

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 965 770**

51 Int. Cl.:

|                   |           |                   |           |
|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| <b>B21D 22/20</b> | (2006.01) | <b>C21D 9/46</b>  | (2006.01) |
| <b>C23C 2/12</b>  | (2006.01) | <b>C22C 38/08</b> | (2006.01) |
| <b>C23C 2/28</b>  | (2006.01) |                   |           |
| <b>C23C 2/40</b>  | (2006.01) |                   |           |
| <b>C23C 28/02</b> | (2006.01) |                   |           |
| <b>B21D 22/02</b> | (2006.01) |                   |           |
| <b>C22C 38/02</b> | (2006.01) |                   |           |
| <b>C22C 38/06</b> | (2006.01) |                   |           |
| <b>C22C 38/24</b> | (2006.01) |                   |           |
| <b>C21D 7/13</b>  | (2006.01) |                   |           |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.12.2018 PCT/CN2018/124145**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2019 WO19205698**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2018 E 18915788 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2023 EP 3611288**

54 Título: **Componente estampado en caliente, placa de acero pre-revestida para estampado en caliente y proceso de estampado en caliente**

30 Prioridad:  
**28.04.2018 CN 201810401259**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.04.2024**

73 Titular/es:  
**IRONOVATION MATERIALS TECHNOLOGY CO., LTD. (100.0%)  
B-1203, No. 388 Ruoshui Road, Suzhou  
Jiangsu 215000, CN**

72 Inventor/es:  
**YL. HONGLIANG;  
CHANG, ZHIYUAN;  
LIU, ZHAOYUAN;  
YANG, DAPENG y  
XIONG, XIAOCHUAN**

74 Agente/Representante:  
**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

Observaciones:

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

ES 2 965 770 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

Componente estampado en caliente, placa de acero pre-revestida para estampado en caliente y proceso de estampado en caliente

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un proceso de estampación en caliente.

Antecedentes de la técnica

10 En los últimos años, debido a la urgente necesidad de conservación de energía, protección del medio ambiente y mejora de la seguridad de los vehículos, el aligeramiento y la seguridad de los automóviles se han convertido en el foco de atención y trabajo de la industria automotriz. El acero de ultra alta resistencia puede lograr una reducción de peso debido a sus excelentes propiedades de resistencia, logrando de este modo el objetivo de aligerar el peso. Sin embargo, la fabricación de piezas de acero de alta resistencia es difícil de lograr mediante la estampación en frío convencional. En este caso surgió la tecnología de estampación en caliente.

15 En el proceso de estampación en caliente, cuando la lámina desnuda se conforma mediante estampación, se calienta bajo una atmósfera protectora como nitrógeno o argón para evitar incrustaciones de óxido y descarburación, pero la oxidación es inevitable durante la transferencia y la conformación. La incrustación de óxido afectará el estado de la zona de contacto entre el material de la lámina y la matriz, lo que no solo reduce el coeficiente de transferencia de calor de contacto entre la matriz y el material de la lámina, sino que también aumenta el coeficiente de fricción entre la lámina de acero y la matriz. Durante la estampación, las incrustaciones de óxido desprendidas desgastarán la superficie de la matriz, afectando la calidad de conformación de la pieza y la vida útil de la matriz. Más importante aún, es necesario eliminar la capa de óxido antes de entrar en el montaje y pintado del automóvil. Por lo tanto, el componente estampado en caliente de la lámina desnuda debe granallarse o decaparse para eliminar la capa de óxido y luego se ensambla y pinta el automóvil. Esto no sólo aumenta en gran medida el coste de la estampación en caliente, sino que también el granallado provoca la deformación debido a la liberación de la tensión residual de la pieza, lo que resulta en una disminución en la precisión del ensamblaje del automóvil; el tratamiento de decapado provoca graves problemas medioambientales y aumenta el riesgo de fragilización del componente inducida por hidrógeno. Al mismo tiempo, generalmente se requiere que las piezas de automóviles tengan un cierto grado de resistencia a la corrosión. Por lo tanto, el desarrollo de láminas de acero recubiertas para estampación en caliente se ha convertido en una necesidad urgente para el desarrollo de la tecnología de estampación en caliente. En la actualidad, los recubrimientos desarrollados a nivel mundial incluyen principalmente recubrimientos de zinc puro (GI), aleación de zinc-hierro (GA), aluminio-silicio galvanizado por inmersión en caliente (Zn-Al-Si) y aluminio-silicio (Al-Si) y similares. Entre estos, para el acero para estampación en caliente, se utiliza ampliamente un recubrimiento de aluminio y silicio resistente a altas temperaturas. El recubrimiento de Al-Si puede evitar eficazmente la oxidación y descarburación de la superficie de la lámina de acero, omitiendo el proceso de granallado y chorro de arena, y también mejora la resistencia a la corrosión. El recubrimiento fue propuesto por primera vez por ArcelorMittal y se aplicó con éxito a láminas de acero industriales. La composición habitual de la aleación (porcentaje en masa) es: 87% de Al-10% de Si-3% de Fe.

20 Para cumplir con los cada vez más estrictos requisitos de seguridad en caso de colisión y de peso ligero de los automóviles, se han desarrollado aceros para estampación en caliente de mayor calidad. Sin embargo, a medida que aumenta la resistencia del material, su plasticidad y tenacidad disminuyen de manera acorde. Uno de los métodos más habituales para detectar la plasticidad y tenacidad de los materiales es el ensayo de flexión estática en tres puntos (norma VDA-238). El énfasis y la dificultad de la investigación es cómo mejorar el ángulo de flexión (ángulo de flexión máximo) del material bajo el estado de carga máxima.

25 Para el acero para estampación en caliente, se sabe que la lámina desnuda presenta una determinada capa de descarburación en su superficie tras la estampación en caliente, por lo que su ángulo máximo de flexión es mayor que el de la lámina recubierta de aluminio-silicio del mismo material base y de la misma especificación. Es decir, la tensión máxima de fractura de la lámina desnuda después de la estampación en caliente es relativamente alta (en comparación con la lámina recubierta de aluminio-silicio), mejorando de este modo la resistencia al fallo por agrietamiento localizado de la pieza durante un accidente. Sin embargo, considerando toda la cadena industrial, las láminas recubiertas de aluminio y silicio son más propicias para la producción y fabricación de piezas de carrocería de automóviles. Por lo tanto, es especialmente importante estudiar el proceso de recubrimiento y el proceso de conformado de la lámina de acero para mejorar la tensión máxima de fractura después de la estampación en caliente de la lámina recubierta de aluminio y silicio mientras se desarrolla un acero para estampación en caliente de mayor calidad.

