

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 958 769**

51 Int. Cl.:

C23C 2/06 (2006.01)

C23C 2/12 (2006.01)

C23C 2/40 (2006.01)

C23C 28/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.03.2018 PCT/JP2018/010627**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.09.2018 WO18169084**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2018 E 18767596 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2023 EP 3597786**

54 Título: **Lámina de acero recubierta**

30 Prioridad:

17.03.2017 JP 2017053150

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

14.02.2024

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 1008071, JP**

72 Inventor/es:

mitsunobu, takuya

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 958 769 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

Lámina de acero recubierta

Campo técnico

La presente divulgación se refiere a una lámina de acero recubierta.

5 Antecedentes de la técnica

En los últimos años, una lámina de acero recubierta se usa como miembro estructural de automóvil desde el punto de vista de la prevención de la oxidación, y una lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente aleada se aplica principalmente en el mercado japonés. La lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente aleada es una lámina de acero recubierta para la cual primero se realiza un recubrimiento con Zn de galvanizado en caliente sobre una lámina de acero y luego se realiza un tratamiento térmico de aleación sobre la misma de modo que se mejoran la soldabilidad y la resistencia a la corrosión después de pintar por medio de difusión de Fe desde la lámina de acero (lámina de acero de sustrato) en la capa de recubrimiento. Por ejemplo, una lámina de acero recubierta descrita en la literatura de patente 1 se usa de forma representativa como lámina de acero recubierta para automóviles en Japón.

Normalmente, una lámina de acero recubierta para automóvil se usa en un estado conformado en una forma compleja a partir de una forma de lámina, por lo tanto, en muchos casos se somete a un conformado a presión. En el caso de una lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente aleada, la capa de recubrimiento se vuelve dura a causa de la difusión de Fe desde la lámina de acero de sustrato. Por lo tanto, la capa de recubrimiento se desprende fácilmente y existe un problema único, tal como la formación de polvo o descamación, que no se experimenta en una lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente aleada que tiene una capa de recubrimiento blanda.

Además, en el caso de una lámina de acero recubierta provista de una capa de recubrimiento dura, la capa de recubrimiento es propensa a dañarse por una presión externa, y una vez que se genera una grieta, la grieta se propaga a una interfaz entre la capa de recubrimiento y el sustrato de acero (lámina de acero). Y se considera un problema que la capa de recubrimiento sea propensa a desprenderse de la interfaz con el sustrato de acero (lámina de acero) como punto de partida para provocar la caída.

Por ejemplo, cuando se usa una lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente aleada para el panel exterior de un automóvil, el sustrato de acero (lámina de acero) tiende a quedar expuesto a causa del desprendimiento simultáneo de una capa de pintura y una capa de recubrimiento por impacto de una piedra (astillas) levantada por un vehículo en marcha. Por lo tanto, la corrosión puede ser más grave que la de una lámina de acero recubierta provista de una capa de recubrimiento suave que no está aleado.

Además, en relación con la prevención de la oxidación, la lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente aleada contiene Fe en la capa de recubrimiento. Por lo tanto, cuando se produce dicho astillado, fácilmente se genera óxido de color marrón rojizo a causa de la corrosión de la capa de recubrimiento, lo que provoca un problema en el aspecto del automóvil.

Como solución a estos problemas, es eficaz aplicar una lámina de acero recubierta con una capa de recubrimiento que tenga una tenacidad favorable y que no contenga Fe. Por ejemplo, como lámina de acero recubierta para automóvil con una capa de recubrimiento que no contiene Fe, la lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente se usa principalmente en América del Norte, Europa, etc. En este sentido, una lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente que no se haya sometido a un tratamiento de aleación es resistente al astillado. Además, dado que la capa de recubrimiento no contiene Fe, a diferencia de una lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente aleada, también es menos probable que aparezca óxido rojo en la etapa inicial de la corrosión. Sin embargo, cuando se pinta, la capa de recubrimiento se corroe fácilmente debajo de la película de pintura para levantar la película de pintura (formación de ampollas). En consecuencia, una lámina de acero recubierta con zinc galvanizada en caliente no es de ninguna manera adecuada para una lámina de acero recubierta para automóvil.

Como método para mejorar la resistencia a la corrosión de un recubrimiento de Zn por galvanizado en caliente, existe, por ejemplo, un método de añadir Al en la capa de recubrimiento de Zn. En el campo de los materiales de construcción, como se describe en la literatura de patente 2, como lámina de acero recubierta con alta resistencia a la corrosión, una lámina de acero recubierta con Al-Zn por galvanizado en caliente se usa ampliamente en la práctica. La capa de recubrimiento de dicha lámina de acero recubierta con Al-Zn por galvanizado en caliente está constituida por una fase α -Al similar a una dendrita (estructura dendrítica) cristalizada primero desde el estado fundido, y una estructura que consiste en una fase de Zn y una fase de Al formadas en los intersticios de las estructuras dendríticas (estructura interdendrítica). La estructura dendrítica está pasivada y la estructura interdendrítica tiene una concentración de Zn más alta que la estructura dendrítica. Por lo tanto, la corrosión se concentra en la estructura interdendrítica.

Como resultado, la corrosión se propaga a través de la estructura interdendrítica en un patrón apollado y las formas de propagación de la corrosión se complican, lo que dificulta que la corrosión alcance el sustrato de acero (lámina de acero).

Por este motivo, cuando se usa una lámina de acero recubierta con Al-Zn por galvanizado en caliente como material

básico sin pintar, su resistencia a la corrosión es superior a la de una lámina de acero recubierta con zinc por galvanizado en caliente que tiene el mismo grosor de la capa de recubrimiento.

5 Cuando una lámina de acero recubierta con Al-Zn por galvanizado en caliente se usa como panel exterior de automóvil, la lámina de acero recubierta se suministra a un fabricante de automóviles, etc. en un estado que ya ha sido recubierta en una instalación continua de recubrimiento de metales por galvanizado en caliente. Por lo tanto, es común que el pintado integral de un automóvil, incluido la conversión de productos químicos, la pintura electrolítica, la pintura intermedia y la pintura de capa final, se lleve a cabo después de que la lámina de acero recubierta sea procesada en una forma de parte de panel.

10 También se ha estudiado añadir Mg a una capa de recubrimiento de Zn-Al con el fin de mejorar la resistencia a la corrosión. Por ejemplo, la literatura de patente 3 divulga una lámina de acero recubierta con Zn-Al-Mg por galvanizado en caliente en la que se mejora la resistencia a la corrosión formando una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂ que contiene un compuesto de Mg tal como MgZn₂ en una capa de recubrimiento. Se considera que la inclusión de Mg mejora la propiedad de sacrificio de protección contra la corrosión de la capa de recubrimiento para mejorar el efecto anticorrosivo del sustrato de acero.

15 La literatura de patente 4 divulga una lámina de acero recubierta con Al-Zn por galvanizado en caliente en la que se mejora la resistencia a la corrosión después de pintar rompiendo un estado pasivo de la estructura dendrítica mediante la inclusión de Sn o In.

20 Además, la literatura de patente 5 y 6 describe una lámina de acero recubierta con aleación de Al-Zn por galvanizado en caliente que contiene Mg y Sn en combinación. En la literatura de patente 5 y 6, se describe que la lámina de acero recubierta con aleación de Al-Zn por galvanizado en caliente es superior en cuanto a resistencia a la corrosión después de la pintura y/o trabajabilidad.

Literatura de patente 1: Solicitud de patente japonesa abierta a la inspección pública (JP-A) n.º 2003-253416

Literatura de patente 2: JP-B n.º S46-7161

Literatura de patente 3: JP-A n.º 2001-329383

25 Literatura de patente 4: Publicación internacional de Japón n.º WO2014/155944

Literatura de patente 5: JP-A n.º 2015-214747

Literatura de patente 6: JP-A n.º 2002-180225

30 Además, los documentos JP 2002-180225 A y JP 2001-064759 A describen productos de acero recubiertos de metal por galvanizado en caliente y el documento CA 2959289 A1 trata de láminas de acero chapadas que contienen cuasicristales. El documento EP 3 575 433 A1 es técnica anterior según el art. 54(3) del CPE y se trata de aceros chapados.

Compendio de la invención

Problema técnico

35 Sin embargo, cuando el panel exterior que usa la lámina de acero recubierta con Al-Zn por galvanizado en caliente descrita en la literatura de patente 2 se daña en la película de pintura y la capa de recubrimiento (cuando el sustrato de acero está expuesto), la disolución preferencial de Zn (corrosión selectiva de la estructura interdendrítica) se produce en la interfaz entre la película de pintura y la capa de recubrimiento comenzando a partir del área dañada a causa de una estructura de fase única de la capa de recubrimiento que consiste en las dos estructuras descritas anteriormente de estructura dendrítica y estructura interdendrítica. Esto se propaga profundamente en el área buena de la pintura y provoca una gran ampolla en la película de pintura. Como resultado, surge el problema bien conocido de que no se puede asegurar suficiente resistencia a la corrosión (resistencia a la corrosión después de pintar).

40 Además, la estructura interdendrítica tiene menor dureza que la estructura dendrítica. Por lo tanto, a causa de la diferencia de dureza entre la estructura interdendrítica y la estructura dendrítica, la deformación se concentra en la estructura interdendrítica durante el trabajo de prensado. Como resultado, se sabe que se desarrolla una grieta en la capa de recubrimiento para llegar al sustrato de acero. Dado que la corrosión se propaga en las proximidades de una grieta donde se expone el sustrato de acero, la resistencia a la corrosión después de pintar en un área procesada no ha sido satisfactoria.

50 Además, una fase de MgZn₂ incluida en la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta con Zn-Al-Mg por galvanizado en caliente descrita en la literatura de patente 3 es frágil. Por lo tanto, cuando la lámina de acero recubierta se somete a procesamiento, existe el riesgo de que se generen un gran número de grietas comenzando a partir de la estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂. Dado que el sustrato de acero queda expuesto cuando se generan grietas, también existe el problema de que no se puede asegurar la resistencia a la corrosión después de pintar en un área procesada.

5 En el caso de la lámina de acero recubierta con Al-Zn por galvanizado en caliente descrita en la literatura de patente 4, la capa de recubrimiento no contiene Mg y se han hecho todos los intentos de reducir la velocidad de corrosión de la propia capa de recubrimiento. Por lo tanto, es concebible que la resistencia a la corrosión después de pintar no sea satisfactoria como lámina de acero recubierta para automóvil. Además, con respecto a la lámina de acero recubierta con aleación de Al-Zn por galvanizado en caliente descrita en la literatura de patente 5 y 6, el control de la estructura del recubrimiento no se ha estudiado lo suficiente y, por lo tanto, se supone que se produce una fase de $MgZn_2$ como un compuesto intermetálico frágil que contiene Mg en la capa de recubrimiento.

10 En este caso, la lámina de acero recubierta con aleación de Al-Zn por galvanizado en caliente resultante tiene una trabajabilidad inferior y provoca una grieta en la capa de recubrimiento en el momento del prensado. Por lo tanto, se considera que la corrosión se propaga en el área procesada a partir de la fisura.

Se supone que estas láminas de acero recubiertas con aleación de Al-Zn por galvanizado en caliente no tienen trabajabilidad o resistencia a la corrosión después de pintarlas satisfactoriamente como una lámina de acero recubierta para un automóvil.

15 Es decir, hasta ahora no se ha desarrollado una lámina de acero recubierta que tenga tanto resistencia a la corrosión después de pintar como trabajabilidad y, en particular, no ha existido una lámina de acero recubierta adecuada para aplicaciones de automoción.

Un objeto de un aspecto de la presente divulgación es proporcionar una lámina de acero recubierta excelente en resistencia a la corrosión después de pintar y con trabajabilidad.

Solución al problema

20 El objeto se logra mediante una lámina de acero recubierta como se define en las reivindicaciones.

Efectos ventajosos de la invención

En un aspecto de la presente divulgación, se puede proporcionar una lámina de acero recubierta con excelente resistencia a la corrosión después de pintar y trabajabilidad.

Breve descripción de las figuras

25 [FIG. 1] La figura 1 es una imagen de electrones retrodispersados (imagen BSE) tomada con un SEM con un aumento de 2000x en un ejemplo de la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta según la presente divulgación (n.º 29 del ejemplo).

[FIG. 2] La figura 2 es una vista ampliada de la región A en la figura 1.

30 [FIG. 3] La figura 3 es una imagen de electrones retrodispersados (imagen BSE) tomada con un SEM con un aumento de 2000x en la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta del n.º 31 de ejemplo.

[FIG. 4] La figura 4 es una imagen de electrones retrodispersados (imagen BSE) tomada con un SEM con un aumento de 2000x en la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta del n.º 32 del ejemplo.

35 [FIG. 5] La figura 5 es una imagen de electrones retrodispersados (imagen BSE) con un SEM de una sección transversal de una capa de recubrimiento para explicar un método de identificación de una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂ y medir la fracción de área de la misma.

Descripción de las realizaciones

A continuación, se describirá un ejemplo de la presente divulgación.

En la presente divulgación, la indicación de "%" con respecto al contenido de cada elemento en una composición química significa "% en masa".

40 Un intervalo numérico expresado por "de x a y" incluye los valores de x e y en el intervalo como los valores mínimo y máximo, respectivamente.

En el caso de que se añada "menor que" o "mayor que" a la x o y anterior, dicha x o y no se incluirá en el intervalo como valor mínimo o máximo.

45 El contenido de un elemento de una composición química puede expresarse como la cantidad de un elemento (por ejemplo, la cantidad de Zn, la cantidad de Mg o similar), o la concentración de un elemento (por ejemplo, la concentración de Zn, la concentración de Mg, o similar).

La "resistencia a la corrosión después de pintar" se refiere a la propiedad de resistencia a la corrosión de la propia capa de recubrimiento.

La "propiedad de sacrificio de protección contra la corrosión" se refiere a la propiedad de eliminar la corrosión de un área donde un sustrato de acero está expuesto (por ejemplo, una superficie de extremo cortada de una lámina de acero recubierta, un área donde se ha producido el agrietamiento durante el procesamiento o un área donde un sustrato de acero ha quedado expuesto por desprendimiento de la capa de recubrimiento).

- 5 El "diámetro de círculo equivalente" es un diámetro de un círculo que tiene la misma área que la región definida por el contorno de una fase, que se identifica en una sección transversal de una capa de recubrimiento (una sección transversal cortada en la dirección del grosor de la capa de recubrimiento).

