visuales observados.

- 5 Las otras constituciones de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente no están particularmente limitadas en la medida en que la relación de área de la fase α , la relación de área de la fase de MgZn₂ y el estado de interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ están dentro de los intervalos descritos anteriormente. La configuración de un acero chapado por inmersión en caliente normal puede ser apropiadamente adoptada por la capa de recubrimiento por inmersión en caliente del acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización. Un ejemplo de una configuración preferible de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente es como se describe más adelante.
- 10 La cantidad de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente unida por superficie se establece preferiblemente, por ejemplo, dentro de un intervalo de 20 a 150 g/m². Cuando la cantidad de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente unida por superficie se establece en 20 g/m² o más, es posible potenciar adicionalmente la resistencia a la corrosión bajo agua corriente del acero chapado por inmersión en caliente. Por otro lado, cuando la cantidad de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente unida por superficie se establece en 150 g/m² o menos, es posible potenciar adicionalmente la capacidad de trabajo del acero chapado por inmersión en caliente.
- 15

Un método para fabricar un acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización no está particularmente limitado. Por ejemplo, de acuerdo con las condiciones de fabricación que se describirán a continuación, se puede obtener el acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización.

El método para fabricar un acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la presente realización incluye

- 20 una etapa de sumergir un acero base en un baño de recubrimiento por inmersión en caliente y luego levantar el acero base para unir una capa de recubrimiento por inmersión en caliente a la superficie del acero base y
una etapa de enfriar la capa de recubrimiento por inmersión en caliente, y
el enfriamiento incluye, como se muestra en la FIG. 3,
- 25 primer enfriamiento para enfriar rápidamente la capa de recubrimiento por inmersión en caliente inmediatamente después de ser levantado del baño de recubrimiento por inmersión en caliente a una temperatura de parada del enfriamiento rápido de 360 °C o superior y 520 °C o inferior a una velocidad de enfriamiento de una velocidad de enfriamiento promedio de 15 °C/s o más rápida,
- segundo enfriamiento para enfriar lentamente la capa de recubrimiento por inmersión en caliente de la temperatura de parada del enfriamiento rápido a 335 °C a una velocidad de enfriamiento de 5 °C/s o más lenta, y
- 30 tercer enfriamiento para enfriar rápidamente la capa de recubrimiento por inmersión en caliente de 335 °C a 70 °C a una velocidad de enfriamiento de 70 °C/s o más rápida.

Primero, un acero base se sumergió en un baño de recubrimiento por inmersión en caliente. La composición química del baño de recubrimiento por inmersión en caliente puede ser apropiadamente ajustada de manera que se puede obtener la composición química descrita anteriormente de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. Además, la temperatura del baño de recubrimiento por inmersión en caliente tampoco está particularmente limitada, y se puede seleccionar apropiadamente una temperatura en la cual se puede llevar a cabo el chapado por inmersión en caliente. Por ejemplo, la temperatura del baño de recubrimiento se puede establecer en un valor superior al punto de fusión del baño de recubrimiento en aproximadamente 20 °C o más.

- 40 A continuación, el acero base se levanta del baño de recubrimiento por inmersión en caliente. La cantidad de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente unida puede ser controlada controlando la velocidad de elevación del acero base. La cantidad de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente unida también puede ser controlada llevando a cabo la limpieza del acero base al cual la capa de recubrimiento por inmersión en caliente se ha unido según sea necesario. La cantidad de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente unida no está particularmente limitada y se puede ajustar, por ejemplo, dentro del intervalo descrito anteriormente.
- 45 Además, se enfriá la capa de recubrimiento por inmersión en caliente. El enfriamiento está compuesto de primer enfriamiento, segundo enfriamiento y tercer enfriamiento.