30 El documento CN101583486B (de aquí en adelante denominado Documento de Patente 1) proporciona un producto de lámina de acero recubierta por estampación en caliente y un método para preparar el mismo.

35 El documento WO2009090443A1 describe un proceso para fabricar un producto de lámina de acero recubierta estampada en caliente, que comprende las etapas de pre-recubrir una tira o lámina de acero con aluminio o aleación de aluminio, cortar dicha tira o lámina de acero pre-recubierta para obtener una pieza en bruto de acero pre-recubierta, calentar la pieza en bruto en un horno precalentado a una temperatura y durante un tiempo definido por diagrama de acuerdo con el espesor. Esto se realiza a una velocidad de calentamiento  $V_c$  entre 20 y 700°C, entre 4 y 12°C/s y a

una velocidad de calentamiento  $V_c'$  entre 500 y 700°C, entre 1,5 y 6°C/s, para obtener una pieza en bruto calentada. Luego, transferir dicha pieza en bruto calentada a una matriz, estampar en caliente la pieza en bruto calentada en la matriz para obtener un producto de lámina de acero estampada en caliente, enfriar a una velocidad media  $V_r$  entre la salida de la pieza en bruto calentada del horno, hasta 400°C de al menos 30°C/s. En los documentos CN 106 466697-A y W02008/053273-A1 se describen métodos similares para fabricar láminas de acero recubiertas estampadas en caliente.

El documento EP2377965A2 describe una lámina de acero recubierta, un producto conformado por prensa en caliente usando la lámina de acero y un método de producción del mismo. Las condiciones para el baño de recubrimiento por inmersión en caliente se optimizan cuando se produce una lámina de acero recubierta de aluminio usando una lámina de acero laminada en caliente o una lámina de acero laminada en frío, y los procesos se controlan durante la producción de un producto conformado por prensado en caliente a partir de la lámina de acero, conformando de este modo una capa de recubrimiento que tiene una alta proporción de capa de compuesto (Fe<sub>3</sub>Al+FeAl) sobre la superficie de la lámina de acero. En los casos en los que la capa de compuesto (Fe<sub>3</sub>Al+FeAl) tiene una relación de ocupación apropiada con respecto a todo el espesor de la capa de recubrimiento, se puede lograr una buena resistencia contra las grietas y la corrosión para mejorar la resistencia a la corrosión local del producto conformado por prensa en caliente, concretamente, una resistencia a la corrosión por picaduras. Por lo tanto, se pueden producir productos conformados por prensado en caliente de alta calidad con alta productividad y menores costes.

El documento EP2851440A1 describe un acero para conformación en caliente. El acero para conformación en caliente tiene la siguiente composición en % en peso: de C: 0,10-0,25, de Mn: 1,4-2,8, de Si: ≤1,0, de Cr: ≤1,0, de Ti: ≤0,05, de Nb: ≤0,05, de V: ≤0,1, de Mo: ≤0,1, de Al: ≤0,05, de P: ≤0,02, de S: ≤0,005, de Ca: ≤0,005, de O: ≤0,01, de N: ≤0,02, de B: ≤0,0004, siendo el resto hierro e impurezas inevitables.

GUI ZHONGXIANG ET AL, "Mejora de la ductilidad del recubrimiento de Al-Si en acero para estampación en caliente mediante el control de la transformación de fase Fe-Al durante la austenitización", SCIENCE CHINA TECHNOLOGICAL SCIENCES, SCIENCE CHINA PRESS, HEIDELBERG, vol. 57, núm. 9, páginas 1785-1793, describe un estudio en el que el tratamiento térmico de austenización antes de la estampación en caliente de acero al boro recubierto de Al-10% de Si se investiga por primera vez mediante microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM) equipada con análisis de rayos X de energía dispersiva (EDAX). La capa de recubrimiento en condiciones de inmersión en caliente consta de una matriz eutéctica de Al-Si, Fe<sub>2</sub>Al<sub>7</sub>Si, Fe<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, desde la superficie del recubrimiento hasta el sustrato de acero. Durante la austenitización, los intermetálicos Fe-Al ricos en Al en el recubrimiento se transforman en intermetálicos más ricos en Fe, promovidos por el proceso de difusión de Fe. El recubrimiento finalmente muestra la coexistencia de dos tipos de intermetálicos Fe-Al, a saber, FeAl<sub>2</sub> y FeAl. El acero desnudo expuesto entre los segmentos separados del recubrimiento se oxida y se cubre con una fina capa de FeO x. La aparición del óxido disminuye la adherencia del recubrimiento de Al-Si. Se ha comprobado que es preferible el FeAl dúctil como microestructura de recubrimiento en lugar del frágil FeAl<sub>2</sub>. Por lo tanto, la ductilidad del recubrimiento de Al-Si sobre acero al boro para estampación en caliente podría mejorarse controlando las transformaciones de fase intermetálica rica en Fe dúctil dentro del mismo durante la austenitización.