"Dirección C" significa la dirección perpendicular a la dirección de laminación de una lámina de acero.

"Dirección L" significa la dirección paralela a la dirección de laminación de una lámina de acero.

- 10 La lámina de acero recubierta de la presente divulgación incluye una lámina de acero y una capa de recubrimiento proporcionada en por lo menos parte de la superficie de la lámina de acero.

La capa de recubrimiento tiene una composición química predeterminada. Además, la capa de recubrimiento tiene una estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular en una fracción de área desde el 5 al 65 %, y una estructura que contiene una solución sólida de Zn y Al (en lo sucesivo, por conveniencia, también denominada "estructura dendrítica").

- 15 La estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es una estructura constituida con una fase de Zn y una fase de Mg_2Sn granular que tiene un tamaño de grano de cristal inferior a $1 \mu m$ dispersada en la fase de Zn.

La lámina de acero recubierta de la presente divulgación puede ser una lámina de acero recubierta que es superior en resistencia a la corrosión después de pintar y trabajabilidad en virtud de la constitución anterior. La lámina de acero recubierta de la presente divulgación se inventó en base a los siguientes hallazgos.

- 20 Los autores de la invención investigaron la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad de una capa de recubrimiento adecuada para una lámina de acero recubierta para aplicaciones de automoción, aplicaciones de materiales de construcción, etc. Como resultado, se obtuvieron los siguientes hallazgos.

- 25 Aunque el compuesto intermetálico que contiene Mg constituye una fase frágil, una fase de Mg_2Sn tiene una deformabilidad plástica más favorable en comparación con una fase de $MgZn_2$. Al formar una fase en la que la fase de Mg_2Sn está finamente dispersa en una fase de Zn que tiene una deformabilidad plástica favorable, la estructura en conjunto expresa una deformabilidad plástica favorable, lo que contribuye a mejorar la trabajabilidad. Además, la fase de Mg_2Sn sirve como fuente de suministro de iones de Mg en un entorno corrosivo y, dado que los iones de Mg convierten el producto de corrosión en una película aislante, se puede eliminar la corrosión debajo de la película de pintura en un estado pintado.

- 30 Por lo tanto, cuando una estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular constituida con una fase de Zn y una fase de Mg_2Sn granular que tiene un tamaño de grano de cristal inferior a $1 \mu m$ dispersada en la fase de Zn se hace presente en una cantidad predeterminada en términos de fracción de área, se mejoran tanto la resistencia a la corrosión después de pintar como la trabajabilidad. Específicamente, cuando la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es del 5 % o más, la trabajabilidad y la resistencia a la corrosión después de pintar se vuelven superiores a las de una lámina de acero recubierta disponible comercialmente.

- 35 A partir de los hallazgos anteriores, se ha descubierto que la lámina de acero recubierta de la presente divulgación es una lámina de acero recubierta superior en resistencia a la corrosión después de pintar y trabajabilidad.

- 40 Además, dado que la lámina de acero recubierta de la presente divulgación tiene una estructura dispersa en capas granulares que presenta deformabilidad plástica en la capa de recubrimiento, también puede ser superior en resistencia al astillado y lograr una extensión de la vida útil de una lámina de acero recubierta después de pintar

- 45 La lámina de acero recubierta de la presente divulgación contiene una cantidad predeterminada de Al en la capa de recubrimiento y tiene una estructura dendrítica que eleva el punto de fusión de la capa de recubrimiento. Por lo tanto, también puede ser superior en resistencia al gripado y puede evitar que la capa de recubrimiento se adhiera a un molde de prensado durante el moldeo por prensado. Es decir, resulta posible que la lámina de acero recubierta de la presente divulgación sea superior tanto en resistencia a la corrosión después de pintar como en conformabilidad de prensado.

- En particular, en el caso de una lámina de acero recubierta para uso en automoción, se considera importante la trabajabilidad y el período hasta el inicio de la formación de ampollas en un punto de la película o la oxidación roja a partir de un corte. Por lo tanto, una lámina de acero recubierta que tenga una capa de recubrimiento superior en resistencia a la corrosión después de pintar y trabajabilidad es adecuada para aplicaciones de automoción.

- 50 La lámina de acero recubierta de la presente divulgación se describirá en detalle a continuación.

En primer lugar, se describirá una lámina de acero.

No existe una restricción particular sobre una lámina de acero usada como lámina original para su recubrimiento, y

pueden usarse diversas láminas de acero de un acero calmado con aluminio, un acero al carbono ultrabajo, un acero al carbono alto, varios aceros de alta resistencia a la tracción, un acero que contenga níquel o cromo, o similares. No existe una restricción particular sobre un método de fabricación de acero, la resistencia de un acero o un pretratamiento de lámina de acero, tal como un método de laminado en caliente, un método de decapado o un método de laminado en frío.

- 5 Tampoco existe ninguna restricción particular sobre la composición química (C, Si, etc.) de una lámina de acero. No se ha confirmado que elementos tales como Ni, Mn, Cr, Mo, Ti o B contenidos en la lámina de acero afecten la capa de recubrimiento.

A continuación, se describirá una capa de recubrimiento.

En primer lugar, se describirá la composición química de una capa de recubrimiento.

- 10 La composición química de una lámina de acero recubierta incluye Al, Mg, Sn y Si como elementos esenciales, y el equilibrio es Zn e impurezas. La composición química de una lámina de acero recubierta puede incluir por lo menos uno de Bi, In, Ca, Y, La, Ce, Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu, Mn, Sr, Sb, Pb y B como elemento opcional. Es decir, el elemento opcional no necesita estar contenido.

- 15 El contenido de cada elemento en la capa de recubrimiento significa el contenido medio de cada elemento contenido en la capa de recubrimiento completa.

[Aluminio: del 15 % al 60 %]

El Al es un elemento esencial para mejorar la resistencia a la corrosión después de pintar y la resistencia al gripado de una capa de recubrimiento. La mayor parte del Al está presente como una fase de Al dentro de una estructura dendrítica en la capa de recubrimiento.

- 20 La estructura dendrítica descrita más adelante no está pasivada por efecto del Sn contenido, y en un estado que no se convierte en un factor de disminución de la resistencia a la corrosión después de pintar. Mientras tanto, cuando el punto de fusión de la capa de recubrimiento es bajo, surge el problema del gripado de un metal en la capa de recubrimiento con un molde de prensado. Sin embargo, a medida que aumenta la concentración de aluminio, aumenta la fracción de área de la estructura dendrítica que es una estructura de alto punto de fusión. Por lo tanto, como resultado, resulta posible evitar que la capa de recubrimiento se adhiera al molde de prensado en el momento del moldeo por prensado (concretamente, se mejora la resistencia al gripado).
- 25

La concentración de Al requerida para asegurar la fracción de área de la estructura dendrítica susceptible de desarrollar suficiente resistencia al gripado es del 15 % o más. Por lo tanto, el límite inferior de la concentración de Al se establece en el 15 %. Una concentración de Al preferible es del 20 % o más.

- 30 Mientras tanto, cuando la concentración de Al sobrepasa el 60 %, una "capa de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de Al-Fe" formada en la interfaz entre una capa de recubrimiento y un sustrato de acero que se describe más adelante crece en exceso y perjudica la trabajabilidad. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de Al se establece en el 60 %. Una concentración de Al preferible es del 40 % o menos.

[Mg: del 0,5 % al 8,0 %]

- 35 El Mg es un elemento esencial para formar una estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular en una capa de recubrimiento para conferir una resistencia a la corrosión favorable después de pintar y trabajabilidad a la capa de recubrimiento. El Mg está presente en la capa de recubrimiento en forma de un compuesto intermetálico que contiene Mg y se disuelve en un entorno corrosivo como iones de Mg en un entorno corrosivo. Los iones de Mg convierten un producto de corrosión a base de Zn en una película aislante y el óxido en una película de barrera. A partir de lo anterior,
- 40 se puede eliminar la penetración de un factor de corrosión en la capa de recubrimiento y debajo de la película de pintura para contribuir a la mejora de la resistencia a la corrosión después de pintar. La mayor parte del Mg está contenida en una estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular. La formación de la estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular mejora tanto la resistencia a la corrosión después de pintar como la trabajabilidad. La concentración de Mg necesaria para mejorar la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad es del
- 45 0,5 %. Por lo tanto, el límite inferior de la concentración de Mg se establece en el 0,5 %. Una concentración de Mg preferible es del 1,0 % o más.

Mientras tanto, cuando la concentración de Mg sobrepasa el 8,0 %, se genera en exceso una fase masiva de MgZn₂ descrita más adelante que perjudica la trabajabilidad. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de Mg se establece en el 8,0 %. Desde el punto de vista de eliminar la formación de la fase masiva de MgZn₂ que perjudica la

50 trabajabilidad, es preferible una concentración de Mg del 3,0 % o menos. Una concentración de Mg más preferible es del 2,0 % o menos.

[Sn: del 0,5 % al 20,0 %]

El Sn es un elemento esencial para formar una estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular en una capa de recubrimiento junto con el Mg para conferir una resistencia a la corrosión favorable después de pintar y trabajabilidad

a la capa de recubrimiento. Además, el Sn es un elemento que tiene el efecto de eliminar la formación de una fase masiva de $MgZn_2$ junto con una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$.

Por lo tanto, el Sn también es un elemento que mejora la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad de la capa de recubrimiento.

- 5 Cuando la concentración de Sn es baja, se vuelve difícil formar una estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular, al tiempo que aumentan las cantidades de generación de una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$ y una fase masiva de $MgZn_2$. Como resultado, la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad de la capa de recubrimiento tienden a disminuir. Por lo tanto, el límite inferior de la concentración de Sn se establece en el 0,5 %. Desde el punto de vista de formar suficientemente una estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular y eliminar suficientemente la formación de una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$ y una fase masiva de $MgZn_2$, una concentración de Sn preferible es del 0,1 % o más, y una concentración de Sn más preferible es del 1,5 % o más.

- 10 Mientras tanto, cuando la concentración de Sn es excesiva, el excedente de Sn cristaliza como una fase de Sn potencialmente más noble para disminuir la resistencia a la corrosión después de pintar. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de Sn se establece en el 20,0 %. Desde el punto de vista de mejorar la resistencia a la corrosión después de pintar, una concentración de Sn preferible es del 7,5 % o menos, y una concentración de Sn más preferible es del 5,0 % o menos.

[Si: del 0,05 % al 1,50 %]

- 20 El Si, cuando está contenido en un baño de recubrimiento, es un elemento que elimina la reactividad del Zn y el Al contenido en el baño de recubrimiento con el elemento de Fe en una lámina original para su recubrimiento. Es decir, el Si es un elemento esencial para controlar el comportamiento de la formación de una capa de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de Al-Fe que tiene un efecto sobre la adherencia y la trabajabilidad de la capa de recubrimiento (en particular, una capa de aleación interfacial que contiene o consiste en Fe_2Al_5) mediante el control de la reactividad entre la capa de recubrimiento y el sustrato de acero. La concentración mínima de Si necesaria para eliminar la capa de aleación interfacial es del 0,05 %.

- 25 Cuando la concentración de Si es inferior al 0,05 %, crece una capa de aleación interfacial inmediatamente después de sumergir una lámina original para su recubrimiento en el baño de recubrimiento lo que dificulta que la capa de recubrimiento adquiera una ductilidad favorable y, por lo tanto, la trabajabilidad tiende a disminuir. En consecuencia, el límite inferior de la concentración de Si se establece en el 0,05 %. Una concentración de Si preferible es del 0,2 % o más.

- 30 Mientras tanto, cuando la concentración de Si sobrepasa el 1,50 %, una fase de Si potencialmente más noble permanece en la capa de recubrimiento y funciona como una zona de cátodo en la corrosión. Como resultado, provoca una disminución de la resistencia a la corrosión después de pintar. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de Si se establece en el 1,50 %. Una concentración de Si preferible es del 1,0 % o menos.

- 35 En este sentido, el Si puede existir ocasionalmente en la capa de recubrimiento como fase de Mg_2Si que es un compuesto intermetálico con Mg, pero en la medida en que el área de fracción de la fase de Mg_2Si es del 5 % o menos, no afecta al rendimiento en absoluto.

[Bi: del 0 % al 5,0 %]

El Bi es un elemento que contribuye a la mejora de la trabajabilidad. Por lo tanto, el límite inferior de la concentración de Bi debe ser superior al 0 % (preferiblemente del 0,1 % o más, y más preferiblemente del 3,0 % o más).

- 40 Mientras tanto, cuando la concentración de Bi aumenta excesivamente, la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a degradarse. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de Bi debe ser del 5,0 % o menos (preferiblemente del 0,5 % o menos, y más preferiblemente del 0,1 % o menos).

[In: del 0 % al 2,0 %]

- 45 El In es un elemento que contribuye a la mejora de la trabajabilidad. Por lo tanto, el límite inferior de la concentración de In debe ser superior al 0 % (preferiblemente del 0,1 % o más, y más preferiblemente del 3,0 % o más).

Mientras tanto, cuando aumenta la concentración de In, la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a degradarse. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de In se establece en el 2,0 % o menos (preferiblemente el 0,3 % o menos).

[Ca: del 0 % al 3,0 %]

- 50 El Ca es un elemento susceptible de ajustar la cantidad óptima de disolución de Mg para conferir resistencia a la corrosión después de pintar y la propiedad de sacrificio de protección contra la corrosión. Por lo tanto, el límite inferior de la concentración de Ca debe ser superior al 0 % (preferiblemente del 0,05 % o más).

Mientras tanto, cuando la concentración de Ca aumenta, la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad tienden a degradarse. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de Ca se establece en el 3,00 % o menos (preferiblemente 1,0 % o menos).

[Y: de 0 % a 0,5 %]

- 5 El Y es un elemento que contribuye a la mejora de la trabajabilidad. Por lo tanto, el límite inferior de la concentración de Y debería ser superior al 0 % (preferiblemente del 0,1 % o más).

Mientras tanto, cuando aumenta la concentración de Y, la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a degradarse. Por lo tanto, el límite superior de la concentración de Y se establece en el 0,5 % o menos (preferiblemente el 0,3 % o menos).

