

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 682**

51 Int. Cl.:

C23C 2/06 (2006.01)

C22C 18/04 (2006.01)

C23C 2/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.10.2016 PCT/JP2016/081634**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.05.2017 WO17073579**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2016 E 16859809 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.02.2020 EP 3369837**

54 Título: **Lámina de acero enchapado**

30 Prioridad:

26.10.2015 JP 2015209674

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

11.08.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MITSUNOBU, TAKUYA

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 778 682 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 enchapado

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a una lámina de acero enchapado que incluye una capa de enchapado a base de Zn que contiene Al sobre al menos una parte de una superficie de una lámina de acero.

Antecedentes de la técnica

Una lámina de acero enchapado se ha utilizado como miembro estructural de un automóvil desde un punto de vista de prevención de la oxidación. Como lámina de acero enchapado para un automóvil se puede citar una lámina de aleación de acero galvanizado y una lámina de acero de acero galvanizado por inmersión en caliente, por ejemplo.

10 La lámina de aleación de acero galvanizado tiene un punto ventajoso que es que es excelente para soldadura y resistencia a la corrosión después del recubrimiento. Un ejemplo de la lámina de aleación de acero galvanizado se describe en la bibliografía de patentes 1. Sin embargo, una capa de enchapado de la lámina de aleación de acero galvanizado es relativamente dura debido a la difusión de Fe que se produce al momento del tratamiento de aleación, de manera que se pueda retirar fácilmente cuando se compara con una capa de enchapado de la lámina de acero galvanizado por inmersión en caliente. Específicamente, es posible que se produzca una grieta en la capa de enchapado debido a una presión externa, la grieta se propaga hasta una superficie de contacto entre la capa de enchapado y una capa de acero base, y la capa de enchapado es probable que se decape la superficie de contacto como un punto de partida. Por este motivo, cuando se utiliza la lámina de aleación de acero galvanizado como un panel exterior de un automóvil, hay un caso en el cual se produce una colisión de pequeñas piedras (astillamiento) debido a una salpicadura de piedras con respecto a un vehículo que se desplaza, lo cual da como resultado que se decape un enchapado junto con un recubrimiento, y se esponga la lámina de acero base y sea probable que se corroa. Además, la capa de enchapado de la lámina de aleación de acero galvanizado contiene Fe, de manera que cuando el recubrimiento se decape debido a astillamiento, la capa de enchapado en sí se corroe, y a menudo se genera una herrumbre rojiza marrón. También está el caso en el que se produce polvo o lascas en la capa de enchapado de la lámina de aleación de acero galvanizado.

15 La capa de enchapado de la lámina de acero galvanizado por inmersión en caliente que no se somete al tratamiento de aleación no contiene Fe y, por lo tanto, es relativamente blanda. Por este motivo, con el uso de la lámina de acero galvanizado por inmersión en caliente, es posible que se haga más difícil provocar la corrosión acompañada por el astillamiento y también es posible suprimir la formación de polvo y lascas. Un ejemplo de la lámina de acero galvanizado por inmersión en caliente se describe en cada una de las bibliografías de patentes 2 a 5. Sin embargo, debido al bajo punto de fusión de la capa de enchapado de la lámina de acero galvanizado por inmersión en caliente, es probable que se produzca el abarrotamiento con respecto a un molde de metal al momento de la formación por prensado. Además, también está el caso en donde se produce una grieta en la capa de enchapado al momento de la formación por prensado y plegado. La bibliografía de patentes 6 describe un acero recubierto por inmersión en caliente resistente a la corrosión que tiene uniformidad de superficie y capacidad de formación excelentes.

30 Como se ha descrito anteriormente, en las láminas de acero convencionales, no se puede decir que todas de la resistencia al pulverizado, la resistencia al agarrotamiento, la resistencia al agrietamiento y la resistencia al astillamiento sean adecuadas para la aplicación de un automóvil.

Lista de citas

- 40 Bibliografía de patentes
- Bibliografía de patentes 1: Publicación de patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2003-253416
- Bibliografía de patentes 2: Publicación de patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2006-348332
- Bibliografía de patentes 3: Publicación de patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2005-154856
- Bibliografía de patentes 4: Publicación de patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2005-336546
- 45 Bibliografía de patentes 5: Publicación de patente japonesa abierta a inspección pública n.º 2004-323974
- Bibliografía de patentes 6: Solicitud de patente europea n.º 1 557 478 A1.

Compendio de la invención

Problema técnico

50 La presente invención tiene como objeto proporcionar una lámina de acero enchapado capaz de obtener una resistencia al astillamiento excelente y capaz de suprimir la formación de polvo y agarrotamiento con respecto al molde

metálico al momento de la formación por prensado y la aparición de grietas al momento del moldeado.

Solución del problema

Los inventores de la presente llevaron a cabo estudios serios para resolver los problemas descritos anteriormente. Como resultado de esto, hallaron que, cuando una capa de enchapado se proporciona con una composición química predeterminada y estructuras predeterminadas, es posible obtener una resistencia al astillamiento excelente y es posible suprimir la formación de polvo y abarrotamiento con respecto al molde metálico al momento de la formación por prensado y la aparición de grietas al momento del moldeado. De aquí en adelante, una deformabilidad plástica, una resistencia al agarrotamiento y una resistencia al pulverizado a menudo se mencionan de manera genérica como moldeabilidad. Además, los inventores de la presente también hallaron que las estructuras predeterminadas antemencionadas no pueden obtenerse mediante un método de fabricación convencional de una lámina de acero enchapado y las estructuras predeterminadas pueden obtenerse cuando una lámina de acero enchapado se fabrica a través de un método diferente del método convencional. Basándose en tales hallazgos, los inventores de la presente llegaron a las diversas realizaciones de la invención que se describirán a continuación.

(1) Una lámina de acero enchapado se caracteriza por que incluye una capa de enchapado a base Zn que contiene Al en al menos una parte de una superficie de una lámina de acero, en la cual una composición química promedio de la capa de enchapado y una capa de compuesto intermetálico entre la capa de enchapado y la lámina de acero se representa, en términos de % de masa, mediante Al: de 10% a 40%, Si: de 0.05% a 4%, Mg: de 0% a 5%, y el resto: Zn e impurezas, la capa de enchapado incluye una primera estructura constituida por fases de Al que contienen Zn en solución sólida y fases de Zn dispersas en las fases de Al y que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 25% a 50%, Zn: de 50% a 75%, e impurezas: menos del 2%, y una estructura eutectoide constituida por fases de Al y fases de Zn y que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 10% a 24%, Zn: 76% a 90% e impurezas: menos del 2%, en una sección de corte transversal de la capa de enchapado, una fracción de área de la primera estructura es de 5% a 40%, y una fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es de 50% o más, una fracción de área de fases de Zn, que son estructuras que contienen 90% o más de Zn, contenidas en la capa de enchapado es de 25% o menos, una fracción de área de fases de compuesto intermetálico contenida en la capa de enchapado es de 9% o menos, y un espesor de la capa de compuesto intermetálico es de 2 μm o menos.

(2) La lámina de acero enchapado descrita en (1) se caracteriza por que una densidad en número de la primera estructura en una superficie de la capa de enchapado es de 1.6 piezas/cm² a 25.0 piezas/cm².

(3) La lámina de acero enchapado descrita en (1) o (2) se caracteriza por que la primera estructura incluye una segunda estructura que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 37% a 50%, Zn: de 50% a 63%, e impurezas: menos del 2%, y una tercera estructura que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 25% a 36%, Zn: de 64% a 75%, e impurezas: menos del 2%.

(4) La lámina de acero enchapado descrita en cualquiera de (1) a (3) se caracteriza por que la composición química promedio de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico está representada, en términos de % de masa, por Al: de 20% a 40%, Si: de 0.05% a 2.5%, Mg: de 0% a 2%, y el resto: Zn e impurezas.

(5) La lámina de acero enchapado descrita en cualquiera de (1) a (4) se caracteriza por que el espesor de la capa de compuesto intermetálico es de 100 nm a 1000 nm.

(6) La lámina de acero enchapado descrita en cualquiera de (1) a (5) se caracteriza por que en la sección de corte transversal de la capa de enchapado, la fracción de área de la primera estructura es de 20% a 40%, la fracción de área de la estructura eutectoide es de 50% a 70% y la fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es de 90% o más.

(7) La lámina de acero enchapado descrita en cualquiera de (1) a (6) se caracteriza por que en la sección de corte transversal de la capa de enchapado, la fracción de área de la primera estructura es de 30% a 40%, la fracción de área de la estructura eutectoide es de 55% a 65% y la fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es de 95% o más.

(8) La lámina de acero enchapado descrita en cualquiera de (1) a (7) se caracteriza por que en la composición química promedio de la capa de enchapado y de la capa de compuesto intermetálico, la concentración de Mg es de 0.05% a 5%, cuando la concentración de Mg se fija en % de Mg y la de Si en % de Si, se satisface una relación de "% de Mg \leq 2 \times % de Si", y un cristal de Mg₂Si que existe en la capa de enchapado es de 2 μm o menos en términos de diámetro equivalente circular máximo.

(9) La lámina de acero enchapado descrita en cualquiera de (1) a (8) se caracteriza por que una fracción de volumen de las fases de Zn contenidas en la capa de en enchapado es de 20% o menos.

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la presente invención, una capa de enchapado se proporciona con una composición química y estructuras predeterminadas, y, por lo tanto, es posible obtener una resistencia al astillamiento excelente y suprimir la formación de polvo y abarrotamiento con respecto al molde metálico al momento de la formación por prensado y la aparición de grietas al momento del moldeado.

Breve descripción de los dibujos

[Figura 1] la Figura 1 es una vista de corte transversal que ilustra un ejemplo de una capa de enchapado en una lámina de acero enchapado según una realización de la presente invención;

[Figura 2A] la Figura 2A es una vista que ilustra un esquema de una prueba de flexión 2T;

[Figura 2B] la Figura 2B es una vista que ilustra un esquema de una prueba de flexión 1T;

[Figura 2C] la Figura 2C es una vista que ilustra un esquema de una prueba de flexión 0T;

[Figura 3] la Figura 3 es una vista que ilustra un cambio de temperatura (patrón térmico) de una lámina de acero enchapado al momento de la fabricación de una lámina de acero enchapado de la prueba n.º 16 que es un ejemplo de la invención;

[Figura 4] la Figura 4 es una vista que ilustra una imagen de BSE de la lámina de acero enchapado de la prueba n.º 16;

[Figura 5] la Figura 5 es una vista que ilustra una imagen de BSE de una lámina de acero enchapado de la prueba n.º 91 que es un ejemplo de la invención;

[Figura 6] la Figura 6 es una vista que ilustra un cambio de temperatura (patrón térmico) de una lámina de acero enchapado al momento de la fabricación de una lámina de acero enchapado de la prueba n.º 20 que es un ejemplo comparativo; y

[Figura 7] la Figura 7 es una vista que ilustra una imagen de BSE de la lámina de acero enchapado de la prueba n.º 20.

Descripción de las realizaciones

A continuación, se describirán realizaciones de la presente invención. Una lámina de acero enchapado según la presente realización se refiere a una lámina de acero enchapado que incluye una capa de enchapado a base de Zn que contiene Al sobre al menos una parte de una superficie de una lámina de acero.

Primero, se describirá una composición química promedio de una capa de enchapado y una capa de compuesto intermetálico entre la capa de enchapado y una lámina de acero. En la descripción que sigue a continuación, “%”, que es una unidad de concentración de cada elemento, significa “% en masa”, a menos que se indique lo contrario. La composición química promedio de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico incluidas en la lámina de acero enchapado según la presente realización está representada por Al: de 10% a 40%, Si: de 0.05% a 4%, Mg: de 0% a 5%, y el saldo: Zn e impurezas.

(Al: de 10% a 40%)

Al contribuye para aumentar el punto de fusión y mejorar la dureza de una capa de enchapado a base de Zn que contiene Al. A medida que aumenta el punto de fusión de la capa de enchapado, se hace difícil que se produzca el agarrotamiento al momento de la formación por prensado. Cuando la concentración de Al es menor que 10%, el punto de fusión de la capa de enchapado no se vuelve más alto que un punto de fusión de una capa de enchapado compuesta por Zn puro, lo cual da como resultado que no se puede suprimir lo suficiente el agarrotamiento. Por lo tanto, la concentración de Al se fija en 10% o más y, preferiblemente, se fija en 20% o más. Cuando la concentración de Al es de 10% o más, cuanto más alta la concentración de Al, mayor será un punto de fusión de una aleación de Zn-Al, y un punto de fusión de una aleación de Zn-Al cuya concentración de Al es de aproximadamente 40% es de alrededor de 540 °C.

Al también puede contribuir a la mejora de la ductilidad de la capa de enchapado a base de Zn que contiene Al. Mediante los estudios llevados a cabo por los inventores de la presente, se ha aclarado que la ductilidad de la capa de enchapado a base de Zn que contiene Al es particularmente excelente cuando la concentración de Al es de 20% a 40%, pero, es menor que la ductilidad de la capa de enchapado compuesta por Zn puro cuando la concentración de Al es menor que 5% o mayor que 40%. Por lo tanto, la concentración de Al se fija en 40% o menos.

(Si: de 0.05% a 4%)

Si suprime una reacción entre Zn y Al contenidos en un baño de enchapado y Fe contenido en una lámina de acero que es una lámina de enchapado original en un momento de formación de una capa de enchapado, para suprimir de esta manera la generación de una capa de compuesto intermetálico en una posición entre la capa de enchapado y la

lámina de acero. Si bien se describirán los detalles más adelante, la capa de compuesto intermetálico contiene un compuesto de Al-Zn-Fe, por ejemplo, y, además, se denomina como una capa de aleación de superficie de contacto, la cual reduce la adhesividad entre la capa de enchapado y la lámina de acero y reduce la moldeabilidad. Cuando una concentración de Si contenido en el baño de enchapado es menor que 0.05%, la capa de compuesto intermetálico comienza crecer inmediatamente después de que la lámina de enchapado original se sumerge en el baño de enchapado, lo cual da como resultado la formación excesiva de la capa de compuesto intermetálico y la reducción de la moldeabilidad se vuelve significativa. Por lo tanto, la concentración de Si en el baño de enchapado se fija en 0.05% o más, y una concentración de Si promedio en la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico también se fija en 0.05% o más. Por otro lado, cuando la concentración de Si es mayor que 4%, es probable que una fase de Si que es el punto de partida de una fractura permanezca en la capa de enchapado y a menudo es imposible obtener una ductilidad suficiente. Por lo tanto, la concentración de Si se fija en 4% o menos y, preferiblemente, se fija en 2% o menos.