En el primer enfriamiento, el metal fundido (capa de recubrimiento por inmersión en caliente) unido a la superficie del acero base se enfria rápidamente. Específicamente, el metal fundido se enfria de una manera acelerada a una temperatura de parada del enfriamiento rápido (temperatura controlada de parada del enfriamiento) dentro de un intervalo de temperaturas de 360 °C o superior y 520 °C o inferior por medios de enfriamiento acelerado tales como pulverización de un medio de enfriamiento. La temperatura de parada del enfriamiento rápido es la temperatura de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente cuando se detiene el enfriamiento acelerado. La velocidad de enfriamiento promedio en el primer enfriamiento se establece en 15 °C/s o más rápida. La velocidad de enfriamiento promedio en el primer enfriamiento es un valor obtenido dividiendo la diferencia entre la temperatura del baño de

recubrimiento y la temperatura de parada del enfriamiento rápido por el tiempo transcurrido desde cuando el acero base se levanta del baño de recubrimiento a cuando se detiene el enfriamiento acelerado.

En el segundo enfriamiento, la capa de recubrimiento por inmersión en caliente se enfria lentamente. Específicamente, la velocidad de enfriamiento promedio en un intervalo de temperaturas a partir de la temperatura de parada del enfriamiento rápido descrita anteriormente a 335 °C se establece en 5 °C/s o inferior. La velocidad de enfriamiento promedio en el intervalo de temperaturas de la temperatura de parada del enfriamiento rápido a 335 °C es un valor obtenido dividiendo la diferencia entre la temperatura de parada del enfriamiento rápido y 335 °C por un tiempo requerido por la temperatura de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente para que caiga la temperatura de parada del enfriamiento rápido a 335 °C. La velocidad de enfriamiento descrita anteriormente se puede lograr, por ejemplo, dejando la capa de recubrimiento por inmersión en caliente en la atmósfera después que se detiene el enfriamiento acelerado. Sin embargo, en un caso en el que la temperatura del aire de un entorno de fabricación es extremadamente baja, se puede requerir un tratamiento de calor para reducir la velocidad de caída de temperatura de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente.

En el tercer enfriamiento, la capa de recubrimiento por inmersión en caliente es enfriada rápidamente de nuevo. Específicamente, la velocidad de enfriamiento promedio en un intervalo de temperaturas de 335 °C a 70 °C se establece en 70 °C/s o más rápida. La velocidad de enfriamiento promedio en el intervalo de temperaturas de 335 °C a 70 °C es un valor obtenido dividiendo la diferencia entre 335 °C y 70 °C (265 °C) por un tiempo requerido para que la temperatura de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente caiga de 335 °C a 70 °C. La velocidad de enfriamiento descrita anteriormente se puede lograr, por ejemplo, enfriando el acero chapado por inmersión en caliente con agua cuando la temperatura de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente se reduce a casi 335 °C.

Cuando la capa de recubrimiento por inmersión en caliente se enfria para así satisfacer las condiciones descritas anteriormente, es posible formar una capa de recubrimiento por inmersión en caliente en la que la cantidad de la fase α que tiene la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{MgZn_2}$ es 25 % de área o más. Los presentes inventores presumen que la razón de ello es como se describe a continuación.

En el primer enfriamiento, el metal fundido se enfria rápidamente. Esto hace que tanto la fase α como la fase de MgZn₂ cristalicen del metal fundido.

Posteriormente, en el segundo enfriamiento, la capa de recubrimiento por inmersión en caliente en la cual tanto la fase α como la fase de MgZn₂ se ha cristalizado se enfria lentamente. Esto hace posible que los cristales crezcan en un estado en el que la fase α y la fase de MgZn₂ están en contacto entre sí. Como resultado, es posible alinear la orientación del cristal en la interfaz entre la fase α y la fase de MgZn₂ y completar la solidificación del metal fundido en un estado en el que se ha establecido la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{MgZn_2}$.