- 10 [La y Ce: del 0 % al 0,5 %]

El La y el Ce son elementos que contribuyen a mejorar la trabajabilidad. Por lo tanto, los límites inferiores de la concentración de La y la concentración de Ce deben ser, respectivamente, superiores al 0 % (preferiblemente del 0,1 % o más).

- 15 Mientras tanto, cuando la concentración de La y la concentración de Ce aumentan, la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a degradarse. Por lo tanto, los límites superiores de la concentración de La y la concentración de Ce se fijan respectivamente en 0,5 % o menos (preferiblemente 0,3 % o menos).

[Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu y Mn: del 0 % al 0,25 %]

- 20 El Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu y Mn son elementos que contribuyen a mejorar la trabajabilidad. Por lo tanto, los límites inferiores de las concentraciones de Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu y Mn deberían ser respectivamente superiores al 0 % (preferiblemente el 0,05 % o más, y más preferiblemente el 0,1 % o más).

Mientras tanto, cuando aumentan las concentraciones de Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu y Mn, la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a degradarse. Por lo tanto, los límites superiores de la concentración de Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu y Mn se establecen respectivamente en el 0,25 % o menos.

[Sr, Sb, Pb y B: del 0 % al 0,5 %]

- 25 El Sr, Sb, Pb y B son elementos que contribuyen a mejorar la trabajabilidad. Por lo tanto, los límites inferiores de las concentraciones de Sr, Sb, Pb y B deberían ser respectivamente mayores que 0 (preferiblemente el 0,05 % o más, y más preferiblemente el 0,1 % o más).

- 30 Mientras tanto, cuando aumentan las concentraciones de Sr, Sb, Pb y B, la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a degradarse. Por lo tanto, los límites superiores de las concentraciones de Sr, Sb, Pb y B se fijan respectivamente en el 0,5 % o menos (preferiblemente el 0,1 % o menos).

[El equilibrio: Zn e impurezas]

El equilibrio de la composición química de la capa de recubrimiento es Zn e impurezas.

- 35 El Zn está contenido en la capa de recubrimiento en una determinada concentración o más para garantizar apropiadamente el rendimiento de la protección de sacrificio de la capa de recubrimiento, la resistencia a la corrosión después de pintar y la propiedad de tratamiento del sustrato de pintura. Desde estos puntos de vista, la composición química de la capa de recubrimiento está mayoritariamente ocupada por Al y Zn.

- 40 Las impurezas se refieren a componentes incluidos en una materia prima o componentes introducidos en el proceso de producción, que no se añaden deliberadamente. Por ejemplo, una pequeña cantidad de un componente tal como Fe puede mezclarse con la capa de recubrimiento como una impureza debido a la difusión atómica mutua entre el sustrato de acero (lámina de acero) y el baño de recubrimiento.

Por ejemplo, cuando se forma una capa de recubrimiento con un método de recubrimiento de metales por galvanizado en caliente, la capa de recubrimiento puede contener Fe en una determinada concentración como impureza. Se ha confirmado que el Fe no afecta negativamente al rendimiento hasta una concentración en la capa de recubrimiento del 3,0 %.

- 45 [Composición química preferida de la capa de recubrimiento]

En la composición química de una capa de recubrimiento, el contenido de Mg es preferiblemente del 0,5 % al 3,0 %, y el contenido de Sn es preferiblemente del 1,0 % al 7,5 %. Cuando la concentración de Mg y la concentración de Sn están en los intervalos anteriores, se mejoran aún más la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad.

- 50 En particular, es preferible que el contenido de Al sea del 20 % al 60 %, el contenido de Mg sea del 1,0 % al 2,0 %, el contenido de Sn sea del 1,0 % al 5,0 % y el contenido de Si sea del 0,05 % a 1,0 % en la composición química de una

capa de recubrimiento. Cuando la concentración de Al, la concentración de Mg, la concentración de Sn y la concentración de Si están en los intervalos anteriores, la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad mejoran aún más. Además, también se mejora aún más la resistencia al gripado.

(Fórmula 1): $Mg \% \text{ en masa} \leq Sn \% \text{ en masa} \leq 2,5 \times mg \% \text{ en masa}$

- 5 Para mejorar aún más la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad, es preferible que una estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular se forme lo suficiente y la formación de una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$ y una fase masiva de $MgZn_2$ se elimine lo suficiente.

Con esta finalidad, el contenido de Sn y el contenido de Mg cumplen preferiblemente la siguiente Fórmula (1), y más preferiblemente cumplen la siguiente Fórmula (2).

10 $Mg \leq Sn \leq 2,5 \times Mg$ Fórmula (1)

$1,5 \times Mg \leq Sn \leq 2,0 \times Mg$ Fórmula (2)

En la Fórmula (1) y la Fórmula (2), cada símbolo atómico indica el contenido del elemento en términos de % en masa.

Cuando la concentración de Sn no cumple la fórmula (1) y hay escasez de Sn con respecto al Mg, se produce una fase masiva de $MgZn_2$, y la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a disminuir junto con la trabajabilidad.

- 15 Mientras tanto, cuando la concentración de Sn no cumple la Fórmula (1) y hay un excedente de Sn con respecto al Mg, cristaliza una fase de Sn potencialmente más noble, y la resistencia a la corrosión después de pintar tiende a disminuir.

A continuación, se describirá la estructura metalográfica de una capa de recubrimiento.

- 20 La capa de recubrimiento tiene una estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular y una estructura dendrítica (estructura que contiene una solución sólida de Zn y Al).

Y, la capa de recubrimiento en algunos casos tiene una fase masiva de $MgZn_2$ con un diámetro de círculo equivalente de 1 μm o más, una fase masiva de Zn con un diámetro de círculo equivalente de 2 μm o más, una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$, o similar como estructura distinta de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular.

- 25 Aquí, la figura 1 muestra una imagen de electrones retrodispersados (imagen BSE) de un ejemplo de la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta de la presente divulgación tomada con un SEM con un aumento de 2000x.

Como se muestra en la figura 1, la lámina de acero recubierta tiene, por ejemplo, una capa 1 de recubrimiento, una lámina 2 de acero y una capa 3 de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de Al-Fe entre la capa 1 de recubrimiento y la lámina 2 de acero.

- 30 La estructura de la capa 1 de recubrimiento está constituida principalmente por una estructura 4 que contiene una fase de Mg_2Sn granular y una estructura 5 dendrítica. Además, como se muestra en la figura 2, que es una vista ampliada de la región A de la figura 1, la estructura 4 que contiene una fase de Mg_2Sn granular tiene una estructura en la que una fase 8 de Mg_2Sn granular con un tamaño de grano de cristal inferior a 1 μm se dispersa en una fase 7 de Zn.

- 35 En la figura 1, la estructura 5 dendrítica corresponde a la región de color gris, así como a la región de color negro rodeada por la primera región. La diferencia de color entre las dos regiones se debe a la diferencia en las concentraciones de Al. Específicamente, la estructura 5 dendrítica con una baja concentración de Al es la región de color gris, y la estructura 5 dendrítica de color gris con una alta concentración de Al es la región de color negro.

Además de la estructura 4 que contiene una fase de Mg_2Sn granular y la estructura 5 dendrítica, la capa 1 de recubrimiento puede contener ocasionalmente una fase 6 masiva de $MgZn_2$ (véase la figura 1 y la figura 2), una fase masiva de Zn 10 (véase la figura 3), y una estructura 9 eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$ (véase la figura 3).

- 40 [Estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular: fracción de área del 5 al 65 %]

La estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular constituida por una fase de Zn y una fase de Mg_2Sn granular que tiene un tamaño de grano de cristal inferior a 1 μm dispersado en la fase de Zn. Es decir, en la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular, la fase de Mg_2Sn granular está contenida (es decir, incluida) en la fase de Zn.

El tamaño de grano de cristal de la fase de Mg_2Sn granular es un diámetro de círculo equivalente.

- 45 Más específicamente, la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es una estructura en la que la fase de Mg_2Sn granular con un tamaño de grano de cristal inferior a 1 μm se dispersa en la fase de Zn a una densidad numérica de 1 a 25/ μm^2 .

Cuando el tamaño de grano de cristal de la fase de Mg_2Sn granular es inferior a 1 μm , la tensión que se ejercerá en el límite entre la fase de Mg_2Sn granular y la fase de Zn se puede eliminar. Por este motivo, resulta posible mantener

la deformabilidad plástica de la fase de Mg_2Sn granular lo suficiente al mismo tiempo que se impide que la fase de Mg_2Sn granular se convierta en un punto de partida para la generación de grietas. Mientras tanto, cuando el tamaño de grano de cristal de la fase de Mg_2Sn granular sobrepasa $1 \mu m$, la tensión que se ejercerá en el límite entre la fase de Mg_2Sn granular y la fase de Zn aumenta y surge el riesgo de que la fase de Mg_2Sn granular pueda convertirse en un punto de partida para la generación de grietas, lo cual no es preferible.

No existe una restricción particular sobre la composición promedio de toda la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular y, por ejemplo, la concentración de Mg es del 1 al 10 % en masa, la concentración de Sn es del 1 al 25 % en masa, y la concentración de Al es del 1 al 8 % en masa, mientras que la el equilibrio consiste en Zn e impurezas inferior a aproximadamente el 2 % en masa. La composición de toda la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular también puede incluir los elementos opcionales mencionados anteriormente que pueden incluirse en la composición química de la capa de recubrimiento.

En este sentido, en la presente divulgación, una fase granular de un compuesto intermetálico correspondiente a cualquiera de los casos siguientes (1) a (5) también se considera como la fase de Mg_2Sn granular.

- (1) Mg_2Sn en el que se disuelve intersticialmente un elemento tal como el Si;
- (2) Mg_9Sn_5 formado a través de la transformación de una fase de Mg_2Sn ;
- (3) Mg_2Sn and Mg_9Sn_5 sustituido (producto de la sustitución de Mg_2Sn y Mg_9Sn_5) en el que por lo menos uno de Bi, In, Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu y Mn se sustituye por parte de Sn;
- (4) Mg_2Sn and Mg_9Sn_5 sustituido (producto de la sustitución de Mg_2Sn y Mg_9Sn_5) en el que por lo menos uno de Ca, Y, La y Ce se sustituye por parte de Mg;
- (5) Mg_2Sn and Mg_9Sn_5 sustituido (producto de la sustitución de Mg_2Sn y Mg_9Sn_5) en el que por lo menos uno de Ca, Y, La y Ce se sustituye por parte de Mg, y por lo menos uno de Bi, In, Cr, Ti, Ni, Co, V, Nb, Cu y Mn se sustituye por parte de Sn.

Aunque la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular incluye una fase de Mg_2Sn que es un compuesto intermetálico frágil que contiene Mg como se describe anteriormente, la fase de Mg_2Sn tiene una mayor deformabilidad plástica en comparación con una fase de $MgZn_2$. Cuando una estructura está construida de modo que la fase de Mg_2Sn se dispersa finamente en una fase de Zn que tiene una deformabilidad plástica favorable, la estructura en conjunto expresa una deformabilidad plástica favorable para contribuir a la mejora de la trabajabilidad. Además, la fase de Mg_2Sn sirve como fuente de suministro de iones de Mg en un entorno corrosivo y, los iones de Mg convierten el producto de corrosión en una película aislante, de modo que se puede eliminar la corrosión debajo de la película de pintura en un estado pintado.

El efecto de mejora de la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad por la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular aumenta a medida que la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular existente en la capa de recubrimiento se vuelve mayor.

Cuando la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es inferior al 5 %, no se puede obtener el efecto de mejora en la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad. Por lo tanto, el límite inferior de la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular se establece en el 5 %. Desde el punto de vista de mejorar de forma fiable tanto la resistencia a la corrosión después de pintar como la trabajabilidad, la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es preferiblemente del 20 % o más, y más preferiblemente del 30 % o más.

Mientras tanto, como se describe anteriormente, cuanto mayor sea la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular, mayor se vuelve el efecto de mejorar la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad. Aunque no existe una restricción particular sobre el valor límite superior desde el punto de vista del rendimiento, la fracción de área producible de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es del 65 % como máximo como consecuencia de las restricciones de producción. Por lo tanto, el límite superior de la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular se establece en el 65 %. Desde el punto de vista de la producción estable, la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es preferiblemente del 60 % o menos.

Es decir, la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es del 5 al 65 %. La fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es preferiblemente del 20 al 60 %, y más preferiblemente del 30 al 60 %.

[Estructura dendrítica: fracción de área del 35 % al 95 %]

Una estructura dendrítica es una estructura que contiene una solución sólida de Zn y Al. Específicamente, una estructura dendrítica es una estructura finamente separada en fases de Al y fases de Zn, y es una estructura con una concentración de Al desde el 15 al 85 % y una concentración de Zn desde el 15 al 85 %. Por lo tanto, una estructura

dendrítica es una estructura que tiene una deformabilidad plástica fundamentalmente favorable y puede contribuir a mejorar la trabajabilidad de la capa de recubrimiento. Además, también es una estructura que contribuye a la mejora de la resistencia al gripado.

5 Para asegurar una excelente trabajabilidad, la fracción de área de la estructura dendrítica es del 35 % o más. Desde el punto de vista de conferir una excelente trabajabilidad a la capa de recubrimiento, la fracción de área de la estructura dendrítica es preferiblemente del 40 % o más. Mientras tanto, desde el punto de vista de la producción, el valor límite superior con respecto a la estructura dendrítica es del 95 %. Desde el punto de vista de mejorar la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad por la fase dispersa en fase granular, la estructura dendrítica ocupa preferiblemente el 80 % o menos, más preferiblemente el 70 % o menos.

10 Es decir, la fracción de área de la estructura dendrítica es del 35 al 95 %, preferiblemente del 35 o 40 al 80 %, y aún más preferiblemente del 35 o 40 al 70 %.

[Fase masiva de Zn: fracción de área del 0 % a 20 %]

15 Una fase masiva de Zn está presente en forma irregular en la capa de recubrimiento, y es una fase masiva de Zn que tiene un diámetro de círculo equivalente de 2 μm o más. El límite superior del diámetro circular equivalente de la fase masiva de Zn no está particularmente limitado, pero es, por ejemplo, de 10 μm o menos.