(Mg: de 0% a 5%)

Mg contribuye a la mejora en la resistencia a la corrosión después del recubrimiento. Por ejemplo, cuando la capa de enchapado contiene Mg, incluso si hay un corte en la película de recubrimiento y la capa de enchapado, es posible suprimir la corrosión que se produce a partir del corte. Esto se debe a que, dado que el Mg se eluye según la corrosión, se genera un producto de corrosión que contiene Mg alrededor del corte, el cual realiza una acción, tal como una acción de autorreparación, para evitar la entrada adicional de un factor de corrosión tal como agua y oxígeno del corte. El efecto de suprimir la corrosión es significativo cuando una concentración de Mg es de 0.05% o más. Por lo tanto, la concentración de Mg es preferiblemente de 0.05 % o más y más preferiblemente de 1% o más. Por otro lado, es probable que se forme Mg a partir de un compuesto intermetálico que tenga una moldeabilidad insuficiente, tal como $MgZn_2$ o Mg_2Si . Cuando la capa de enchapado contiene Si, Mg_2Si tiende a precipitarse más preferencialmente que $MgZn_2$. A medida que aumentan estos compuestos intermetálicos, disminuye la moldeabilidad y cuando la concentración de Mg excede el 5% la reducción de ductilidad de la capa de enchapado es significativa. Por lo tanto, la concentración de Mg se fija en 5% o menos y, preferiblemente, se fija en 2% o menos.

Cuando se satisface una relación de % de Mg $> 2 \times$ % de Si" en la cual la concentración de Mg se fija en "% de Mg" y la concentración de Si se fija a "% de Si", se genera preferencialmente $MgZn_2$ que tiene una moldeabilidad menor que Mg_2Si . Por lo tanto, es preferible que incluso si la concentración de Mg es menor que 5% o menos, se satisfaga una relación "% de Mg $\leq 2 \times$ % de Si". Una fase de Mg_2Si y una fase de $MgZn_2$ son ejemplos de otras fases de compuesto intermetálico.

(Resto: Zn e impurezas)

Zn contribuye a mejorar un rendimiento a prueba de corrosión sacrificial y la resistencia a la corrosión de la capa de enchapado, y un rendimiento de una base de recubrimiento. Es preferible que Al y Zn constituyan la mayoría de la capa de enchapado. Como impurezas, se puede citar Fe difundido desde la lámina de acero y elementos contenidos de manera inevitable el baño de enchapado, por ejemplo.

A continuación, se describirá una estructura de la capa de enchapado. La Figura 1 es una vista de corte transversal que ilustra un ejemplo de una capa de enchapado en una lámina de acero enchapado según una realización de la presente invención. Una capa de enchapado 10 incluida en una lámina de acero enchapado 1 según la presente realización incluye una primera estructura 11 constituida por fases de Al que contienen Zn en solución sólida y fases de Zn dispersas en las fases de Al y que tiene una composición química promedio representada por Al: de 25% a 50%, Zn: de 50% a 75%, e impurezas: menos del 2%, y una estructura eutectoide 14 constituida por fases de Al y fases de Zn y que tiene una composición química promedio representada por Al: de 10% a 24%, Zn: de 76% a 90%, e impurezas: menos del 2%. En una sección de corte transversal de la capa de enchapado 10, una fracción de área de la primera estructura 11 es de 5% a 40%, y una fracción de área total de la primera estructura 11 y la estructura eutectoide 14 es de 50% o más, una fracción de área de fases de Zn 15 que son estructuras que contienen 90% o más de Zn contenidas en la capa de enchapado 10 es de 25% o menos, una fracción de área de fases de compuesto intermetálico contenida en la capa de enchapado 10 es de 9% o menos, y un espesor de una capa de compuesto intermetálico 30 entre la capa de enchapado 10 y la lámina de acero 20 es de $2 \mu m$ o menos.

(Primera estructura)

La primera estructura es una estructura constituida por fases de Al que contienen Zn en solución sólida y fases de Zn dispersas en las fases de Al y que tiene una composición química promedio representada por Al: de 25% a 50%, Zn: de 50% a 75%, e impurezas: menos del 2%. La primera estructura contribuye a la mejora de una deformabilidad plástica, moldeabilidad y una resistencia al astillamiento. Cuando una fracción de área de la primera estructura es menos que 5% en un corte transversal de la capa de enchapado, no se puede obtener suficiente moldeabilidad. Por lo tanto, la fracción de área de la primera estructura se fija en 5% o más, más preferiblemente se fija en 20% o más, y todavía más preferiblemente se fija en 30% o más. Por otro lado, la fracción de área de la primera estructura capaz de formarse mediante un método que se describirá posteriormente es 40% como máximo.

Como se ilustra en la Figura 1, la primera estructura 11 incluye, por ejemplo, una segunda estructura 12 y una tercera

estructura 13. La segunda estructura es una estructura que tiene una composición química promedio representada por Al: de 37% a 50%, Zn: de 50% a 63%, e impurezas: menos del 2%. La tercera estructura es una estructura que tiene una composición química promedio representada por Al: de 25% a 36%, Zn: de 64% a 75%, e impurezas: menos del 2%. Cada una de la segunda estructura y la tercera estructura está constituida por fases de Al que contienen Zn en solución sólida y fases de Zn dispersas en las fases de Al. Si bien se describirán los detalles más adelante, una proporción de la segunda estructura y la tercera estructura en la capa de enchapado puede determinarse a partir de imágenes de electrones retrodispersados (BSE, por sus siglas en inglés) obtenida de un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés), mediante el uso de procesamiento de imágenes.

(Estructura eutectoide)

La estructura eutectoide es una estructura constituida por fases de Al y fases de Zn y que tiene una composición química promedio representada por Al: de 10% a 24%, Zn: de 76% a 90%, e impurezas: menos del 2%. La estructura eutectoide también contribuye a la mejora de la deformabilidad plástica. Cuando una fracción de área de la estructura eutectoide es menor que 50% en el corte transversal de la capa de enchapado, una proporción de fases de Zn se vuelve alta y hay un caso en el cual no se puede obtener suficiente capacidad de formación por prensado y resistencia a la corrosión después del recubrimiento. Por lo tanto, la fracción de área de la estructura eutectoide preferiblemente se fija en 50% o más, y más preferiblemente se fija en 55% o más. Por otro lado, la fracción de área de la estructura eutectoide capaz de formarse mediante el método que se describirá posteriormente es 75% como máximo. Para obtener la primera estructura, que es probable que contribuya más que la estructura eutectoide a la mejora de la moldeabilidad, a una mayor fracción de área, la fracción de área de la estructura eutectoide preferiblemente se fija a 70% o menos, y más preferiblemente se fija a 65% o menos.

Cuando una fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es menos que 50% en el corte transversal de la capa de enchapado, no se puede obtener suficiente deformabilidad plástica. Por ejemplo, cuando se realiza una formación por prensado complicada, a menudo se producen muchas grietas. Por lo tanto, la fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide se fija en 50% o más. Además, la primera estructura posee una deformabilidad plástica que es mejor que la de la estructura eutectoide, de manera que la fracción de área de la primera estructura es preferiblemente mayor que la fracción de área de la estructura eutectoide.

La fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es preferiblemente 55% o más. Cuando la fracción de área total es 55% o más, se puede obtener adicionalmente una moldeabilidad excelente. Por ejemplo, una prueba de flexión 2T mediante el uso de una lámina de acero enchapado con un espesor de 0.8 mm, prácticamente no se producen grietas en una parte superior flexionada. Cuando la fracción de área total es de 55% o más, la fracción de área de la estructura eutectoide es de 50% a 70% y la fracción de área de la primera estructura es 5% o más, por ejemplo. Se ilustra un resumen de la prueba de flexión 2T en la Figura 2A. Como se ilustra en la Figura 2A, en la prueba de flexión 2T, una muestra de una lámina de acero enchapado con un espesor t se flexiona 180° mientras se proporciona un espacio correspondiente a $4t$ entre estos y se observa una grieta en una parte superior flexionada 51.

La fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es más preferiblemente 90% o más. Cuando la fracción de área total es 90% o más, también se puede obtener adicionalmente una moldeabilidad excelente. Por ejemplo, una prueba de flexión 1T mediante el uso de una lámina de acero enchapado con un espesor de 0.8 mm, prácticamente no se producen grietas en una parte superior flexionada. Cuando la fracción de área total es de 90% o más, la fracción de área de la estructura eutectoide es de 50% a 70% y la fracción de área de la primera estructura es 20% o más y menos que 30%, por ejemplo. Se ilustra un resumen de la prueba de flexión 1T en la Figura 2B. Como se ilustra en la Figura 2B, en la prueba de flexión 1T, una muestra de una lámina de acero enchapado con un espesor t se flexiona 180° mientras se proporciona un espacio correspondiente a $2t$ entre estos y se observa una grieta en una parte superior flexionada 52.

La fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es todavía más preferiblemente 95% o más. Cuando la fracción de área total es 95% o más, se puede obtener una moldeabilidad extremadamente excelente. Por ejemplo, una prueba de flexión 0T mediante el uso de una lámina de acero enchapado con un espesor de 0.8 mm, prácticamente no se producen grietas en una parte superior flexionada. Cuando la fracción de área total es de 95% o más, la fracción de área de la estructura eutectoide es de 50% a 65% y la fracción de área de la primera estructura es 30% o más, por ejemplo. Se ilustra un resumen de la prueba de flexión 0T en la Figura 2C. Como se ilustra en la Figura 2C, en la prueba de flexión 0T, una muestra de una lámina de acero enchapado con un espesor t se flexiona 180° mientras no se proporciona un espacio entre estos y se observa una grieta en una parte superior flexionada 53.

(Fases de Zn, fases de compuesto intermetálico, y similares)

Las fases de Zn que son estructuras que contienen 90% o más de Zn reducen la moldeabilidad. La capa de enchapado también puede contener fases diferentes a la primera estructura, la estructura eutectoide y las fases de Zn, tal como fases de Si y fases de Mg_2Si , por ejemplo, y la capa de enchapado también puede contener las otras fases de compuesto intermetálico (fases de $MgZn_2$ y similares), pero, estas también reducen la moldeabilidad. Por lo tanto, es preferible que la capa de enchapado no contenga las fases de Zn ni las fases de compuesto intermetálico. Cuando una fracción de área de las fases de Zn es mayor que 25%, la moldeabilidad se reduce significativamente y cuando una fracción de área total de las fases de compuesto intermetálico es mayor que 9%, la moldeabilidad se reduce

significativamente. Por lo tanto, la fracción de área de las fases de Zn se fija en 25% o menos, y la fracción de área total de las fases de compuesto intermetálico se fija en 9% o menos. La fracción de área de las fases de Zn es preferiblemente 20% o menos, también desde un punto de vista de resistencia a la corrosión. Además, desde un punto de vista de asegurar una mayor ductilidad, la fracción de área de las fases de Si es preferiblemente 3% o menos.

- 5 Si bien es posible proporcionar una capa de compuesto intermetálico de un compuesto intermetálico a base de Al, Mn y Fe que contiene una cantidad pequeña de Si en solución o similar entre la capa de enchapado y la lámina de acero, cuando un espesor de la capa de compuesto intermetálico es mayor que $2 \mu\text{m}$, es posible que la moldeabilidad se reduzca. Por lo tanto, el espesor de la capa de compuesto intermetálico es de 2000 nm o menos y preferiblemente de 1000 nm o menos. Con el uso del método de fabricación que se describirá más adelante, el espesor de la capa de compuesto intermetálico se vuelve de 100 nm o más.

A continuación, se describirá un método de fabricación de la lámina de acero según la realización de la presente invención. En este método, una superficie de la lámina de acero utilizada como lámina de enchapado original se reduce a la vez que se realiza el recocido sobre la lámina de acero, la lámina de acero se sumerge en un baño de enchapado a base de Zn y Al, se retira del baño de enchapado y se enfría hasta condiciones que serán descritas más adelante.

- 15 Un material de la lámina de acero no está particularmente limitado. Por ejemplo, es posible utilizar un acero calmado con Al, un acero de carbono ultrabajo, un acero de carbono alto, diversos aceros con alta resistencia, un acero que contiene Ni y Cr, y similares. La resistencia del acero tampoco está particularmente limitada. Las condiciones al momento de la fabricación de la lámina de acero en un método de fabricación de acero, un método de laminado en caliente, un método de decapado, un método de laminado en frío y similares tampoco están particularmente limitados.
- 20 Una composición química del acero que, por ejemplo, es un contenido de C y un contenido de Si, tampoco está particularmente limitada. El acero también puede contener Ni, Mn, Cr, Mo, Ti o B, o una combinación arbitraria de estos. Una temperatura de recocido de la lámina de acero se fija en alrededor de 800 °C, por ejemplo.

En la formación de la capa de enchapado, también es posible emplear un método de Sendzimir o un método de preenchapado. Cuando se realiza el preenchapado de ni, la capa de compuesto intermetálico a menudo contiene Ni.

- 25 En la preparación del baño de enchapado a base de Zn y Al, por ejemplo, se utilizan Zn, Al, Mg puros y una aleación de Al y Si y se mezclan de manera que cada componente tenga una concentración predeterminada, y se disuelven de 450 °C a 650 °C. La lámina de acero que tiene una superficie lo suficientemente reducida se sumerge en el baño de enchapado de 450 °C a 600 °C y, cuando la lámina de acero se retira del baño de enchapado, se adhiere un metal fundido a la suficiente de la lámina de acero. Al enfriar el metal fundido, se forma la capa de enchapado. Es preferible que una cantidad de adhesión de la capa de enchapado se ajuste al realizar barrido con gas de N_2 antes de que se solidifique el metal fundido. En este método de fabricación, se difiere un método de refrigeración según una concentración de Al del baño de enchapado.

