

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 524 071**

51 Int. Cl.:

**C23C 2/26** (2006.01)

**C23C 2/06** (2006.01)

**C23C 2/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2010 E 10731347 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.11.2014 EP 2388353**

54 Título: **Material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, con excelente resistencia a la corrosión**

30 Prioridad:

**16.01.2009 JP 2009008100**

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

**04.12.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SHIMODA, NOBUYUKI y  
MORIMOTO, YASUhide**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 524 071 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

Material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, con excelente resistencia a la corrosión

### Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un material de acero revestido con una aleación basada en Zn, por inmersión en caliente, usado para aplicaciones en materiales de construcción, automóviles y aparatos electrodomésticos. Más específicamente, la presente invención se refiere a revestimientos con excelente resistencia a la corrosión, hechos de aleaciones de Zn-Al-Mg-Si-Cr, por inmersión en caliente, que dan como resultado una alta resistencia a la corrosión, requerida principalmente en la aplicación de los materiales de construcción.

### 10 Antecedentes de la técnica

Hasta ahora se ha sabido ampliamente mejorar la resistencia a la corrosión de un material de acero aplicando un revestimiento de Zn a la superficie de un material de acero y, en la actualidad, se está produciendo en masa un material de acero sometido a revestimiento con Zn. Sin embargo, en muchas aplicaciones, la resistencia a la corrosión, impartida únicamente por el revestimiento de Zn, puede ser insuficiente. Por lo tanto, como un material de  
15 acero se potencia más en su resistencia a la corrosión que mediante el Zn, se está usando una chapa delgada de acero revestida con aleación de Zn-Al por inmersión en caliente (chapa de acero Galvalume (marca registrada)). Por ejemplo, el revestimiento de aleación de Zn-Al por inmersión en caliente, descrito en el Documento 1 de Patente se realiza aplicando un revestimiento de aleación compuesta de Al en una concentración del 25 al 75% en masa, y Si en una concentración del 0,5% o más del contenido de Al, siendo el resto sustancialmente Zn, donde se obtiene una  
20 capa de revestimiento de aleación de Zn-Al por inmersión en caliente que es no solamente excelente en la resistencia a la corrosión sino que también tiene una buena adherencia al material de acero y un aspecto atractivo.

Como otro método para potenciar la resistencia a la corrosión del Zn, se ha propuesto un revestimiento de aleación basada en Zn-Cr al añadir Cr a la capa de revestimiento. El revestimiento de aleación de Zn-Cr descrito en el Documento 2 de Patente se aplica, como capa de revestimiento, una capa de revestimiento electrodepositado de  
25 una aleación basada en Zn-Cr, compuesta de Cr en una concentración de más del 5% y el 40% o menos, siendo el resto Zn, donde se obtiene una excelente resistencia a la corrosión en comparación con una chapa delgada de acero sometida a un revestimiento convencional basado en Zn.

El Documento 3 de Patente describe una técnica donde, como resultado de añadir diversos elementos de aleación a un revestimiento basado en Zn-55% de Al, que es la composición del revestimiento de la chapa de acero Galvalume, y de estudiar las cantidades de los mismos que se pueden añadir, o el efecto de potenciación de la resistencia a la  
30 corrosión debida a la adición, un revestimiento que contiene Al: del 25 al 75% en masa puede contener Cr en una concentración de aproximadamente el 5% en masa, y la resistencia a la corrosión puede potenciar notablemente por contener Cr. Esta es una técnica consistente en potenciar la resistencia a la corrosión formando en la interfase una capa concentrada en Cr.

También, en el Documento 4 de Patente, se añaden diversos elementos de aleación a un revestimiento basado en Zn-55% de Al, que es la composición del revestimiento de la chapa de acero Galvalume, y se estudian las cantidades de los mismos que se pueden añadir, o el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión debido a la adición donde, en particular, se describe una técnica para potenciar la capacidad de tratamiento de flexión optimizando el tamaño de los cristales superficiales de Zn del revestimiento.

40 Además, el Documento 5 de Patente describe también una técnica de potenciar la capacidad de tratamiento controlando el tamaño de partícula de una capa de aleación interfacial formada revistiendo con la composición de Galvalume.

El documento EP 1225 246 A1 describe un material de acero chapado con una aleación de Zn-Al-Mg-Si, caracterizado por comprender, en términos de % en peso, Al: al menos el 45% y no más del 70%, Mg: al menos el  
45 3% y menos del 10%, Si: al menos el 3% y menos del 10%, siendo Zn el resto y las impurezas inevitable, en la que la relación Al/Zn es de 0,89 – 2,75, y la capa del chapado contiene una fase voluminosa de Mg<sub>2</sub>Si.

El documento EP 1930463 A1 describe un material de acero chapado con una aleación de Zn-Al por inmersión en caliente, que tiene una capa de chapado que comprende, en términos de % en masa, del 25 al 85% de Al, del 0,05 al 5% de uno o ambos, Cr y Mn, y Si en una cantidad del 0,5 al 10% del contenido de Al, siendo el resto Zn y las  
50 inevitables impurezas, en la que el tamaño medio de los cristales superficiales de Zn sobre la superficie del chapado es de 0,5 mm o más; y un método de producción de la misma.

### Técnica relacionada

(Documento 1 de Patente) Patente Japonesa N° 1,617.971

(Documento 2 de Patente) Patente Japonesa N° 2.135.237

(Documento 3 de Patente) Kokai (Publicación de Patente Japonesa no examinada) N° 2002-356759

(Documento 4 de Patente) Kokai N° 2005-264188

(Documento 5 de Patente) Kokai N° 2003-277905.

### Compendio de la invención

#### 5 Problemas que va a resolver la invención

En el Documento 1 de Patente, la resistencia a la corrosión es significativamente excelente en comparación con la de un material de acero sometido a revestimiento convencional basado en Zn, pero es insuficiente para satisfacer los recientes requisitos para potenciar más la resistencia a la corrosión, principalmente en el campo de aplicación de los materiales de construcción.

10 En el Documento 2 de Patente, ya que la película de revestimiento de aleación de Zn-Cr se deposita mediante un método de electrodeposición, el elemento está limitado a un elemento capaz de electrodeponerse y esto impone una restricción sobre una mayor potenciación de la resistencia a la corrosión, el resultado es que la resistencia a la corrosión es insuficiente.

15 El Documento 3 de Patente puede ser un método innovador pero es todavía insuficiente en términos de potenciación de la resistencia a la corrosión. En particular, es insuficiente la función de anticorrosión de la capa de aleación interfacial cuando ha progresado la corrosión del revestimiento, y la función del Cr añadido está lejos de ejercerse completamente. De manera similar al Documento 2 de Patente, no se puede obtener un efecto suficientemente alto de potenciación de la resistencia a la corrosión.

20 En el Documento 4 de Patente, la estructura de la capa de aleación interfacial no está controlada y la capacidad de tratamiento es pobre. La capacidad de tratamiento es un hecho potenciado por un tratamiento de calentamiento y esto, perjudicialmente, requiere un consumo de tiempo.

El Documento 5 de Patente se adentra más en la estructura de la capa de aleación interfacial para compensar los defectos anteriores, pero apenas se consigue una capacidad de tratamiento satisfactoria porque la cantidad de Si, que afecta mucho a la estructura de la interfase, es pequeña y la estructura es sencilla.

25 Un objeto de la presente invención es resolver esos problemas y proporcionar un material de acero revestido con una aleación basada en Zn-Al, por inmersión en caliente, que tiene una excelente capacidad de tratamiento de flexión y una alta resistencia a la corrosión que supera mucho a las de las técnicas convencionales.

#### Medios para resolver los problemas

30 Los presentes inventores han estudiado la combinación del uso de Al y Cr y la expresión del comportamiento efectivo del Cr añadiendo Mg o Cr al revestimiento basado en Zn-55% de Al, como la composición Galvalume, y examinando de formas más diversas las condiciones del revestimiento, y han hallado que el estado de la distribución del Cr en la capa aleada interfacial está íntimamente relacionada con la resistencia a la corrosión y con la potenciación de la resistencia a la corrosión, y es importante para controlar el estado de la distribución. Basándose en estos conocimientos, lo esencial de la presente invención reside en los siguientes puntos (1) a (7).

35 (1) Un material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, que tiene una capa de revestimiento sobre la superficie del material de acero y que tiene una capa de aleación interfacial en la interfase entre el material de acero y la capa de revestimiento, en la que la composición media de la capa completa de revestimiento que consiste en la capa de revestimiento y la capa de aleación interfacial contiene, en % en masa, Al: del 25 al 75%, Mg: del 0,1 al 10%, Si: más del 1% y el 7,5% o menos, y Cr: del 0,05% al 5,0%, siendo el resto Zn y las inevitables impurezas, la capa de aleación interfacial está compuesta de los componentes de la capa completa de revestimiento y Fe, y tiene un espesor de 0,05 a 10  $\mu\text{m}$ , o un espesor del 50% o menos del espesor de la capa de revestimiento, la capa de aleación interfacial tiene una estructura multicapas consistente en una capa de aleación basada en Al-Fe y una capa de aleación basada en Al-Fe-Si, y la capa de aleación basada Al-Fe-Si contiene Cr.

40 (2) El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, como se describe en (1), en el que la capa basada en Al-Fe-Si consiste en una capa que sustancialmente contiene Cr y una capa que sustancialmente no contiene Cr, y la capa que contiene Cr está en contacto con la capa de revestimiento.

45 (3) El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, como se describe en (1) o (2), en el que la capa de aleación basada en Al-Fe forma un cristal en forma de columna y la aleación basada en Al-Fe-Si forma un cristal granular.