20 A medida que aumenta la fracción de área de la fase masiva de Zn, la resistencia al gripado y la resistencia a la corrosión tienden a disminuir. Por lo tanto, desde el punto de vista de asegurar la resistencia al gripado y la resistencia a la corrosión, la fracción de área de la fase masiva de Zn es del 20 % o menos. Desde el punto de vista de asegurar una resistencia suficiente al gripado y a la corrosión, la fracción de área de la fase masiva de Zn es preferiblemente del 10 % o menos. La fracción de área de la fase masiva de Zn es lo más preferiblemente el 0 % (es decir, lo más preferible es que no se incluya una fase masiva de Zn).

Es decir, la fracción de área de la fase masiva de Zn es del 0 al 20 %, preferiblemente del 0 al 10 %, y aún más preferiblemente el 0 %.

[Fase masiva de MgZn_2 : fracción de área del 0 % al 20 %]

25 Una fase masiva de MgZn_2 está presente en forma irregular en la capa de recubrimiento y es una fase masiva de Zn que tiene un diámetro de círculo equivalente de 1 μm o más, por ejemplo, 2 μm o más. El límite superior del diámetro circular equivalente de una fase masiva de MgZn_2 no está particularmente limitado, pero es, por ejemplo, de 10 μm o menos.

30 La fase masiva de MgZn_2 es una fase frágil y tiende a convertirse en un punto de partida de agrietamiento en el momento del procesamiento. La corrosión puede acelerarse en las proximidades de la grieta, lo que puede provocar una disminución en la resistencia a la corrosión después de pintar en una pieza procesada. Como la fracción de área de la fase masiva de MgZn_2 aumenta, la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad tienden a disminuir. Por lo tanto, desde el punto de vista de asegurar la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad, la fracción de área de la fase masiva de MgZn_2 es del 20 % o menos. Desde el punto de vista de asegurar suficiente resistencia a la corrosión después de pintar y trabajabilidad, la fracción de área de la fase masiva de MgZn_2 es preferiblemente del 5 % o menos. La fracción de área de la fase masiva de MgZn_2 es lo más preferiblemente el 0 % (es decir, lo más preferible es que no se incluya una fase masiva de MgZn_2).

Es decir, la fracción de área de la fase masiva de MgZn_2 es del 0 al 20 %, preferiblemente del 0 al 5 %, y aún más preferiblemente el 0 %.

[Estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ MgZn_2 : fracción de área del 0 % al 3 %]

40 La estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ MgZn_2 es una estructura que consiste en una fase de Al, una fase de Zn y una fase de MgZn_2 . Dado que el tamaño varía dependiendo de la composición de los componentes, la forma de cada fase es indeterminada. Sin embargo, dado que, en una estructura eutéctica, el movimiento de los elementos durante la solidificación se elimina como consecuencia de la transformación a una temperatura constante, las fases respectivas forman un patrón intrincado y normalmente las fases respectivas precipitan finamente (véase la figura 5).

45 Normalmente, las fases respectivas se configuran de modo que la fase de Zn es grande y forma islas, la fase de MgZn_2 es la segunda más grande y llena los huecos de las fases de Zn, y la fase de Al se dispersa en un patrón de puntos entre las fases de MgZn_2 . Aunque las fases constituyentes no cambian por la composición de los componentes, la relación de posición depende de la variación de los componentes justo antes de la solidificación y existe un caso en el que la fase de MgZn_2 precipita para formar islas, y un caso en el que lo hace la fase de Al o la fase de MgZn_2 .

50 El método de identificación de una estructura eutéctica ternaria se describirá más adelante. Con respecto a una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ MgZn_2 , la fase de MgZn_2 en la estructura eutéctica ternaria, que es frágil y susceptible a la corrosión, tiende a convertirse en un punto de partida de una grieta en el momento del procesamiento. La corrosión puede acelerarse en las proximidades de la grieta, lo que puede provocar una disminución de la resistencia a la corrosión después de pintar una pieza procesada. A medida que aumenta la fracción de área de la

estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂, la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad tienden a disminuir. Por lo tanto, desde el punto de vista de asegurar la resistencia a la corrosión después de pintar y la trabajabilidad, la fracción de área de la estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂ es del 3 % o menos. Desde el punto de vista de asegurar suficiente resistencia a la corrosión después de pintar y trabajabilidad, la fracción de área de la estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂ es preferiblemente del 0 % (es decir, es más preferible que no se incluya la estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂).

5

Es decir, la fracción de área de la estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂ es del 0 al 3 %, y preferiblemente del 0 %.

El grosor de la capa de recubrimiento es, por ejemplo, aproximadamente 100 μm o menos. Dado que el grosor de toda la capa de recubrimiento depende de las condiciones del recubrimiento, el límite superior y el límite inferior del grosor de toda la capa de recubrimiento no están particularmente restringidos. Por ejemplo, el grosor de toda la capa de recubrimiento está relacionado con la viscosidad y la gravedad específica del baño de recubrimiento en el método convencional de recubrimiento de metales por galvanizado en caliente. Además, la cantidad de recubrimiento en términos de peso por unidad de superficie se puede ajustar mediante la velocidad de estirado de la lámina de acero (lámina original para su recubrimiento) y la intensidad de la limpieza por barrido. Por lo tanto, el límite inferior del grosor de toda la capa de recubrimiento es, por ejemplo, de aproximadamente 2 μm. Mientras tanto, el grosor de la capa de recubrimiento, que se puede producir con un método de recubrimiento de metales por galvanizado en caliente, es de aproximadamente 95 μm a causa del propio peso y de la uniformidad del metal de recubrimiento.

10

15

Por lo tanto, el grosor de la capa de recubrimiento es preferiblemente de 2 a 95 μm.

A continuación, se describirá una capa de aleación interfacial.

La lámina de acero recubierta de la presente divulgación puede tener además una capa de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de Al-Fe entre la lámina de acero y la capa de recubrimiento. En general, se forma una capa de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de Al-Fe de 3 μm o menos entre la capa de recubrimiento y la lámina de acero. Sin embargo, dependiendo de las condiciones de formación de una capa de recubrimiento no se forma necesariamente una capa de aleación interfacial.

20

La capa de aleación interfacial tiene preferiblemente un grosor de 100 nm o más para asegurar la adherencia entre el sustrato de acero (lámina de acero) y la capa de recubrimiento. Mientras tanto, dado que el compuesto intermetálico de Al-Fe que compone la capa de aleación interfacial es un compuesto intermetálico frágil, cuando el grosor de la capa de aleación interfacial sobrepasa los 1,5 μm, la resistencia al astillado puede reducirse.

25

Por lo tanto, cuando la lámina de acero recubierta de la presente divulgación tiene una capa de aleación interfacial, el grosor de la capa de aleación interfacial es preferiblemente de 100 nm a 1,5 μm.

30

Dado que la capa de aleación interfacial está en un estado sólido en el que se disuelve el Si, tiene la función de eliminar una reacción de aleación entre la capa de recubrimiento y el sustrato de acero.

En este sentido, la capa de aleación interfacial compuesta por el compuesto intermetálico de Al-Fe es una capa en la que la fase de Al₅Fe es la fase principal. La capa de aleación de Al-Fe se forma por difusión atómica mutua del sustrato de acero (lámina de acero) y el baño de recubrimiento. Sin embargo, la capa de aleación interfacial puede contener parcialmente solo una pequeña cantidad de una fase de AlFe, una fase de Al₃Fe, una fase de Al₅Fe₂, o similar.

35

La capa de aleación interfacial también puede contener diversos elementos tales como Zn o Si, que son componentes de la capa de recubrimiento. En particular, cuando se incorpora Si a la capa de aleación interfacial, se forma un compuesto intermetálico de Al-Fe-Si en la capa de aleación interfacial.

Además, cuando se usa una lámina original para su recubrimiento a partir de diversos tipos de láminas de acero recubiertas previamente, la capa de aleación interfacial puede incluir un componente de recubrimiento previo (por ejemplo, Ni). Cuando el componente de recubrimiento previo (por ejemplo, Ni) se incorpora a una capa de aleación interfacial, se forma un compuesto intermetálico de Al-Fe-Ni en la capa de aleación interfacial.

40

Es decir, la capa de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de Al-Fe significa una capa que incluye los diversos modos de capas de aleación descritos anteriormente además de la capa de aleación constituida principalmente por una fase de Al₅Fe.

45

A continuación, se describirá un ejemplo del método de producción de la lámina de acero recubierta de la presente divulgación.

El acero recubierto de la presente divulgación se obtiene formando una capa de recubrimiento sobre la superficie (es decir, un lado o ambos lados) de una lámina original para su recubrimiento con un método de recubrimiento de metales por galvanizado en caliente.

50

Como método de producción de una lámina de acero recubierta según la presente divulgación, se puede aplicar un método Sendzimir, un método de recubrimiento previo o similar. Cuando se usa Ni como un tipo de recubrimiento previo, el Ni puede estar contenido en una "capa de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de

Al-Fe" que puede formarse cuando se calienta la capa de recubrimiento.

Un baño de recubrimiento se forma mezclando un metal puro o una aleación en el intervalo de composición química de la capa de recubrimiento mencionada anteriormente, y fundiéndolo en un intervalo de 450 a 650 °C como preparación inicial del baño electrolítico.

- 5 A continuación, se sumerge una lámina original para su recubrimiento cuya superficie se ha reducido lo suficiente en el baño de recubrimiento que se mantiene a una temperatura de baño predeterminada después de la preparación inicial del baño electrolítico, se retira y a continuación se enfría con lo cual se completa una capa de recubrimiento en la superficie de la lámina original para su recubrimiento (lámina de acero). Para regular la cantidad de recubrimiento de la capa de recubrimiento, por ejemplo, se realiza una limpieza por barrido con gas N₂ inmediatamente después de sacar la lámina original para su recubrimiento del baño de recubrimiento.
- 10

En este sentido, la velocidad de enfriamiento en el intervalo de temperatura desde inmediatamente después de retirar la lámina original para su recubrimiento del baño de recubrimiento (es decir, la temperatura del baño de recubrimiento) hasta 320 °C se establece en 10 °C/s o más, y la velocidad de enfriamiento en el intervalo de temperatura de 320 °C a 280°C se establece en 6 °C/s o menos.

- 15 La imagen de electrones retrodispersados (imagen BSE) con un SEM de la sección transversal de la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta de la presente divulgación que se muestra en la figura 1 es una imagen de electrones retrodispersados (imagen BSE) con un SEM de la sección transversal de la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta preparada usando la velocidad de enfriamiento de 10 °C/s en el intervalo de temperatura desde la temperatura del baño de recubrimiento hasta 320 °C, y la velocidad de enfriamiento de 6 °C/s en el intervalo de temperatura desde 320 °C a 280 °C.
- 20

Como se muestra en la figura 1, bajo las condiciones de enfriamiento descritas anteriormente, se forma una estructura que tiene una estructura 4 que contiene una fase de Mg₂Sn granular y una estructura 5 dendrítica en la capa de recubrimiento.

- 25 Mientras tanto, incluso cuando la velocidad de enfriamiento en el intervalo de temperatura desde inmediatamente después de retirar la lámina original para su recubrimiento del baño de recubrimiento (es decir, la temperatura del baño de recubrimiento) hasta 320 °C es de 10 °C/s o más, y la velocidad de enfriamiento en el intervalo de temperatura de 320°C a 280°C es de 6°C/s o menos, a menos que la concentración de Sn sea apropiada, no se forma una necesariamente cantidad suficiente de la estructura 4 que contiene una fase de Mg₂Sn granular. Por ejemplo, como se muestra en la figura 3, cuando el Sn no está contenido, la estructura 4 que contiene una fase de Mg₂Sn granular no se forma en la capa 1 de recubrimiento, sino que más bien se forma una estructura 9 eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂ junto con una estructura 5 dendrítica
- 30

- Además, en el caso de que la velocidad de enfriamiento no cambie entre el intervalo de temperatura desde inmediatamente después de retirar la lámina original para su recubrimiento del baño de recubrimiento (es decir, la temperatura del baño de recubrimiento) hasta 320 °C, y el intervalo de temperatura desde 320 °C a 280 °C, no se forma necesariamente una cantidad suficiente de la estructura 4 que contiene una fase de Mg₂Sn granular.
- 35

Por ejemplo, en el caso de la condición de velocidad de enfriamiento en la que la velocidad de enfriamiento no cambia en los intervalos anteriores, como se muestra en la figura 4, no se forma una estructura 4 que contiene una fase de Mg₂Sn granular en la capa 1 de recubrimiento. En su lugar, se forma una estructura 11 en la que una fase de Mg₂Sn en forma de placa se mezcla en la fase de Zn.

- 40 Aunque el mecanismo de formación detallado de esta estructura 11 no está claro, cuando la velocidad de enfriamiento A en el intervalo de temperatura que va desde inmediatamente después de retirar la lámina original para su recubrimiento del baño de recubrimiento (es decir, la temperatura del baño de recubrimiento) hasta 320°C es 10 °C/s o superior, y la velocidad de enfriamiento B en el intervalo de temperatura que va de 320 °C a 280 °C es superior a 6 °C/s, apenas se puede asegurar un tiempo suficiente para que la fase de Mg₂Sn se esferoidice. Cuando la velocidad de enfriamiento A es inferior a 10 °C/s, y la velocidad de enfriamiento B es de 6 °C/s o menos, el comportamiento de solidificación, que continúa principalmente en un estado de desequilibrio cerca del estado de equilibrio, y la nucleación para la esferoidización de la fase de Mg₂Sn apenas se produce. Como resultado, se considera que se forma una fase de Mg₂Sn en forma de placa.
- 45

- A continuación, se describirá el método de análisis de la composición química y la estructura metálica de la lámina de acero recubierta de la presente divulgación.
- 50

El componente químico de una capa de recubrimiento se mide mediante el siguiente método.

En primer lugar, las curvas de calibración para el análisis cuantitativo de los elementos respectivos se preparan mediante GDS (espectroscopía de emisión óptica de descarga luminiscente de radiofrecuencia). Después, se miden los componentes químicos en la dirección de la profundidad de la capa de recubrimiento sometida a prueba.

- 55 Específicamente, se realiza la GDS (espectroscopía de emisión óptica de descarga luminiscente de radiofrecuencia)

en cada muestra estándar, tal como una placa de metal puro de cada elemento para obtener con antelación una curva de calibración que muestre la relación entre la intensidad elemental trazada frente a cada concentración elemental.