(Cuando la concentración de Al del baño de enchapado es mayor que 20% y menor que 40%)

- 35 Cuando la concentración de Al es mayor que 20% y menor que 40%, se realiza la refrigeración a una primera velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo desde una temperatura de baño de enchapado hasta una primera temperatura en un intervalo de 360 °C a 435 °C, se realiza la refrigeración a una segunda velocidad de refrigeración de 0.02 °C/segundo a 0.50 °C/segundo desde la primera temperatura hasta una segunda temperatura dentro de un intervalo de 280 °C a 310 °C y, después de esto, se realiza la refrigeración a una tercera velocidad de refrigeración de 30 °C/segundo o más desde la segunda temperatura hasta temperatura ambiente.

- 40 Al realizar la refrigeración a la primera velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo o más hasta la primera temperatura correspondiente a una temperatura de solidificación en un diagrama de fase a base de Zn y Al, el metal fundido se pasa a un estado de sobrefusión. Por este motivo, se generan de forma fina dendritas (cristales en forma dendrítica) que son macroestructuras de solidificación, y una densidad en número de estas se vuelve 1.6 piezas/cm². Cuando se toma en consideración una velocidad de refrigeración, la densidad en número de las dendritas es de alrededor de 25.0 piezas/cm² como máximo. En la dendrita, la concentración de Al aumenta hacia el centro y la concentración de Zn aumenta a medida que aumenta la distancia desde el centro. A medida que la dendrita se hace más fina, se alivia adicionalmente una segregación por microsolvificación dentro de la dendrita. A la primera temperatura, una parte periférica de la dendrita está sustancialmente constituida por fases de Zn. Bajo la condición donde la primera velocidad de refrigeración es de 10°C/segundos o más, cuando el baño de enchapado contiene Mg, la fase de Mg_2Si , que es el compuesto intermetálico cristalizado como un cristal primario, puede hacerse más fina para tener un diámetro equivalente circular de $2 \mu\text{m}$ o menos. Por este motivo, es fácil suprimir la reducción de la ductilidad provocada por la formación del compuesto intermetálico. Cuando la refrigeración a la segunda velocidad de refrigeración después de esto se toma en consideración, la primera velocidad de refrigeración preferiblemente se fija en 40 °C/segundo o menos.

- 55 Durante la refrigeración desde la primera temperatura hasta la segunda temperatura, las fases de Al que contienen Zn en solución sólida se generan en la dendrita en una parte con una concentración de Al relativamente alta, y en la dendrita en una parte con una concentración relativamente baja de Al y en una parte que contiene fases de Zn, los átomos de Zn y los átomos de Al se mezclan, lo cual da como resultado que la fracción de área de las fases de Zn se reduzca. Cuando la segunda velocidad de refrigeración es mayor que 0.50 °C/segundo, los átomos de Zn y los átomos

de Al no pueden difundirse lo suficiente, y es probable que permanezcan muchas de las fases de Zn. Por lo tanto, la segunda velocidad de refrigeración se fija en 0.50 °C/segundo o menos. Por otro lado, cuando una segunda velocidad de refrigeración es menor que 0.02 °C/segundo, la capa de compuesto intermetálico se forma de manera excesiva, lo cual da como resultado que no se pueda obtener una ductilidad suficiente. Por lo tanto, la segunda velocidad de refrigeración se fija en 0.02°C/segundo o más. Además, un período de tiempo que lleva realizar la refrigeración desde la primera temperatura hasta la segunda temperatura se fija en más de 180 segundos y menos de 1000 segundos. Esto es para lograr una difusión suficiente de los átomos de Zn y los átomos de Al, y para suprimir la formación excesiva de la capa de compuesto intermetálico.

Durante la refrigeración desde la segunda temperatura hasta temperatura ambiente, Zn disuelto en sólido en Al se precipita finamente, lo cual da como resultado la obtención de la primera estructura constituida por fases de Al que contienen Zn en solución sólida y fases de Zn dispersas en las fases de Al y la estructura eutectoide constituida por las fases de Al y las fases de Zn. Si bien las fases de Zn que son independientes de la primera estructura y la estructura eutectoide a menudo se precipitan, una fracción de área de las fases de Zn se vuelve del 20% o menos. Dentro de la primera estructura, se genera la segunda estructura con concentración de Al relativamente alta (Al: de 37% a 50%) y se genera la tercera estructura con concentración de Al relativamente baja (Al: de 25% a 36%) entre la segunda estructura y la estructura eutectoide. Dado que se alivia adicionalmente la segregación por microsolidificación dentro de la dendrita, es probable que se generen la segunda estructura y la tercera estructura. Cuando la tercera velocidad de refrigeración es menor que 30 °C/segundo, hay un caso en el cual las fases de Zn se precipitan, crecen y se acumulan, lo cual da como resultado que la fracción de área de las fases de Zn en la capa de enchapado se vuelva del 20% o más. Por lo tanto, la tercera velocidad de refrigeración se fija en 30°C/segundo o más. La primera estructura permanece como la dendrita, así que una densidad en número de la primera estructura se vuelve de 1.6 piezas /cm² a 25.0 piezas/cm², por ejemplo.

(Cuando la concentración de Al del baño de enchapado es de 10% o más y menor que 20%)

Quando la concentración de Al es de 10% o más y menor que 20%, se realiza la refrigeración a una primera velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo desde una temperatura de baño de enchapado hasta una primera temperatura de 410°C, se realiza la refrigeración a una segunda velocidad de refrigeración de 0.02 °C/segundo a 0.11°C/segundo desde la primera temperatura hasta una segunda temperatura de 390°C y, después de esto, se realiza la refrigeración a una tercera velocidad de refrigeración de 30 °C/segundo o más desde la segunda temperatura hasta temperatura ambiente.

Al realizar la refrigeración a la primera velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo o más hasta la primera temperatura, un metal fundido se pasa a un estado de sobrefusión. Por este motivo, se generan de forma fina dendritas (cristales en forma dendrítica) que son macroestructuras de solidificación, y una densidad en número de estas se vuelve 1.6 piezas/cm². Cuando se toma en consideración una velocidad de refrigeración, la densidad en número de las dendritas es de alrededor de 25.0 piezas/cm² como máximo. En la dendrita, la concentración de Al aumenta hacia el centro y la concentración de Zn aumenta a medida que aumenta la distancia desde el centro. A medida que la dendrita se hace más fina, se alivia adicionalmente una segregación por microsolidificación dentro de la dendrita. A la primera temperatura, una parte periférica de la dendrita está sustancialmente constituida por fases de Zn. Bajo la condición donde la primera velocidad de refrigeración es de 10°C/segundos o más, cuando el baño de enchapado contiene Mg, la fase de Mg₂Si, que es el compuesto intermetálico cristalizado como un cristal primario, puede hacerse más fina para tener un diámetro equivalente circular de 2 μm o menos. Por este motivo, es fácil suprimir la reducción de la ductilidad provocada por la formación del compuesto intermetálico. Cuando la refrigeración a la segunda velocidad de refrigeración después de esto se toma en consideración, la primera velocidad de refrigeración preferiblemente se fija en 40 °C/segundo o menos.

Durante la refrigeración desde la primera temperatura hasta la segunda temperatura, las fases de Al que contienen Zn en solución sólida se generan en la dendrita en una parte con una concentración de Al relativamente alta, y en la dendrita en una parte con una concentración relativamente baja de Al y en una parte que contiene fases de Zn, los átomos de Zn y los átomos de Al se mezclan, lo cual da como resultado que la fracción de área de las fases de Zn se reduzca. Cuando la segunda velocidad de refrigeración es mayor que 0.11°C/segundo, los átomos de Zn y los átomos de Al no pueden difundirse lo suficiente, y es probable que permanezcan muchas de las fases de Zn. Por lo tanto, la segunda velocidad de refrigeración se fija en 0.11°C/segundo o menos. Por otro lado, cuando una segunda velocidad de refrigeración es menor que 0.02 °C/segundo, la capa de compuesto intermetálico se forma de manera excesiva, lo cual da como resultado que no se pueda obtener una ductilidad suficiente. Por lo tanto, la segunda velocidad de refrigeración se fija en 0.02°C/segundo o más. Además, un período de tiempo que lleva realizar la refrigeración desde la primera temperatura hasta la segunda temperatura se fija en más de 180 segundos y menos de 1000 segundos. Esto es para lograr una difusión suficiente de los átomos de Zn y los átomos de Al, y para suprimir la formación excesiva de la capa de compuesto intermetálico.

Durante la refrigeración desde la segunda temperatura hasta temperatura ambiente, Zn disuelto en sólido en Al se precipita finamente, lo cual da como resultado la obtención de la primera estructura constituida por fases de Al que contienen Zn en solución sólida y fases de Zn dispersas en las fases de Al y la estructura eutectoide constituida por las fases de Al y las fases de Zn. Si bien las fases de Zn que son independientes de la primera estructura y la estructura eutectoide a menudo se precipitan, una fracción de área de las fases de Zn se vuelve del 20% o menos. Dentro de la

- primera estructura, se genera la segunda estructura con concentración de Al relativamente alta (Al: de 37% a 50%) y se genera la tercera estructura con concentración de Al relativamente baja (Al: de 25% a 36%) entre la segunda estructura y la estructura eutectoide. Dado que se alivia adicionalmente la segregación por microsolidificación dentro de la dendrita, es probable que se generen la segunda estructura y la tercera estructura. Cuando la tercera velocidad de refrigeración es menor que 30 °C/segundo, hay un caso en el cual las fases de Zn se precipitan, crecen y se acumulan, lo cual da como resultado que la fracción de área de las fases de Zn en la capa de enchapado se vuelva del 20% o más. Por lo tanto, la tercera velocidad de refrigeración se fija en 30°C/segundo o más. La primera estructura permanece como la dendrita, así que una densidad en número de la primera estructura se vuelve de 1.6 piezas /cm² a 25.0 piezas/cm², por ejemplo.
- 5
- 10 Con el uso de este método, es posible fabricar la lámina de acero enchapado según la presente realización, a saber, la lámina de acero enchapado incluye que la capa de enchapado contiene la primera estructura y la estructura eutectoide con fracciones de área determinadas. Nótese que cuando se genera la segunda estructura, la tercera estructura se genera de manera inevitable, pero, es posible generar la tercera estructura sin generar la segunda estructura.
- 15 En este método, la capa de compuesto intermetálico se forma de manera inevitable entre la capa de enchapado y la lámina de acero. Debido a la difusión de Fe desde la lámina de acero, una pila de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico a menudo contiene Fe a alrededor de 3%. Sin embargo, una gran cantidad de Fe está concentrada en la capa de compuesto intermetálico, y una cantidad de Fe contenida en la capa de enchapado es extremadamente pequeña, de manera que la cantidad de la capa de enchapado no se ve sustancialmente afectada por Fe.
- 20 A continuación, se hará la descripción de un método de análisis de la composición química de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico y las fases de la capa de enchapado. En su análisis se establece que, en principio, una muestra se obtiene de la proximidad de un centro en una dirección de ancho de la lámina de acero enchapado, y la muestra no se obtiene de la lámina de acero enchapado dentro de un intervalo de 30 mm desde las partes de extremo en una dirección de laminación (dirección longitudinal) y dentro de un intervalo de 30 mm desde las partes de extremo en una dirección ortogonal a la dirección de laminación (dirección de ancho de la lámina), en particular.
- 25
- 30 En el análisis de la composición química de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico, la lámina de acero enchapado se sumerge en HCl al que se le agregó un inhibidor y que tiene una composición del 10%, y se analiza una solución de descamación mediante el uso de un método de plasma acoplado de forma inductiva (ICP, por sus siglas en inglés). Mediante este método, es posible entender una composición química promedio de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico.
- 35 Las fases que constituyen la capa de enchapado se analizan mediante un método de difracción de rayos X mediante el uso de un objetivo de Cu con respecto a una superficie de la capa de enchapado. En la capa de enchapado en la realización de la presente invención, se detectan picos de Zn y Al como picos principales. Dado que una cantidad de Si es muy pequeña, no se detecta un pico de Si como un pico principal. Cuando contiene Mg, también se detecta un pico de difracción atribuido a Mg₂Si.
- 40 Las fracciones de área de las estructuras respectivas contenidas en la capa de enchapado pueden calcularse al realizar análisis de imágenes en una imagen de BSE obtenida mediante SEM y una imagen de mapeo de elementos obtenida mediante espectrometría de rayos X de energía dispersiva (EDS).
- 45 A continuación, se describirán métodos de evaluación para la realización de la capa de enchapado. Como rendimiento de la capa de enchapado, se puede citar la resistencia a la corrosión después del recubrimiento, la deformabilidad plástica, la resistencia al astillamiento, la resistencia al pulverizado y la resistencia al agarrotamiento, por ejemplo.
- 50 En la evaluación de la resistencia a la corrosión después del recubrimiento, una muestra de la lámina de acero enchapado se somete a tratamiento con fosfato de cinc y recubrimiento por electrodeposición, para preparar, de esta manera, una lámina de acero enchapado, y se forma un corte transversal que alcanza la lámina de acero que es hierro base de la lámina de acero enchapado recubierto. Posteriormente, la lámina de acero enchapado recubierto que tiene el corte transversal formado en esta se somete a una prueba de corrosión cíclica combinada y se mide un ancho de expansión máxima alrededor de del corte transversal. La prueba de corrosión cíclica combinada se realiza una pluralidad de veces bajo la misma condición y se calcula un valor promedio de los anchos de expansión máxima en las pruebas. Es posible evaluar la resistencia a la corrosión después del recubrimiento basándose en el valor promedio de los anchos de expansión máxima. Dado que la capa de enchapado tiene adicionalmente resistencia a la corrosión excelente después del recubrimiento, tiene un valor promedio menor de los anchos de expansión máxima. Además, una generación de herrumbre rojo deteriora significativamente una apariencia externa de la lámina de acero enchapado recubierto, así que, normalmente, se evalúa de manera que la lámina de acero enchapado recubierto en la cual un período de tiempo hasta que se genera la herrumbre roja es mayor tiene adicionalmente resistencia a la corrosión excelente después del recubrimiento.
- 55
- En la evaluación de la deformabilidad plástica, una muestra de la lámina de acero enchapado se pliega 180° en una dirección del ancho de la lámina en la prueba de flexión 0T, la prueba de flexión 1T, la prueba de flexión 2T y se cuenta

la cantidad de grietas en una parte superior flexionada. La deformabilidad plástica puede evaluarse basándose en la cantidad de grietas. La cantidad de grietas se cuenta mediante el uso del SEM. La lámina de acero enchapado que tiene adicionalmente una deformabilidad plástica excelente y mejor ductilidad tiene una cantidad menor de grietas. También es posible evaluar la resistencia a la corrosión de la parte flexionada al hacer la muestra después de flexionar 180° para someterla directamente a una prueba de corrosión acelerada.