"Formación de fases intermetálicas en láminas de 22MnB5 recubiertas de Al y estampadas en caliente en términos de espesor de recubrimiento y contenido de Si", Windmann et al., Surface & Coatings Technology 246 (2014) 17-25 describe recubrimientos de AlSiFe con diferentes espesores y contenidos de Si, que se aplicaron a láminas de acero mediante inmersión en caliente. Las láminas de acero se austenizaron a  $T_{Aus}=920^{\circ}\text{C}$  durante diferentes tiempos de permanencia y luego se enfriaron en agua. La formación de fases en función del espesor del recubrimiento y el contenido de Si en la zona de contacto del sustrato de acero/recubrimiento es investigado mediante análisis de fase ex situ con radiación de sincrotrón y mediante difracción de retrodispersión de electrones (EBSD). Las investigaciones de difracción de rayos X (XRD) y EBSD confirmaron la formación de intermetálicos ricos en AlFe en la zona de contacto del acero/recubrimiento como resultado de una fuerte difusión de los elementos de Al y Fe. La difusión de Fe en los recubrimientos a base de Al parcialmente fundidos promueve la formación de intermetálicos del tipo Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si, Al<sub>13</sub>Fe<sub>4</sub> y Al<sub>5</sub>Fe<sub>2</sub>. Después de que el recubrimiento se haya transformado completamente en intermetálicos Al-Fe, la difusión de Al en el sustrato de acero se vuelve más pronunciada, reduciendo de este modo el contenido de Al en los intermetálicos Al-Fe y promoviendo la formación de las fases de tipo Al<sub>2</sub>Fe y AlFe en el recubrimiento y la formación de una capa bcc rica en Al en el sustrato de acero. La cinética de transformación de los intermetálicos ricos en Al-Fe resultantes está influenciada por el espesor del recubrimiento y la composición química del recubrimiento a base de Al. Por un lado, una saturación más rápida de Fe en el recubrimiento a base de Al se ve favorecida por un recorrido de difusión más corto y, por lo tanto, por un espesor de recubrimiento más delgado. Por lo demás, el Si influye en la difusividad de los elementos Al y Fe en los intermetálicos ricos en Al y Fe y promueve la formación de intermetálicos más ricos en Si, que luego actúan como núcleos para los intermetálicos más ricos en Fe.

"Investigación metalúrgica sobre la soldabilidad del acero al boro recubierto de aluminio y silicio con diferentes espesores de recubrimiento". Alden, Rickard, KTH Materials Science and Engineering (2015) describe acero al boro recubierto de aluminio y silicio prensado en caliente, que se utiliza en la industria automotriz donde la alta resistencia a la tracción es de gran importancia. Después del prensado en caliente, el acero AlSi-boro muestra excelentes propiedades con alta resistencia a la tracción, mínima recuperación elástica y también muestra una buena protección contra la corrosión. Un espesor del recubrimiento de AlSi de 150[g/m<sup>2</sup>] para acero al boro recubierto de AlSi se utiliza

normalmente en la industria automovilística actual, aunque sería deseable minimizar el espesor del recubrimiento a 80[g/m<sup>2</sup>].

“Propiedades de los aceros recubiertos de aluminio para conformado en caliente”, Suehiro et al., Nippon Steel Technical Report No. 88 de julio de 2003 describe una producción de piezas con alta resistencia mediante un proceso de conformado en caliente. Se investiga la aplicación de acero aluminizado con buena templabilidad para este proceso. Se obtuvo una resistencia a la tracción superior a 1.500MPa con acero que contenía alrededor de 0,2% en masa de C. La capa recubierta de la superficie cambió de fases de Al-10% de Si a Fe-Al(-Si) mediante el proceso de conformado en caliente. El acero con capa superficial de Fe-Al(-Si) mostró buena capacidad de ser pintado incluso sin tratamiento fosfatado. Después del pintado, mostraron buena resistencia a la corrosión. El acero mostró buena soldabilidad por puntos debido a la capa superficial estable a alta temperatura.

El documento JP 2010018860A describe una lámina de acero chapada para prensado en caliente que incluye una capa de chapado de Al aplicada a la superficie de una lámina de acero y una capa de aleación de Fe-Al ubicada entre la capa de chapado de Al y la lámina de acero, en donde el espesor de la capa de chapado de Al es 3 a 10µm, el espesor de la capa de aleación Fe-Al es ≥6µm, el total del espesor de la capa de chapado de Al y el espesor de la capa de aleación Fe-Al es de 10 a 30µm, y la rugosidad media Ra de la línea central del límite entre la capa de chapado de Al y la capa de aleación de Fe-Al es de 0,6 a 3µm. En el método de producción, el calentamiento se realiza dentro de un horno de recocido de caja en una atmósfera que contiene ≥3% en volumen de oxígeno en condiciones que satisfacen la temperatura: 450 a 600°C, la temperatura de retención: 1 a 50hr y el valor de temperatura acumulada: 450 a 20.000°Cxtiempo.

La lámina de acero recubierta para estampación en caliente utilizada en el Documento de Patente 1 tiene un espesor de pre-recubrimiento de 20 a 33µm, y en la industria se usa generalmente un pre-recubrimiento que tiene un espesor de 25µm. Después de la estampación en caliente, el componente se cubre con una capa de 30-40µm. Como se muestra en la figura 9, el recubrimiento tiene una estructura de 4 capas, y la microestructura desde la capa más externa hasta el sustrato es: capa superficial distribuida de manera continua que contiene óxido de Al y fase frágil Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> (espesor: aproximadamente 7µm, valor de dureza HV10gf: 900 a 1000, promedio composición: 39 a 47% de Fe, 53 a 61% de Al, 0 a 2% de Si), capa de compuesto intermetálico FeAl (espesor: aproximadamente 8µm, valor de dureza HV10gf: 580 a 650, composición promedio: 62 a 67% de Fe, 30 hasta 34% de Al, 2 a 6% de Si), capa intermedia que contiene fase frágil Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> (espesor: aproximadamente 8µm, valor de dureza HV10gf: 900 a 1000, composición promedio: 39 a 47% de Fe, 53 a 61% de Al, 0 a 2% de Si), una capa de interdifusión (fase α-Fe rica en Al o Si) o una capa de compuesto intermetálico FeAl (espesor: aproximadamente 17µm, valor de dureza HV10gf: 295 a 407, composición promedio: 86 a 95% de Fe, 4 a 10% de Al, 0 a 5% de Si).

El Documento de Patente 1 describe que cuando el espesor del pre-recubrimiento es inferior a 20µm, la capa de aleación formada tiene una rugosidad insuficiente, de modo que en el proceso de pintado posterior la adhesión de la pintura sobre la superficie es baja. Sin embargo, los inventores de la presente solicitud comprobaron que la rugosidad superficial de la capa de aleación no está determinada por el espesor y la estructura de la capa de aleación, y que se produce una gran rugosidad superficial siempre que el pre-recubrimiento se licue durante el calentamiento. Por otro lado, la alegación en el Documento de Patente 1 de que la adhesión de la pintura a la superficie requiere una gran rugosidad se debe a que la capa más externa después de la aleación descrita en el Documento de Patente 1 es un compuesto intermetálico de Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> sobre el cual la pintura no se adhiere fácilmente, por lo tanto se requiere una gran rugosidad. Por el contrario, si la estructura del recubrimiento más externo cambia y ya no es Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, la necesidad de pintado ya no tiene por qué requerir la rugosidad superficial considerada en el Documento de Patente 1.