5 Mientras tanto, se toman varias piezas cuadradas de 30 mm de una muestra de la lámina de acero recubierta sometida a prueba y se usan como piezas de prueba para la GDS. La pulverización catódica de iones de argón se realiza desde la capa superficial de la capa de recubrimiento para obtener un perfil de intensidad elemental en la dirección de la profundidad. El perfil de intensidad obtenido se convierte a la concentración elemental con la curva de calibración.

En un análisis de la composición química por GDS, un área de análisis de 4 mmφ o más se mide en 10 posiciones o más a una velocidad de pulverización catódica en un intervalo que va desde 0,04 a 0,1 μm/s. El valor promedio de la concentración elemental en cada lugar se considera la concentración elemental de la composición química.

10 Sin embargo, en cada posición del análisis por GDS, con el fin de eliminar la influencia de una capa de óxido en la capa más exterior, se ignora la capa superficial de 1 μm de profundidad del perfil del componente, y se adopta el valor promedio de cada concentración elemental en el intervalo de profundidad que va desde 1 a 10 μm (5 μm de anchura).

La fracción de área de una estructura (siempre y cuando se excluya una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂) de la capa de recubrimiento se mide mediante el siguiente método.

15 Para medir la fracción de área de una estructura de la capa de recubrimiento, se usa un FE-SEM equipado con un EDS (analizador de rayos X de dispersión de energía).

20 Se corta una pieza de prueba que tiene una sección transversal (sección transversal cortada en la dirección del grosor de la capa de recubrimiento) de 25 mm en la dirección C y 15 mm en la dirección L de la lámina de acero recubierta. La pieza de prueba obtenida se incrusta en una resina y se aplica el procesamiento CP (pulidora de sesión cruzada) a la sección transversal de la capa de recubrimiento que se va a medir. Después del procesamiento CP, se crean una imagen de electrones retrodispersados con un SEM y una imagen del mapeado de elementos con un EDS de la sección transversal de la capa de recubrimiento. Para la imagen de electrones retrodispersados con un SEM y la imagen del mapeado de elementos con un EDS, el aumento es de 5000x y el tamaño del campo visual es de 50 μm de largo × 200 μm de ancho.

25 Cada región de una estructura se identifica en base a la imagen de electrones retrodispersados con un SEM y la imagen del mapeado de elementos con un EDS.

30 A continuación, en la imagen de electrones retrodispersados con un SEM, se determinan tres valores de la luminosidad de escala de grises, el matiz y el valor de contraste visualizados por cada estructura en la capa de recubrimiento. Dado que los tres valores de luminosidad, matiz y contraste visualizados por cada estructura reflejan el número atómico del elemento contenido en cada estructura, los contenidos más altos de Al y Mg que tienen un número atómico pequeño tienden a visualizar un color negro, y los más ricos en Zn tienden a visualizar un color blanco.

35 Se realiza un procesamiento de imágenes por ordenador de modo que un intervalo correspondiente a los 3 valores que debe visualizar cada estructura incluida en la capa de recubrimiento presenta un color específico (por ejemplo, solo una estructura específica se presenta como una imagen blanca, y luego se calcula el área (número de píxeles), etc. de cada estructura en el campo visual). Al realizar este procesamiento de imágenes para cada fase, se determina la fracción de área de cada estructura en la capa de recubrimiento ocupada en la imagen de electrones retrodispersados de un SEM.

40 La fracción de área de cada estructura de la capa de recubrimiento se define como el valor promedio de las fracciones de área de la estructura medidas para cada uno de los 5 campos visuales en una sección transversal opcional (sección transversal cortada en la dirección del grosor de la capa de recubrimiento) según la operación descrita anteriormente.

En este sentido, la fracción de área de una estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular es la fracción de área de una fase de Zn, en cuya región se confirma la presencia de la fase de Mg₂Sn granular con un tamaño de grano de cristal inferior a 1 μm en la densidad numérica de desde 1 a 25/μm², siempre y cuando se cuente también el área de la fase de Mg₂Sn granular.

45 La fracción de área de una estructura dendrítica es la fracción de área de la región ocupada por una solución sólida de Zn y Al (presentando la estructura una concentración de Al de desde el 15 al 85 %, y la concentración de Zn de desde el 15 al 85 %).

La fracción de área de una fase masiva de MgZn₂ es la fracción de área de la fase de MgZn₂ que tiene un diámetro de círculo equivalente de 1 μm o más.

50 La fracción de área de una fase masiva de Zn es la fracción de área de la fase de Zn que tiene un diámetro de círculo equivalente de 2 μm o más.

El tamaño de grano de cristal promedio de una fase de Mg₂Sn granular se mide de la siguiente manera. Una imagen de electrones retrodispersados SEM de una sección transversal de la capa de recubrimiento obtenida con respecto al campo visual en un tamaño de 10 μm × 10 μm se examina visualmente con un aumento de 10.000x para seleccionar

- 5 fases de Mg_2Sn granular que tienen los cinco mejores tamaños de grano de cristal de las fases de Mg_2Sn granular que tienen un tamaño de grano de cristal inferior a $1\ \mu m$ reconocidas en el campo visual. Esta operación se realiza para cinco campos visuales, y el promedio aritmético de un total de 25 tamaños de granos de cristal se considera como el tamaño de grano de cristal promedio de las fases de Mg_2Sn granular que tienen un tamaño de grano de cristal inferior a $1\ \mu m$.
- 10 La densidad numérica de una fase de Mg_2Sn granular se determina observando una imagen de electrones retrodispersados SEM de una sección transversal de la capa de recubrimiento para el campo visual en un tamaño de $12\ \mu m \times 12\ \mu m$ con un aumento de 10000x, contando el número de granos de fases de Mg_2Sn granulares con un tamaño de grano de cristal inferior a $1\ \mu m$ presentes en una estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular opcional en un tamaño de $12\ \mu m \times 12\ \mu m$, y calculando el número de fases de Mg_2Sn granulares por unidad de superficie (μm^2). En este sentido, la densidad numérica de la fase de Mg_2Sn granular se define como el valor promedio de las densidades numéricas de la fase de Mg_2Sn granular para cada uno de los 5 campos visuales en una sección transversal opcional (sección transversal cortada en la dirección del grosor de la capa de recubrimiento) obtenida según la operación descrita anteriormente.
- 15 Identificación y medición de la fracción de área de una estructura eutéctica ternaria de $Zn/Al/MgZn_2$ en la capa de recubrimiento se realiza mediante el siguiente método.
- 20 Primero, una estructura en una imagen de electrones retrodispersados SEM, en la que tres fases de una fase de Al , una fase de Zn y una fase de $MgZn_2$ han formado un eutéctico, se identifica con el mismo método que la medición de la fracción de área de cada estructura en la capa de recubrimiento. Se observa una parte de la estructura por medio de un campo visual rectangular de un tamaño de $3\ \mu m \times 4\ \mu m$ (diagonal: $5\ \mu m$) con un aumento de 30000x (véase la figura 5). Al hacerlo, cuando se dibujan dos diagonales en el campo visual rectangular, en un caso cada diagonal cruza una fase de Zn 5 veces o más, y una fase de $MgZn_2$ o una fase de Al que extiende alrededor de la fase de Zn 5 veces o más, la estructura se considera una estructura eutéctica ternaria. Este juicio se basa en el hecho de que una estructura eutéctica ternaria está caracterizada por una "estructura en la que cada una de las 3 fases está finamente dispersa".
- 25 En este sentido, en el caso de que una estructura eutéctica ternaria no pueda extenderse para cubrir la región de $3\ \mu m \times 4\ \mu m$ a causa de una posible distribución irregular de la estructura eutéctica ternaria, o de la dificultad para formar una estructura eutéctica ternaria, la estructura se puede dividir en un patrón similar a una cuadrícula con cuadrados de $1\ \mu m$, y cuando cada fase se incluye dentro de una sola cuadrícula en un número de 1 o más respectivamente, puede juzgarse como una estructura eutéctica ternaria.
- 30 A continuación, en la misma imagen de electrones retrodispersados SEM que la medición de la fracción de área de cada estructura en la capa de recubrimiento (aumento de 5.000, tamaño del campo visual: $50\ \mu m$ de largo \times $200\ \mu m$ de ancho), se repite la operación anterior para captar el contorno (región) de la estructura eutéctica ternaria mientras se confirma la continuidad de la estructura eutéctica ternaria. A continuación, se determina la fracción de área de la estructura eutéctica ternaria captada en la capa de recubrimiento ocupada en la imagen de electrones retrodispersados SEM.
- 35 La fracción de área de la estructura eutéctica ternaria se define como el valor promedio de la fracción de área de la estructura eutéctica ternaria obtenida en por lo menos cinco campos visuales en una sección transversal opcional (sección transversal cortada en la dirección del grosor de la capa de recubrimiento) según la operación descrita anteriormente.
- 40 Los diámetros promedios de círculo equivalente de una fase masiva de $MgZn_2$ y una fase masiva de Zn se miden mediante el siguiente método.
- 45 En la imagen de electrones retrodispersados SEM, en la que se ha identificado cada estructura al medir la fracción de área de la estructura anterior, se seleccionan los cinco diámetros circulares equivalentes superiores con respecto a cada tipo de fase identificado. A continuación, esta operación se realiza para cinco campos visuales, y el promedio aritmético de un total de 25 diámetros de círculo equivalente se define como el diámetro promedio de círculo equivalente de una fase masiva de $MgZn_2$ o una fase masiva de Zn .
- El grosor de una capa de aleación interfacial compuesta por un compuesto intermetálico de $Al-Fe$ se mide de la siguiente manera.
- 50 En la imagen de electrones retrodispersados SEM, en la que cada estructura se ha identificado al medir la fracción de área de la estructura anterior (aumento de 5.000x, tamaño del campo visual: $50\ \mu m$ de largo \times $200\ \mu m$ de ancho, siempre y cuando el campo visual incluya una capa de aleación interfacial reconocible), el grosor de la capa de aleación interfacial identificada se mide en cada una de las 5 posiciones opcionales. El promedio aritmético de los datos en las 5 posiciones se define como el grosor de la capa de aleación interfacial.
- A continuación, se describirá un tratamiento posterior aplicable a la lámina de acero recubierta de la presente divulgación.
- 55 En la lámina de acero recubierta de la presente divulgación, se puede formar una película sobre la capa de recubrimiento. La película puede estar constituida por una o más capas. Los ejemplos del tipo de película directamente

sobre la capa de recubrimiento incluyen una película de cromato, una película de fosfato y una película sin cromato. Como tratamiento con cromato, se puede realizar un tratamiento con fosfato o un tratamiento sin cromato para formar la película anterior mediante métodos conocidos.

5 En cuanto al tratamiento con cromato, existe un tratamiento con cromato electrolítico en el que se forma una película de cromato por electrólisis, un tratamiento con cromato de tipo de reacción en el que se forma una película utilizando una reacción con un material, y se elimina por lavado un excedente de solución del tratamiento, y un tratamiento con cromato de tipo recubrimiento en el que una solución de tratamiento se aplica sobre un objeto y luego se seca sin lavar con agua para formar una película. Se puede usar cualquiera de los anteriores.

10 Los ejemplos del tratamiento con cromato electrolítico incluyen tratamientos con cromato electrolítico que usan ácido crómico, sol de sílice, una resina (tal como ácido fosfórico, resina acrílica, resina de éster de vinilo, emulsión acrílica de acetato de vinilo, látex de estireno butadieno carboxilado o resina epoxi modificada con diisopropanolamina) y sílice dura.

Los ejemplos del tratamiento con fosfato incluyen un tratamiento con fosfato de Zn, un tratamiento con fosfato de Ca y Zn y un tratamiento con fosfato de manganeso.

15 El tratamiento sin cromato es particularmente preferible porque es respetuoso con el medio ambiente. En el tratamiento sin cromato, existe un tratamiento sin cromato electrolítico en el que se forma una película de cromato por electrólisis, un tratamiento sin cromato de tipo reacción en el que se forma una película utilizando una reacción con un material y se elimina por lavado un excedente de solución del tratamiento, y un tratamiento sin cromato de tipo recubrimiento en el que una solución de tratamiento se aplica sobre un objeto y luego se seca sin lavar con agua para formar una película. Se puede adoptar cualquiera de los tratamientos.

20 Además, se pueden proporcionar una, o dos o más capas de películas de resina orgánica sobre la película directamente sobre la capa de recubrimiento. La resina orgánica no está limitada a un tipo específico, y los ejemplos de la misma incluyen una resina de poliéster, una resina de poliuretano, una resina epoxi, una resina acrílica, una resina de poliolefina y productos modificados de estas resinas. En este sentido, el producto modificado se refiere a una resina que se obtiene haciendo reaccionar un grupo funcional incluido en la estructura de cualquiera de las resinas anteriores con otro compuesto (monómero, agente reticulante o similar) que tiene un grupo funcional reactivo con dicho grupo funcional en la estructura.

25 Como una resina orgánica de este tipo, se puede usar una sola o una mezcla de dos o más resinas orgánicas (no modificadas), o se puede obtener una sola o una mezcla de dos o más resinas orgánicas modificando por lo menos otra resina orgánica en presencia de por lo menos una resina orgánica. Además, la película de resina orgánica puede contener un pigmento colorante opcional o un pigmento anticorrosivo. También se puede usar después de que se forma en un sistema acuoso disolviéndolo o dispersándolo en agua.

Ejemplos

A continuación, se describirá un ejemplo que es una realización de la presente divulgación.

35 Como baño de recubrimiento, se preparó un baño de recubrimiento en el que los componentes se ajustaron de modo que la composición química de la capa de recubrimiento tuviera la composición química que se muestra en la Tabla 1. La temperatura del baño de recubrimiento se seleccionó en el intervalo de 465 a 593 °C como se muestra en la Tabla 1 correspondiente a la composición. Como lámina original para su recubrimiento, se usó una lámina de acero laminado en caliente (concentración de carbono del 0,2 %) con un grosor de lámina de 0,8 mm. La lámina original se cortó en un tamaño de 100 mm × 200 mm y luego se recubrió con una máquina de prueba de recubrimiento de metales por galvanizado en caliente con lotes de fabricación propia. La temperatura de la lámina se monitorizó usando un termopar soldado por puntos en el centro de la lámina original para su recubrimiento. En el caso de que se cumpliera la Fórmula (1), que es relevante para el equilibrio de composición entre Mg y Sn divulgado en la presente memoria, se introdujo OK en la Tabla 1, y cuando no se cumplió, se introdujo NG.