En la evaluación de la resistencia al astillamiento, una muestra de la lámina de acero enchapado se somete a tratamiento con fosfato de cinc y recubrimiento por electrodeposición y entonces se somete a recubrimiento intermedio, recubrimiento de acabado y recubrimiento transparente, para formar de esta manera una película de recubrimiento con estructura de cuatro capas. Posteriormente, se hacen colisionar piedras trituradas con la película de recubrimiento que se mantiene de forma isotérmica a una temperatura predeterminada y se observa visualmente un grado de descamación. Es posible evaluar la resistencia al astillamiento basándose en el grado de descamación. También es posible clasificar el grado de descamación a través de procesamiento de imágenes.

En la evaluación de la resistencia al pulverizado, se somete una muestra de la lámina de acero enchapado a una prueba de flexión a 60° en la cual la dirección del ancho de la lámina se fija en una dirección de eje de flexión. Posteriormente, un ancho de la capa de enchapado descamado mediante una cinta adhesiva (ancho de descamación) se mide en una pluralidad de puntos. Es posible evaluar la resistencia al pulverizado basándose en un valor promedio de los anchos de descamación.

En la evaluación de la resistencia al agarrotamiento, una muestra de la lámina de acero enchapado se somete arrastre de esfera que funciona para provocar el deslizamiento entre una superficie de la muestra, una parte de hombro del troquel y una parte de esfera de un molde metálico, y la capa de enchapado adherida al molde metálico se observa visualmente. Es posible evaluar la resistencia al agarrotamiento en presencia/ausencia de la adhesión de la capa de enchapado y basándose en el grado de adhesión cuando se produce la adhesión de la capa de enchapado.

Nótese que cada una de las realizaciones descritas anteriormente es meramente ilustrativa de ejemplos concretos para implementar la presente invención y el alcance técnico de la presente invención no debe interpretarse de manera restrictiva por estas realizaciones. Es decir, la presente invención puede implementarse de diversas formas sin alejarse del espíritu técnico o las principales características de esta.

Ejemplos

A continuación, se describirán ejemplos de la presente invención. Una condición en el ejemplo es el caso de la condición adoptada para confirmar la factibilidad y un efecto de la presente invención, y la presente invención no se limita a este caso de la condición. En la presente invención, es posible adoptar diversas condiciones, siempre que el objeto de la presente invención se logre sin apartarse de la esencia de la presente invención.

Se prepararon baños de enchapado con las composiciones químicas representadas en la Tabla 1 a la Tabla 4. La Tabla 1 a la Tabla 4 describen puntos de fusión y temperaturas (temperaturas del baño de enchapado) de los baños de enchapado respectivos. Una lámina de acero por laminado en frío con una concentración C de 0.2% y un espesor de lámina de 0.8 mm se cortó para obtener una lámina de enchapado original con un ancho de 100 mm y una longitud de 200 mm. Posteriormente, en un horno en el cual la concentración de oxígeno era de 20 ppm o menos y una temperatura era de 800 °C, una superficie de la lámina de enchapado original se redujo mediante el uso de un gas mixto de 95% en volumen de N₂ y 5% en volumen de H₂, la lámina de enchapado original se enfrió al aire mediante gas de N₂ y cuando la temperatura de la lámina de enchapado original alcanzó la temperatura del baño de enchapado + 20 °C, la lámina de enchapado original se sumergió en el baño de enchapado durante alrededor de tres segundos. Después de sumergir la lámina de enchapado original en el baño de enchapado, mientras se ajusta una cantidad de adhesión de enchapado mediante el uso de un gas de barrido de N₂, la lámina de enchapado original con metal fundido adherido a esta se retiró a una velocidad de 100 mm/segundo. Se monitoreó una temperatura de la lámina mediante el uso de un termopar soldado por puntos a una parte central de la lámina de enchapado original.

Después de retirar la lámina de enchapado original del baño de enchapado, la capa de enchapado se enfrió hasta temperatura ambiente en las condiciones representadas en la Tabla 1 a la Tabla 4. Específicamente, se preformó gas de refrigeración a una primera velocidad de refrigeración a partir de la temperatura del baño de enchapado hasta una primera temperatura, se realizó la refrigeración a una segunda velocidad de refrigeración desde la primera temperatura hasta una segunda temperatura, y después de esto, se realizó la refrigeración a una tercera velocidad de refrigeración desde la segunda temperatura hasta la temperatura ambiente. De la manera descrita anteriormente, se obtuvieron varias láminas de acero enchapado. Un subrayado en la Tabla 1 a la Tabla 4 indica que el elemento subrayado está fuera de un intervalo deseable.

Tabla 1

N.º DE PRUEBA	BAÑO DE ENCHAPADO				CONDICIÓN DE REFRIGERACIÓN							OBSERVACIONES
	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% DE MASA)				TEMPERATURA DEL BAÑO (°C)	PRIMERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	PRIMERA TEMPERATURA (°C)	SEGUNDA TEMPERATURA (°C)	SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	TIEMPO DE REFRIGERACIÓN A LA SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (SEGUNDOS)	TERCERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	
	Zn	Al	Si	Mg								
1	91.8	8	0.2	0	410	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
2	89.8	10	0.2	0	425	15	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
3	89.95	10	0.05	0	427	10	410	390	0.03	600	1000	
4	90	10	0.00	0	429	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
5	87.8	12	0.2	0	430	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
6	85.75	14	0.2	0.05	440	10	410	390	0.03	600	1000	
7	82.8	14	0.2	3	440	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
8	85.8	14	0.2	0	440	10	410	390	0.03	600	1000	
9	83.8	16	0.2	0	450	30	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
10	81.8	18	0.2	0	460	10	410	390	0.03	600	1000	
11	81.99	18	0.01	0	460	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
12	81.8	18	0.2	0	460	10	410	390	0.03	600	10	
13	81.4	18	0.2	0.4	465	20	410	390	0.03	600	1000	
14	79.8	20	0.2	0	475	10	360	290	0.12	600	1000	
15	77.8	22	0.2	0	480	10	365	280	0.09	950	1000	
16	77.8	22	0.2	0	480	10	365	280	0.14	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
17	77.8	22	0.2	0	480	10	365	300	0.33	200	1000	
18	77.8	22	0.2	0	480	10	366	280	0.14	600	40	
19	77.8	22	0.2	0	480	10	365	280	0.95	100	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
20	77.8	22	0.2	0	480	10	REFRIGERADO HASTA TEMPERATURA AMBIENTE A 10 °C/SEGUNDO					
21	75.8	24	0.2	0	485	10	370	280	0.15	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
22	73.8	26	0.2	0	490	10	375	295	0.13	600	1000	
23	73.8	26	0.2	0	495	10	380	280	0.09	1100	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
24	71.8	27	0.2	1	500	10	385	280	0.18	600	1000	
25	71.8	28	0.2	0	505	10	390	290	0.17	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION

Tabla 2

N.º DE PRUEBA	BAÑO DE ENCHAPADO				CONDICIÓN DE REFRIGERACIÓN						OBSERVACIONES		
	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% DE MASA)			PUNTO DE FUSIÓN (°C)	TEMPERATURA DEL BAÑO	PRIMERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	PRIMERA TEMPERATURA (°C)	SEGUNDA TEMPERATURA (°C)	SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	TIEMPO DE REFRIGERACIÓN A LA SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN		TERCERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	
	Zn	Al	Si										Mg
26	69.8	30	0.2	0	510	540	10	395	280	0.19	600	1000	
27	67.8	32	0.2	0	520	550	10	405	310	0.16	600	1000	
28	65.8	34	0.2	0	525	565	10	410	280	0.22	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
29	63.8	36	0.2	0	530	560	10	415	280	0.23	600	1000	
30	61.8	38	0.2	0	535	565	10	420	280	0.23	600	1000	
31	59.8	40	0.2	0	540	570	10	425	280	0.24	600	1000	
32	57.8	42	0.2	0	550	580	10	435	280	0.26	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
33	89.5	10	0.5	0	420	450	10	410	390	0.03	600	1000	
34	87.5	12	0.5	0	430	460	10	410	390	0.03	600	1000	
35	85.5	14	0.5	0	440	470	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
36	84.5	14	0.5	1	440	470	10	410	390	0.03	600	1000	
37	83.5	16	0.5	0	450	480	10	410	390	0.03	600	1000	
38	81.5	18	0.5	0	460	490	10	410	390	0.03	600	1000	
39	79.5	20	0.5	0	475	505	10	360	280	0.13	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
40	80	20	0.00	0	460	490	10	345	280	0.11	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
41	77.5	22	0.5	0	480	510	10	365	280	0.14	600	1000	
42	77.5	22	0.5	0	480	510	10	365	280	0.17	500	60	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
43	77.5	22	0.5	0	480	510	10	365	280	0.57	150	40	
44	97.5	2	0.5	0	480	510	REFRIGERADO HASTA TEMPERATURA AMBIENTE A 10 °C/SEGUNDO					40	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
45	76	22	0.5	1.5	480	510	10	365	280	0.14	600	1000	
46	75.5	24	0.5	0	485	515	10	370	300	0.12	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
47	73.5	26	0.5	0	490	520	10	375	280	0.16	600	1000	
48	71.5	26	0.5	2	491	521	10	376	280	0.16	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
49	71.5	28	0.5	0	505	535	10	390	280	0.18	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION

Tabla 3

N° DE PRUEBA	BAÑO DE ENCHAPADO				CONDICIÓN DE REFRIGERACIÓN						OBSERVACIONES		
	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% DE MASA)				PUNTO DE FUSIÓN (°C)	TEMPERATURA DEL BAÑO (°C)	PRIMERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	PRIMERA TEMPERATURA	SEGUNDA TEMPERATURA (°C)	SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)		TIEMPO DE REFRIGERACIÓN A LA SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN	TERCERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)
	Zn	Al	Si	Mg									
50	70.5	29	0.5	0	505	535	10	390	280	0.10	1100	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
51	69.5	30	0.5	0	510	540	10	395	280	0.19	600	1000	
52	68.5	30	0.5	1	510	540	10	395	310	0.14	600	1000	
53	67.5	32	0.5	0	520	550	10	405	290	0.19	600	1000	
54	65.5	34	0.5	0	525	555	10	410	280	0.22	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
55	63.5	36	0.5	0	530	560	10	415	300	0.19	600	1000	
56	61.5	38	0.5	0	535	565	10	420	280	0.23	600	1000	
57	59.5	40	0.5	0	540	570	10	425	280	0.24	600	1000	
58	92	7	1	0	401	431	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
59	89	10	1	0	475	505	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
60	86	14	0.00	0	460	490	10	410	390	0.03	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
61	84	15	1	0	475	505	10	410	390	0.03	600	1000	
62	79	20	1	0	477	507	10	362	280	0.14	600	1000	
63	77	22	1	0	487	517	15	372	280	0.10	950	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
64	77	22	1	0	487	517	10	372	280	0.15	600	1000	
65	77	22	1	0	487	517	10	372	280	0.46	200	1000	
66	77	22	1	0	487	517	10	372	280	0.61	150	1000	
67	77	22	1	0	487	517	REFRIGERADO HASTA TEMPERATURA AMBIENTE A 10 °C/SEGUNDO					1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
68	75	22	1	2	481	511	10	366	280	0.14	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
69	72.4	24	1	2.6	481	511	10	366	280	0.14	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO
70	74	25	1	0	483	513	10	368	280	0.15	600	1000	
71	69	30	1	0	510	540	10	395	280	0.19	600	1000	
72	64	35	1	0	528	558	10	413	280	0.22	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCION
73	83	15	2	0	475	505	10	410	390	0.03	600	1000	
74	78	20	2	0	480	510	10	405	280	0.21	600	1000	

Tabla 4

N° DE PRUEBA	BAÑO DE ENCHAPADO				CONDICIÓN DE REFRIGERACIÓN						OBSERVACIONES	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA (% DE MASA)				PRIMERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	PRIMERA TEMPERATURA (°C)	SEGUNDA TEMPERATURA (°C)	SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)	TIEMPO DE REFRIGERACIÓN A LA SEGUNDA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN	TERCERA VELOCIDAD DE REFRIGERACIÓN (°C/SEGUNDO)		
	Zn	Al	Si	Mg								
75	73	22	2	3	480	510	280	0.24	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCIÓN	
76	76	22	2	0	480	510	280	0.24	600	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO	
77	76	22	2	0	480	510	REFRIGERADO HASTA TEMPERATURA AMBIENTE A 10 °C/SEGUNDO				PARA EJEMPLO DE LA INVENCIÓN	
78	72	22	2	4	480	510	280	0.24	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCIÓN	
79	73	25	2	0	483	513	280	0.24	600	1000		
80	68	30	2	0	510	540	290	0.21	600	1000		
81	63	35	2	0	528	558	280	0.23	600	1000		
82	70.5	22	2.5	5	480	510	280	0.50	300	1000		
83	75.5	22	2.5	0	480	510	280	0.25	600	1000		
84	72.5	25	2.5	0	483	513	310	0.21	600	1000		
85	57.5	40	2.5	0	540	570	280	0.27	600	1000		
86	55.5	42	2.5	0	550	580	280	0.26	600	1000		PARA EJEMPLO COMPARATIVO
87	74	22	4	0	480	510	290	0.23	600	1000		PARA EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
88	71	25	4	0	483	513	280	0.26	600	1000		
89	66	25	4	5	483	513	280	0.39	400	1000		
90	65	25	4	6	483	513	280	0.39	400	1000	PARA EJEMPLO COMPARATIVO	
91	56	40	4	0	540	570	300	0.23	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCIÓN	
92	54	42	4	0	550	580	280	0.26	600	1000	PARA EJEMPLO DE LA INVENCIÓN	
93	55.5	40	4.5	0	570	600	280	0.29	600	1000		
94					LÁMINA DE ACERO ENCHAPADO CON Zn DISPONIBLE EN EL MERCADO							
95					LÁMINA DE ACERO ENCHAPADO CON ALEACIÓN DE Zn							
96					LÁMINA DE ACERO ELECTROFORADA CON Zn							
97	77.4	22	0.6	0	480	510	280	3.5	43	45	PARA EJEMPLO COMPARATIVO	
98	75.5	23	1.5	0	485	515	280	1.5	100	45		
99	65.1	34	0.9	0	525	555	280	7.5	20	35		