Por otro lado, cuando el espesor del pre-recubrimiento es superior a 33µm, la diferencia de espesor del pre-recubrimiento entre diferentes zonas de la superficie de la pieza en bruto de lámina de acero puede ser excesivamente grande, y la aleación del recubrimiento es desigual cuando la pieza en bruto se calienta. Esto se debe principalmente a que cierto espesor del pre-recubrimiento local excede el espesor promedio del pre-recubrimiento, por lo que la distancia o grado de difusión del elemento entre el sustrato y el pre-recubrimiento de metal es considerablemente menor que el valor promedio, lo que resulta en una aleación insuficiente entre los metales e incluso la fusión del pre-recubrimiento, por lo que se forman incrustaciones en los rodillos del horno, lo que es más probable que ocurra a velocidades de calentamiento más altas.

Además, en el proceso de estampación en caliente del Documento de Patente 1, como se muestra en la figura 10, el acero recubierto que tiene un espesor de 0,7mm a 1,5mm se calienta en el rango de 880 a 930°C, y el tiempo de calentamiento se controla entre 2,5min y 12min, preferiblemente a 930°C durante 3min a 6min, y a 880°C durante 4min a 13min. Para el acero recubierto que tiene un espesor de 1,5mm a 3mm, el calentamiento se lleva a cabo en el rango de 900 a 940°C, y el tiempo de calentamiento se controla entre 4,5min y 13min, preferiblemente a 940°C durante 4min a 8min y a 900°C durante 6,5min a 13min, en donde la velocidad de calentamiento entre 200 y 700°C es de 4 a 12°C/s, y después de ser estampado por una matriz, se enfría a una velocidad de enfriamiento de al menos 30°C/s.

Sin embargo, la técnica del Documento de Patente 1 tiene los siguientes problemas.

En primer lugar, se ha comprobado en el proceso de producción real que la lámina de acero recubierta por estampación en caliente del Documento de Patente 1 tiene un problema de que el rendimiento de flexión en frío (la tenacidad a la flexión de acuerdo con la norma VDA-238) es bajo después de la estampación en caliente.

5 El rendimiento de flexión en frío es una propiedad que caracteriza la capacidad de un material metálico para soportar cargas de flexión sin romperse a temperatura ambiente, y puede reflejar bien la capacidad de deformación plástica de la ubicación flexionada de la pieza de prueba. Su modo de deformación es similar al modo de fallo de un componente de un automóvil durante un accidente. Por lo tanto, para la lámina de acero para estampación en caliente, su rendimiento de flexión en frío es extremadamente importante. Generalmente, la seguridad contra accidentes de materiales automotrices se evalúa examinando el ángulo de flexión de tres puntos del material bajo la carga de flexión máxima, que refleja la magnitud de la tensión por fallo por fractura en condiciones de tensión plana. La prueba de flexión en tres puntos, de acuerdo con la norma de prueba VDA238-100 emitida por Verband der Automobilindustrie (VDA), mostró que el ángulo máximo de flexión de un componente conformado obtenido sobre un acero para estampación en caliente que tiene un pre-recubrimiento de 25µm es generalmente de 35 a 55°, lo que es inferior al límite inferior de los requisitos de algunos fabricantes de automóviles, lo que genera el riesgo de agrietamiento prematuro en condiciones de flexión. En caso de accidente, se requiere que los componentes del automóvil tengan una buena capacidad de absorción de energía, especialmente en caso de impacto lateral, por lo que no se permite una absorción de energía insuficiente inducida por grietas prematuras.

Además, la lámina de acero recubierta para estampación en caliente del Documento de Patente 1, después de la estampación en caliente, también tiene un problema de empeorar el electrodo de soldadura y acelerar el desgaste de la matriz de estampación. Por ejemplo, cuando el espesor medio del pre-recubrimiento descrito en el Documento de Patente 1 es de aproximadamente 25µm, después de la estampación en caliente, la capa superficial de la lámina de acero recubierta es principalmente una fase frágil de Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> que tiene un espesor de 7µm o más, y el valor de dureza promedio de la misma es tan alto como 850 a 1000HV10gf. La alta dureza de la capa superficial acelerará el desgaste de la matriz de estampación. Cuando se suelda la lámina de acero, la vida útil del electrodo de soldadura se deteriorará, que es sólo aproximadamente 1/4 de la de la lámina sin recubrir.

En segundo lugar, el espesor de pre-recubrimiento relativamente grande sobre la lámina de acero recubierta por estampación en caliente en el Documento de Patente 1 lleva a una baja eficiencia de producción del recubrimiento por inmersión en caliente, un alto coste de aleación y una baja eficiencia de calentamiento durante la estampación en caliente.

30 Específicamente, el pre-recubrimiento del Documento de Patente 1 tiene un espesor de 20 a 33µm, y es preferiblemente de 25µm en la producción industrial real. Cuando la temperatura de inmersión en caliente es constante, el espesor del pre-recubrimiento aumenta a medida que aumenta el tiempo de inmersión en caliente y esta relación sigue la ley parabólica. Por lo tanto, cuanto más espeso sea el pre-recubrimiento, mayor será el tiempo de inmersión en caliente, menor será la eficiencia y mayor será el coste de producción. Además, desde la perspectiva del coste de la aleación, cuanto más espeso es el pre-recubrimiento, mayor es la cantidad de aleación consumida y mayor será el coste de la aleación. Además, el propio pre-recubrimiento tiene reflectividad térmica y, durante la estampación en caliente, cuanto más espeso es el pre-recubrimiento, menor es la eficiencia de calentamiento.

Nuevamente, el proceso de estampación en caliente del Documento de Patente 1 tiene un problema de que la eficiencia del calentamiento es baja.