50 (4) El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, como se describe en uno cualquiera de los puntos (1) a (3), en el que la capa de aleación basada en Al-Fe consiste en dos capas, es decir una capa compuesta de  $\text{Al}_5\text{Fe}_2$  y una capa compuesta de  $\text{Al}_{3,2}\text{Fe}$ .

(5) El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, como se describe en uno cualquiera de los puntos (1) a (4), en el que la concentración de Cr en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si que contiene Cr, es del 0,5 al 10%, en términos de % en masa.

5 (6) El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, como se describe en uno cualquiera de los puntos (1) a (5), en el que la capa completa de revestimiento contiene, en % en masa, de 1 a 500 ppm de al menos una clase de un elemento, aparte de Sr y Ca.

(7) Un método para producir el material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, descrito en uno cualquiera de los puntos (1) a (6), que comprende los pasos de:

10 sumergir y luego sacar el material de acero, dentro y fuera, de un baño de revestimiento por inmersión en caliente que contiene, en % en masa, Al: del 25 al 75%, Mg: del 0,1 al 10%, Si: más del 1% y el 7,5% o menos, y Cr: del 0,05 al 5%, siendo el resto Zn y las impurezas inevitables, para obtener un material de acero revestido,

enfriar el material de acero revestido que se ha sacado fuera, desde la temperatura del baño de revestimiento a la temperatura de solidificación del revestimiento a una velocidad de enfriamiento de 10 a 20°C/s para solidificar el revestimiento, y

15 enfriar el material de acero revestido después de la solidificación del revestimiento, a una velocidad de enfriamiento de 10 a 30°C/s para formar una capa de aleación basada en Al-Fe-Si que contiene el Cr en la capa de aleación interfacial formada entre el material de acero y la capa de revestimiento.

Efectos de la invención

20 Según la presente invención, se puede proporcionar un material de acero revestido con aleación de Zn-Al-Mg-Cr por inmersión en caliente, excelente en la capacidad de tratamiento y resistencia a la corrosión. Este material de acero se puede aplicar ampliamente a automóviles, edificios/casas y similares, y contribuye mucho al crecimiento industrial que sirve, por ejemplo, para aumentar el tiempo de vida de los miembros, para la utilización eficaz de las fuentes, el alivio de la carga medioambiental, y la reducción de los costes de mantenimiento.

#### Breve descripción de los dibujos

25 La Figura 1 es una fotografía de un corte transversal del material de acero revestido de la presente invención.

La Figura 2 es una imagen STEM (Microscopía electrónica de barrido en modo transmisión) de los alrededores de la interfase del material de acero revestido de la presente invención.

La Figura 3 muestra el estado de la distribución del Cr (mapa) cerca de la interfase del material de acero revestido de la presente invención.

30 La Figura 4 muestra el estado de distribución del Cr (GDS) cerca de la interfase del material de acero revestido de la presente invención.

La Figura 5 muestra el método de formación del revestimiento para el material de acero revestido de la presente invención.

#### Modo de llevar a cabo la invención

35 La presente invención se describe a continuación con detalle. En la descripción de la presente invención, a menos que se indique otra cosa, el símbolo “%” en la composición significa “% en masa”. También, en la presente invención, la capa de revestimiento se distingue de la capa de aleación interfacial. La “capa completa de revestimiento” se usa para indicar la capa de revestimiento como un todo que incluye la capa de aleación interfacial. Por consiguiente, los “componentes de la capa de revestimiento”, según se usan en la presente invención, se refiere a los componentes de únicamente la capa de revestimiento sin incluir la capa de aleación interfacial, pero la capa de revestimiento, como un todo, incluyendo la capa interfacial de revestimiento, se refiere algunas veces a una “capa de revestimiento”.

45 El material de acero revestido con aleación de Zn-Al-Mg-Cr por inmersión en caliente, con excelente resistencia a la corrosión, de la presente invención, se caracteriza por tener una capa de aleación interfacial entre el material de acero y la capa de revestimiento, en la que la composición media de la capa completa de revestimiento consistente en la capa de revestimiento y la capa de aleación interfacial contiene, en % en masa, Al: del 25 al 75%, Mg: del 0,1 al 10%, Si: más del 1% y el 10% o menos, y Cr: del 0,05 al 5,0%, siendo el resto Zn y las inevitables impurezas, la capa de aleación interfacial está compuesta de una capa de los componentes de la capa de revestimiento y Fe, y tiene un espesor de 0,05 a 10 μm o un espesor del 50% o menos del espesor de la capa completa de revestimiento, la capa de aleación interfacial tiene una estructura multicapas consistente en una capa de aleación basada en Al-Fe y una capa de aleación basada en Al-Fe-Si, y la capa de aleación basada en Al-Fe-Si contiene Cr. Aquí, el material de acero es un material ferroso tal como una chapa delgada de acero, un tubo de acero y un alambre de acero.

En el material de acero revestido de la presente invención, la composición de revestimiento se expresa mediante la composición media (excluyendo el Fe) de la capa completa de revestimiento como la capa de revestimiento que incluye la capa interfacial del revestimiento, y los componentes químicos de la capa completa de revestimiento se pueden obtener, como una media de la composición total de la capa de revestimiento y la capa de aleación interfacial, disolviendo la capa de revestimiento (incluyendo la capa de aleación interfacial) presente sobre la superficie del material de acero y analizando químicamente la solución.

Preferiblemente, se deja que el Cr esté presente de una manera concentrada en la aleación interfacial formada entre la capa de revestimiento y el sustrato de acero. El Cr concentrado en la capa de aleación interfacial se considera que suprime la corrosión del sustrato de acero y potencia la resistencia a la corrosión mediante la acción de pasivación del Cr en la etapa de disolución de la capa de revestimiento para dejar expuesta una parte de la superficie del sustrato de acero con el progreso de la corrosión. Fuera de la capa de aleación interfacial, el efecto de un elemento que forma una película densa de óxido, tal como Al y Si, puede aumentar más en la región más próxima a la capa de revestimiento.

También, la capa de aleación interfacial contiene Fe y, por lo tanto, produce herrumbre por corrosión. La herrumbre es la menos deseada, y gracias a la presencia de Cr sobre el lado de la capa de aleación interfacial que da a la capa de revestimiento, también se puede suprimir la generación de herrumbre. Además, desde el punto de vista de potenciar más la resistencia a la corrosión, una parte del Cr está, preferiblemente, concentrado y se deja que esté presente en la capa más exterior de la superficie de la capa de revestimiento. Ya que el Cr concentrado en la capa superficial del revestimiento forma una película de pasivación, se considera que el efecto anterior contribuye a potenciar la resistencia a la corrosión inicial de, principalmente, la capa de revestimiento.

En cuanto a la composición de la capa completa de revestimiento, el contenido de Cr es del 0,05 al 5%, si el Cr es inferior al 0,05%, el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión es insuficiente, mientras que si excede del 5%, surge un problema tal como el aumento de la cantidad de escoria generada en el baño de revestimiento. En vista de la resistencia a la corrosión, este elemento está preferiblemente contenido en una concentración de más del 0,2%.

En cuanto a la composición media de la capa completa del revestimiento, si el Al de la capa de revestimiento es inferior al 25%, no se produce eficazmente una capa de aleación interfacial, y el Cr apenas se introduce en la capa de aleación interfacial. También, disminuye la resistencia a la corrosión sin protección. Por otro lado, si excede el 75%, se reduce la protección sacrificable contra la corrosión o la resistencia a la corrosión de la cara del extremo del corte. También, la temperatura del baño de la aleación de revestimiento necesita mantenerse elevada, y esto origina un problema tal como el aumento del coste de producción. Por consiguiente, la concentración de Al en la capa de revestimiento se establece que sea de 25 al 75%, preferiblemente del 45 al 75%.

En el material de acero revestido de la presente invención, el Si tiene el efecto de impedir, en la formación de una capa de revestimiento sobre el material de acero, que se forme una capa de aleación basada en Fe-Al, con un espesor excesivamente grande, en la interfase entre el sustrato de acero y la capa de revestimiento y potenciar la adherencia de la capa de revestimiento a la superficie del material de acero. En cuanto a la composición media de la capa completa del revestimiento, si el Si es del 1% o menos, el efecto de suprimir la producción de una capa de aleación interfacial basada en Fe-Al es insuficiente y continúa la rápida producción de la capa de aleación interfacial, lo que resulta inadecuado para controlar la estructura de la capa de aleación interfacial. Además, el daño producido en un dispositivo basado en acero inoxidable que es está bajo el agua es severo. También, si este elemento está contenido excediendo el 7,5%, el efecto de suprimir la formación de una capa de aleación interfacial basada en Fe-Al está saturado y, al mismo tiempo, se puede provocar la reducción en la capacidad de tratamiento de la capa de revestimiento. Por esta razón, el límite superior se establece en el 7,5%. En el caso de dar importancia a la capacidad de tratamiento de la capa de revestimiento, el límite superior es preferiblemente el 3%. La concentración es, más preferiblemente, del 1,2 al 3%.

En cuanto a en la composición media de la capa completa del revestimiento, conteniendo el Mg en una cantidad del 0,1 al 10%, se puede obtener una alta resistencia a la corrosión. Si se añade este elemento en una cantidad inferior al 0,1%, no se obtiene el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión, mientras que si la cantidad añadida excede el 10%, no sólo se satura el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión, sino que también surge un problema de producción al aumentar la cantidad de escoria generada en el baño de revestimiento. Desde este aspecto de la producción, la cantidad añadida es, preferiblemente, del 5% o menos, más preferiblemente del 0,5 al 5%.