- 5 A continuación, cada una de las láminas de acero enchapado se sumergió en HCl en el cual se había agregado un inhibidor y con una concentración de 10%, y se analizó una solución de descamación mediante el método de ICP, para especificar de esta manera una composición química promedio de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico. Además, cada una de las láminas de acero enchapado se cortó para producir cinco piezas de prueba, cada una con un ancho de 15 mm y una longitud de 25 mm, cada una de las piezas de prueba se incrustó en resina y se realizó el pulido. Después de esto, con respecto a las piezas de prueba, se obtuvo una imagen de SEM de un corte transversal de la capa de enchapado y se obtuvo una imagen de mapeo de elementos mediante la EDS. Posteriormente, basándose en la imagen de mapeo de elementos obtenida mediante la EDS, se midieron fracciones de área de la segunda estructura, la tercera estructura, la estructura eutectoide, las fases de Zn, la capa de compuesto intermetálico, las fases de Mg₂Si, las fases de Si y el otro compuesto metálico en una pila de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico. Concretamente, se tomaron fotografías de un campo visual con respecto a una muestra, a saber, se tomaron fotografías de cinco campos visuales en total con respecto a una lámina de acero enchapado y las fracciones de área se midieron mediante análisis de las imágenes. Se fijó cada campo visual para que incluyera una región con un tamaño de 50 μm \times 200 μm de capa de enchapado. Además, basándose en este resultado de medición, se calcularon las fracciones de área de la segunda estructura, la tercera estructura, la estructura eutectoide, las fases de Zn, las fases de Mg₂Si, las fases de Si y el otro compuesto metálico la capa de enchapado. Además, basándose en la imagen de mapeo de elementos obtenida mediante la EDS, se midió un espesor de la capa de compuesto intermetálico existente entre la capa de enchapado y la lámina de acero. Los resultados de estos se muestran en la Tabla 5 a la Tabla 8.
- 10
- 15
- 20 En la identificación de la segunda estructura, la tercera estructura y la estructura eutectoide, en relación con una estructura capaz de ser reconocida como cualquiera de la segunda estructura, la tercera estructura y la estructura eutectoide basándose en la imagen de mapeo de elementos obtenida mediante la EDS, se especificó una concentración promedio de Al mediante el análisis de la EDS, y una estructura con una concentración promedio de Al de 37% a 50% se juzgó como la segunda estructura, una estructura con una concentración promedio de Al de 25% a 36% se juzgó como la tercera estructura, y una estructura con una concentración promedio de Al de 10% a 24% se juzgó como la estructura eutectoide. Una estructura cuyo diámetro de grano de cristal promedio era de 1 μm o menos en términos de radio circular equivalente y constituida por dos fases de fases Al y fases Zn fue reconocida como cualquiera de las estructuras segunda, tercera y eutectoide.
- 25
- 30 Se utilizó una imagen de microscopio óptico para contar la cantidad de la primera estructura existente dentro de un campo visual de 30 mm \times 30 mm, para calcular de esta manera una densidad en número de la primera estructura. Un resultado de esto se muestra en la Tabla 5 a la Tabla 8. El subrayado en la Tabla 5 a la Tabla 8 indica que el valor numérico subrayado se encuentra fuera del intervalo de la presente invención.

Tabla 5

N.º DE PROBEA	COMPOSICIÓN QUÍMICA PRIMARIO DE CAPA DE ENCHAPADO Y CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (% DE MASA)				CAPA DE ENCHAPADO										ESPESOR DE CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (µm)	OBSERVACIONES				
	Zn	Al	Si	Mg	FRACCIÓN DE ÁREA (%)						DENSIDAD EN NÚMERO DE PRIMERA ESTRUCTURA (PIEZA/cm²)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE SEGUNDA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE TERCERA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE ESTRUCTURA EUTECTOIDE (% DE MASA)			DIÁMETRO CIRCULAR EQUIVALENTE DE Mg₂Si (µm)			
					PRIMERA ESTRUCTURA		FASE DE Zn		FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO									FASE DE Si		
					SEGUNDA ESTRUCTURA	TERCERA ESTRUCTURA	SUMA	ESTRUCTURA EUTECTOIDE + PRIMERA ESTRUCTURA	ESTRUCTURA EUTECTOIDE	FASE DE Zn									OTRA FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO	SUMA
1	91.8	8	0.2	0	0	0	0	0	60	40	40	60	0	0	0	0	18	0	0.3	EJEMPLO COMPARATIVO
2	89.8	10	0.2	0	3	2	5	71	76	24	0	0	0	0	0	0	19	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
3	90	10	0.05	0	4	2	6	73	79	21	0	0	0	0	0	0	19	0	0.3	EJEMPLO COMPARATIVO
4	90	10	0.00	0	13	7	20	67	87	13	0	0	0	0	0	0	18	0	25.5	EJEMPLO DE LA INVENCION
5	87.8	12	0.2	0	3	2	5	73	78	22	0	0	0	0	0	0	16	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
6	85.8	14	0.2	0.05	3	3	6	72	79	19	2	0	2	0	0	0	17	0.2	0.6	EJEMPLO COMPARATIVO
7	82.8	14	0.2	3	5	2	7	63	70	19	2	8	10	0	0	0	17	0.2	0.6	EJEMPLO COMPARATIVO
8	85.8	14	0.2	0	3	3	6	74	81	19	0	0	0	0	0	0	17	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
9	83.8	16	0.2	0	13	8	21	70	92	8	0	0	0	0	0	0	18	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
10	81.8	18	0.2	0	13	9	22	69	92	8	0	0	0	0	0	0	19	0	0.6	EJEMPLO COMPARATIVO
11	82	18	0.01	0	3	3	6	34	40	60	0	0	0	0	0	0	18	0	19.5	EJEMPLO COMPARATIVO
12	81.8	18	0.2	0	0	0	0	44	44	56	0	0	0	0	0	0	21	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
13	81.4	18	0.2	0.4	15	10	26	67	93	3	4	0	4	0	0	0	18	0.4	0.9	EJEMPLO DE LA INVENCION
14	79.8	20	0.2	0	17	15	33	65	98	2	0	0	0	0	0	0	23	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
15	77.8	22	0.2	0	23	17	40	57	97	3	0	0	0	0	0	0	23	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
16	77.8	22	0.2	0	17	15	33	65	98	2	0	0	0	0	0	0	22	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
17	77.8	22	0.2	0	16	11	27	66	93	7	0	0	0	0	0	0	19	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
18	77.8	22	0.2	0	18	15	34	64	98	2	0	0	0	0	0	0	22	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
19	77.8	22	0.2	0	1	2	3	74	78	22	0	0	0	0	0	0	20	0	0.6	EJEMPLO COMPARATIVO
20	77.8	22	0.2	0	0	0	0	65	65	35	0	0	0	0	0	0	22	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
21	75.8	24	0.2	0	17	14	31	65	96	4	0	0	0	0	0	0	19	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
22	73.8	26	0.2	0	18	15	34	63	97	3	0	0	0	0	0	0	17	0	0.6	EJEMPLO COMPARATIVO
23	73.8	26	0.2	0	11	7	18	75	93	7	0	0	0	0	0	0	16	0	12.9	EJEMPLO DE LA INVENCION
24	71.8	27	0.2	1	15	10	25	52	77	2	4	17	21	0	0	0	23	0.4	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
25	71.8	28	0.2	0	19	15	35	65	100	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION

Tabla 6

N.º DE PRUEBA	COMPOSICIÓN QUÍMICA PRIMEDIO DE CAPA DE ENCHAPADO Y CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (% DE MASA)				CAPA DE ENCHAPADO										OBSERVACIONES						
	Zn	Al	Si	Mg	FRACCIÓN DE ÁREA (%)																
					PRIMERA ESTRUCTURA			FASE DE Zn			FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO			FASE DE Si		DENSIDAD EN NÚMERO DE PRIMERA ESTRUCTURA (PIEZA/cm ²)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE SEGUNDA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE TERCERA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE ESTRUCTURA EUTECTOIDE (% DE MASA)	DIÁMETRO CIRCULAR EQUIVALENTE DE Mg:Si (µm)	ESPESOR DE CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (µm)
					SEGUNDA ESTRUCTURA	TERCERA ESTRUCTURA	SUMA ESTRUCTURA	ESTRUCTURA EUTECTOIDE + PRIMERA ESTRUCTURA	ESTRUCTURA EUTECTOIDE	FASE DE Mg:Si	OTRA FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO	SUMA									
26	69.8	30	0.2	0	19	15	34	66	100	0	0	0	0	2.2	49	34	22	0	0.9		
27	67.8	32	0.2	0	16	11	28	66	94	6	0	0	0	2.1	47	32	18	0	0.6		
28	65.8	34	0.2	0	17	11	29	66	95	5	0	0	0	2	45	29	19	0	0.6		
29	63.8	36	0.2	0	15	11	26	66	92	8	0	0	0	2	48	27	23	0	0.3		
30	61.8	38	0.2	0	16	12	28	67	95	5	0	0	0	2.8	49	27	20	0	0.3		
31	59.8	40	0.2	0	14	11	26	66	92	8	0	0	0	3.5	50	33	15	0	0.6		
32	57.8	42	0.2	0	2	4	7	84	91	9	0	0	0	2	49	25	19	0	16.5		
33	89.5	10	0.5	0	3	2	5	73	78	22	0	0	0	2	38	25	16	0	0.3		
34	87.5	12	0.5	0	4	3	7	74	81	19	0	0	0	2.4	41	26	18	0	0.3		
35	85.5	14	0.5	0	5	2	7	72	80	20	0	0	0	2	40	32	15	0	0.6		
36	84.5	14	0.5	1	5	2	7	72	80	20	0	0	0	2.7	40	32	15	0	0.6		
37	83.5	16	0.5	0	14	8	23	70	93	7	0	0	0	2.5	40	27	21	0	0.9		
38	81.5	18	0.5	0	15	9	24	67	92	8	0	0	0	2	41	29	20	0	0.6		
39	79.5	20	0.5	0	18	15	34	65	99	1	0	0	0	2	44	26	16	0	0.6		
40	80	20	0.00	0	7	7	14	86	100	0	0	0	0	2.9	46	26	19	0	25.8		
41	77.5	22	0.5	0	18	17	35	63	98	2	0	0	0	1.8	48	27	23	0	0.3		
42	77.5	22	0.5	0	19	15	34	64	98	2	0	0	0	2	47	28	22	0	0.3		
43	77.5	22	0.5	0	2	1	3	73	77	23	0	0	0	2	48	28	23	0	0.6		
44	97.5	2	0.5	0	0	0	0	66	66	34	0	0	0	0	-	-	22	0	0.3		
45	76	22	0.5	1.5	15	10	25	52	77	2	4	17	21	2.9	41	28	23	0.4	0.3		
46	75.5	24	0.5	0	20	12	33	64	97	3	0	0	0	2.4	45	35	20	0	0.6		
47	73.5	26	0.5	0	19	14	33	63	96	4	0	0	0	2	49	34	18	0	0.3		
48	71.5	26	0.5	2	15	10	25	52	77	2	4	17	21	2.3	41	28	23	0.4	0.3		
49	71.5	28	0.5	0	19	14	33	65	98	2	0	0	0	2.6	46	31	20	0	0.3		

Tabla 7

N.º DE PRUEBA	COMPOSICIÓN QUÍMICA PRIMARIO DE CAPA DE ENCHAPADO Y CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (% DE MASA)				CAPA DE ENCHAPADO										ESPAESOR DE CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (µm)	OBSERVACIONES						
	Zn	Al	Si	Mg	FRACCIÓN DE ÁREA (%)						DENSIDAD EN NÚMERO DE PRIMERA ESTRUCTURA (PIEZA/cm²)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE SEGUNDA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE TERCERA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE ESTRUCTURA ETECTOIDE (% DE MASA)			DIÁMETRO CIRCULAR EQUIVALENTE DE MgSi (µm)					
					PRIMERA ESTRUCTURA			FASE DE Zn										FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO			FASE DE Si	
					SEGUNDA ESTRUCTURA	TERCERA ESTRUCTURA	SUMA	PRIMERA ESTRUCTURA + ESTRUCTURA ETECTOIDE	FASE DE MgSi	OTRA FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO								SUMA				
50	70.5	29	0.5	0	13	5	18	75	93	7	0	0	0	0	0	2.7	50	26	16	0	13.5	EJEMPLO COMPARATIVO
51	69.5	30	0.5	0	19	16	36	62	98	2	0	0	0	0	0	2.1	47	33	16	0	0.6	
52	68.5	30	0.5	1	15	13	29	62	91	2	7	0	7	0	0	2.6	47	33	16	0.5	0.6	
53	67.5	32	0.5	0	11	11	22	69	92	8	0	0	0	0	0	2.8	48	35	19	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
54	65.5	34	0.5	0	13	10	23	69	92	8	0	0	0	0	0	2.4	50	36	20	0	0.3	
55	63.5	36	0.5	0	16	11	27	66	93	7	0	0	0	0	0	2.3	49	25	22	0	0.3	
56	61.5	38	0.5	0	15	10	25	67	92	8	0	0	0	0	0	2.8	49	26	20	0	0.3	
57	59.5	40	0.5	0	15	12	28	65	93	7	0	0	0	0	0	2.7	50	29	19	0	0.6	
58	92	Z	1	0	0	0	0	75	75	25	0	0	0	0	0	0	-	-	22	0	7.2	EJEMPLO COMPARATIVO
59	89	10	1	0	6	5	11	69	81	19	0	0	0	0	0	2.1	41	25	18	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
60	86	14	0.00	0	11	6	17	61	78	22	0	0	0	0	0	2.5	39	28	16	0	24.6	EJEMPLO COMPARATIVO
61	84	15	1	0	10	9	19	70	90	10	0	0	0	0	0	2.8	41	25	18	0	0.6	
62	79	20	1	0	17	14	31	65	96	4	0	0	0	0	0	2.9	44	26	21	0	0.3	
63	77	22	1	0	24	18	42	57	99	1	0	0	0	0	0	3.4	46	27	18	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
64	77	22	1	0	19	15	35	63	98	2	0	0	0	0	0	1.9	48	31	18	0	0.6	
65	77	22	1	0	14	10	24	67	92	8	0	0	0	0	0	1.7	49	33	17	0	0.6	
66	77	22	1	0	1	2	3	76	79	21	0	0	0	0	0	2	50	25	18	0	0.6	EJEMPLO COMPARATIVO
67	77	22	1	0	0	0	0	65	65	35	0	0	0	0	0	0	-	-	21	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
68	75	22	1	2	17	14	31	62	93	2	5	0	5	0	0	2.4	48	32	19	0.5	0.3	
69	72.4	24	1	2.6	4	5	9	68	76	3	6	15	21	0	0	2.6	49	25	23	0.6	0.3	EJEMPLO COMPARATIVO
70	74	25	1	0	19	15	35	63	98	2	0	0	0	0	0	1.9	46	34	22	0	0.6	
71	69	30	1	0	19	13	32	66	98	2	0	0	0	0	0	1.7	45	25	21	0	0.9	
72	84	35	1	0	17	10	28	65	93	7	0	0	0	0	0	2	49	26	19	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
73	83	15	2	0	5	2	7	77	84	16	0	0	0	0	0	2.8	41	29	18	0	0.3	
74	78	20	2	0	20	14	34	64	98	2	0	0	0	0	0	2.9	46	27	16	0	0.9	