40 Específicamente, el método utiliza principalmente un dispositivo de calentamiento convencional para calentar la lámina de acero pre-recubierta. En un horno de calentamiento convencional, el calentamiento se realiza principalmente mediante radiación y convección de calor, y el Documento de Patente 1 establece la temperatura del horno y el tiempo de calentamiento de acuerdo con el espesor de la lámina de acero y la temperatura de austenización. Generalmente, después de calentarse a una temperatura de 50 a 100°C superior a la temperatura de austenización de equilibrio, es decir, de 880 a 940°C, es necesario mantenerla durante un período adicional de tiempo para garantizar una austenización completa, uniformidad de tamaño de grano y distribución de elementos. Sin embargo, de acuerdo con la fórmula clásica de conducción de calor  $\Phi=KA \Delta T$  (donde  $\Phi$ : flujo de calor, K: conductividad térmica total, A: área de transferencia de calor,  $\Delta T$ : diferencia de temperatura), es conocido que cuanto mayor es la diferencia de temperatura, mayor es la eficiencia de transferencia de calor, en el caso de que la conductividad térmica y el área de transferencia de calor sean constantes. Para el proceso de calentamiento del Documento de Patente 1, debido a que la temperatura establecida del horno es sólo superior a la temperatura de austenización de equilibrio por 50 a 100°, cuando la temperatura de la superficie de la lámina de acero se aproxima o alcanza la temperatura establecida del horno, la temperatura interna de la lámina de acero no alcanza seguramente la temperatura establecida en el horno. Además, debido a que la diferencia de temperatura es demasiado pequeña, la eficiencia de transferencia de calor se reduce considerablemente y es necesario mantener la lámina de acero durante más tiempo para lograr una austenización completa. Sin embargo, si el tiempo de espera es demasiado largo, puede provocar un crecimiento anormal de algunos granos.

Además, como en el Documento de Patente 1 el pre-recubrimiento tiene un gran espesor de 20 a 33µm, esta patente no solo define la velocidad de calentamiento en la primera etapa de calentamiento, es decir, la velocidad de calentamiento en la etapa de 200 a 700°C es de 4 a 12°C/s y también define un tiempo de mantenimiento más largo.

Además de cumplir la austenización del sustrato, el propósito del mismo es más hacer que el pre-recubrimiento esté completamente aleado para formar una capa de aleación de 4 capas, para evitar el problema de la formación de incrustaciones en los rodillos del horno debido a una aleación insuficiente entre el sustrato y el pre-recubrimiento del metal, garantizando al mismo tiempo los requisitos de soldadura.

- 5 De hecho, en la producción real, cuando se lleva a cabo la estampación en caliente de acuerdo con el método proporcionado en el Documento de Patente 1, se comprueba que un pre-recubrimiento espeso y un único proceso de calentamiento fijo son propensos a problemas de aleación insuficiente, lo que finalmente lleva a la formación de incrustaciones en los rodillos del horno. En este caso, el fabricante del componente estampado en caliente debe reemplazar periódicamente los rodillos del horno. En términos de costes, debido al elevado precio del rodillo del horno, los costes de producción aumentan considerablemente; en términos de calidad, la calidad del producto se degrada, lo que resulta en un aumento en la proporción de productos defectuosos, lo que también trae consigo un aumento en los costes de producción.

#### Resumen de la invención

- 15 Un objeto de la presente invención es proporcionar un proceso de estampación en caliente capaz de obtener un componente estampado en caliente que tenga una tenacidad a la flexión VDA mejorada.

El objetivo se resuelve mediante la materia de la reivindicación 1.

- 20 Hay muchos factores que afectan a los resultados de la prueba de rendimiento de flexión en frío. Excepto por la dirección de la muestra de flexión en frío (la dirección longitudinal es paralela a la dirección de laminación y la dirección transversal es perpendicular a la dirección de laminación) que tiene una influencia importante en los resultados de la prueba de rendimiento de flexión en frío, la velocidad de la prueba de flexión en frío, la distancia entre los rodillos de soporte, el ancho de la pieza de prueba y el diámetro del centro de flexión tienen diferentes efectos en los resultados de la prueba de rendimiento de flexión en frío. Sin embargo, todos estos factores están especificados en las normas de inspección técnica y también deben seguirse. Por ejemplo, el estándar VDA238-100 emitido por VDA especifica el tamaño y la duración de la muestra de flexión en frío. Por lo tanto, es importante analizar y comentar otros factores que influyen en los resultados de la prueba de flexión en frío (recubrimiento de la superficie, capa de descarbonización y estructura de la muestra, etc.).

- 30 En una lámina de acero pre-recubierta convencional que tiene un pre-recubrimiento de 25µm, durante el proceso de austenización y calentamiento por estampación en caliente, los átomos de Fe en el sustrato se difunden hacia el pre-recubrimiento y el Al en el pre-recubrimiento se difunde hacia el sustrato, y el límite del sustrato/recubrimiento se moverá hacia el lado del sustrato. Después de una intensa investigación, los inventores comprobaron que a medida que se mueve el límite entre el sustrato y el recubrimiento, los átomos de C en el sustrato se difundirán; y debido a que la solubilidad de los átomos de C en el sustrato (es una austenita con alta solubilidad saturada de C cuando se calienta) es extremadamente alta, y la solubilidad de los átomos de C en el recubrimiento (ferrita que contiene aluminio y/o compuesto de hierro-aluminio) es extremadamente baja, el átomo de C difícilmente puede difundirse hacia el lado del recubrimiento y debe acumularse cerca del límite entre el sustrato y el recubrimiento (en el lado del sustrato), formando una zona diferenciada rica en C. Después de la estampación en caliente y el enfriamiento, la zona rica en C formará una estructura de martensita con un alto contenido en C, que es muy frágil, de modo que cuando se flexiona la lámina de acero, el fallo por agrietamiento ocurre primero en la zona de martensita frágil rica en C, de modo que se reduce la tenacidad a la flexión VDA. Por lo tanto, los inventores se han dado cuenta de que el gran avance para resolver la debilidad del rendimiento de VDA en el estado de la técnica es reducir el grado de enriquecimiento de C mejorando el recubrimiento o la relación entre el recubrimiento y el sustrato, y reducir aún más la fragilidad de la martensita en la zona.

- 45 De acuerdo con un ejemplo que no forma parte de la invención, se proporciona un componente estampado en caliente, en donde el componente estampado en caliente está provisto de un recubrimiento de aluminio o una aleación de aluminio en al menos una superficie del acero base, el recubrimiento es producido por interdifusión entre el acero base y un pre-recubrimiento de aluminio o aleación de aluminio, y el recubrimiento tiene un espesor de 6 a 26µm.