En el tercer enfriamiento, la capa de recubrimiento por inmersión en caliente que contiene una gran cantidad de la fase α en que la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{MgZn_2}$ se ha establecido es enfriada rápidamente de nuevo. Esto hace posible suprimir la transformación de fase sólida en la cual una fase η se precipita de la fase α y preserva la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{MgZn_2}$.

[Ejemplos]

El efecto de un aspecto de la presente invención se describirá más específicamente utilizando ejemplos. Aquí, las condiciones en los ejemplos son simplemente ejemplos de condiciones adoptadas para confirmar la viabilidad y el efecto de la presente invención. La presente invención no se limita a estos ejemplos de condiciones. La presente invención es capaz de adoptar una diversidad de condiciones dentro del alcance de la esencia de la presente invención siempre que se logre el objetivo de la presente invención.

Los aceros base se sumergieron en una diversidad de baños de recubrimiento por inmersión en caliente y se levantaron para unir capas de recubrimiento por inmersión en caliente a las superficies de los aceros base, y luego las capas de recubrimiento por inmersión en caliente se enfriaron bajo una diversidad de condiciones, fabricando así una diversidad de aceros chapados en caliente. Las composiciones químicas de las capas de recubrimiento por inmersión en caliente fueron las que se muestran en la Tabla 1A y la Tabla 1B. En el caso en el que el contenido de Fe de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fuera inferior a 0,05 %, se muestra un símbolo "-" en la Tabla 1A y la Tabla 1B. Las condiciones de fabricación se establecieron como se muestra en la Tabla 2A y la Tabla 2B. Además, se evaluaron las estructuras metalográficas de las capas de recubrimiento y los resultados se muestran en la Tabla 3A y la Tabla 3B. Además, se evaluaron la resistencia a la formación de polvo y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente de los aceros chapados en caliente y los resultados se muestran en la Tabla 4A y la Tabla 4B.

Las composiciones químicas de las capas de recubrimiento por inmersión en caliente y las estructuras metalográficas de las capas de recubrimiento por inmersión en caliente se evaluaron por los medios descritos anteriormente. Algunos de los aceros base se pre-chaparon con Ni antes de ser galvanizados por inmersión en caliente. La composición de la pre-chapa de Ni se incluye en las composiciones químicas de las capas de recubrimiento por inmersión en caliente descritas en la Tabla 1 y la Tabla 1B.

La resistencia a la formación de polvo se evaluó mediante los siguientes medios. El acero chapado por inmersión en

- caliente se dobló en V a 90° utilizando una matriz que tiene un radio de curvatura de 5 mm, y se presionó una cinta de celofán de 24 mm de ancho y se despegó de una porción de valle dobrada en V. Además, se evaluó visualmente la presencia o ausencia de formación de polvo. Un acero chapado en caliente para el cual no se adjuntó un polvo de exfoliación con formación de polvo a la cinta se evaluó como "AA", un acero chapado en caliente para el cual un polvo de exfoliación con formación de polvo estaba ligeramente adherido se evaluó como "A", y un acero chapado por inmersión al que se le añadió un polvo de exfoliación con formación de polvo se evaluó como "B". Los aceros chapados en caliente con un resultado de evaluación de A o AA se consideraron aceros que tienen una excelente resistencia a la formación de polvo.
- La resistencia a la corrosión bajo agua corriente se evaluó mediante los siguientes medios. Se produjo una probeta con una forma con dimensiones de 200 mm x 100 mm x 0,8 mm cortando el acero chapado en caliente. Se pegó una cinta en tramos de 5 mm de ancho desde la superficie extrema cortada sobre una superficie opuesta a una superficie de evaluación y sobre la superficie de evaluación para evitar el contacto con soluciones corrosivas. Además, la probeta se colocó sobre una mesa con un ángulo de inclinación de 60° con respecto al plano horizontal. Además, se repitieron alternativamente una etapa de exposición de la probeta a agua corriente y una etapa de secado de la probeta. En la etapa de exponer la probeta a agua corriente, se hizo fluir una solución de NaCl al 0,5 % a un caudal de 100 ml/min durante 6 horas. En la etapa de secado, la probeta se dejó reposar durante 18 horas. En ambas etapas, el entorno de ensayo se configuró en la atmósfera y la temperatura se mantuvo a 25 °C. Después de que habían pasado 336 horas, se midió la pérdida de peso por corrosión por unidad de área de la capa de recubrimiento. Una probeta para la cual la pérdida de peso por corrosión fue de 30 g/m² o menos se evaluó como "AA", una probeta para la cual la pérdida de peso por corrosión fue de 60 g/m² o menos se evaluó como "A" y una probeta para la cual la pérdida de peso por corrosión fue superior a 60 g/m² se evaluó como "B". Los aceros chapados en caliente con un resultado de evaluación de A o AA se consideraron aceros con una excelente resistencia a la corrosión bajo agua corriente. De acuerdo con el método de evaluación descrito anteriormente, es posible determinar que los aceros chapados en caliente que tienen una alta resistencia a la corrosión bajo agua corriente también tienen una alta resistencia a la corrosión de la porción plana.