Tabla 8

N.º DE PRUEBA	COMPOSICIÓN QUÍMICA PRIMEDIO DE CAPA DE ENCHAPADO Y CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (% DE MASA)				CAPA DE ENCHAPADO										OBSERVACIONES							
	Zn	Al	Si	Mg	FRACCIÓN DE ÁREA (%)					FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO						DENSIDAD EN NÚMERO DE PRIMERA ESTRUCTURA (PIEZA/cm ²)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE SEGUNDA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE TERCERA ESTRUCTURA (% DE MASA)	CONCENTRACIÓN DE AL PROMEDIO DE ESTRUCTURA ETECTOIDE (% DE MASA)	DIÁMETRO CIRCULAR EQUIVALENTE DE Mg ₂ Si (µm)	ESPESOR DE CAPA DE COMPUESTO INTERMETÁLICO (µm)	
					PRIMERA ESTRUCTURA		FASE DE Zn	FASE DE Mg ₂ Si		SUMA	OTRA FASE DE COMPUESTO INTERMETÁLICO	SUMA	FASE DE Si									
					SEGUNDA ESTRUCTURA	TERCERA ESTRUCTURA		ESTRUCTURA ETECTOIDE + PRIMERA ESTRUCTURA	ESTRUCTURA ETECTOIDE					ESTRUCTURA ETECTOIDE								
75	73	22	2	3	19	14	33	63	96	1	3	0	0	3	0	2.4	48	27	20	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
76	76	22	2	0	18	14	33	64	97	3	0	0	0	0	0	2.8	49	26	18	0	0.6	EJEMPLO COMPARATIVO
77	76	22	2	0	0	0	0	66	66	34	0	0	0	0	0	0	-	-	23	0	0.3	EJEMPLO COMPARATIVO
78	72	22	2	4	18	14	32	62	94	1	5	0	0	5	0	2	50	25	16	0.5	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
79	73	25	2	0	19	14	34	64	98	2	0	0	0	0	0	2	49	33	17	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
80	68	30	2	0	20	13	34	63	97	3	0	0	0	0	0	2	48	31	22	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
81	63	35	2	0	18	10	29	64	93	7	0	0	0	0	0	2.8	46	29	21	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
82	70.5	22	2.5	5	16	10	27	65	92	2	6	0	0	6	0	2.5	47	29	22	0.7	0.9	EJEMPLO DE LA INVENCION
83	75.5	22	2.5	0	20	12	32	66	98	2	0	0	0	0	0	2.1	47	29	22	0	0.9	EJEMPLO DE LA INVENCION
84	72.5	25	2.5	0	20	14	35	62	97	3	0	0	0	0	0	2	49	31	23	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
85	57.5	40	2.5	0	19	12	31	64	95	5	0	0	0	0	0	2.3	47	28	17	0	0.9	EJEMPLO COMPARATIVO
86	55.5	42	2.5	0	4	2	7	85	91	9	0	0	0	0	0	1.9	49	22	19	0	16.2	EJEMPLO DE LA INVENCION
87	74	22	4	0	21	10	32	65	97	3	0	0	0	0	0	2.5	47	29	22	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
88	71	25	4	0	20	15	36	62	98	2	0	0	0	0	0	2	49	31	23	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
89	66	25	4	5	17	12	30	62	92	2	6	0	0	6	0	2	49	31	23	0.7	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
90	65	25	4	6	10	8	18	62	81	2	3	14	17	0	0	2.7	49	31	23	0.3	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
91	56	40	4	0	14	9	23	68	92	8	0	0	0	0	0	2.9	47	28	17	0	0.6	EJEMPLO DE LA INVENCION
92	54	42	4	0	4	4	9	82	91	9	0	0	0	0	0	2.1	49	29	19	0	16.5	EJEMPLO DE LA INVENCION
93	55.5	40	4.5	0	4	2	6	65	71	3	0	0	0	0	0	2.1	50	30	20	0	0.3	EJEMPLO DE LA INVENCION
94	LÁMINA DE ACERO ENCHAPADO CON Zn DISPONIBLE EN EL MERCADO																					
95	LÁMINA DE ALEACIÓN DE ACERO ENCHAPADO CON Zn																					
96	LÁMINA DE ACERO ELECTROFORADO CON Zn																					
97	77.4	22	0.6	0	0	0	0	99	99	1	0	0	0	0	0	0	-	-	20	0	0.3	EJEMPLO COMPARATIVO
98	75.5	23	1.5	0	0	0	0	98	98	2	0	0	0	0	0	0	-	-	24	0	0.1	EJEMPLO COMPARATIVO
99	65.1	34	0.9	0	0	0	0	98	98	2	0	0	0	0	0	0	-	-	23	0	0.2	EJEMPLO COMPARATIVO

Después de eso, se realizaron evaluaciones de la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la resistencia al agarrotamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento en relación con las respectivas láminas de acero enchapado.

5 En la evaluación de la resistencia al pulverizado de la capa de enchapado, cada una de las chapas de acero enchapado se cortó para producir una pieza de prueba de 40 mm de ancho, 100 mm de largo y 0.8 mm de espesor, y con respecto a cada pieza de prueba se realizó un ensayo de flexión de 60° mediante el uso de un probador de flexión en V en el que se fijó la dirección del ancho de la chapa en la dirección del eje de flexión y el radio de curvatura en 5 mmR. A continuación, se midió en cinco puntos el ancho de la capa de enchapado descamado por una cinta adhesiva (ancho de descamación) y se calculó un valor promedio de los anchos (ancho promedio de descamación). Cuando el ancho promedio de descamación era de 0.1 mm o menos, se evaluó como "A", cuando el ancho promedio de descamación era mayor que 0.1 mm y 1.0 mm o menos, se evaluó como "B", cuando el ancho promedio de descamación era mayor que 1.0 mm y 2.0 mm o menos, se evaluó como "C", y cuando el ancho promedio de descamación era mayor que 2.0 mm, se evaluó como "D".

15 En la evaluación de la resistencia al agarrotamiento de la capa de enchapado, cada una de las láminas de acero enchapado se cortó para producir dos piezas de prueba, cada una de ellas de 80 mm de ancho y 350 mm de largo, y con respecto a cada pieza de prueba, se realizó el arrastre de esfera mediante el uso de un accesorio que imitaba un troquel y una esfera, y se produjo un deslizamiento de 150 mm o más de largo entre una superficie de la pieza de prueba, una parte de hombro del troquel y una parte de esfera. El radio de curvatura de la parte de hombro del troquel y el radio de curvatura de la parte de esfera del accesorio mencionado se fijaron en 2 mmR y 5 mmR, respectivamente, 20 la presión de prensado del troquel se fijó en 60 kN/m² y la velocidad de extracción en arrastre de esferas se fijó en 2 m/min. Al realizar el arrastre de esfera, se aplicó un aceite lubricante (550F: fabricado por Nippon Parkerizing Co., Ltd.) en las superficies de la pieza de prueba con 0.5 g/m² por ambas superficies. Posteriormente, se observó visualmente la capa de enchapado adherida al accesorio, en la que cuando la capa de enchapado no estaba adherida, se evaluó como "A", cuando la capa de enchapado estaba adherida en forma de polvo, se evaluó como "B", cuando 25 la capa de enchapado estaba adherida en forma de tira, se evaluó como "C", y cuando la capa de enchapado estaba totalmente descamada y adherida, se evaluó como "D".

En la evaluación de la deformabilidad plástica de la capa de enchapado, cada una de las chapas de acero enchapado se cortó para producir una pieza de prueba de 30 mm de ancho, 60 mm de largo y 0.8 mm de espesor, y con respecto a cada pieza de prueba se realizaron la prueba de flexión 0T, la prueba de flexión 1T y la prueba de flexión 2T. A 30 continuación, mediante el uso del SEM, se observó una región en la que el ancho y la longitud de una parte superior flexionada de la capa de enchapado eran de 1.6 mm y 30 mm, respectivamente, y se contó la cantidad de grietas en la parte superior flexionada. Con respecto a cada una de las láminas de acero enchapado, se prepararon tres o más de las piezas de prueba para cada una de la prueba de flexión 0T, la prueba de flexión 1T y la prueba de flexión 2T, y se calculó un valor promedio de la cantidad de grietas. Con respecto a cada una de las pruebas de flexión 0T, la 35 prueba de flexión 1T y la prueba de flexión 2T, cuando la cantidad promedio de grietas era 0, se evaluó como "A", cuando la cantidad promedio de grietas era de 1 a 20, se evaluó como "B", cuando la cantidad promedio de grietas era de 21 a 100, se evaluó como "C", y cuando la cantidad promedio de grietas era superior a 100, se evaluó como "D".

En la evaluación de la resistencia a la corrosión después del recubrimiento de la capa de enchapado, cada una de las láminas de acero enchapado se cortó para producir una muestra de 50 mm de ancho y 100 mm de largo, y se realizó 40 un tratamiento con fosfato de cinc mediante el uso de una solución de tratamiento de conversión a base de fosfato de cinc (sistema SURFDINE SD5350: fabricado por Nipponpaint Industrial Coatings Co., LTD.) en cada muestra. A continuación, se realizó un recubrimiento por electrodeposición mediante el uso de un material de recubrimiento (sistema POWERNIX 110F: fabricado por Nippon Parkerizing Co., Ltd.) para formar una película de recubrimiento de 20 μm, y se horneó a una temperatura de 150 °C durante 20 minutos. Después, en cada muestra se formaron cortes 45 transversales que llegaban a la lámina de acero, se realizó una prueba de corrosión cíclica combinada según JASO M609-91 para medir los anchos máximos de expansión en ocho lugares alrededor de los cortes transversales después de completar cada uno de los ciclos de 60, 90, 120 y 150, y se determinó un valor promedio de los anchos máximos de expansión. Como los cortes transversales, se formaron dos cortes transversales con una longitud de

$$40 \times \sqrt{2} \text{ mm}$$

50 Cuando el ancho de la expansión de los cortes transversales era de 1 mm o menos, se evaluó como "A", cuando el ancho de la expansión de los cortes transversales era mayor que 1 mm y 2 mm menos, se evaluó como "B", cuando el ancho de la expansión de los cortes transversales era mayor que 2 mm, se evaluó como "C", y cuando se generó una herrumbre roja independientemente del ancho de la expansión, se evaluó como "D".

En lo que respecta a la resistencia al astillamiento de la capa de enchapado, se realizó un tratamiento con fosfato de cinc y se realizó un enchapado por electrodeposición similar a los realizados al evaluar la resistencia a la corrosión 55 después del enchapado en la capa de enchapado, y luego se realizaron un enchapado intermedio, un enchapado de acabado y un enchapado transparente para producir una película de enchapado de manera que el espesor de la película se volviera 40 μm en su conjunto. A continuación, se utilizó un instrumento de prueba de grava (fabricado por Suga Test Instruments Co., Ltd.) para hacer que 100 g de piedras trituradas del número 7 chocaran con la película de enchapado enfriada a -20 °C a un ángulo de 90 grados, desde una posición distante de 30 cm a una presión de aire 60

de 3.0 kg/cm², y se observó visualmente un grado de descamación. Cuando el descamación no se produjo en absoluto, se evaluó como "A", cuando la zona de descamación era pequeña y la frecuencia de descamación era baja, se evaluó como "B", cuando la zona de descamación era grande y la frecuencia de descamación era baja, se evaluó como "C", y cuando la zona de descamación era grande y la frecuencia de descamación era alta, se evaluó como "D".

- 5 Los resultados de evaluación de la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la resistencia al agarrotamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento se muestran en la Tabla 9 a la Tabla 12.