En el revestimiento, se puede añadir un metal alcalinotérreo, tal como el Sr, en una cantidad de 1 a 500 ppm para potenciar más la resistencia a la corrosión. En este caso, si se añade en una cantidad inferior a 1 ppm, no se obtiene el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión. Se prefiere la adición en una cantidad de 60 ppm o más. Por otro lado, si la cantidad añadida excede las 500 ppm, no sólo se satura el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión, sino que también hay problemas de producción, tales como el aumento en la cantidad de escoria generada en el baño de revestimiento. La cantidad añadida es, más preferiblemente, de 60 a 250 ppm.

En cuanto a la composición de la capa de revestimiento, el resto, excepto el Al, Cr, Si, Mg, Sr y Ca, está compuesto de cinc y las inevitables impurezas. Las inevitables impurezas, según se usa en la presente memoria descriptiva, se refieren a un elemento inevitablemente mezclado en el proceso de revestimiento, tales como Pb, Sb, Sn, Cd, Ni, Mn,

Cu y Ti. Estas inevitables impurezas pueden estar contenidos en una cantidad de, como contenido total, como máximo aproximadamente el 1%, pero su contenido es preferiblemente tan pequeño como sea posible, por ejemplo, preferiblemente el 0,1% o menos.

5 La cobertura del revestimiento no está particularmente limitada, pero si la capa de revestimiento es demasiado delgada, la resistencia potenciada a la corrosión es escasa, mientras que si es demasiado gruesa, la capacidad de tratamiento de flexión de la capa de revestimiento está mermada, y se puede dar un problema como la generación de grietas. Por lo tanto, la cobertura del revestimiento es, en el total de ambas superficies, frontal y posterior, del material de acero, preferiblemente de 40 a 400 g/m<sup>2</sup>, más preferiblemente de 50 a 200 g/m<sup>2</sup>.

10 La presencia de la capa de aleación interfacial puede ser confirmada mediante la observación con TEM del corte transversal de la capa de revestimiento y el análisis EDS. Cuando la capa de aleación interfacial se forma con un espesor de película de 0,05 µm o más, se obtiene el efecto debido a la formación. Por otro lado, si el espesor de la película es demasiado grande, se merma la capacidad de tratamiento de flexión de la capa de revestimiento.

Por lo tanto, el espesor de película es, preferiblemente, de no más de un valor inferior entre 10 µm o menos y el 50% o menos del espesor completo de la película.

15 Como se describió anteriormente, añadiendo Si, se puede suprimir el crecimiento de una aleación basada en Al-Fe y se puede aumentar la adherencia. La razón, por lo tanto, no se conoce con claridad, pero se supone que la aleación basada en Al-Fe crece como un cristal en forma de columna y la aleación basada en Al-Fe-Si crece como un cristal granular, permitiendo que la capa de cristales granulares de la aleación basada en Al-Fe-Si esté presente entre los cristales en forma de columnas de la aleación basada en Al-Fe y la capa de revestimiento, como resultado, se alivia la diferencia de tensión en la interfase de la capa de aleación interfacial con la capa de revestimiento para desarrollar una buena adherencia.

20 También, la capa de aleación basada en Al-Fe, que crece como un cristal en forma de columna, se forma como una estructura multicapas donde la capa inferior está compuesta de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub> que resulta del progreso de la aleación con una alta relación de Fe, y la capa superior está compuesta de Al<sub>3,2</sub>Fe con un bajo grado de aleación, por lo que se puede desarrollar más potenciación de la adherencia del revestimiento. La razón, por lo tanto, no se conoce claramente pero se supone que la formación de una estructura multicapas provoca, por ejemplo, una reducción de la tensión interna de la propia capa o la disminución de la diferencia de tensión en la interfase de la capa.

25 Gracias a la configuración multicapas, las grietas que se pueden generar durante el tratamiento de flexión se detienen en cada capa y se evita que se propaguen. Por lo tanto, las grietas se abstienen de inducir la separación de la capa de revestimiento, y no se origina una reducción de la resistencia a la corrosión de la parte tratada por flexión.

30 La capa de aleación basada en Al-Fe-Si consiste en una capa que sustancialmente contiene Cr y una capa que sustancialmente no contiene Cr, y la capa que contiene Cr está, preferiblemente, en contacto con la capa de revestimiento. Con respecto a contener o no contener sustancialmente Cr, el contenido de Cr que es del 0,5% o más se define como que sustancialmente contiene Cr, porque cuando la capa de aleación basada en Al-Fe-Si contiene, en % en masa, el 0,5% o más de Cr, se realza la potenciación de la resistencia a la corrosión debida a la pasivación por Cr. Si el contenido de Cr es inferior al 0,5%, no se puede reconocer el efecto anterior y, por lo tanto, el contenido de Cr que es inferior al 0,5% se define como que sustancialmente no contiene Cr. El límite superior de la concentración de Cr en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si que contiene Cr se establece en el 10% porque incluso si la concentración es superior a ésta, se satura el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión. Por cierto, las cantidades de Cr y los respectivos elementos en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si se pueden determinar, por ejemplo, mediante un análisis tal como TEM-EDS.

35 Como se describió anteriormente, cuando el Cr está presente principalmente sobre el lado de la capa de aleación interfacial que da la capa de revestimiento, se puede suprimir también la generación de herrumbre. En el caso de dejar que el Cr esté uniformemente presente en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, para asegurar la concentración de Cr requerida se necesita añadir una gran cantidad de Cr al baño de revestimiento. En este caso se genera escoria en una gran cantidad y aumenta la dificultad de operación. Concentrando Cr sobre el lado de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si que da a la capa de revestimiento, se puede realzar el efecto de potenciar la resistencia a la corrosión sin cargar una gran cantidad de Cr.

40 También, cuando el Cr se concentra en la capa superficial más exterior de la capa de aleación interfacial, incluso si las grietas están presentes en la parte tratada, se puede suprimir la generación de herrumbre.

45 La formación de la capa de aleación interfacial comienza inmediatamente después de la inmersión del material de acero que se va a revestir en el baño de revestimiento por inmersión, después de eso se completa la solidificación de la capa de revestimiento, y la formación avanza más hasta que la temperatura del material de acero que se va a revestir disminuye hasta aproximadamente 400°C o menos. Por consiguiente, el espesor de la capa de aleación interfacial se puede controlar ajustando, por ejemplo, la temperatura del baño de inmersión, el tiempo de inmersión del material de acero que se va a revestir, y la velocidad de enfriamiento después del revestimiento.

Las condiciones para formar una capa de revestimiento que tiene una capa de aleación interfacial adecuada no están particularmente limitadas, porque las condiciones óptimas varían dependiendo de la clase del material de acero objeto del revestimiento, los componentes del baño de revestimiento, la temperatura del baño de revestimiento, y similares. Cuando se sumerge el material de acero en el baño de inmersión en caliente (baño de metal fundido) a una temperatura de aproximadamente 20 a 60°C más alta que la temperatura de solidificación del revestimiento, durante 1 a 6 segundos, y luego se enfría a una velocidad de enfriamiento de 10 a 20°C/s, preferiblemente de 15 a 20°C/s, se puede obtener un material de acero revestido con una aleación que tiene una capa de aleación interfacial adecuada. Por ejemplo, en el caso de una aleación compuesta de 55% de Al-Zn-3% de Mg-1,6% de Si-0,3% de Cr, el punto de solidificación es de aproximadamente 560°C y, por lo tanto, el material de acero se sumerge preferiblemente en un baño de metal fundido a una temperatura del baño que va desde el (punto de solidificación + 20°C) al (punto de solidificación + 60°C), es decir, de 580 a 620°C, durante 1 a 6 segundos. Si el tiempo de inmersión es inferior a 1 segundo, no se puede asegurar una reacción inicial suficientemente larga para producir la capa de aleación interfacial, mientras que si excede de 6 segundos, la reacción transcurre más de lo necesario y se puede producir una capa excesiva de aleación de Fe-Al. La temperatura de la plancha a la entrada es, adecuadamente, de 450 a 620°C. Si la temperatura de la plancha es inferior a 450°C, no se puede asegurar la suficiente reacción inicial, mientras que si excede los 620°C, la reacción transcurre más de lo necesario y se puede producir una capa excesiva de aleación interfacial basada en Fe-Al. Después de eso, el material de acero se enfría hasta el punto de solidificación a una velocidad de enfriamiento de 10 a 20°C/s, preferiblemente de 15 a 20°C/s, y se enfría más a 350°C del punto de solidificación a 10 a 30°C/s, preferiblemente de 15 a 30°C/s, más preferiblemente de 15 a 20°C/s, por lo que se puede obtener un material de acero revestido con una aleación, que tiene una capa de aleación interfacial adecuada.

Si la velocidad de enfriamiento es superior a la del intervalo anterior, no se produce la capa de aleación que se persigue. Si la velocidad de enfriamiento hasta la solidificación es baja, se produce una capa excesiva de aleación interfacial basada en Fe-Al. Si la velocidad de enfriamiento después de la solidificación es inferior a la del intervalo anterior, progresa la homogeneización de la capa de aleación interfacial y no se obtiene la estructura multicapas perseguida.

En cuanto al baño de revestimiento con una aleación usado en la presente invención, la temperatura de solidificación varía dependiendo de la composición del baño, pero el intervalo de temperatura es, aproximadamente, de 450 a 620°C. Por lo tanto, de acuerdo con la temperatura de solidificación, con los componentes seleccionados según se describió anteriormente, se seleccionan las condiciones apropiadas a partir de las condiciones de que la temperatura del baño para la inmersión sea de 500 a 680°C, el tiempo de inmersión en el baño sea de 1 a 6 segundos, la velocidad de enfriamiento hasta solidificación sea de 10 a 20°C/s, preferiblemente de 15 a 20°C/s, y la velocidad de enfriamiento después de la solidificación sea de 10 a 30°C/s, preferiblemente de 15 a 30°C/s, más preferiblemente de 15 a 20°C/s, por lo que se puede obtener un material de acero revestido con una aleación que tiene una capa de aleación interfacial.