25 [Tabla 1A]

Clasificación	Nº	Componentes de capa de recubrimiento (% en masa)								
		Zn	Al	Mg	Sn	Si	Ca	Ni	Fe	Otros elementos
										Tipo Total (%)
Ejemplo	a1	Resto	10,00	3,00	0,08	0,05	0,10	0,21	0,10	- 0
Ejemplo	a2	Resto	11,01	3,04	0,08	0,20	0,00	0,19	0,05	Co: 0,01 0,01
Ejemplo	a3	Resto	10,04	5,05	0,08	0,20	0,21	0,10	0,10	Bi: 0,005 0,005
Ejemplo	a4	Resto	12,09	4,96	0,00	0,20	0,00	0,00	-	- 0
Ejemplo	a5	Resto	14,05	6,00	0,08	0,19	0,18	0,19	0,08	Sb: 0,08 0,08
Ejemplo	a6	Resto	16,02	6,09	2,00	0,00	0,00	0,20	0,10	Sr: 0,05 0,05
Ejemplo	a7	Resto	18,99	5,99	0,01	0,22	0,20	0,10	0,10	- 0
Ejemplo	a8	Resto	19,11	6,07	0,05	0,18	0,19	0,22	0,10	Pb: 0,02, In: 0,01 0,03
Ejemplo	a9	Resto	19,24	7,51	0,00	0,17	0,20	0,23	0,15	- 0
Ejemplo	a10	Resto	19,06	11,01	0,15	0,20	3,00	0,10	0,16	V: 0,01 0,01
Ejemplo	a11	Resto	20,01	5,08	0,05	0,22	0,28	0,21	0,10	B: 0,004 0
Ejemplo	a12	Resto	20,11	3,13	0,10	0,80	0,30	0,00	1,30	Nb: 0,02 0
Ejemplo	a13	Resto	20,18	7,70	0,10	0,21	0,31	0,18	0,10	La: 0,01, Ce: 0,01 0,02
Ejemplo	a14	Resto	22,43	8,01	0,10	0,22	0,30	0,20	0,10	Ti: 0,01 0,01
Ejemplo	a15	Resto	24,28	5,42	0,10	0,60	0,33	0,00	0,90	Cu: 0,2 0,2
Ejemplo	a16	Resto	28,87	8,05	0,10	1,29	0,36	0,16	1,41	Y: 0,02 0,02
Ejemplo	a17	Resto	30,00	10,00	0,10	2,50	0,30	0,20	1,30	Cr: 0,05 0,05

ES 2 991 302 T3

[Tabla 1B]