Tabla 9

N.º DE PRUEBA	RESULTADO DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO											OBSERVACIONES	
	RESISTENCIA A LA PULVERIZACIÓN	RESISTENCIA AL ASTILLAMIENTO	RESISTENCIA AL AGARROTAMIENTO	PRUEBA DE FLEXION				RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DESPUÉS DEL RECUBRIMIENTO					
				2T	1T	0T	60 CICLOS	90 CICLOS	120 CICLOS	150 CICLOS			
1	B	B	D	C	D	C	C	D	D	D	D	D	EJEMPLO COMPARATIVO
2	A	A	B	A	B	A	A	B	B	B	B	C	EJEMPLO DE LA INVENCION
3	A	A	B	A	B	A	A	B	B	B	B	C	EJEMPLO DE LA INVENCION
4	D	D	B	D	D	B	C	D	D	D	D	D	EJEMPLO COMPARATIVO
5	A	A	B	A	B	B	A	B	B	B	B	C	EJEMPLO DE LA INVENCION
6	A	A	B	B	B	B	A	B	A	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
7	A	D	B	D	D	B	A	D	A	A	B	B	EJEMPLO COMPARATIVO
8	A	A	B	A	B	B	A	B	A	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
9	A	A	B	A	B	B	A	B	A	A	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
10	A	A	B	A	B	B	A	B	A	A	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
11	D	D	A	D	A	A	C	D	C	D	D	D	EJEMPLO COMPARATIVO
12	C	C	B	C	B	B	D	D	D	D	D	D	EJEMPLO COMPARATIVO
13	A	A	B	A	B	B	A	B	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
16	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
17	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
18	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
19	B	C	A	C	A	A	C	C	C	C	B	B	EJEMPLO COMPARATIVO
20	B	C	A	C	A	A	D	D	C	D	D	D	EJEMPLO DE LA INVENCION
21	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
22	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
23	D	D	A	D	A	A	C	D	C	D	D	D	EJEMPLO COMPARATIVO
24	D	D	A	D	A	A	A	D	A	A	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION

Tabla 10

N.º DE PRUEBA	RESULTADO DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO											OBSERVACIONES		
	RESISTENCIA A LA PULVERIZACIÓN	RESISTENCIA AL ASTILLAMIENTO	RESISTENCIA AL AGARROTAMIENTO	PRUEBA DE FLEXIÓN			RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DESPUÉS DEL RECUBRIMIENTO							
				2T	1T	0T	60 CICLOS	90 CICLOS	120 CICLOS	150 CICLOS				
26	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
27	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
28	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	
29	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	
30	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	
31	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	
32	D	D	A	A	D	D	D	B	C	C	C	C	C	EJEMPLO COMPARATIVO
33	A	A	B	B	A	B	B	A	B	B	B	B	B	
34	A	A	B	B	A	B	B	A	B	B	B	B	B	
35	A	A	B	B	A	B	B	A	B	B	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
36	A	A	B	B	A	B	B	A	A	B	B	B	B	
37	A	A	B	B	A	B	B	A	A	B	B	B	B	
38	A	A	B	B	A	B	B	A	A	B	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
39	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
40	B	D	B	B	D	D	D	B	C	C	C	C	C	EJEMPLO COMPARATIVO
41	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
42	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
43	B	C	A	A	B	C	C	C	C	C	C	C	C	EJEMPLO COMPARATIVO
44	B	C	C	C	C	D	D	C	D	D	D	D	D	
45	B	D	A	A	D	D	D	A	A	A	A	A	A	
46	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
47	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
48	B	D	A	A	D	D	D	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO COMPARATIVO
49	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN

Tabla 11

N.º DE PRUEBA	RESULTADO DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO										OBSERVACIONES	
	RESISTENCIA A LA PULVERIZACIÓN	RESISTENCIA AL ASTILLAMIENTO	RESISTENCIA AL AGARROTAMIENTO	PRUEBA DE FLEXIÓN			RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DESPUÉS DEL RECUBRIMIENTO					
				2T	1T	0T	60 CICLOS	90 CICLOS	120 CICLOS	150 CICLOS		
50	D	D	A	D	D	D	C	D	D	D	D	EJEMPLO COMPARATIVO
51	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
52	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	
53	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	
54	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	
55	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	
56	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	
57	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	B	
58	B	B	D	B	C	C	C	D	D	D	D	
59	A	A	B	A	B	B	A	B	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
60	D	D	A	D	D	D	C	D	D	D	D	EJEMPLO COMPARATIVO
61	A	A	B	A	B	B	A	B	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCION
62	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
63	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
64	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
65	A	A	B	A	B	B	A	A	A	B	B	
66	B	C	A	C	C	C	C	C	C	C	C	
67	B	C	C	C	D	D	C	D	D	D	D	
68	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	
69	B	D	A	D	D	D	A	A	A	A	A	EJEMPLO COMPARATIVO
70	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCION
71	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
72	A	A	B	A	B	B	A	A	A	B	B	
73	A	A	B	A	B	B	A	B	B	B	B	
74	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

Tabla 12

N.º DE PRUEBA	RESULTADO DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO										OBSERVACIONES		
	RESISTENCIA A LA PULVERIZACIÓN	RESISTENCIA AL ASTILLAMIENTO	RESISTENCIA AL AGARROTAMIENTO	PRUEBA DE FLEXIÓN			RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DESPUÉS DEL RECUBRIMIENTO						
				2T	1T	0T	60 CICLOS	90 CICLOS	120 CICLOS	150 CICLOS			
75	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
76	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO COMPARATIVO
77	B	C	C	C	D	D	C	D	D	D	D	D	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
-78	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO COMPARATIVO
79	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
80	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
81	A	A	B	A	A	B	A	A	A	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
82	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
83	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
84	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
85	A	A	B	A	A	B	A	A	A	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
86	D	D	A	A	D	D	D	D	B	C	C	C	EJEMPLO COMPARATIVO
87	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
88	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
89	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
90	D	D	A	A	C	D	D	D	A	B	C	C	EJEMPLO COMPARATIVO
91	A	A	B	B	A	B	B	B	A	A	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
92	D	D	A	A	D	D	D	D	B	C	C	C	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
93	B	D	C	C	D	D	D	D	B	B	B	B	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
94	B	B	D	D	B	C	C	C	C	C	D	D	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
95	D	D	A	A	D	D	D	D	D	D	D	D	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
96	B	C	D	D	B	B	C	C	C	C	D	D	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
97	C	C	A	A	B	C	C	C	B	B	C	D	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
98	C	C	A	A	B	C	C	C	B	B	C	D	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN
99	C	C	A	A	B	C	C	C	B	B	C	D	EJEMPLO DE LA INVENCIÓN

- Tal como se muestra en la Tabla 1, la Tabla 5 y la Tabla 9, en la prueba n.º 1, la concentración de Al del baño de enchapado era insuficiente, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y la fracción de área de las fases de Zn era excesiva, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al agrietamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- 5 En la prueba n.º 4, la concentración de Si del baño de enchapado era insuficiente, de modo que la capa de compuesto intermetálico creció justo después de que la lámina de acero se sumergiera en el baño de enchapado, y la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- 10 En la prueba n.º 7, la concentración de Mg del baño de enchapado era excesiva en relación con la concentración de Si, de modo que las fases de MgZn₂, que son las fases de compuesto intermetálico, estaban excesivamente contenidas en la capa de enchapado, de modo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento y la deformabilidad plástica.
- 15 En la prueba n.º 11, la concentración de Si del baño de enchapado era insuficiente, de modo que la capa de compuesto intermetálico creció justo después de que la lámina de acero se sumergiera en el baño de enchapado, y la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- 20 En la prueba n.º 12, la tercera velocidad de refrigeración era insuficiente, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y la fracción de área de las fases de Zn era excesiva, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- 25 En la prueba n.º 19, la segunda velocidad de refrigeración era excesiva, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y se produjeron muchas grietas en la prueba de flexión 1T y en la prueba de flexión 0T, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la deformabilidad plástica. Además, tampoco fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- 30 En la prueba n.º 20, la refrigeración después del tratamiento de enchapado se realizó a la temperatura ambiente a la velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y la fracción de área de las fases de Zn era excesiva, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- 35 En la prueba n.º 23, el período de tiempo necesario para realizar la refrigeración a la segunda velocidad de refrigeración era demasiado largo, de modo que la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, lo que hizo que no fuera posible obtener de manera suficiente la resistencia a la corrosión después del recubrimiento, la deformabilidad plástica, la resistencia al pulverizado y la resistencia al astillamiento.
- 40 En la prueba n.º 24, la concentración de Mg del baño de enchapado era excesiva en relación con la concentración de Si, de modo que las fases de MgZn₂, que son las fases de compuesto intermetálico, estaban excesivamente contenidas en la capa de enchapado, de modo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento y la deformabilidad plástica.
- 45 Tal como se muestra en la Tabla 2, la Tabla 6 y la Tabla 10, en la prueba n.º 32, la concentración de Al del baño de enchapado era excesiva, de modo que la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- En la prueba n.º 40, la concentración de Si del baño de enchapado era insuficiente, de modo que la capa de compuesto intermetálico creció justo después de que la lámina de acero se sumergiera en el baño de enchapado, y la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento y la deformabilidad plástica
- 50 En la prueba n.º 43, la segunda velocidad de refrigeración era excesiva, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- 55 En la prueba n.º 44, la refrigeración después del tratamiento de enchapado se realizó a la temperatura ambiente a la velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y la fracción de área de las fases de Zn era excesiva, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al agrietamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.
- En la prueba n.º 45, la concentración de Mg del baño de enchapado era excesiva en relación con la concentración de

Si, de modo que las fases de $MgZn_2$, que son las fases de compuesto intermetálico, estaban excesivamente contenidas en la capa de enchapado, de modo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento y la deformabilidad plástica.

5 En la prueba n.º 48, la concentración de Mg del baño de enchapado era excesiva en relación con la concentración de Si, de modo que las fases de $MgZn_2$, que son las fases de compuesto intermetálico, estaban excesivamente contenidas en la capa de enchapado, de modo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento y la deformabilidad plástica.

10 Tal como se muestra en la Tabla 3, Tabla 7 y Tabla 11, en la prueba n.º 50, el período de tiempo necesario para realizar la refrigeración a la segunda velocidad de refrigeración era demasiado largo, de modo que la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, lo que hizo que no fuera posible obtener de manera suficiente la resistencia a la corrosión después del recubrimiento, la deformabilidad plástica, la resistencia al pulverizado y la resistencia al astillamiento.

15 En la prueba n.º 58, la concentración de Al del baño de enchapado era insuficiente, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al agarrotamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

20 En la prueba n.º 60, la concentración de Si del baño de enchapado era insuficiente, de modo que la capa de compuesto intermetálico creció justo después de que la lámina de acero se sumergiera en el baño de enchapado, y la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

En la prueba n.º 66, la segunda velocidad de refrigeración era excesiva, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

25 En la prueba n.º 67, la refrigeración después del tratamiento de enchapado se realizó a la temperatura ambiente a la velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y la fracción de área de las fases de Zn era excesiva, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento, la resistencia al agarrotamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

30 En la prueba n.º 69, la concentración de Mg del baño de enchapado era excesiva en relación con la concentración de Si, de modo que las fases de $MgZn_2$, que son las fases de compuesto intermetálico, estaban excesivamente contenidas en la capa de enchapado, de modo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento y la deformabilidad plástica.

35 Tal como se muestra en la Tabla 3, Tabla 7 y Tabla 11, en la prueba n.º 77, la refrigeración después del tratamiento de enchapado se realizó a la temperatura ambiente a la velocidad de refrigeración de 10 °C/segundo, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, y la fracción de área de las fases de Zn era excesiva, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento, la resistencia al agarrotamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

40 En la prueba n.º 86, la concentración de Al del baño de enchapado era excesiva, de modo que la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

45 En la prueba n.º 90, la concentración de Mg del baño de enchapado era excesiva, de modo que las fases de $MgZn_2$, que son las fases de compuesto intermetálico, estaban excesivamente contenidas en la capa de enchapado, de modo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento y la deformabilidad plástica.

50 En la prueba n.º 92, la concentración de Al del baño de enchapado era excesiva, de modo que la capa de compuesto intermetálico se formó de forma gruesa, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

En la prueba n.º 93, la concentración de Si era excesiva, de modo que la capa de enchapado contenía muchas fases de Si, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al astillamiento, la resistencia al agarrotamiento y la deformabilidad plástica.

55 Una lámina de acero enchapado con Zn disponible en el mercado en la prueba n.º 94 tenía una resistencia a la corrosión a largo plazo después del recubrimiento y una resistencia al agarrotamiento inferiores.

Una hoja de aleación de acero enchapado con Zn en la prueba n.º 95 tenía un rendimiento inferior en cuanto a la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

5 Una lámina de acero enchapado con Zn en la prueba n.º 96 tenía una resistencia al agarrotamiento y a la corrosión después del recubrimiento inferiores, ya que el espesor de la capa de enchapado de esta era pequeño.

En la prueba n.º 97 hasta la prueba n.º 99, que son ejemplos comparativos, la segunda velocidad de refrigeración era excesiva, de modo que la fracción de área de la primera estructura era insuficiente, por lo que no fue posible obtener de manera suficiente la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la deformabilidad plástica y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento.

10 Por otra parte, en los ejemplos de invención dentro del ámbito de la presente invención, fue posible obtener la resistencia al pulverizado, la resistencia al astillamiento, la resistencia al agarrotamiento, los resultados de las pruebas de flexión y la resistencia a la corrosión después del recubrimiento, que fueron todos excelentes. De la descripción anterior se puede entender que la lámina de acero enchapado es muy eficaz como material y como una lámina de acero para un automóvil sobre la que se realiza un moldeado extensivo.

15 La Figura 3 ilustra un cambio de temperatura (patrón térmico) de una lámina de acero enchapado al momento de la fabricación de la lámina de acero enchapado de la prueba n.º 16 que es un ejemplo de la invención y la Figura 4 ilustra una imagen de BSE de la lámina de acero enchapado de la prueba n.º 16. La Figura 5 ilustra una imagen de BSE de la lámina de acero enchapado de la prueba n.º 91 que es el ejemplo de la invención. Como se ilustra en la Figura 4 y la Figura 5, en cada una de la prueba n.º 16, en la que la concentración de Al de la capa de enchapado es de 22%, y 20 la prueba n.º 91, en la que la concentración de Al de la capa de enchapado es de 40%, la primera estructura 11, la estructura eutectoide 14 y las fases de Zn 15 existen en las fracciones de área apropiadas, y la segunda estructura 12 y la tercera estructura 13 están incluidas en la primera estructura 11, de manera similar a la realización ilustrada en la Figura 1.

25 La Figura 6 ilustra un cambio de temperatura (patrón térmico) de una lámina de acero enchapado al momento de la fabricación de la lámina de acero enchapado de la prueba n.º 20 que es un ejemplo comparativo y la Figura 7 ilustra una imagen de BSE de la lámina de acero enchapado de la prueba n.º 20. Como se ilustra en la Figura 7, la primera estructura 11 no existe y la fracción de área de las fases de Zn 15 era elevada.