- 50 El espesor del recubrimiento se reduce en comparación con el estado de la técnica. Por lo tanto, el componente conformado se puede preparar usando una lámina de acero pre-recubierta que tenga un pre-recubrimiento relativamente delgado. Específicamente, el espesor del pre-recubrimiento se puede reducir de 3 a 19µm, preferiblemente de 5 a 18µm, y más preferiblemente de 12 a 18µm. El contenido total de elemento de Al en el pre-recubrimiento más delgado es relativamente pequeño, de modo que la cantidad total de interdifusión de Fe y Al se vuelve pequeña, lo que hace que el movimiento del límite del sustrato/recubrimiento hacia el lado del sustrato sea pequeño. Por consiguiente, el grado de acumulación de átomos de C cerca del límite entre el sustrato y el recubrimiento (en el lado del sustrato) es menor, y el grado de segregación de átomos de C del mismo se reduce considerablemente en comparación con el pre-recubrimiento que tiene un espesor de 20µm o más. Cuando se realiza la prueba de flexión de tres puntos (norma VDA238-100), en comparación con el componente conformado convencional con un espesor de recubrimiento de 30µm o más (correspondiente a un espesor de pre-recubrimiento de la lámina de acero pre-recubierta de 20µm o más), la tensión por rotura por fractura del componente conformado de acuerdo con el presente ejemplo mejora mucho y el ángulo de flexión máximo aumenta de 1 a 7°. Por ejemplo, en

el componente con un espesor de recubrimiento de 21 $\mu$ m (correspondiente al espesor de pre-recubrimiento de 14 $\mu$ m) de la lámina de acero del presente ejemplo, el ángulo de flexión máximo de acuerdo con la norma VDA es 4° mayor que en el componente actualmente aplicado con 34 $\mu$ m de espesor de recubrimiento (correspondiente al espesor del pre-recubrimiento de 25 $\mu$ m) en el estado de la técnica, de esta manera se puede mejorar considerablemente la tenacidad al impacto del componente estampado en caliente.

Además, el Documento de Patente 1 menciona que cuando el espesor del pre-recubrimiento es inferior a 20 $\mu$ m, la resistencia a la corrosión disminuye. Sin embargo, de hecho, el pre-recubrimiento se alea durante la estampación en caliente, y la capa más interna después del aleado (capa a en el Documento de Patente 1) es una estructura de hierro BCC en la que una gran cantidad de Al (y Si) está disuelta en forma sólida; las capas de aleación en el lado exterior son compuestos intermetálicos de Fe y Al (capas b, c y d en el Documento de Patente 1), y la dureza es tan alta como 650 a 1000HV, de modo que todas las capas de aleación son susceptibles de formar un gran número de microfisuras durante la estampación en caliente que penetran en la superficie a través de la capa de compuesto intermetálico en dirección profunda. Unos años después de la publicación del Documento de Patente 1, se descubrió este problema en la industria de la estampación en caliente y en la industria automotriz en todo el mundo. Estas microfisuras provocarán una disminución de la resistencia a la corrosión. Es decir, el punto de vista del Documento de Patente 1, de que la resistencia a la corrosión se mejora asegurando que tanto el espesor del pre-recubrimiento de la lámina de acero pre-recubierta como el espesor del recubrimiento del componente conformado sean espesos, no es sostenible. La resistencia a la corrosión del componente recubierto estampado en caliente es independiente del compuesto intermetálico de la capa de aleación y sólo está relacionada con la capa a del mismo. Por lo tanto, hay control de la formación de la capa a, y si las capas b, c y d existen o no, y cómo existen, no afectan la resistencia a la corrosión de los componentes recubiertos. Es decir, aunque se hace más delgado el espesor del recubrimiento del componente conformado, no disminuye su resistencia a la corrosión.

El recubrimiento se compone únicamente de una primera capa situada en un lado cercano al acero base, es decir, una capa más interna, y la primera capa es una capa de interdifusión que tiene un espesor de 6 a 14 $\mu$ m. La composición de la capa de interdifusión es  $\alpha$ -Fe que contiene Al y Si, en donde el contenido de Fe es del 70% en peso o más.

En este caso, la estructura de recubrimiento contiene sólo la capa de interdifusión. El espesor de la capa de interdifusión es superior a 6 $\mu$ m para asegurar la formación de una determinada capa de transición para evitar que la grieta se expanda hacia el sustrato; el espesor es inferior a 14 $\mu$ m para evitar un espesor total excesivamente alto de la capa de aleación, lo que dará como resultado una difusión excesiva de C y, por lo tanto, provocará un enriquecimiento de C.

Además, la capa de interdifusión es  $\alpha$ -Fe rica en Al y Si, es decir, Fe que tiene una estructura cristalina de cúbica centrada en el cuerpo (BCC), en donde el contenido de Fe es del 70% en peso o más. La primera capa mencionada anteriormente puede contener una fase de compuesto intermetálico de 20% o menos en volumen, como Fe<sub>3</sub>Al o similar. En la primera capa también es posible cubrir la cara exterior de la capa intermedia con una capa de FeAl con un espesor de 1 a 2 $\mu$ m. El valor de dureza HV10gf de la primera capa es de 220 a 410.

En el caso donde la estructura de recubrimiento contenga solo la capa intermedia, el lado exterior de la capa de interdifusión se cubre con un óxido de Al para garantizar que el  $\alpha$ -Fe de la capa no se oxide.

Como otro ejemplo que no forma parte de la invención, el recubrimiento se compone de la primera capa y una segunda capa, en donde la segunda capa está ubicada fuera de la primera capa, y la segunda capa tiene un espesor de 0-8 $\mu$ m. La estructura de la segunda capa es un compuesto intermetálico de Fe, Al y Si, en donde el contenido de Fe es del 30% al 47,9% en peso.

En este caso, la segunda capa está contenida en el lado exterior de la primera capa, y la segunda capa contiene fases de compuesto intermetálico frágiles continuas como Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> y FeAl<sub>3</sub>, y el valor de dureza HV10gf es de 800 a 960.

Como ejemplo adicional que no forma parte de la invención, el recubrimiento se compone de la primera capa, la segunda capa y una tercera capa, en donde la tercera capa está ubicada fuera de la segunda capa, y el espesor de la tercera capa es de 0 a 10 $\mu$ m, la estructura de la tercera capa es un compuesto intermetálico de Fe, Al y Si, en donde el contenido de Fe es del 48% al 69% en peso.