Clasificación	Nº	Componentes de capa de recubrimiento (% en masa)									
		Zn	Al	Mg	Sn	Si	Ca	Ni	Fe	Otros elementos	
										Tipo	Total (%)
Ejemplo Comparativo	b1	Resto	<u>5,05</u>	3,02	1,00	0,11	0,00	0,00	0,22	-	0
Ejemplo Comparativo	b2	Resto	15,05	<u>2,09</u>	0,70	0,15	0,00	0,00	0,30	-	0
Ejemplo Comparativo	b3	Resto	18,88	<u>15,03</u>	0,10	0,09	0,00	0,11	0,12	-	0
Ejemplo Comparativo	b4	Resto	19,04	8,06	0,10	<u>3,00</u>	0,00	0,24	0,10	-	0
Ejemplo Comparativo	b5	Resto	<u>32,40</u>	8,01	1,00	0,18	0,00	0,00	<u>8,00</u>	-	0
Ejemplo Comparativo	b6	Resto	19,04	8,14	1,00	0,00	<u>3,50</u>	0,22	0,08	-	0
Ejemplo Comparativo	b7	Resto	19,04	4,22	1,00	0,21	0,18	0,00	0,22	-	0
Ejemplo Comparativo	b8	Resto	19,55	4,00	1,00	0,24	0,21	0,19	0,10	-	0
Ejemplo Comparativo	b9	Resto	20,10	3,07	0,05	0,20	0,34	0,14	0,08	-	0
Ejemplo Comparativo	b10	Resto	15,24	8,09	<u>2,50</u>	0,21	0,30	0,22	0,13	-	0
Ejemplo Comparativo	b11	Resto	29,42	<u>2,96</u>	0,05	0,20	0,32	0,00	0,92	-	0
Ejemplo Comparativo	b12	Resto	22,49	6,05	0,05	0,24	0,30	0,16	1,61	-	0

Las partes subrayadas indican que los valores correspondientes están fuera del alcance de la presente invención.

[Tabla 2A]

Nº	Temperatura del baño de recubrimiento	Condiciones de enfriamiento				Cantidad unida a la superficie única	
		Velocidad de enfriamiento promedio de la temperatura del baño a la temperatura controlada de parada del enfriamiento	Temperatura controlada de parada del enfriamiento	Velocidad de enfriamiento promedio de temperatura controlada de parada del enfriamiento a 335 °C	Velocidad de enfriamiento a 335 °C o inferior		
a1	410	15	360	5	70	116	
a2	450	15	380	5	70	141	
a3	500	15	410	5	70	101	
a4	470	15	420	5	70	80	
a5	470	15	410	5	70	55	
a6	470	15	410	5	70	88	
a7	480	15	420	5	70	76	
a8	480	15	420	5	100	92	
a9	480	15	420	5	70	66	
a10	480	15	420	5	70	65	
a11	500	15	395	5	70	66	
a12	540	25	440	2	70	59	
a13	510	15	450	5	70	95	

ES 2 991 302 T3

a14	510	15	450	5	90	46
a15	515	15	420	1	70	20
a16	510	15	455	5	70	69
a17	510	15	460	5	70	76

[Tabla 2B]

Nº	Temperatura del baño de recubrimiento	Condiciones de enfriamiento				Cantidad unida a la superficie única
		Velocidad de enfriamiento promedio de la temperatura del baño a temperatura controlada de parada del enfriamiento	Temperatura controlada de parada del enfriamiento	Temperatura de enfriamiento promedio de temperatura controlada de parada del enfriamiento a 335 °C	Velocidad de enfriamiento a 335 °C o inferior	
	(°C)	(°C/s)	(°C)	(°C/s)	(°C/s)	(g/m ²)
b1	420	15	<u>345</u>	5	70	42
b2	465	15	420	5	70	53
b3	495	15	460	5	70	55
b4	520	15	460	5	70	85
b5	580	15	490	5	70	115
b6	450	15	460	5	70	99
b7	510	6	460	5	70	55
b8	510	15	460	<u>15</u>	70	95
b9	510	15	460	5	<u>10</u>	43
b10	510	15	440	5	70	29
b11	560	<u>2</u>	410	5	70	99
b12	510	15	440	<u>15</u>	70	20

Las partes subrayadas indican que los valores correspondientes están fuera de los intervalos de condiciones de fabricación preferibles.