Por cierto, para obtener una adecuada distribución de la concentración de Cr en la capa de aleación interfacial, es particularmente importante el control de las condiciones de enfriamiento. Más específicamente, se considera que el Cr que va a estar casi uniformemente distribuido en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, inmediatamente después de la producción de la capa de aleación de Al y en el proceso de enfriamiento posterior a la solidificación, se va a concentrar en una porción específica en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si.

El mecanismo de concentración del Cr no se conoce, pero se puede considerar como que es como, aunque la presente invención no está ligada a la teoría. El revestimiento comienza a solidificarse desde la capa superficial y finalmente se solidifica en las proximidades de la interfase material de acero-revestimiento y, en este tiempo, la solidificación transcurre mientras que se deja que el Cr se concentre por término medio en las proximidades de la interfase sustrato de acero-revestimiento. Después de eso, el Si y el Cr son empujados hacia arriba por el Fe que se difunde desde el sustrato de acero y se mueve en dirección a la superficie, y la capa de aleación interfacial se separa en una capa de Al-Fe en la parte inferior y una capa de aleación basada en Al-Fe-Si en la parte superior. En la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, el Cr es más empujado hacia arriba y está más concentrado en la parte de la capa superior de la capa basada en Al-Fe-Si.

Por lo tanto, si la velocidad de enfriamiento después de la solidificación del revestimiento es demasiado baja, la propia capa de aleación interfacial se hace excesivamente gruesa antes de que se concentre el Cr, y merma la capacidad de tratamiento o similares. Por otro lado, si la velocidad de enfriamiento inmediatamente después de la solidificación del revestimiento, más específicamente, inmediatamente después de la producción de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, es demasiado alta, la capa alcanza una temperatura que no permite la migración del Cr antes de que el Cr se concentre en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si formada, se separa de la capa de aleación de Al-Fe en la capa de aleación interfacial y se concentra más en la capa superior de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, y no se forma una capa concentrada en Cr. La temperatura que no permite la migración del Cr es básicamente 400°C.

Las condiciones óptimas de enfriamiento para obtener una adecuada distribución de la concentración de Cr varía dependiendo de la clase de material de acero que se quiere conseguir, de los componentes del baño de inmersión en caliente, y similares, pero la velocidad de enfriamiento después de la solidificación del revestimiento es, como se

describió anteriormente, de 10 a 30°C/s, preferiblemente de 15 a 30 °C/s, más preferiblemente de 15 a 20°C/s. Ya que la temperatura que no permite la migración del Cr es básicamente de 400°C, para realizar la estructura de la capa de aleación interfacial deseada (concentración de Cr) de la presente invención, se necesita controlar que la velocidad de enfriamiento caiga en el intervalo anteriormente descrito, al menos mientras que las temperaturas permanezcan en el intervalo de temperatura que va desde la temperatura de solidificación a 400°C, más hacia las proximidades de 350°C, hasta que se complete la concentración de Cr deseada. Si la velocidad de enfriamiento, durante las temperaturas anteriores, es inferior a 10°C/s, la propia capa de aleación interfacial se hace demasiado gruesa antes de que el Cr se concentre, y merman otras características tales como la capacidad de tratamiento. Si la velocidad de enfriamiento, durante las temperaturas anteriormente descritas, excede los 30°C/s, la separación y formación de la capa de aleación basada en Al-Fe y la capa de aleación basada en Al-Fe-Si no progresa adecuadamente o al menos no se produce la concentración adicional de Cr en la capa superior de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si separada y formada a partir de la capa de aleación basada en Al-Fe.

En la presente invención, la discriminación entre la capa de aleación basada en Al-Fe y la capa de aleación basada en Al-Fe-Si se basa en la presencia o ausencia de Si y su discriminación es generalmente fácil, pero cuando la concentración de Si en la capa de aleación basada en Al-Fe es del 2% o menos, además el 1% o menos, se considera que está ausente de Si.

En la presente invención, la concentración de Cr en la capa superior de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si indica que se forma una capa donde el Cr está sustancialmente ausente en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, y el espesor de la capa sustancialmente ausente de Cr es 1/4 o más, preferiblemente 1/3 o más, del espesor total de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, o es de 0,5 µm o más, preferiblemente 1 µm o más. Aquí, se puede confirmar la capa donde el Cr está sustancialmente ausente de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, haciendo un mapa EPMA o un análisis elemental, tal como un TEM-EDS.

En el material de acero revestido de la presente invención, mientras que la velocidad de enfriamiento después de la solidificación está en el intervalo anterior, se considera que la formación de la estructura de dos capas consistente en la capa de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub> y la capa de Al<sub>3,2</sub>Fe, anteriormente descritas, transcurre paralelamente a la concentración del Cr en la parte de la capa superior de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si. Para formar la capa de aleación basada en Al-Fe en forma de dos capas, una capa de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub> y una capa de Al<sub>3,2</sub>Fe, al formarse o después de formarse la capa de aleación basada en Al-Fe, permitiendo que el Fe empuje hacia arriba al Si y al Cr en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si de la capa de aleación interfacial, y se produzca la concentración de Cr en la parte de capa superior de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si, cualquiera de las dos se puede completar primero. En el material de acero revestido de la presente invención, es esencial concentrar el Cr en la parte de la capa superior, y se prefiere obtener una estructura de dos capas, la capa de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub> y la capa de Al<sub>3,2</sub>Fe, como se prefiere en la capa de aleación basada en Al-Fe, pero la formación de una estructura de dos capas, la capa de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub> y la capa de Al<sub>3,2</sub>Fe, en la capa de aleación basada en Al-Fe, se puede producir antes de que el Cr se concentre en la parte de la capa superior de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si.

La Figura 1 muestra una micrografía óptica del material de acero revestido que tiene una capa de aleación interfacial que pertenece a la presente invención. Según la Figura 1, se ve que se forma una capa de revestimiento sobre la superficie del sustrato de acero y se forma una capa de aleación interfacial entre la capa de revestimiento y el sustrato.

La Figura 2 es una fotografía FIB-TEM que muestra y aumenta una parte (la porción indicada en la Figura 1) de la capa de aleación interfacial del material de acero revestido mostrado en la Figura 1. La estructura de la capa de aleación interfacial se determinó llevando a cabo a la vez un método para obtener la constante de red a partir de una imagen de difracción de electrones y haciendo referencia a la bibliografía (por ejemplo, fichas JCPDS) como un método para llevar a cabo análisis cuantitativos de los elementos mediante EDS, y obtener la relación de los elementos constituyentes. Según la Figura 2, se reconoce que la capa de aleación interfacial consta de cuatro capas, o sea, la capa de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub>, la capa de Al<sub>3,2</sub>Fe, la capa de aleación basada en AlFeSi y la capa de AlFeSi concentrada en Cr, en ese orden a partir del lado del sustrato de acero.

La Figura 3 muestra los resultados cuando se analizó el Cr mediante FIB-TEM en una porción parcialmente aumentada de la capa de aleación interfacial mostrada en la Figura 2. En la Figura 3, el espacio marcado en blanco indica la presencia de Cr, y se reconoce que el Cr está presente de manera concentrada sobre el lado de la capa de aleación basada en AlFeSi que da la capa de revestimiento, y está presente una capa donde el Cr está sustancialmente ausente sobre el lado de la capa de aleación basada en AlFeSi que da al metal del sustrato.

La Figura 4 muestra los resultados GDS a partir de los cuales se conoce la relación de la posición relativa del Si y el Cr. Aquí, GDS es espectrometría de emisión que usa un tubo de descarga luminiscente como fuente de luz. Se hace que los iones de argón generados en el electrodo colisionen con la muestra, por lo que se produce un fenómeno de sublimación catódica. Analizando el espectro inherente basado en la colisión entre un átomo y un electrón que salta hacia fuera, en ese momento, sobre la superficie de la muestra, se pueden aclarar las clases de elementos que constituyen la muestra. También la muestra se desgasta con el paso del tiempo de descarga y, por lo tanto, es posible el análisis en la dirección de la profundidad partiendo de la superficie. Por consiguiente, los resultados GDS se obtienen como la relación entre el tiempo de descarga y la intensidad espectral inherente al elemento. Por cierto,

la intensidad espectral inherente es un valor relativo y no indica el contenido absoluto del elemento, y con el fin de determinar la relación composicional, por ejemplo, es necesaria la comparación con una muestra patrón. La profundidad después del paso del tiempo final de descarga se conoce y, por lo tanto, el tiempo de descarga se puede convertir en profundidad. En la Figura 4, que muestra los resultados, el tiempo de descarga se muestra como la profundidad ( $\mu\text{m}$ ) y se representa en el eje X, y la intensidad espectral inherente se representa en el eje Y. Se obtiene, en breve, información sobre qué elementos están distribuidos en la dirección de la profundidad a partir de la superficie, hacia el lado del revestimiento.

Según la Figura 4, la intensidad que surge del Fe revela la presencia de una capa interfacial. El Cr está presente al comienzo y el Al y el Si también están simultáneamente presentes. Incluso después de desaparecer el Cr, el Al y el Si están presentes. Esto revela la presencia de una capa de aleación basada en Al-Si-Fe que no contiene Cr. Además, incluso después de desaparecer el Si, el Al está presente, revelando que la capa de aleación de Al-Fe está presente en la capa final. A partir de las Figuras 3 y 4, se revela que el  $\text{Al}_5\text{Fe}_2$ , el  $\text{Al}_{3,2}\text{Fe}$ , y la capa de aleación basada en Al-Fe-Si se producen en la interfase entre la capa de revestimiento y el sustrato de acero, y el Cr se concentra únicamente sobre el lado de la capa de aleación basada en Al-Fe-Si que da a la capa de revestimiento, proporcionando una estructura de cuatro capas.