En este caso, la tercera capa está contenida en el lado exterior de la segunda capa, y la tercera capa es una fase FeAl o FeAl<sub>2</sub>, y también puede contener menos del 10% en peso de Si, y el valor de dureza HV10gf es de 400 a 630.

Como ejemplo adicional que no forma parte de la invención, el recubrimiento se compone de la primera capa, la segunda capa, la tercera capa y una capa superficial distribuida de manera discontinua, en donde la capa superficial está situada fuera de la tercera capa. La capa superficial tiene un espesor de 0 a 4 $\mu$ m, y la capa superficial comprende la estructura de segunda capa y la estructura de tercera capa, y la capa superficial contiene al menos el 30% de la estructura de tercera capa en volumen.

En este caso, la capa superficial distribuida de forma discontinua está presente en el lado exterior de la tercera capa, y el contenido de la estructura de la segunda capa (fase de compuesto intermetálico como  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ ,  $\text{FeAl}_3$ , etc.) en la capa superficial es menor al 70% y el valor de dureza HV10gf es de 650 a 850.

5 Es decir, el componente conformado tiene una capa superficial después de la estampación en caliente, pero está distribuida de forma discontinua y la dureza disminuye en comparación con una estructura de recubrimiento convencional que tiene una capa superficial distribuida de manera continua. La razón principal es que la capa superficial del recubrimiento convencional contiene  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  en más del 90%, mientras que la fase  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  tiene una dureza alta, en donde el valor de dureza es de aproximadamente 900 a 1000HV10gf. Por el contrario, en el producto del ejemplo, el  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  en la capa superficial discontinua más externa es inferior al 70% en volumen, y el espesor es sólo de 0-4 $\mu\text{m}$ , es decir, hay una fase FeAl que tiene un porcentaje en volumen de al menos 30% (el contenido de Fe es del 48% al 69% en peso), preferiblemente sin  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ . Además, la fase FeAl tiene una dureza baja (dureza de aproximadamente 400 a 630HV10gf) y un gran porcentaje en volumen y, por lo tanto, se reduce la dureza superficial de la estructura de recubrimiento del ejemplo.

15 Cabe señalar que a medida que el recubrimiento se hace más delgado, su microestructura evoluciona y la dureza superficial del recubrimiento también evoluciona. Por ejemplo, en el caso en el que el recubrimiento esté compuesto por la primera capa, la segunda capa, la tercera capa y la capa superficial distribuida de manera discontinua, la dureza superficial se reduce de 650 a 850HV10gf. En el caso en que el recubrimiento esté compuesto por la primera capa, la segunda capa y la tercera capa, la dureza de la superficie se reduce de 400 a 630HV10gf. Para otro ejemplo, en el caso en el que el recubrimiento esté compuesto únicamente por la primera capa, la dureza de la superficie se reduce de 220 a 410HV10gf.

20 Como se describió anteriormente, la dureza superficial del componente estampado en caliente del ejemplo disminuye a medida que se reduce el espesor del recubrimiento, lo que no sólo reduce el desgaste de la matriz de estampación, sino que también contribuye a extender la vida útil del electrodo de soldadura.

25 Un segundo ejemplo que no forma parte de la invención proporciona un vehículo de motor que comprende el componente estampado en caliente de acuerdo con el primer ejemplo.

Por ejemplo, el componente estampado en caliente se puede utilizar como un componente estructural de seguridad, un componente estructural de refuerzo, un componente de rueda, un componente estructural de automóvil de alta resistencia y alta tenacidad o un componente estructural de chasis de un vehículo terrestre.

30 Un tercer ejemplo que no forma parte de la invención proporciona una lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente, en donde se proporciona un pre-recubrimiento de aluminio o aleación de aluminio en al menos una superficie del acero base, en donde el espesor total de la lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente es de 0,5mm a 3,0mm, y el espesor del pre-recubrimiento es de 3 a 19 $\mu\text{m}$ , preferiblemente de 5 a 18 $\mu\text{m}$ , y más preferiblemente de 12 a 18 $\mu\text{m}$ .

35 De acuerdo con el ejemplo, el espesor del pre-recubrimiento se hace más delgado en comparación con la lámina de acero pre-recubierta convencional y, por lo tanto, puede usarse para conformar el componente estampado en caliente del primer ejemplo. Como se describió anteriormente, el uso de la lámina de acero pre-recubierta del presente ejemplo puede mejorar la tenacidad a la flexión VDA después de la estampación en caliente y, al mismo tiempo, puede reducir la dureza de la capa superficial, reduciendo de este modo el desgaste de la matriz de estampación, y es ventajoso para prolongar la vida útil del electrodo de soldadura.

40 Además, debido a que el espesor del pre-recubrimiento es delgado, se puede reducir el coste del recubrimiento, ayudando al mismo tiempo a conseguir un calentamiento rápido de la lámina de acero.

Como ejemplo adicional, el acero base comprende, en porcentaje en peso, los siguientes componentes: 0,28-0,4% de C; 0,6-3,5% de Mn; 0-0,004% de B; 0-0,4% de Nb+Ti+V, 0,05 a 1% de Si, 0,01 a 1% de Al; contenido total inferior al 5% de Cr, Mo, Ni, Cu; y elementos de impureza inevitables.

45 En este caso, el componente estampado en caliente producido tiene una resistencia a la tracción de  $\geq 1700\text{MPa}$ . De este modo, se pueden obtener buenas propiedades mecánicas al tiempo que se mejora la tenacidad a la flexión VDA y se reduce la dureza de la superficie.

50 Como ejemplo adicional, el acero base comprende, en porcentaje en peso, los siguientes componentes: 0,19 a 0,29% de C; 0,6 a 3,5% de Mn; 0 a 0,004% de B; 0 a 0,4% de Nb+Ti+V; 0 a 2% de Si, 0 a 2% de Al; contenido total inferior al 5% de Cr, Mo, Ni, Cu; y elementos de impureza inevitables.

En este caso, el componente estampado en caliente obtenido tiene una resistencia a la tracción de 1400MPa a 1800MPa.

Además, el acero base contiene de 0,1 a 0,4% de V en peso.