[Tabla 3A]

Nº	Pre-chapado con Ni	Capa de recubrimiento		
		Fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 µm	Fase de MgZn ₂	Velocidad de fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 µm que satisface la relación de orientación del cristal con la fase de MgZn ₂
		(% de área)	(% de área)	(% de área)
a1	Presente	5	15	25
a2	Presente	16	20	45
a3	Presente	19	41	50
a4	-	23	42	39
a5	Presente	24	55	85
a6	Presente	25	51	57

ES 2 991 302 T3

a7	Presente	26	59	95
a8	Presente	25	62	95
a9	Presente	33	62	58
a10	Presente	27	70	89
a11	Presente	37	40	90
a12	-	45	23	35
a13	Presente	29	64	100
a14	Presente	38	58	89
a15	-	45	45	55
a16	Presente	44	52	94
a17	Presente	45	53	92

[Tabla 3B]

Nº	Pre-chapado con Ni	Capa de recubrimiento		
		Fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm	Fase de MgZn ₂	Velocidad de fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm que satisface la relación de orientación del cristal con la fase de MgZn ₂
		(% de área)	(% de área)	(% de área)
b1	-	<u>4</u>	15	0
b2	-	25	0	0
b3	Presente	27	<u>75</u>	95
b4	Presente	41	44	79
b5	-	40	45	<u>12</u>
b6	Presente	42	44	89
b7	-	44	25	<u>10</u>
b8	Presente	40	25	7
b9	Presente	41	20	<u>9</u>
b10	Presente	29	45	85
b11	-	43	22	<u>12</u>
b12	Presente	35	52	<u>11</u>

Las partes subrayadas indican que los valores correspondientes están fuera del alcance de la presente invención.

[Tabla 4A]

Nº	Resistencia a la formación de polvo	Resistencia a la corrosión bajo agua corriente
a1	AA	A
a2	AA	A
a3	AA	AA
a4	AA	AA
a5	AA	AA
a6	AA	A

a7	AA	AA
a8	AA	AA
a9	AA	A
a10	A	AA
a11	AA	AA
a12	AA	A
a13	AA	AA
a14	A	AA
a15	AA	AA
a16	A	AA
a17	A	AA

[Tabla 4B]

Nº	Resistencia a la formación de polvo	Resistencia a la corrosión bajo agua corriente
b1	B	B
b2	AA	B
b3	B	B
b4	B	B
b5	A	B
b6	B	B
b7	B	B
b8	AA	B
b9	AA	B
b10	A	B
b11	AA	B
b12	AA	B

- 5 En el Ejemplo Comparativo b1, la cantidad de Al en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fue insuficiente. Por lo tanto, en el Ejemplo Comparativo b1, la fase α fue insuficiente. Además, puesto que el crecimiento del cristal ocurre en un estado en donde la fase α y la fase de MgZn₂ no estuvieron en contacto entre sí, en el Ejemplo Comparativo b1, la proporción de la fase α que tiene una relación de orientación de cristal apropiada con la fase de MgZn₂ también fue insuficiente. Como resultado, en el Ejemplo Comparativo b1, tanto la resistencia a la formación de polvo como la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fueron insuficientes.
- 10 En el Ejemplo Comparativo b2, la cantidad de Mg en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fue insuficiente. Por lo tanto, en el Ejemplo Comparativo b2, la fase de MgZn₂ fue insuficiente. Como resultado, en el Ejemplo Comparativo b2, la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fue insuficiente.
- 15 En el Ejemplo Comparativo b3, la cantidad de Mg en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fue excesiva. Por lo tanto, en el Ejemplo Comparativo b3, la fase de MgZn₂ frágil se volvió excesiva, y tanto la resistencia a la formación de polvo como la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fueron insuficientes.
- En el Ejemplo Comparativo b4, la cantidad de Si en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fue excesiva. Por lo tanto, una gran cantidad de un compuesto a base de Si frágil se formó en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente del Ejemplo Comparativo b3, y tanto la resistencia a la formación de polvo como la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fueron insuficientes.
- 20 En el Ejemplo Comparativo b5, la cantidad de Al en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fue excesiva. Por lo tanto, en el Ejemplo Comparativo b5, la cantidad de la fase α en donde los cristales crecen en un estado en