En la producción del material de acero revestido con una aleación de la presente invención, se puede usar una técnica conocida, por ejemplo, sumergir un material de acero tratando un material base en un baño de metal fundido que contiene Zn, Al, Cr, Si y Mg en la misma relación de mezcla que en la composición de la capa de revestimiento deseado.

Antes de sumergir el material de acero en el baño de inmersión en caliente, se puede aplicar un tratamiento de desengrasado con álcali y un tratamiento de lavado con ácido, con el fin de, por ejemplo, mejorar la capacidad de mojar el revestimiento y la adherencia del revestimiento del material de acero que se va a revestir. También, se puede aplicar un tratamiento con un fundente que usa cloruro de cinc, cloruro de amonio u otros productos químicos. Como método para revestir el material de acero que se va a revestir, se puede usar un método para aplicar de manera continua los pasos de calentar, reducir y recocer un material de acero que va a ser revestido usando un horno no oxidante  $\rightarrow$  un horno de reducción o un horno reductor total, sumergir y sacar el material de acero, dentro y fuera del baño de inmersión en caliente, llevar a cabo el control hasta una cobertura predeterminada del revestimiento mediante un sistema de barrido con gas, y enfriar el material de acero.

En cuanto al método de preparar el baño de revestimiento, se puede calentar y fundir una aleación previamente preparada para tener una composición que caiga en el intervalo especificado en la presente invención, o se puede aplicar un método para calentar y fundir los respectivos elementos metálico o dos o más clases de aleaciones en combinación para obtener una composición predeterminada. Como método de calentamiento y de fusión, se puede usar un método de fundir directamente los metales o aleaciones en una caldera para revestimientos, o se puede usar un método para fundirlos previamente en un horno de fusión previa y transferir la masa fundida a una caldera para revestimientos. El método que usa un horno de fusión previa puede implicar un alto coste de instalación de equipos pero tiene la ventaja de que, por ejemplo, se facilita la retirada de impurezas tales como escorias generadas al fundir la aleación de revestimiento, o que se controla fácilmente la temperatura del baño de revestimiento.

A efectos de reducir la generación de escorias de óxido que se forman debido al contacto de la superficie del baño de revestimiento con el aire, la superficie del baño de revestimiento se puede cubrir con un material resistente al calor tal como un material cerámico y lana de vidrio.

El método para conseguir las condiciones de enfriamiento es, básicamente, un enfriamiento forzado entre la inmersión del material de acero en el baño de metal fundido y la solidificación de la capa de revestimiento y entre la temperatura de solidificación de la capa de revestimiento y la realización de la concentración de Cr deseada. El método específico para eso no está particularmente limitado y los métodos de enfriamiento pueden ser los mismos o diferentes, pero un método de enfriamiento forzado, rociando un gas refrigerante o una niebla, resulta fácil y sencillo. El gas refrigerante es, preferiblemente, un gas inerte tal como nitrógeno y gases raros.

La Figura 5 muestra un ejemplo del método para formar un revestimiento según la presente invención. Haciendo referencia a la Figura 5, por ejemplo, un material 2 de acero recocido en un horno 1 de recocido con reducción, se introduce en un baño 4 de inmersión en caliente a través de un morro 3, y el material 2 de acero se sumerge en el baño 5 de inmersión en caliente que tiene una composición de revestimiento predeterminada. En el material 2' de acero sacado del baño 4 de inmersión en caliente, se adhiere un excesivo baño de revestimiento por inmersión en caliente a la superficie y, por lo tanto, la cobertura se ajusta mediante un barrido 5 con gas. Después de que se forme una capa de revestimiento mediante el enfriamiento en las zonas 6 y 7 de enfriamiento, el material de acero es tratado posteriormente o se ajusta y se transfiere al bobinado 8. El método de la presente invención se caracteriza porque el material 2' de acero sacado del baño 4 de inmersión en caliente se enfría de forma forzada bajo condiciones específicas en la presente invención, en términos de intervalo de temperatura entre la inmersión en el baño de revestimiento y la solidificación del revestimiento, y entre la solidificación del revestimiento y la temperatura predeterminada. El método de enfriamiento en las zonas 6 y 7 de enfriamiento no está particularmente limitado y puede ser, por ejemplo, o bien un enfriamiento forzado con aire o un enfriamiento con aire-agua, y el número de zonas de enfriamiento y la posición de la zona de enfriamiento tampoco están limitados.

Además, cuando un material de revestimiento basado en una resina, tal como en una resina de poliéster, una resina acrílica, una fluororesina, una resina de cloruro de vinilo, una resina de uretano y una resina epoxídica, se aplica a la superficie del material de acero revestido con una aleación fundida de Zn-Al-Mg-Si-Cr de la presente invención mediante, por ejemplo, revestimiento con rodillo, revestimiento por rociado, revestimiento de cortina, revestimiento por inmersión, o un método tal como la laminación de una película al apilar una película de plástico tal como una película de resina acrílica y se forma por ello una película de revestimiento, se puede ejercer una excelente resistencia a la corrosión en la parte plana, la parte de la cara del extremo del corte y la parte tratada por flexión bajo una atmósfera corrosiva.

El material de acero revestido con aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr, producido de esta manera, se puede usar como un material de acero que tiene una resistencia a la corrosión que supera la de los materiales de acero revestidos con aleaciones convencionales, para materiales de construcción y automóviles.

### Ejemplos

La presente invención se describe con más detalle más adelante haciendo referencia a los Ejemplos.

#### Ejemplo 1

Usando el equipo de revestimiento mostrado en la Figura 5, se desengrasó una chapa delgada de acero laminado en frío que tenía un espesor de chapa de 0,8 mm (SPCC) (JIS G3141), se sometió a un tratamiento de reducción por calentamiento a 800°C durante 60 segundos en una atmósfera de N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> basado en un simulador de revestimiento por inmersión fabricado por Rhesca Co. Ltd, se enfrió a la temperatura del baño de revestimiento y luego se revistió bajo las condiciones (composición del baño de revestimiento, temperatura del baño, tiempo de inmersión, velocidad de enfriamiento hasta solidificación, velocidad de enfriamiento después de la solidificación) mostradas en las Tablas 1 a 6 para producir un material de acero revestido con aleación. La cobertura del revestimiento se estableció en 60 g/m<sup>2</sup> sobre una superficie.

El método para enfriar el revestimiento se llevó a cabo rociando gas N<sub>2</sub> o rociando una niebla compuesta de gas N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en las zonas de enfriamiento 6 y 7 de la Figura 5.

El material de de acero obtenido, revestido con aleación, se cortó en piezas de 100 mm x 50 mm y se sometieron a ensayo para la evaluación de la resistencia a la corrosión. La cara del extremo y la superficie posterior se protegieron con un precinto transparente, y únicamente se evaluó la superficie frontal. En la evaluación de la resistencia a la corrosión se realizó un ensayo de niebla salina (JIS Z 2371), y se evaluó la resistencia a la corrosión en el tiempo hasta la generación de herrumbre (resistencia a la corrosión sin protección).

A: El tiempo transcurrido hasta la generación de herrumbre es de 1.440 horas o más.

B: El tiempo transcurrido hasta la generación de herrumbre es de 1,200 horas a menos de 1.440 horas.

C: El tiempo transcurrido hasta la generación de herrumbre es de 960 horas a menos de 1.200 horas.

D: El tiempo hasta la generación de herrumbre es inferior a 960 horas.

En cuanto a las características de la parte tratada por flexión, el material de acero revestido con la aleación se cortó en piezas de 60 mm x 30 mm, se doblaron 90° y se sometieron al mismo ensayo anterior de niebla salina (JIS Z 2371), y se evaluó la resistencia a la corrosión durante el tiempo transcurrido hasta la generación de herrumbre. La superficie evaluada fue la superficie exterior de la porción doblada (resistencia a la corrosión de la parte tratada).

A: El tiempo transcurrido hasta la generación de herrumbre es de 1.200 horas o más.

C: El tiempo transcurrido hasta la generación de herrumbre es de 720 horas a menos de 1.200 horas.

D: El tiempo transcurrido hasta la generación de herrumbre es de inferior a 720 horas.

Por separado, se observó un corte transversal mediante TEM para inspeccionar el estado de la capa de la aleación interfacial, y se examinó el espesor y el estado de la distribución de Cr de capa de aleación (espesor de la capa de aleación, el estado de la capa de aleación interfacial).

A: La capa de aleación interfacial se forma como una estructura de cuatro capas (cuatro capas, capa de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub>, capa de Al<sub>3,2</sub>Fe, capa de aleación basada en AlFeSi y capa de AlFeSi concentrada en Cr).

C: La capa de aleación interfacial se forma como una estructura de tres capas y el Cr está ampliamente distribuido en la capa de aleación de Al-Fe-Si (tres capas, capa de Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub>, capa de Al<sub>3,2</sub>Fe, capa de aleación basada en AlFeSi que contiene Cr).

D: La capa de aleación interfacial se forma como una estructura de una única capa mayoritariamente compuesta de una capa de aleación de Al-Fe-Si-Cr.

Por cierto, como en la cantidad de Cr en la capa de aleación interfacial, la cantidad de Cr en la capa de aleación basada en Al-Fe-Si se determinó mediante el análisis cuantitativo según la espectrometría de rayos X de energía dispersiva (EDS) (cantidad de Cr en % en masa de la capa de aleación interfacial).