Aplicabilidad industrial

30 La presente invención puede ser utilizada en la industria relacionada con una lámina de acero enchapado adecuado para un panel exterior de un automóvil, por ejemplo.

REIVINDICACIONES

1. Una lámina de acero, que comprende

una capa de enchapado a base de Zn que contiene Al sobre al menos una parte de una superficie de una lámina de acero enchapado, en donde:

5 una composición química promedio de la capa de enchapado y una capa de compuesto intermetálico entre la capa de enchapado y la lámina de acero se representa, en términos de % de masa, por Al: de 10% a 40%, Si: de 0.05% a 4%, Mg: de 0% a 5%, y el resto: Zn e impurezas;

la capa de enchapado incluye:

10 una primera estructura constituida por fases de Al que contienen Zn en solución sólida y fases de Zn dispersas en las fases de Al y que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 25% a 50%, Zn: de 50% a 75%, e impurezas: menos del 2%; y

una estructura eutectoide constituida por fases de Al y fases de Zn y que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 10% a 24%, Zn: de 76% a 90%, e impurezas: menos del 2%;

15 en un corte transversal de la capa de enchapado, una fracción de área de la primera estructura es de 5% a 40%, y una fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es de 50% o más;

un área de fracción de fases de Zn, que son estructuras que contienen 90% o más de Zn, contenidas en la capa de enchapado es de 25% o menos;

20 una fracción de área total de fases de compuesto intermetálico contenidas en la capa de enchapado es de 9% o menos; y

un espesor de la capa de compuesto intermetálico es de 2 μm o menos.

2. La lámina de acero enchapado según la reivindicación 1, en donde una densidad en número de la primera estructura en una superficie de la capa de enchapado es de 1.6 piezas/cm² a 25.0 piezas/cm².

3. La lámina de acero enchapado según la reivindicación 1 o 2, en donde la primera estructura incluye:

25 una segunda estructura que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 37% a 50%, Zn: de 50% a 63%, e impurezas: menos del 2%; y

una tercera estructura que tiene una composición química promedio representada, en términos de % de masa, por Al: de 25% a 36%, Zn: de 64% a 75%, e impurezas: menos del 2%.

30 4. La lámina de acero enchapado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la composición química promedio de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico se representa, en términos de % de masa, por Al: de 20% a 40%, Si: de 0.05% a 2.5%, Mg: de 0% a 2%, y el saldo: Zn e impurezas.

5. La lámina de acero enchapado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el espesor de la capa de compuesto intermetálico es de 100 nm a 1000 nm.

35 6. La lámina de acero enchapado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde en la sección de corte transversal de la capa de enchapado, la fracción de área de la primera estructura es de 20% a 40%, la fracción de área de la estructura eutectoide es de 50% a 70% y la fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es de 90% o más.

40 7. La lámina de acero enchapado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde en la sección de corte transversal de la capa de enchapado, la fracción de área de la primera estructura es de 30% a 40%, la fracción de área de la estructura eutectoide es de 55% a 65% y la fracción de área total de la primera estructura y la estructura eutectoide es de 95% o más.

8. La lámina de acero enchapado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde:

en la composición química promedio de la capa de enchapado y la capa de compuesto intermetálico, la concentración de Mg es de 0.05% a 5%;

45 cuando la concentración de Mg se fija en % de Mg y la concentración de Si se fija en % de Si, se satisface la relación "% de Mg \leq 2 x % de Si"; y

un cristal de Mg₂ que existe en la capa de enchapado es de 2 μm en términos de diámetro equivalente circular máximo.

9. La lámina de acero enchapado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde una fracción de volumen de las fases de F_n contenidas en la capa de enchapado es de 20% o menos.

FIG. 1

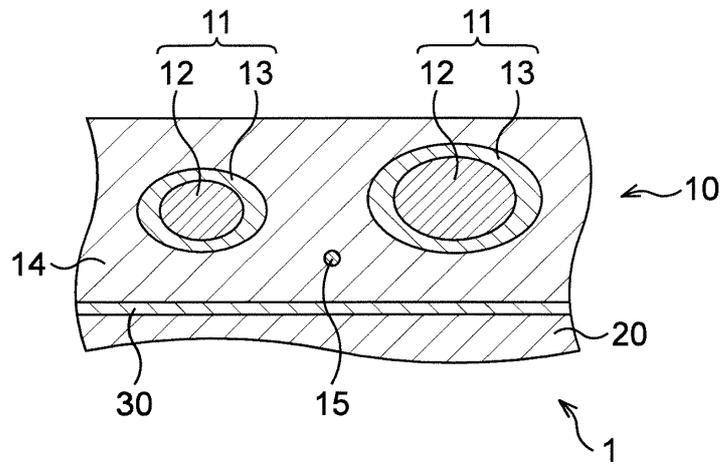


FIG. 2A

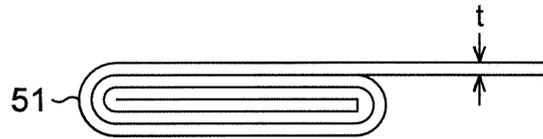


FIG. 2B

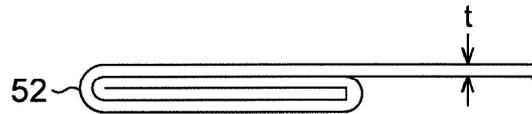


FIG. 2C

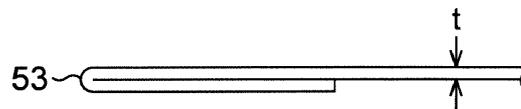


FIG. 3

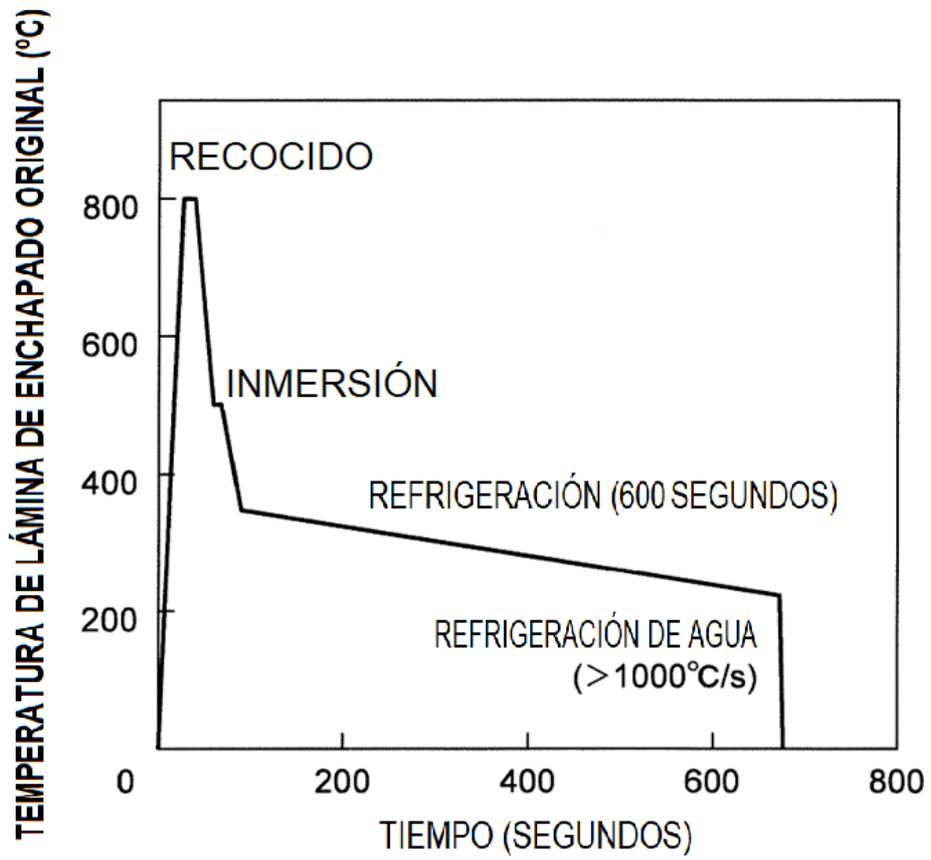


FIG. 4

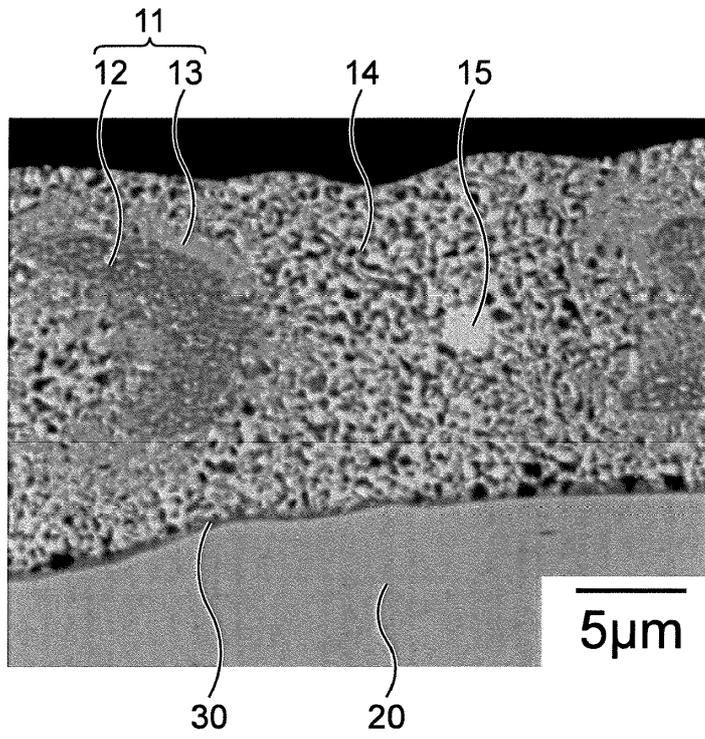


FIG. 5

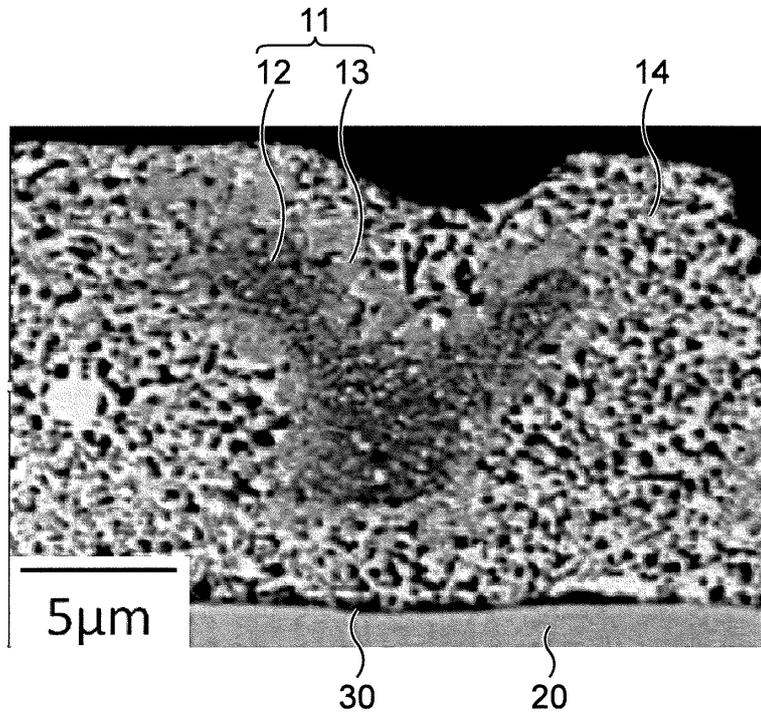


FIG. 6

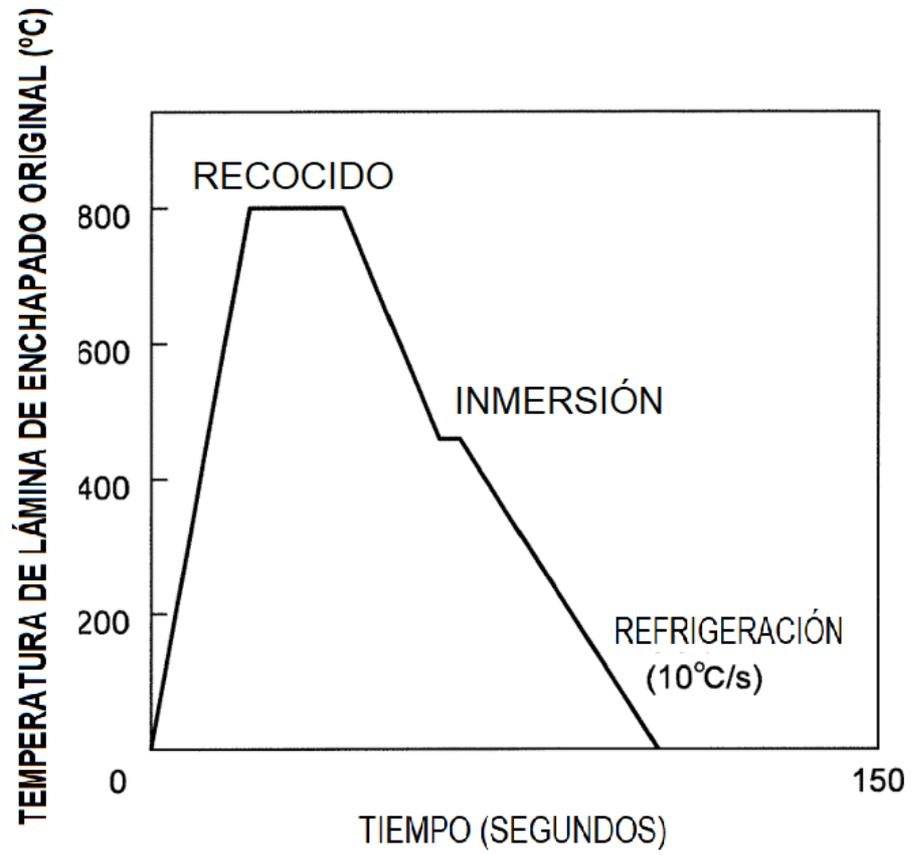


FIG. 7