donde la fase α no está en contacto con la fase de MgZn₂ aumenta, y la proporción de la fase α que tiene una relación de orientación de cristal apropiada con la fase de MgZn₂ llega a ser pequeña. Como resultado, en el Ejemplo Comparativo b5, la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fue insuficiente.

- 5 En el Ejemplo Comparativo b6, la cantidad de Ca en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fue excesiva. Por lo tanto, se formó una gran cantidad de compuesto a base de Ca frágil en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente del Ejemplo Comparativo b6, y tanto la resistencia a la formación de polvo como la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fueron insuficientes.
- 10 En el Ejemplo Comparativo b7 y el Ejemplo Comparativo b11, la velocidad de enfriamiento promedio en el primer enfriamiento fue insuficiente. Por lo tanto, en el Ejemplo Comparativo b7 y el Ejemplo Comparativo b11, el crecimiento del cristal ocurrió en un estado en donde la fase α y la fase de MgZn₂ no estuvieron en contacto entre sí, y la proporción de la fase α que tiene una relación de orientación de cristal apropiada con la fase de MgZn₂ fue insuficiente. Como resultado, en el Ejemplo Comparativo b7 y el Ejemplo Comparativo b11, la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fue insuficiente. Además, en el Ejemplo Comparativo b7, la resistencia a la formación de polvo también fue insuficiente.
- 15 En el Ejemplo Comparativo b8 y el Ejemplo Comparativo b12, la velocidad de enfriamiento promedio en el segundo enfriamiento fue excesiva. Por lo tanto, en los Ejemplos Comparativos b8 y b12 no fue posible hacer crecer de manera suficiente la fase α y la fase de MgZn₂ en un estado de estar en contacto entre sí, y la proporción de la fase α que tiene una relación de orientación de cristal apropiada con la fase de MgZn₂ fue insuficiente. Como resultado, en el Ejemplo Comparativo b8 y el Ejemplo Comparativo b12, la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fue insuficiente.
- 20 En el Ejemplo Comparativo b9, la velocidad de enfriamiento promedio en el tercer enfriamiento fue insuficiente. Por lo tanto, en el Ejemplo Comparativo b9, la fase α se separó en una fase α rica en Al y una fase η rica en Zn en el tercer enfriamiento, y la proporción de la fase α que tiene una relación de orientación de cristal apropiada con la fase de MgZn₂ fue insuficiente. Como resultado, en el Ejemplo Comparativo b9, la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fue insuficiente.
- 25 En el Ejemplo Comparativo b10, la cantidad de Sn en la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fue excesiva. Por lo tanto, en el Ejemplo Comparativo b10 se formaron los compuestos a base de Sn que tienen baja resistencia a la corrosión, y la resistencia a la corrosión bajo agua corriente fue insuficiente.
- 30 Por otro lado, los ejemplos de acuerdo con la presente invención, en los cuales la composición química y la estructura metalográfica de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente fueron apropiadamente controlados, fueron excelentes en términos de resistencia a la formación de polvo y resistencia a la corrosión bajo agua corriente.

[Breve Descripción de los Símbolos de Referencia]

- 1 acero chapado por inmersión en caliente
11 acero base
12 capa de recubrimiento por inmersión en caliente.