Tabla 1

|    | Composición de la capa de revestimiento (% en masa) |     |     |     |       | Temperatura del baño (°C) | Tiempo de inmersión (s) | Velocidad de enfriamiento hasta solidificación (°C/s) | Velocidad de enfriamiento después de solidificación (°C/s) | Espesor de la capa de aleación (µm) | Resistencia a la corrosión sin protección | Resistencia a la corrosión de la parte tratada | Estado de la capa de aleación interfacial | Cantidad de Cr de la capa de aleación interfacial | Observaciones |
|----|---|-----|-----|-----|-------|---------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|---|--|---|---|---------------|
|    | Al  | Cr  | Si  | Mg  | Zn    |                           |                         |   |  |                                     |   |  |   |   |               |
| 1  | 25,0  | 0,2 | 1,6 | 1,0 | resto | 500                       | 2,0                     | 15  | 18   | 0,1                                 | C   | C  | C   | 0,2   |               |
| 2  | 25,0  | 1,0 | 1,6 | 1,0 | resto | 550                       | 2,0                     | 15  | 18   | 0,6                                 | C   | C  | C   | 0,4   |               |
| 3  | 45,0  | 0,2 | 1,6 | 1,0 | resto | 550                       | 2,0                     | 15  | 18   | 1,0                                 | C   | A  | A   | 0,4   |               |
| 4  | 45,0  | 1,0 | 1,6 | 1,0 | resto | 580                       | 2,0                     | 15  | 18   | 2,0                                 | B   | A  | A   | 0,5   |               |
| 5  | 55,0  | 0,2 | 1,6 | 1,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 15  | 18   | 3,6                                 | A   | A  | A   | 0,5   |               |
| 6  | 55,0  | 1,0 | 1,6 | 1,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 15  | 18   | 3,6                                 | A   | A  | A   | 0,6   |               |
| 7  | 55,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 15  | 18   | 3,6                                 | A   | A  | A   | 0,5   |               |
| 8  | 55,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 15  | 18   | 3,6                                 | A   | A  | A   | 0,6   |               |
| 9  | 60,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | B   | A  | A   | 0,4   |               |
| 10 | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 11 | 60,0  | 1,0 | 1,0 | 3,0 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,6   |               |
| 12 | 60,0  | 1,0 | 1,2 | 3,0 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,7   |               |
| 13 | 60,0  | 1,0 | 1,5 | 3,0 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 14 | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 0,1 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 15 | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 0,2 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 16 | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 0,4 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 17 | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 0,6 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 18 | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 0,8 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 19 | 60,0  | 3,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 1,3   |               |
| 20 | 60,0  | 5,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 2,0                     | 18  | 18   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 4,5   | Invención     |

Tabla 2

|    | Composición de la capa de revestimiento (% en masa) |      |     |     |       | Temperatura del baño (°C) | Tiempo de inmersión (s) | Velocidad de enfriamiento hasta solidificación (°C/s) | Velocidad de enfriamiento después de solidificación (°C/s) | Espesor de la capa de aleación (µm) | Resistencia a la corrosión sin protección | Resistencia a la corrosión de la parte tratada | Estado de la capa de aleación interfacial | Cantidad de Cr de la capa de aleación interfacial | Observaciones |
|----|---|------|-----|-----|-------|---------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|---|--|---|---|---------------|
|    | Al  | Cr   | Si  | Mg  | Zn    |                           |                         |   |  |                                     |   |  |   |   |               |
| 21 | 60,0  | 0,2  | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 3,0                     | 10  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,0   |               |
| 22 | 60,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 3,0                     | 10  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,8   |               |
| 23 | 60,0  | 3,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 3,0                     | 10  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 6,2   |               |
| 24 | 60,0  | 5,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 3,0                     | 10  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,3   |               |
| 25 | 60,0  | 0,2  | 1,6 | 3,0 | resto | 580                       | 2,0                     | 10  | 18   | 4,2                                 | B   | C  | C   | 0,8   |               |
| 26 | 60,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 580                       | 2,0                     | 10  | 18   | 4,2                                 | B   | C  | C   | 1,7   |               |
| 27 | 60,0  | 3,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 580                       | 2,0                     | 10  | 18   | 4,2                                 | B   | C  | C   | 5,8   |               |
| 28 | 60,0  | 5,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 580                       | 2,0                     | 10  | 18   | 4,2                                 | B   | C  | C   | 8,0   |               |
| 29 | 65,0  | 0,05 | 1,6 | 1,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 10  | 18   | 5,0                                 | B   | A  | A   | 0,4   |               |
| 30 | 65,0  | 0,2  | 1,6 | 1,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 0,9   |               |
| 31 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 1,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,9   |               |
| 32 | 65,0  | 3,0  | 1,6 | 1,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 6,0   |               |
| 33 | 65,0  | 5,0  | 1,6 | 1,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,6   |               |
| 34 | 65,0  | 0,2  | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 35 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,7   |               |
| 36 | 65,0  | 3,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 5,8   |               |
| 37 | 65,0  | 5,0  | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,0   |               |
| 38 | 65,0  | 0,2  | 1,6 | 5,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,0   |               |
| 39 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 5,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 17  | 16   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,8   |               |
| 40 | 65,0  | 3,0  | 1,6 | 5,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 17  | 16   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 6,3   | Invención     |

Tabla 3

|    | Composición de la capa de revestimiento (% en masa) |     |     |      |       | Temperatura del baño (°C) | Tiempo de inmersión (s) | Velocidad de enfriamiento hasta solidificación (°C/s) | Velocidad de enfriamiento después de solidificación (°C/s) | Espesor de la capa de aleación (µm) | Resistencia a la corrosión sin protección | Resistencia a la corrosión de la parte tratada | Estado de la capa de aleación interfacial | Cantidad de Cr de la capa de aleación interfacial | Observaciones |
|----|---|-----|-----|------|-------|---------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|---|--|---|---|---------------|
|    | Al  | Cr  | Si  | Mg   | Zn    |                           |                         |   |  |                                     |   |  |   |   |               |
| 41 | 65,0  | 5,0 | 1,6 | 5,0  | resto | 620                       | 3,0                     | 17  | 16   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,8   |               |
| 42 | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 8,0  | resto | 620                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 43 | 65,0  | 1,0 | 1,6 | 8,0  | resto | 620                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,7   |               |
| 44 | 65,0  | 3,0 | 1,6 | 8,0  | resto | 620                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 5,8   |               |
| 45 | 65,0  | 5,0 | 1,6 | 8,0  | resto | 580                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,0   |               |
| 46 | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 10,0 | resto | 580                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,1   |               |
| 47 | 65,0  | 1,0 | 1,6 | 10,0 | resto | 580                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,9   |               |
| 48 | 65,0  | 3,0 | 1,6 | 10,0 | resto | 580                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 5,7   |               |
| 49 | 65,0  | 5,0 | 1,6 | 10,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 9,0   |               |
| 50 | 65,0  | 0,2 | 3,0 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,3   |               |
| 51 | 65,0  | 1,0 | 3,0 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 2,5   |               |
| 52 | 65,0  | 3,0 | 3,0 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 5,5   |               |
| 53 | 65,0  | 5,0 | 3,0 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,0   |               |
| 54 | 65,0  | 0,2 | 7,5 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,5   |               |
| 55 | 65,0  | 1,0 | 7,5 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 2,8   |               |
| 56 | 65,0  | 3,0 | 7,5 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 6,0   |               |
| 57 | 65,0  | 5,0 | 7,5 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 9,2   |               |
| 58 | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 5,0  | resto | 660                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 0,8   |               |
| 59 | 65,0  | 1,0 | 1,6 | 5,0  | resto | 660                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,7   |               |
| 60 | 65,0  | 3,0 | 1,6 | 5,0  | resto | 660                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 6,0   | Invención     |

Tabla 4

|    | Composición de la capa de revestimiento (% en masa) |     |     |     |       | Temperatura del baño (°C) | Tiempo de inmersión (s) | Velocidad de enfriamiento hasta solidificación (°C/s) | Velocidad de enfriamiento después de solidificación (°C/s) | Espesor de la capa de aleación (µm) | Resistencia a la corrosión sin protección | Resistencia a la corrosión de la parte tratada | Estado de la capa de aleación interfacial | Cantidad de Cr de aleación interfacial | Observaciones |
|----|---|-----|-----|-----|-------|---------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|---|--|---|--|---------------|
|    | Al  | Cr  | Si  | Mg  | Zn    |                           |                         |   |  |                                     |   |  |   |  |               |
| 61 | 65,0  | 5,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 660                       | 3,0                     | 18  | 16   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,0                                    |               |
| 62 | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 660                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 0,8                                    |               |
| 63 | 65,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 660                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,9                                    |               |
| 64 | 65,0  | 3,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 660                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 5,8                                    |               |
| 65 | 65,0  | 5,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,0                                    |               |
| 66 | 70,0  | 0,2 | 1,6 | 1,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 0,8                                    |               |
| 67 | 70,0  | 1,0 | 1,6 | 1,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,7                                    |               |
| 68 | 70,0  | 3,0 | 1,6 | 1,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 5,8                                    |               |
| 69 | 70,0  | 5,0 | 1,6 | 1,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,0                                    |               |
| 70 | 70,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 0,8                                    |               |
| 71 | 70,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,7                                    |               |
| 72 | 70,0  | 3,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 5,8                                    |               |
| 73 | 70,0  | 5,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 650                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 8,0                                    |               |
| 74 | 75,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 680                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,6                                    |               |
| 75 | 75,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 680                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 2,5                                    |               |
| 76 | 75,0  | 3,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 680                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 7,0                                    |               |
| 77 | 75,0  | 5,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 680                       | 3,0                     | 18  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 9,5                                    |               |
| 78 | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 25   | 4,6                                 | A   | C  | A   | 0,6                                    |               |
| 79 | 65,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 25   | 4,4                                 | A   | C  | A   | 1,5                                    |               |
| 80 | 65,0  | 3,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 25   | 4,6                                 | A   | C  | A   | 5,0                                    | Invencción    |