45 Antes de la inmersión en el baño de recubrimiento, la superficie de la lámina original para el recubrimiento se redujo con gas H₂N₂-5 % a 800 °C en un horno con una concentración de oxígeno de 20 ppm o menos, se enfrió con gas N₂, y cuando la temperatura de la lámina a sumergir alcanzó la temperatura del baño +20 °C, la lámina se sumergió en el baño de recubrimiento durante aproximadamente 3 segundos. Después de la inmersión en el baño de recubrimiento, la lámina se extrajo a una velocidad de extracción de 100 mm/s. En el momento de extraer, la cantidad de recubrimiento se ajustó con una limpieza por barrido con gas N₂.

50 Después de extraer la lámina de acero del baño de recubrimiento, la capa de recubrimiento se enfrió desde la temperatura del baño de recubrimiento hasta la temperatura ambiente en las condiciones escritas en la Tabla 1 para producir una lámina de acero recubierta.

55 Además, también se prepararon una lámina de acero comercial recubierta con zinc por galvanizado en caliente (n.º 103 en la Tabla 1), lámina de acero recubierta con zinc aleada (n.º 104 en la Tabla 1) y lámina de acero recubierta mediante electrozincado (n.º 105 en la Tabla 1).

[Tabla 1-1]

Tabla 1-1

Clase	N.º	Composición química de la capa de recubrimiento (% en masa)											Punto de fusión del recubrimiento (°C)	Temperatura a del baño de recubrimiento (°C)	Condiciones de ensayo	
		Composición química de la capa de recubrimiento (% en masa)													Velocidad de enfriamiento promedio desde la temp. del baño de (°C/s)	Velocidad de enfriamiento promedio desde 320 °C a 280 °C (°C/s)
		Zn	Al	Mg	Sr	Si	Cantidad de elementos	Elemento opcional	Fórmula (1)							
C	1	84,3	14	0,5	1	0,2	0					OK	440	460	10	3
C	2	83,7	15	0,4	0,7	0,2	0					OK	445	465	10	3
E	3	83,8	15	0,5	0,5	0,2	0					OK	445	465	10	2
E	4	83,3	15	0,5	1	0,2	0					OK	445	465	10	2
E	5	83,5	15	0,5	1	0,05	0					OK	445	465	10	2
C	6	83,1	15	0,5	1,2	0,2	0					OK	445	465	10	10
E	7	78,1	20	0,5	1,2	0,2	0					OK	475	495	10	2
C	8	76,3	22	0,5	1,2	0,01	0					OK	480	500	10	2
E	9	75,3	22	0,5	2	0,2	0					NG	480	500	10	2
E	10	76,1	22	0,5	1,2	0,2	0					OK	480	500	10	2
C	11	76,3	22	0,5	1,2	0,2	0					OK	480	500	2	2
E	12	76,1	22	0,5	1,2	0,2	0					OK	480	500	10	8
E	13	75,1	22	0,5	1,2	0,2	1			Bi1		OK	480	500	10	6
E	14	76,1	22	0,5	1,25	0,2	0					OK	480	500	10	3
E	15	73,3	25	0,5	1	0,2	0					OK	487	507	10	3
C	16	81,8	25	0,5	1	0,2	2,5			Bi5,5		OK	487	507	10	3
E	17	88,3	30	0,5	1	0,2	0					OK	481	501	10	3
C	18	83,3	30	0,5	0	0,2	0					NG	510	530	10	5
E	19	83,1	35	0,5	1,2	0,2	0					OK	525	545	10	3

E	20	52.1	40	0,5	1,2	0,2	0				OK	540	10	3
E	21	45.8	51	0,5	1,2	1,5	0				OK	525	10	3
E	22	32.1	60	0,5	1,2	0,2	0				OK	573	10	3
C	23	33.1	62	0,5	1,2	0,2	0				OK	575	10	2
C	24	33.5	14	1	1	0,5	0				OK	430	10	2
E	25	32.3	15	1	1	0,2	0				OK	445	10	3
C	26	32.2	17	0,1	0,5	0,2	0				NG	456	10	2
E	27	77.8	20	1	1	0,2	0				OK	475	10	3
C	28	77.8	20	1	1	0,2	0				OK	475	3	3
E	29	75.8	22	1	1	0,2	0				OK	480	10	3
E	30	74.9	22	1	2,5	0,2	0				OK	480	10	3
C	31	75.8	22	1	0	0,2	0				NG	480	10	5
C	32	74.4	22	1	2,4	0,2	0				OK	480	10	19
E	33	72.1	24	1	2,4	0,5	0				OK	485	10	3
E	34	72.9	25	0,5	1	0,2	0,4		2%0,1, 3%3,3		OK	487	10	3
E	35	70.1	26	1	2,4	0,5	0				OK	490	10	3
E	36	70.1	26	1	2,7	0,2	0				NG	490	10	3
E	37	68.4	28	1	2,4	0,3	0				OK	505	10	3
C	38	67.8	29	1	2,4	0	0				OK	505	10	3
E	39	68.4	30	1	2,4	0,2	0				OK	510	10	3
E	40	53.4	38	1	2,4	0,2	0				OK	535	10	3
C	41	53.6	38	1	2,2	0,2	0				OK	535	5	3
F	42	52.4	40	1	2,4	0,2	0				OK	540	10	3
E	43	53.3	40	1	2,2	0,2	0,3		2%0,1, V0,2		OK	540	10	3

E	44	21,4	45	1	2,4	0,2	0		OK	555	575	10	3
E	45	45,4	51	1	2,4	0,2	0		OK	565	585	10	3
E	46	36,4	50	1	2,4	0,2	0		OK	373	393	10	3
C	47	34,4	32	1	2,4	0,2	0		OK	575	595	10	3
C	48	34,6	30	1	2,4	2	0		OK	573	593	10	2
C	49	76,6	14	0	5	0,2	0		OK	440	460	10	3
E	50	76,0	15	2	5	0,05	0		OK	445	465	10	3

Tabla 1-2

Clase	N.º	Composición química de la capa de recubrimiento (% en masa)								Punto de fusión del recubrimiento [°C]	Temp. de ensayo de resistencia mec. [°C]	Condiciones de ensayo	
		Zn	Al	Mg	Sn	Si	Cantidad total de elementos especiales	Elemento especial	Formulas (1)			Veloc. de enf. promedio desde la temp. del baño de ensayo a 320 °C [°C/s]	Velocidad de enf. promedio desde 320 °C a 280 °C [°C/s]
E	31	70,8	22	2	5	0,2	0			480	503	10	3
C	32	71,0	22	2	5	0,01	0			480	503	10	3
E	33	68,8	22	2	7	0,2	0		W3	480	503	10	3
E	34	62,8	30	2	5	0,2	0			510	533	10	3
E	35	63,4	30	2	4	0,2	0,4		Y-0,4	510	533	10	3
E	36	57,8	35	2	5	0,2	0			328	343	10	3
E	37	52,8	40	2	5	0,2	0			340	360	10	2
C	38	52,8	40	2	5	0,2	0			340	363	2	2
E	39	47,8	45	2	5	0,2	0			325	375	10	3
E	30	40,5	51	2	5	1,5	0			365	385	10	3

C	88	84,8	25	3	4	0,2	0			NG	488	508	2	2
E	88	84,8	30	3	5	0,2	0			NG	510	530	10	3
E	90	47,8	40	7	5	0,2	0,2		Cr0,1, Cu0,1	NG	555	575	10	3
E	91	37,8	50	7	5	0,2	0			NG	565	585	10	3
E	92	24,8	60	3	4	0,2	0			OK	579	599	10	3
C	93	74,8	14	3	5	0,2	0			NG	575	595	10	3
E	94	70,8	15	7	7	0,2	0			OK	445	465	10	3
E	95	65,6	20	7	7	0,2	0,2		Mn0,1, Ni0,1	OK	475	495	10	3
C	96	59,8	25	3	7	0,2	0			NG	488	508	10	3
C	97	59,8	25	3	7	0,2	0			NG	498	518	4	4
E	98	52,8	30	3	9	0,2	0			OK	510	530	10	3
E	99	38,5	40	3	15	0,2	0,3		Sr0,2, Ni0,1	OK	555	575	10	3
E	100	23,8	50	3	12	0,2	0			OK	565	585	10	3
E	101	11,8	60	3	30	0,2	0			OK	573	593	10	3
C	102	12,8	60	3	12	0,2	0			OK	573	593	10	3
C	103	Lámina de acero comercial recubierta con zinc												
	104	Lámina de acero aleada recubierta con Zn												
	105	Lámina de acero recubierta mediante electrolitadas												

[Tabla 1-3]

Tabla 1-3

Clase	N.º	Constitución estructural de la capa de recubrimiento							
		Estructura dispersa de la fase granular	Estructura dendrítica	Estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn ₂	Fase masiva de MgZn ₂		Fase masiva de Zn		
		Fracción de área (%)	Fracción de área (%)	Fracción de área (%)	Diámetro de círculo equivalente (µm)	Fracción de área (%)	Diámetro de círculo equivalente (µm)	Fracción de área (%)	
C	1	53	29	0	-	0	4	18	
C	2	41	35	0	-	0	5	24	
E	3	47	38	0	-	0	8	15	
E	4	49	35	0	-	0	8	16	
E	5	44	36	0	-	0	4	20	
C	6	3	37	0	-	0	3	20	
E	7	38	47	0	-	0	5	15	
C	8	51	39	0	-	0	4	10	
E	9	28	56	0	-	0	4	11	
E	10	28	61	0	-	0	7	11	
C	11	0	60	0	-	0	8	13	
E	12	29	61	0	-	0	5	10	
E	13	28	62	0	-	0	5	10	
E	14	26	65	0	-	0	4	9	
E	15	23	69	0	-	0	3	8	
C	16	22	70	0	-	0	3	8	
E	17	24	72	0	-	0	7	4	
C	18	0	52	39	-	0	7	9	
E	19	20	72	0	-	0	5	8	
E	20	21	76	0	-	0	5	3	
E	21	16	80	0	-	0	7	4	
E	22	5	95	0	-	0	-	0	
C	23	4	96	0	-	0	-	0	
C	24	59	33	0	-	0	5	8	
E	25	65	35	0	-	0	-	0	
C	26	2	42	0	-	0	3	55	
E	27	55	45	0	-	0	-	0	
C	28	0	60	0	-	0	8	0	

ES 2 958 769 T3

E	29	39	59	0	-	0,6	2	0
E	30	35	65	0	-	0	-	0
C	31	0	55	39	-	0	2	6
C	32	0	63	0	-	0	-	0
E	33	32	68	0	-	0	-	0
E	34	24	68	0	-	0	3	8
E	35	30	70	0	-	0	-	0
E	36	25	71	0	-	0	-	0
E	37	26	74	0	-	0	-	0
C	38	33	67	0	-	0	-	0
E	39	29	71	0	-	0	-	0
E	40	22	77	0	-	0	4	1
C	41	0	77	0	-	0	8	0
E	42	21	79	0	-	0	-	0
E	43	22	78	0	-	0	-	0
E	44	22	78	0	-	0	-	0
E	45	10	90	0	-	0	-	0
E	46	5	95	0	-	0	-	0
C	47	2	98	0	-	0	-	0
C	48	5	93	0	-	0	-	0
C	49	60	32	0	-	0	2	8
E	50	61	36	0	1	2	-	1

[Tabla 1-4]
Tabla 1-4

Clase	N.º	Constitución estructural de la capa de recubrimiento							
		Estructura dispersa de la fase granular	Estructura dendrítica	Estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn ₂	Fase masiva de MgZn ₂		Fase masiva de Zn		
					Diámetro de círculo equivalente (µm)	Fracción de área (%)	Diámetro de círculo equivalente (µm)	Fracción de área (%)	
E	51	35	65	0		0		0	
C	52	50	40	0	-	0	3	10	
E	53	25	58	0	-	0	4	9	
E	54	29	71	0	-	0	-	0	
E	55	30	70	0	-	0	-	0	
E	56	25	74	0	1	1	-	0	
E	57	24	74	0	1	2	-	0	
C	58	0	75	1	-	0	8	0	
E	59	20	77	0	2	3	-	0	
E	60	6	87	0	1	5	-	0	
E	61	5	92	0	2	3	-	0	
C	62	5	95	0	-	0	-	0	
E	63	60	35	0	1	5	-	0	
E	64	50	49	0	2	1	-	0	
E	65	31	65	0	2	4	-	0	
E	66	29	60	0	2	9	-	0	
E	67	25	70	0	-	0	-	0	
E	68	36	63	0	2	0	-	0	
E	69	31	69	0	-	0	-	0	
E	70	30	67	0	2	3	-	0	
E	71	24	76	0	-	0	-	0	
E	72	21	75	0	2	4	-	0	
E	73	5	91	0	1	4	-	0	
C	74	4	96	0	-	0	-	0	
C	75	55	36	0	2	9	-	0	
C	76	56	36	0	4	8	-	0	

ES 2 958 769 T3

E	77	44	49	0	2	7	-	0
E	78	38	55	0	2	7	-	0
C	79	0	75	0	2	0	-	0
E	80	31	61	0	2	8	-	0
E	81	24	69	0	5	7	-	0
E	82	6	84	0	4	8	-	0
E	83	5	86	0	6	9	-	0
C	84	3	88	0	3	9	-	0
E	85	60	29	0	1	11	-	0
E	86	50	39	0	2	12	-	0
E	87	36	52	0	2	11	-	0
C	88	0	65	0	5	11	-	0
E	89	27	61	0	12	12	-	0
E	90	20	65	0	14	15	-	0
E	91	6	78	0	8	14	-	0
E	92	5	82	0	8	13	-	0
C	93	51	38	0	5	11		0
E	94	53	30	0	9	17	-	0
E	95	47	35	0	5	18	-	0
C	96	32	51	0	9	17	-	0
C	97	0	59	0	11	15	-	0
E	98	25	56	0	8	19	-	0
E	99	22	59	0	4	19	-	0
E	100	6	72	0	12	20	-	0
E	101	5	75	0	15	20	-	0
C	102	5	70	0	15	25	-	0
C	103	Lámina de acero comercial recubierta con zinc						
	104	Lámina de acero aleada recubierta con Zn						
	105	Lámina de acero recubierta mediante electrozincado						