REIVINDICACIONES

1. Un acero chapado por inmersión en caliente que comprende:

un acero base; y

una capa de recubrimiento por inmersión en caliente dispuesta sobre una superficie del acero base,

5 en donde una composición química de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente es, en % en masa,

Al: 10,00 % a 30,00 %,

Mg: 3,00 % a 12,00 %,

Sn: 0 % a 2,00 %,

Si: 0 % a 2,50 %,

10 Ca: 0 % a 3,00 %,

Ni: 0 % o más y menos de 0,25 %,

Cr: 0 % o más y menos de 0,25 %,

Ti: 0 % o más y menos de 0,25 %,

Co: 0 % o más y menos de 0,25 %,

15 V: 0 % o más y menos de 0,25 %,

Nb: 0 % o más y menos de 0,25 %,

Cu: 0 % o más y menos de 0,25 %,

Mn: 0 % o más y menos de 0,25 %,

Bi: 0 % o más y menos de 5,000 %,

20 In: 0 % o más y menos de 2,00 %,

Y: 0 % a 0,50 %,

La: 0 % o más y menos de 0,50 %,

Ce: 0 % o más y menos de 0,50 %,

Fe: 0 % a 5,00 %,

25 Sr: 0 % o más y menos de 0,50 %,

Sb: 0 % o más y menos de 0,50 %,

Pb: 0 % o más y menos de 0,50 % y

B: 0 % o más y menos de 0,50 %,

un resto consiste en Zn e impurezas,

30 una estructura metalográfica de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente contiene 5 a 45 % de área de una fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm ,

la estructura metalográfica de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente contiene 15 a 70 % de área de una fase MgZn₂ y

35 entre las fases α que tienen el diámetro de grano de 0,5 a 2 μm , una relación de área de la fase α que tiene una relación de orientación (111) _{α} //(0001)_{MgZn₂} a la fase MgZn₂ adyacente es 25 % a 100 %,

en donde la estructura metalográfica de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente, la relación de área de la fase α que tiene un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm , la relación de área de la fase MgZn₂ y la relación de área de la fase α que tiene la relación de orientación (111) _{α} //(0001)_{MgZn₂} a la fase MgZn₂ adyacente entre las fases α que tienen un diámetro de grano de 0,5 a 2 μm se miden como se describe en la descripción.

ES 2 991 302 T3

2. El acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la reivindicación 1, en donde, entre las fases α que tienen el diámetro de grano de 0,5 a 2 μm , la relación de área de la fase α que tiene la relación de orientación de $(111)_{\alpha}/(0001)_{\text{MgZn}_2}$ a la fase MgZn_2 adyacente es 60 % a 100 %.
3. El acero chapado por inmersión en caliente de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la composición química de la capa de recubrimiento por inmersión en caliente es, en % en masa,

Mg: 5,00 % a 8,00 % y

Sn: 0,05 % a 2,00 %.

FIG. 1

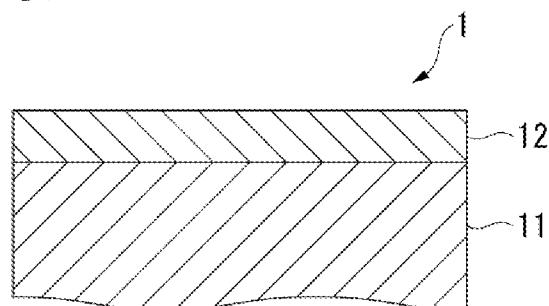


FIG. 2

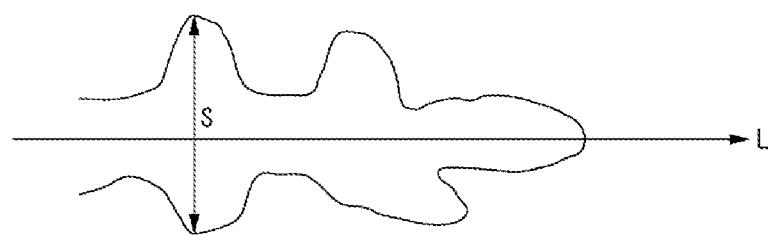


FIG. 3