Tabla 5

|     | Composición de la capa de revestimiento (% en masa) |     |     |     |       | Temperatura del baño (°C) | Tiempo de inmersión (s) | Velocidad de enfriamiento hasta solidificación (°C/s) | Velocidad de enfriamiento después de solidificación (°C/s) | Espesor de la capa de aleación (µm) | Resistencia a la corrosión sin protección | Resistencia a la corrosión de la parte tratada | Estado de la capa de aleación interfacial | Cantidad de Cr de la capa de aleación interfacial | Observaciones |
|-----|---|-----|-----|-----|-------|---------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|---|--|---|---|---------------|
|     | Al  | Cr  | Si  | Mg  | Zn    |                           |                         |   |  |                                     |   |  |   |   |               |
| 81  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 10   | 6,1                                 | A   | C  | C   | 1,5   |               |
| 82  | 65,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 10   | 6,1                                 | A   | C  | C   | 2,3   |               |
| 83  | 65,0  | 3,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 10   | 6,1                                 | A   | C  | C   | 6,5   |               |
| 84  | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 620                       | 3,0                     | 10  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,8   |               |
| 85  | 65,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 18   | 5,0                                 | A   | A  | A   | 1,7   |               |
| 86  | 45,0  | 0,2 | 1,6 | 1,0 | resto | 550                       | 2,0                     | 15  | 18   | 1,0                                 | A   | A  | A   | 0,5   |               |
| 87  | 45,0  | 0,2 | 1,6 | 1,0 | resto | 550                       | 2,0                     | 15  | 18   | 1,0                                 | A   | A  | A   | 0,5   |               |
| 88  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 15   | 5,5                                 | A   | A  | A   | 1,2   |               |
| 89  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 20   | 4,5                                 | A   | A  | A   | 1,2   |               |
| 90  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 25   | 4,0                                 | A   | C  | A   | 1,4   |               |
| 91  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 28   | 3,4                                 | A   | C  | A   | 1,5   |               |
| 92  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 30   | 2,9                                 | A   | C  | C   | 1,3   |               |
| 93  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 10  | 18   | 8,0                                 | A   | A  | A   | 1,5   |               |
| 94  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 12  | 18   | 6,1                                 | A   | A  | A   | 1,5   |               |
| 95  | 65,0  | 0,2 | 1,6 | 3,0 | resto | 630                       | 3,0                     | 20  | 18   | 4,2                                 | A   | A  | A   | 1,4   |               |
| 96  | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 18  | 10   | 6,0                                 | A   | C  | A   | 1,0   |               |
| 97  | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 18  | 15   | 4,0                                 | A   | A  | A   | 1,0   |               |
| 98  | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 18  | 20   | 3,0                                 | A   | A  | A   | 1,1   |               |
| 99  | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 18  | 25   | 2,6                                 | A   | C  | A   | 1,2   |               |
| 100 | 60,0  | 1,0 | 1,6 | 3,0 | resto | 600                       | 2,0                     | 18  | 30   | 2,1                                 | A   | C  | C   | 1,3   | Invención     |

Tabla 6

|     | Composición de la capa de revestimiento (% en masa) |      |     |      |       | Temperatura del baño (°C) | Tiempo de inmersión (s) | Velocidad de enfriamiento hasta solidificación (°C/s) | Velocidad de enfriamiento después de solidificación (°C/s) | Espesor de la capa de aleación (µm) | Resistencia a la corrosión sin protección | Resistencia a la corrosión de la parte tratada | Estado de la capa de aleación interfacial | Cantidad de Cr de la capa de aleación interfacial | Observaciones |
|-----|---|------|-----|------|-------|---------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------------------|---|--|---|---|---------------|
|     | Al  | Cr   | Si  | Mg   | Zn    |                           |                         |   |  |                                     |   |  |   |   |               |
| 101 | 55,0  | 0,0  | 1,6 | 0,0  | resto | 600                       | 2,0                     | 10  | 10   | 4,0                                 | D   | D  | D   | 0   |               |
| 102 | 55,0  | 1,0  | 1,8 | 3,0  | resto | 600                       | 2,0                     | 15  | 15   | 3,6                                 | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 103 | 55,0  | 0,01 | 1,6 | 3,0  | resto | 600                       | 2,0                     | 15  | 15   | 3,2                                 | D   | D  | D   | 0   |               |
| 104 | 55,0  | 1,0  | 1,6 | 0,05 | resto | 600                       | 2,0                     | 15  | 15   | 3,0                                 | D   | C  | A   | 1,2   |               |
| 105 | 55,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 8,0                     | 8   | 8  | 13,5                                | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 106 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 1,0  | resto | 630                       | 2,0                     | 30  | 30   | 0,6                                 | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 107 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 2,0                     | 30  | 30   | 0,6                                 | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 108 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 1,0  | resto | 630                       | 2,0                     | 30  | 30   | 0,6                                 | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 109 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 2,0                     | 30  | 30   | 0,6                                 | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 110 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 2,0                     | 40  | 40   | 0,2                                 | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 111 | 65,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 5   | 12   | 6,5                                 | D   | D  | D   | 0,2   |               |
| 112 | 65,0  | 1,0  | 1,2 | 3,0  | resto | 500                       | 2,0                     | 15  | 15   | 0,2                                 | D   | C  | A   | 0,8   |               |
| 113 | 65,0  | 1,0  | 1,2 | 3,0  | resto | 550                       | 2,0                     | 15  | 15   | 0,6                                 | D   | C  | A   | 0,9   |               |
| 114 | 65,0  | 0,2  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 5   | 18   | 6,0                                 | B   | D  | D   | 0,8   |               |
| 115 | 65,0  | 0,2  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 30  | 18   | 3,3                                 | B   | D  | D   | 0,8   |               |
| 116 | 66,0  | 0,2  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 5  | 11,5                                | B   | D  | D   | 0,8   |               |
| 117 | 65,0  | 0,2  | 1,6 | 3,0  | resto | 630                       | 3,0                     | 15  | 40   | 0,8                                 | B   | D  | D   | 0,8   |               |
| 118 | 60,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 600                       | 2,0                     | 18  | 5  | 11,1                                | B   | D  | D   | 1,0   |               |
| 119 | 60,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 600                       | 2,0                     | 18  | 40   | 0,9                                 | B   | D  | D   | 1,0   |               |
| 120 | 60,0  | 1,0  | 1,6 | 3,0  | resto | 600                       | 2,0                     | 30  | 18   | 3,0                                 | B   | D  | D   | 1,0   |               |

Nº 84 y Nº 85: se añadieron 50 ppm de Sr al revestimiento, Nº 86: se añadieron 250 ppm de Sr al revestimiento, y Nº 87: se añadieron 500 ppm de Ca al revestimiento

Los resultados se muestran en las Tablas 1 a 6. A partir de estos resultados se confirma que aplicando el revestimiento de aleación según la presente invención, la resistencia a la corrosión se puede potenciar mucho y se puede producir un excelente material de acero revestido.

## REIVINDICACIONES

1. Un material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, que tiene una capa de revestimiento sobre la superficie de un material de acero y que tiene una capa de aleación interfacial en la interfase, entre dicho material de acero y dicha capa de revestimiento, en el que la composición media, excluyendo el Fe, de la capa de revestimiento completa, consistente en dicha capa de revestimiento y dicha capa de aleación interfacial contiene, en % en masa, Al: de 25 a 75%, Mg: de 0,1 a 10%, Si: más del 1% y 7,5% o menos, y Cr: de 0,05 a 5,0%, siendo el resto Zn y las inevitables impurezas, dicha capa de aleación interfacial está compuesta de los componentes de la capa de revestimiento y Fe, y tiene un espesor de 0,05 a 10  $\mu\text{m}$ , o un espesor del 50% o menos del espesor de la capa completa de revestimiento, dicha capa de aleación interfacial tiene una estructura multicapas consistente en una capa de aleación basada en Al-Fe y una capa de aleación basada en Al-Fe-Si, y dicha capa de aleación basada en Al-Fe-Si contiene Cr.
2. El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, según la reivindicación 1, en el que dicha capa de aleación basada en Al-Fe-Si consiste en una capa que sustancialmente contiene Cr y una capa que sustancialmente no contiene Cr, y la capa que contiene Cr está en contacto con la capa de revestimiento.
3. El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicha capa de aleación basada en Al-Fe forma un cristal en forma de columna y dicha capa de aleación basada en Al-Fe-Si forma un cristal granular.
4. El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicha capa de aleación basada en Al-Fe consiste en dos capas, es decir, una capa compuesta de  $\text{Al}_5\text{Fe}_2$  y una capa compuesta de  $\text{Al}_{3,2}\text{Fe}$ .
5. El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la concentración de Cr en dicha capa de aleación basada en Al-Fe-Si que contiene Cr de 0,5 a 10%, en términos de % en masa.
6. El material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicha capa completa de revestimiento contiene, en % en masa, de 1 a 500 ppm de al menos una clase de un elemento aparte de Sr y Ca.
7. Un método para producir el material de acero revestido con una aleación de Zn-Al-Mg-Si-Cr por inmersión en caliente, reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende los pasos de:
- sumergir y luego sacar el material de acero, dentro y fuera, de un baño de revestimiento por inmersión en caliente que contiene, en % en masa, Al: del 25 al 75%, Mg: del 0,1 al 10%, Si: más del 1% y el 7,5% o menos, y Cr: del 0,05 al 5%, siendo el resto Zn y las impurezas inevitables, para obtener un material de acero revestido.
- enfriar el material de acero revestido que se ha sacado fuera, desde la temperatura del baño de revestimiento a la temperatura de solidificación del revestimiento a una velocidad de enfriamiento de 10 a 20°C/s para solidificar dicho revestimiento, y
- enfriar el material de acero revestido después de la solidificación del revestimiento, a una velocidad de enfriamiento de 10 a 30°C/s para formar una capa de aleación basada en Al-Fe-Si que contiene dicho Cr en dicha capa de aleación interfacial formada entre dicho material de acero y dicha capa de revestimiento.