[Página 1-3]
Tabla 1-5

Clase	Nº	Composición estructural de la capa de recubrimiento										Capa de aleación interfacial
		Fase de Zn		Fase de Sn		Fase de Si		Fase de Mg ₂ Si		Otra fase		
		Fase de Zn 4. Fase de Mg ₂ Si en la capa de aleación	Fración de área (%)	Diámetro de círculo equivalente (µm)	Fración de área (%)	Diámetro de círculo equivalente (µm)	Fración de área (%)	Diámetro de círculo equivalente (µm)	Fración de área (%)	Fración de área (%)	Fración de área (%)	
C	1	0	0		0		0		0		0	0,3
C	2	0	0		0		0		0		0	0,3
E	3	0	0		0		0		0		0	0,3
E	4	0	0		0		0		0		0	0,3
E	5	0	0		0		0		0		0	0,3
C	6	40			0		0		0		0	0,5
E	7	0			0		0		0		0	0,3
C	8	0			0		0		0		0	2
E	9	0	1		5		0		0		0	0,2
E	10	0			0		0		0		0	0,5
C	11	27			0		0		0		0	0,5
E	12	0			0		0		0		0	0,4
E	13	0			0		0		0		0	0,4
E	14	0			0		0		0		0	0,3
E	15	0			0		0		0		0	0,2

C	41	23	-	0	-	0	-	0	-	0	1,2
E	42	0	-	0	-	0	-	0	-	0	1
E	43	0	-	0	-	0	-	0	-	0	1
E	44	0	-	0	-	0	-	0	-	0	1,1
E	45	0	-	0	-	0	-	0	-	0	1,2
E	46	0	-	0	-	0	-	0	-	0	1,4
C	47	0	-	0	-	0	-	0	-	0	1,8
C	48	0	-	0	1	2	-	0	-	0	0,1
C	49	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0,3
E	50	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0,2

{Tabla 1-6}
Tabla 1-6

Clase	№?	Constitución estructural de la capa de recubrimiento										Capa de reacción interfacial
		Fase de Zn + Fase de Mg/Sn en forma de		Fase de Sn		Fase de Si		Fase de Mg/Si		Otra fase		
		Facción de área (%)	Díametro de círculo equivalente (µm)	Facción de área (%)	Díametro de círculo equivalente (µm)	Facción de área (%)	Díametro de círculo equivalente (µm)	Facción de área (%)	Díametro de círculo equivalente (µm)	Facción de área (%)	Díametro de círculo equivalente (µm)	Grupos (µm)
E	51	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0,1
C	52	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	2
E	53	0	1	0	-	0	-	0	-	0	-	0,2
E	54	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0,1
E	55	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0,2
E	56	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0,3
E	57	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0,5
C	58	24	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0,7

E	59	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,2
E	60	0	*	0	*	0	*	0	*	1	*	0	2	0	1,4
E	61	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,3
C	62	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	2,1
E	63	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,1
E	64	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,2
E	65	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,5
E	66	0	2	0	*	2	*	0	*	0	*	0	0	0	0,5
E	67	0	1	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,5
E	68	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,2
E	69	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,3
E	70	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,4
E	71	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,3
E	72	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,1
E	73	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,3
C	74	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,7
C	75	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,3
E	76	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,1
E	77	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,2
E	78	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,2
C	79	0,6	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,7
E	80	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,3
E	81	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,3
E	82	0	*	0	*	0	*	0	*	1	*	2	0	0	1,4
E	83	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,3
C	84	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	1,7
E	85	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,1
E	86	0	*	0	*	0	*	0	*	0	*	0	0	0	0,2

E	87	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,2
C	88	24	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,7
E	89	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,3
E	90	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	1,3
E	91	0	*	0	*	0	0	1	2	0	0	1,4
E	92	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	1,3
C	93	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,3
E	94	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,1
E	95	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,2
C	96	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,2
C	97	26	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,7
E	98	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0,3
E	99	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	1,3
E	100	0	*	0	*	0	0	1	2	0	0	1,4
E	101	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	1,3
C	102	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	1,5
C	103	Lámina de acero comercial recubierta con zinc										
	104	Lámina de acero aleada recubierta con Zn										
	105	Lámina de acero recubierta mediante electrolizado										

[Tabla 1-7]
Tabla 1-7

Clase	N.º	Trabajabilidad a la flexión			Resistencia a la corrosión después de pintar				Resistencia al astillado	Resistencia al gripado
		1T	3T	5T	30	60	90	150 ciclos		
C	1	C	C	B	B	B	C	D	B	D
C	2	B	B	B	B	B	B	C	A	D
E	3	B	B	A	A	A	A	B	A	B
E	4	B	B	A	A	A	A	B	A	B
E	5	B	B	A	A	A	A	B	A	B
C	6	C	c	C	A	A	B	C	B	B
E	7	A	A	A	A	A	A	B	A	B
C	8	D	D	D	C	C	D	D	D	A
E	9	A	A	A	A	B	C	D	A	A
E	10	A	A	A	A	A	A	B	A	B
C	11	C	C	C	A	A	B	C	B	B
E	12	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	13	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	14	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	15	A	A	A	A	A	A	B	A	A
C	16	A	A	A	C	C	D	D	A	A
E	17	A	A	A	A	A	A	B	A	A
C	18	D	D	D	C	C	D	D	B	A
E	19	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	20	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	21	A	A	A	A	A	B	B	A	A
E	22	A	A	A	A	A	B	B	A	A
C	23	C	C	C	A	A	B	C	C	A
C	24	C	C	C	B	B	C	D	B	D
E	25	B	B	A	A	A	A	A	A	B
C	26	B	B	B	C	C	D	D	A	D
E	27	A	A	A	A	A	A	A	A	A
C	28	C	C	C	A	A	B	C	B	B
E	29	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	30	A	A	A	A	A	A	A	A	A
C	31	A	A	A	C	C	D	D	B	A
C	32	C	C	C	A	A	B	C	B	B
E	33	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	34	A	A	A	A	A	B	B	A	A
E	35	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	36	A	A	A	A	B	C	D	A	A

ES 2 958 769 T3

E	37	A	A	A	A	A	A	B	A	A
C	38	C	C	C	A	A	B	C	C	A
E	39	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	40	A	A	A	A	A	A	B	A	A
C	41	C	C	C	A	A	B	C	B	B
E	42	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	43	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	44	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	45	A	A	A	A	A	B	B	A	A
E	46	A	A	A	A	A	B	B	A	A
C	47	C	C	C	A	A	B	C	C	A
C	48	C	C	C	B	B	C	D	A	A
C	49	C	C	C	B	B	C	D	B	D
E	50	B	A	A	A	A	A	A	A	E

[Tabla 1-8]
Tabla 1-8

Clase	N.º	Trabajabilidad a la flexión			Resistencia a la corrosión después de pintar				Resistencia al astillado	Resistencia al gripado
		1T	3T	5T	30	60	90	150		
E	51	A	A	A	A	A	A	A	A	A
C	52	D	D	D	B	C	D	D	D	A
E	53	A	A	A	A	B	C	D	A	A
E	54	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	55	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	56	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	57	A	A	A	A	A	A	B	A	A
C	58	C	C	C	A	A	B	C	B	B
E	59	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	60	B	A	A	A	A	B	B	A	A
E	61	A	A	A	A	A	B	B	A	A
C	62	C	C	C	A	A	B	C	C	A
E	63	B	B	B	A	A	A	A	A	B
E	64	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	65	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	66	D	B	A	A	B	C	D	B	A
E	67	A	A	A	A	B	C	D	A	A
E	68	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	69	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	70	A	A	A	A	A	A	A	A	A
E	71	A	A	A	A	A	A	B	A	A

ES 2 958 769 T3

E	72	A	A	A	A	A	A	B	A	A
E	73	A	A	A	A	A	B	B	A	A
C	74	C	C	C	A	A	B	C	C	A
C	75	D	C	B	B	B	C	D	B	D
E	76	D	B	A	A	A	A	A	A	B
E	77	D	B	A	A	A	A	A	A	A
E	78	D	B	A	A	A	A	A	A	A
C	79	D	D	C	A	A	B	C	B	A
E	80	D	B	A	A	A	A	A	A	A
E	81	D	B	A	A	A	A	B	A	A
E	82	D	B	A	A	A	B	B	A	A
E	83	D	B	A	A	A	B	B	A	A
C	84	D	C	C	A	A	B	C	C	A
E	85	D	B	A	A	A	A	A	A	B
E	86	D	B	A	A	A	A	A	A	A
E	87	D	B	A	A	A	A	A	A	A
C	88	D	D	C	A	A	B	C	B	A
E	89	D	B	A	A	A	A	B	A	A
E	90	D	B	A	A	A	A	B	A	A
E	91	D	B	A	A	A	B	B	A	A
E	92	D	B	B	A	A	B	B	A	A
C	93	D	C	B	B	B	C	D	B	D
E	94	D	B	A	A	A	A	A	A	B
E	95	D	B	A	A	A	A	A	A	A
C	96	D	B	A	A	A	A	A	A	A
C	97	D	D	C	A	A	B	C	B	A
E	98	D	B	A	A	A	A	B	A	A
E	99	D	B	A	A	A	A	B	A	A
E	100	D	B	A	A	A	B	B	A	A
E	101	D	B	A	A	A	B	B	A	A
C	102	D	D	C	A	A	B	C	C	A
C	103	C	C	C	C	C	C	D	B	D
	104	D	D	D	C	D	D	D	D	A
	105	B	B	B	C	C	C	D	C	D

ES 2 958 769 T3

Se llevaron a cabo las siguientes mediciones y evaluaciones para las láminas de acero recubiertas producidas en los ejemplos respectivos, que se resumen en la Tabla 1 anterior.

- Medición de la fracción de área de cada estructura -

5 Las fracciones de área de las siguientes estructuras de la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta obtenida se midieron según el método descrito anteriormente.

– Estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular (denominada "estructura que contiene la fase granular" en la Tabla)

– Estructura dendrítica

– Estructura eutéctica ternaria de $Zn/Al/MgZn_2$

10 – Fase masiva de $MgZn_2$ con un diámetro de círculo equivalente de $1 \mu m$ o más

– Fase masiva de Zn con un diámetro de círculo equivalente de $2 \mu m$ o más

– Estructura en la que una fase de Mg_2Sn en forma de placa se mezcla en una fase de Zn (denominada "fase de $Zn +$ Fase de Mg_2Sn en forma de placa" en la Tabla)

– Fase de Sn

15 – Fase de Si

– Fase de Mg_2Si

– Fase de compuesto intermetálico distinta de las estructuras anteriores (denominada "otra fase" en la Tabla)

- Medición del diámetro promedio del círculo equivalente de cada estructura -

20 Los diámetros promedios de los círculos equivalentes de las siguientes estructuras de la capa de recubrimiento de la lámina de acero recubierta obtenida se midieron según el método descrito anteriormente. En este sentido, en la Tabla 1, el diámetro promedio del círculo equivalente se denomina "diámetro del círculo equivalente".

– Fase masiva de $MgZn_2$ con un diámetro de círculo equivalente de $1 \mu m$ o más

– Fase masiva de Zn con un diámetro de círculo equivalente de $2 \mu m$ o más

– Fase de Sn

25 – Fase de Si

– Fase de Mg_2Si

- Medición del grosor de la capa de aleación interfacial -

El grosor de la capa de aleación interfacial de la lámina de acero recubierta obtenida se midió según el método descrito anteriormente.

30 - Tamaño de grano de cristal y densidad numérica de la fase de $MgSn$ granular en la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular -

35 Se obtuvo una imagen de electrones retrodispersados SEM (imagen BSE) del n.º 29 que se muestra en la Tabla 1. La imagen de electrones retrodispersados SEM (imagen BSE) del n.º 29 que se muestra en la Tabla 1 se muestra en la figura 1 y la figura 2. Como se desprende de la figura 1, la capa 1 de recubrimiento estaba constituida principalmente por estructuras 4 que contienen una fase de Mg_2Sn granular y estructuras 5 dendríticas. A continuación, se examinaron el tamaño de grano de cristal promedio y la densidad numérica de la fase 8 de Mg_2Sn granular formada en la estructura 4 que contiene una fase de Mg_2Sn granular mostrada en la figura 2.

40 De forma similar, para otras muestras, se examinaron el tamaño de grano de cristal promedio y la densidad numérica de la fase de Mg_2Sn granular. Como resultado, los valores numéricos típicos del tamaño de grano de cristal promedio y la densidad numérica de la fase de Mg_2Sn granular formada en la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular fueron los que se muestran en la siguiente Tabla 2.

[Tabla 2]

Tamaño de grano de cristal promedio (nm)	Densidad numérica (1/μm ²)
500	7
900	6
550	15
710	9
350	14
280	17
950	2

- Trabajabilidad a la flexión -

La evaluación de la trabajabilidad a la flexión de la capa de recubrimiento se realizó de la siguiente manera.

- 5 De la lámina de acero recubierta obtenida, se cortó una pieza de prueba de 30 mm en la dirección C × 60 mm en la dirección L (L). La pieza de prueba se dobló 180° en la dirección C (flexión 1T), y se observó la cresta de la parte trabajada de la capa de recubrimiento con un SEM, y se contó el número de grietas presentes en la cresta (1,6 mm × 30 mm).
- 10 Se doblaron en la dirección C en 180 ° respectivamente una pieza de prueba en la que se intercalaron tres piezas de prueba con el mismo grosor en el interior, y una pieza de prueba en la que se intercalaron cinco piezas de prueba con el mismo grosor en el interior (flexión 3T y flexión 5T). De forma similar, se contó el número de grietas.
- En este sentido, se prepararon por lo menos tres muestras de cada lámina de acero recubierta y se evaluó la trabajabilidad a la flexión calculando el número promedio de grietas existentes. Puede evaluarse que el menor número promedio de grietas indica la mejor deformabilidad plástica y, por lo tanto, la mejor trabajabilidad a la flexión.
- 15 Los criterios de clasificación fueron: en el caso de que el número promedio de grietas era 0, es decir, no había grietas, se clasificó como "A"; en el caso de que el número promedio de grietas era de 1 a 20, se clasificó como "B"; en el caso de que el número promedio de grietas era de 21 a 100, se clasificó como "C"; y en caso de que el número promedio de grietas era de 101 o más, se clasificó como "D".