Fig.1

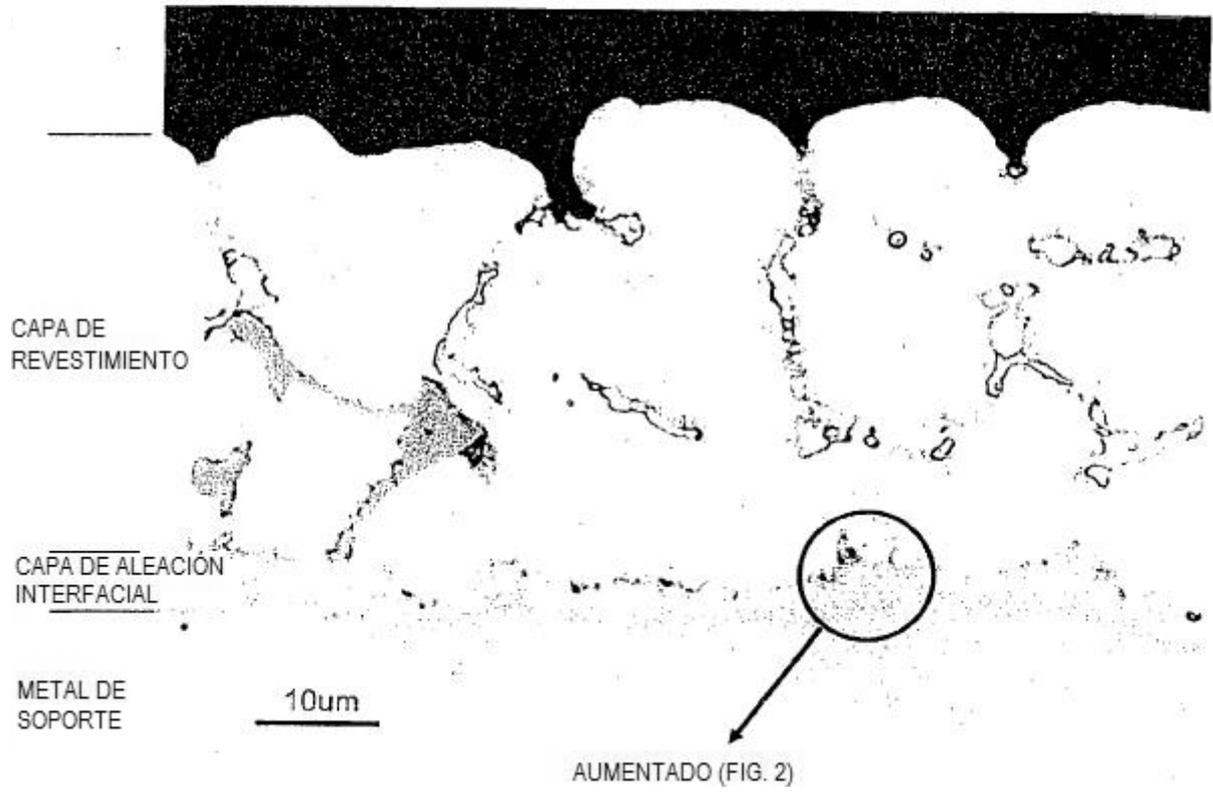


Fig.2

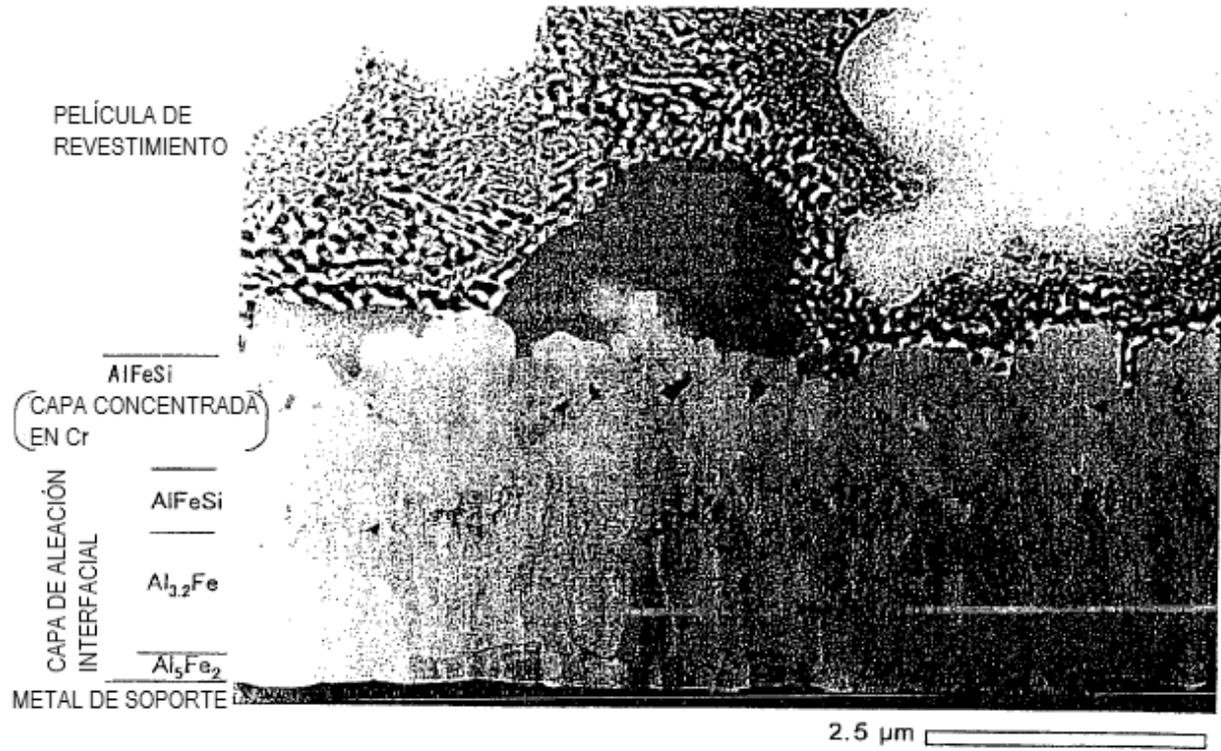


Fig.3



Fig.4

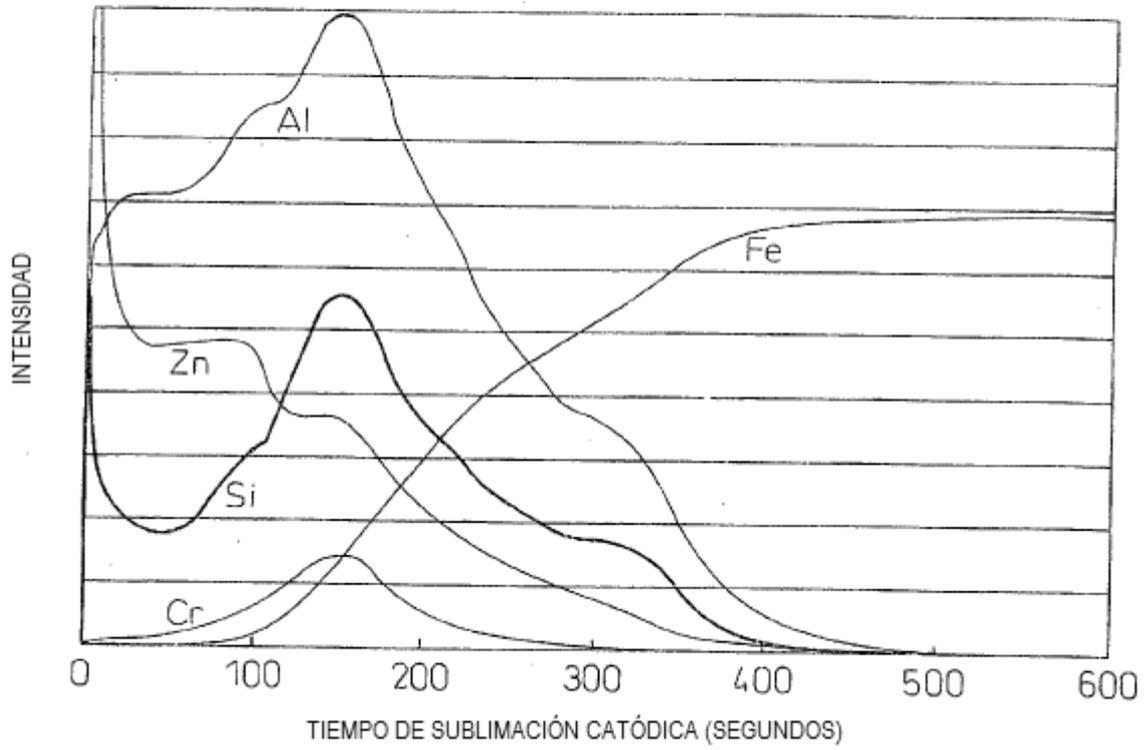


Fig.5