- Evaluación de la resistencia a la corrosión después de pintar -

- 20 La evaluación de la resistencia a la corrosión después de pintar la capa de recubrimiento se realizó de la siguiente manera.
- De la lámina de acero recubierta obtenida, se cortó una pieza de prueba de 50 mm en la dirección C × 100 mm en la dirección L. Se aplicó un tratamiento con ácido fosfórico de Zn (sistema SD5350: Especificaciones de Nipponpaint Industrial Coatings Co., Ltd.) a la superficie de la capa de recubrimiento de la pieza de prueba.
- 25 A continuación, se formó una película de pintura de 20 μm de grosor sobre la superficie tratada con ácido fosfórico de Zn de la capa de recubrimiento de la pieza de prueba mediante electropintura (PN110 POWERNIX Gray: Especificaciones de Nipponpaint Industrial Coatings Co., Ltd.), y se horneó a una temperatura de cocción de 150 °C durante 20 min para formar una película electrodepositada.
- 30 A continuación, se realizaron cortes transversales (dos cortes de 40×√2) alcanzando el sustrato de acero (lámina de acero) en la película electrodepositada de la pieza de prueba.
- La pieza de prueba obtenida se sometió a un ensayo combinado de corrosión cíclica según JASO (M609-91). Y se midieron las anchuras máximas de formación de ampollas en 8 posiciones alrededor de los cortes transversales, respectivamente, después de la ejecución de 30, 60, 90 y 150 ciclos, y se calculó el valor promedio.
- 35 La resistencia a la corrosión después de pintar se evaluó por esta anchura de la formación de ampollas. Los criterios de clasificación fueron: respectivamente, después de la ejecución de 30, 60, 90 y 150 ciclos según JASO (M609-91), en el caso de que la anchura de la formación de ampollas desde el corte transversal fuera de 1 mm o menos, se clasificó como "A "; en el caso de que la misma fuera mayor de 1 mm pero no mayor de 2 mm, se clasificó como "B", en el caso de que la misma fuera mayor de 2 mm pero no mayor de 4 mm, se clasificó como "C "; y en el caso de que apareciera óxido rojo, se clasificó como "D".

- Evaluación de la resistencia al astillado -

La evaluación de la resistencia al astillado de una capa de recubrimiento se realizó de la siguiente manera.

5 Se preparó una pieza de prueba con una capa de recubrimiento, cuya superficie estaba provista de un recubrimiento por electrodeposición, de la misma forma que en la evaluación de la resistencia a la corrosión después de pintar. En la superficie de recubrimiento por electrodeposición, se aplicó más pintura intermedia, pintura de capa superior y pintura transparente para formar las respectivas películas de pintura, de modo que el grosor total de la película pasó a ser de 40 μm .

10 Mediante un instrumento de prueba de gravilla (fabricado por Suga Test Instruments Co., Ltd.), se sopló 100 g de cantos quebrados n.º 7 contra la película de pintura de la pieza de prueba enfriada a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ en un ángulo de colisión de 90° con una presión de aire de $3,0\text{ kg/cm}^2$ desde una distancia de 30 cm. A continuación, se expusieron las regiones desprendidas de la capa de recubrimiento en el área colisionada usando una cinta adhesiva y se midieron los diámetros de las regiones desprendidas. Se seleccionaron los cinco diámetros de desprendimiento más grandes y el valor promedio de los mismos se consideró como el diámetro de desprendimiento promedio.

15 La resistencia al astillado se evaluó por este diámetro de desprendimiento promedio. El diámetro de desprendimiento promedio más pequeño significa una mejor resistencia al astillado.

20 Los criterios de clasificación fueron: en el caso de que el diámetro de desprendimiento promedio fuera inferior a 1,0 mm, se clasificó como "A"; en el caso de que el diámetro de desprendimiento promedio no fuera inferior a 1,0 mm pero inferior a 1,5 mm, se clasificó como "B"; en el caso de que el diámetro de desprendimiento promedio no fuera inferior a 1,5 mm pero inferior a 3,0, se clasificó como "C"; y en el caso de que el diámetro de desprendimiento promedio no fuera inferior a 3,0 mm, se clasificó como "D".

- Evaluación de la resistencia al gripado -

La evaluación de la resistencia al gripado de una capa de recubrimiento se realizó de la siguiente manera.

25 Cada dos piezas de prueba de 80 mm en la dirección C y 350 mm en la dirección L se cortaron de la lámina de acero recubierta obtenida. Se aplicó un trabajo de estirado a las dos piezas de prueba mediante plantillas que simulan una matriz y una corredera, de modo que se produjo un deslizamiento en una longitud de 150 mm o más entre la capa que forma el recubrimiento que forma la superficie de la pieza de prueba y el hombro de la matriz, así como en la porción de corredera. En este caso, los radios de curvatura del hombro de la matriz y la parte de corredera, que se usaron como plantillas en la prueba, fueron de 2 mmR y 5 mmR respectivamente, la presión de empuje de la matriz fue de 60 kN/m² y la velocidad de estirado en la corredera fue de 2 m/min. Además, en el momento de la prueba, se aplicó un aceite lubricante (550S, producido por Nihon Parkerizing Co., Ltd.) a ambas superficies de la pieza de prueba en un total de 10 mg/m².

35 A continuación, se tomaron muestras de cada una de las dos piezas de prueba primarias de 80 mm de ancho \times 350 mm de largo, y se les aplicó un trabajo de estirado usando plantillas que simulan una matriz y una corredera, de modo que se produjo un deslizamiento en la longitud de 150 mm o más entre una superficie tratada superficialmente de la lámina de acero y el hombro de la matriz, así como en la porción de corredera para evaluar la resistencia al gripado. En este caso, los radios de curvatura del hombro de la matriz y la porción de la corredera, que se usaron como plantillas en la prueba, fueron de 2 mmR y 5 mmR respectivamente, la presión de empuje de la matriz fue de 60 kN/m² y la velocidad de estirado en la corredera fue de 2 m/min. Además, en el momento de la prueba, se aplicó un aceite lubricante (550S, producido por Nihon Parkerizing Co., Ltd.) a ambas superficies de la pieza de prueba a un total de 0,5 g/m².

45 Los criterios de clasificación fueron: en el caso de que no hubiera un gripado reconocible visualmente entre la capa de recubrimiento y la matriz o la corredera, se clasificó como "A"; en el caso de que hubiera un gripado leve visualmente reconocible entre la capa de recubrimiento y la matriz o la corredera, se clasificó como "B"; y en el caso de que hubiera un gripado significativo visualmente reconocible entre la capa de recubrimiento y la matriz o la corredera, se clasificó como "D".

Los símbolos respectivos en las figuras se refieren a lo siguiente:

- 1 Capa de recubrimiento
- 2 Lámina de acero
- 3 Capa de aleación
- 50 4 Estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular
- 5 Estructura (estructura dendrítica) que incluye soluciones sólidas de Zn y Al
- 6 Fase masiva de MgZn₂

ES 2 958 769 T3

- 7 Fase de Zn
- 8 Fase de Mg_2Sn granular
- 9 Estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$
- 10 Fase masiva de Zn
- 5 11 Estructura en la que una fase de Mg_2Sn en forma de placa se mezcla con una fase de Zn
- 20 Fase de Zn en una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$
- 21 Fase de $MgZn_2$ en una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$
- 22 Fase de Al en una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/ $MgZn_2$

REIVINDICACIONES

1. Una lámina de acero recubierta que comprende una lámina de acero y una capa de recubrimiento proporcionada en por lo menos una parte de una superficie de la lámina de acero, en la que:

la capa de recubrimiento tiene una composición química que comprende en términos de % en masa:

5	Al:	del 15 % al 60 %
	Mg:	del 0,5 % al 8,0 %
	Sn:	del 0,5 % al 20,0 %
	Si:	del 0,05 % al 1,50 %
	Bi:	del 0 % al 5,0 %,
10	In:	del 0 % al 2,0 %,
	Ca:	del 0 % al 3,0 %,
	Y:	del 0 % al 0,5 %,
	La:	del 0 % al 0,5 %,
	Ce:	del 0 % al 0,5 %,
15	Cr:	del 0 % al 0,25 %,
	Ti:	del 0 % al 0,25 %,
	Ni:	del 0 % al 0,25 %,
	Co:	del 0 % al 0,25 %,
	V:	del 0 % al 0,25 %,
20	Nb:	del 0 % al 0,25 %,
	Cu:	del 0 % al 0,25 %,
	Mn:	del 0 % al 0,25 %,
	Sr:	del 0 % al 0,5 %,
	Sb:	del 0 % al 0,5 %,
25	Pb:	del 0 % al 0,5 %,
	B:	del 0 % al 0,5 %, y

un equilibrio que consiste en Zn e impurezas, en el que:

30 la capa de recubrimiento tiene una estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular en una fracción de área de desde el 5 al 65 %, una estructura que contiene una solución sólida de Zn y Al en una fracción de área de desde el 35 % al 95 %, una fase masiva de MgZn₂ con un diámetro de círculo equivalente de 1 μm o más en una fracción de área de desde el 0 % al 20 %, una fase masiva de Zn con un diámetro de círculo equivalente de 2 μm o más en una fracción de área de desde el 0 % al 20 %, y una estructura eutéctica ternaria de Zn/Al/MgZn₂ en una fracción de área de desde el 0 % a 3 %; y

35 la estructura que contiene una fase de Mg₂Sn granular es una estructura constituida por una fase de Zn y una fase de Mg₂Sn granular que tiene un tamaño de grano de cristal inferior a 1 μm disperso en la fase de Zn.

2. La lámina de acero recubierta según la reivindicación 1, en la que el contenido de Mg es del 0,5 % al 3,0 % y el contenido de Sn es del 1,0 % al 7,5 % en términos de % en masa.

40 3. La lámina de acero recubierta según la reivindicación 1 o 2, en la que el contenido de Al es del 20 % al 60 %, el contenido de Mg es del 1,0 % al 2,0 %, el contenido de Sn es del 1,0 % al 5,0 % y un contenido de Si es del 0,05 % a 1,0 % en términos de % en masa.

4. La lámina de acero recubierta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que un contenido de Sn y

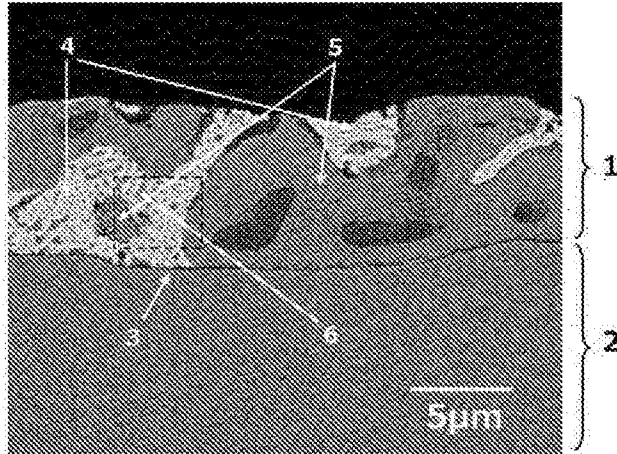
un contenido de Mg cumplen la siguiente fórmula (1):

$$\text{Mg} \leq \text{Sn} < 2,5 \times \text{Mg} \quad \text{Fórmula (1)}$$

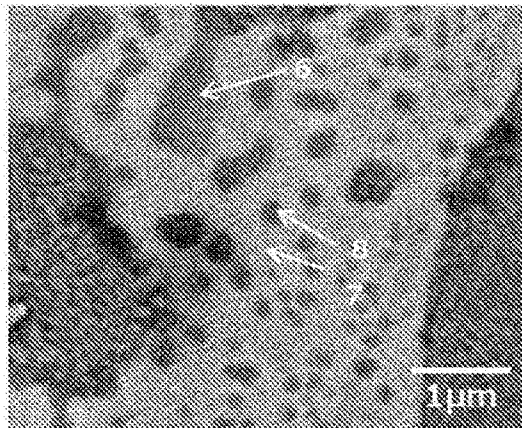
en el que, en la Fórmula (1), cada símbolo atómico indica un contenido del elemento en términos de % en masa.

- 5 La lámina de acero recubierta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es del 20 % al 60 %.
- 6 La lámina de acero recubierta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la fracción de área de la estructura que contiene una fase de Mg_2Sn granular es del 30 % al 60 %.
- 10 7. La lámina de acero recubierta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la capa de recubrimiento tiene una fase masiva de MgZn_2 con un diámetro de círculo equivalente de 1 μm o más en una fracción de área del 0 % al 5 %.
8. La lámina de acero recubierta según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que la capa de recubrimiento tiene una fase masiva de Zn con un diámetro de círculo equivalente de 2 μm o más en una fracción de área del 0 % al 10 %.
- 15 9. La lámina de acero recubierta según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además una capa de aleación interfacial con un grosor de 100 nm a 1,5 μm que consiste en un compuesto intermetálico de Al-Fe entre la lámina de acero y la capa de recubrimiento.

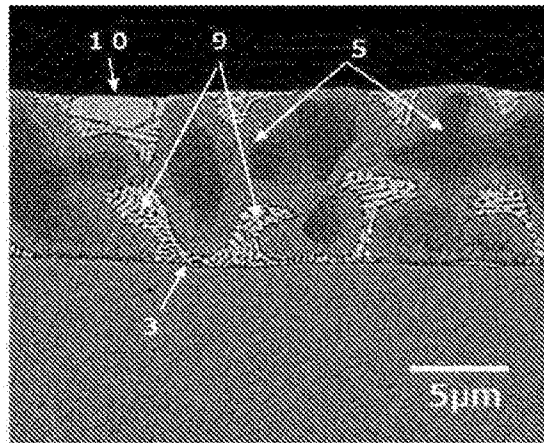
[Fig. 1]



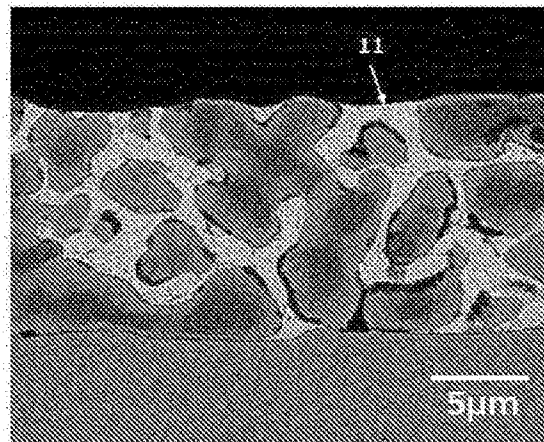
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]