En este caso, de acuerdo con la condición para el producto de solubilidad sólida de la precipitación de VC, el límite de grano de austenita puede tener una cierta cantidad de carburos complejos de VC y/o (V, Ti)C y/o (V, Ti, Nb)C en el proceso de austenización. Las partículas de la segunda fase fijan eficazmente los granos de austenita, lo que refinará los granos de austenita anteriores. Por lo tanto, la precipitación de VC tiene una influencia importante en el control del tamaño de grano de austenita anterior. Más importante aún, la temperatura de precipitación se combina con el proceso de estampación en caliente. De acuerdo con otro ejemplo, comprende los siguientes componentes en porcentaje en peso: 0,35% de C; 1,35% de Mn; 0,002% de B; 0,04% de Ti; 0,2% de V; 0,2% de Si, 0,05% de Al; 0,2% de Cr, el tamaño de grano de austenita anterior obtenido mediante estampación en caliente del acero de acuerdo con el presente ejemplo es de 2,2-7 $\mu$ m, y el refinamiento del grano no sólo mejora la resistencia sino que también mejora la tenacidad. Además, en granos de austenita, se pueden obtener carburos complejos de VC y/o (V, Ti)C y/o (V, Ti, Nb)C que tienen un tamaño de partícula de 0,1 a 20nm; la resistencia del material se puede mejorar aún más mediante el reforzamiento por precipitación de nanocarburos. Después de la estampación en caliente y el horneado y templado de la pintura, la resistencia del componente alcanza los 1950MPa y el alargamiento es del 8%.

Un cuarto ejemplo proporciona un proceso de estampación en caliente de acuerdo con la reivindicación 1 y que comprende las etapas de: una etapa de austenización de la lámina de acero, calentamiento en múltiples etapas de la lámina de acero pre-recubierta para la estampación en caliente de acuerdo con el tercer ejemplo o un componente preformado de la misma a 840°C o más; etapa de transferencia de la lámina de acero, transferir la lámina de acero pre-recubierta calentada a la matriz de estampación en caliente, en donde se ha de asegurar que la temperatura de la lámina de acero pre-recubierta sea de 550°C o más cuando se transfiere a la matriz; etapa de estampación en caliente, estampación de la lámina de acero pre-recubierta transferida en la matriz para obtener un componente estampado en caliente.

Como se describió anteriormente, el presente ejemplo dentro de la invención propone una solución de calentamiento rápido de múltiples etapas para la lámina de acero pre-recubierta de acuerdo con el tercer ejemplo. En primer lugar, se reduce el espesor del pre-recubrimiento, se mejora la eficiencia total de transferencia de calor y es más fácil lograr rápidamente la austenización de la lámina de acero. En segundo lugar, se adopta un control de temperatura segmentario, la diferencia de temperatura es grande, la eficiencia de calentamiento mejora considerablemente y se logra un calentamiento rápido. El proceso puede mejorar la eficiencia de la producción y al mismo tiempo evitar el crecimiento anormal de granos de austenita debido al remojo prolongado en la sección de alta temperatura. Además, el pre-recubrimiento más fino y la disposición de calentamiento de múltiples etapas hacen que la aleación entre el sustrato y el recubrimiento metálico sea más completa, evitando de este modo una serie de problemas como la soldadura y las incrustaciones en el rodillo del horno. Se ha demostrado que no sólo se mejora efectivamente la vida útil del rodillo del horno, sino que también se mejora la tasa de calificación del producto y se ahorra considerablemente en costes de producción. El calentamiento en múltiples etapas se puede lograr instalando un horno de solera de rodillos o proporcionando un dispositivo de calentamiento por inducción.

Además, el ángulo de flexión máximo VDA de la lámina del producto acabado después de la estampación en caliente se puede aumentar considerablemente utilizando una lámina de acero pre-recubierta que tenga una reducción del espesor del pre-recubrimiento, y también se puede mejorar la tenacidad de la misma. Al mismo tiempo, puede reducir eficazmente el desgaste de la matriz de estampación, prolongar la vida útil del electrodo de soldadura y mejorar en gran medida la seguridad anticolidión y el efecto de absorción de energía de las piezas de la carrocería del automóvil, promoviendo aún más el desarrollo de materiales automotrices y favorece más el ahorro de energía y la reducción de emisiones.

Además, lo que es más importante, el calentamiento rápido hace que se acorte el tiempo de difusión de Fe y Al, de modo que se reduce aún más el movimiento del límite entre el sustrato y el recubrimiento hacia el lado del sustrato. Por consiguiente, el grado de acumulación de átomos de C cerca del límite entre el sustrato y el recubrimiento (en el lado del sustrato) es menor, lo que es más ventajoso para mejorar la tenacidad a la flexión VDA.

En la etapa de austenización de la lámina de acero, el calentamiento en múltiples etapas se realiza de la siguiente manera: para una lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor de 0,5 a 1,5mm, la temperatura de calentamiento se establece en 700-875°C en la etapa de precalentamiento para la aleación del recubrimiento, la temperatura de calentamiento en la primera etapa de calentamiento de austenización se establece en 920-940°C, la temperatura de calentamiento en la segunda etapa se establece en 940-960°C, la temperatura de calentamiento en la tercera etapa se establece en 920-940°C, la cuarta etapa es la etapa de remojo y la temperatura se establece de 900 a 920°C. Para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor de 0,5 a 1,0mm, el tiempo total de calentamiento (etapas 1 a 4) se establece en 90s a 140s; para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor superior a 1,0mm e inferior o igual a 1,5mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 120s a 180s; para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor superior a 1,5mm e inferior o igual a 3,0mm, la temperatura de calentamiento se establece de 700 a 895°C en la etapa de precalentamiento para la aleación del recubrimiento, la temperatura de calentamiento en la primera etapa de austenización se establece en 940-960°C, la temperatura de calentamiento en la segunda etapa se establece en 950-970°C, la temperatura de calentamiento en la tercera etapa se establece en 940-960°C, la cuarta etapa es la etapa de remojo y la temperatura se establece de 920 a 940°C, en donde para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor superior a 1,5mm e inferior o igual a 2,0mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 180s-220s; para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor superior a 2,0mm e inferior o igual a 2,5mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 180s-260s; para la lámina de acero

pre-recubierta que tiene un espesor superior a 2,5mm e inferior o igual a 3,0mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 200s-300s.

5 Las etapas del proceso anteriores se combinan con la lámina de acero pre-recubierta del presente ejemplo. La temperatura de fusión de la capa de chapado de aleación o Al pre-recubierta es de aproximadamente 600°C, de modo que la superficie del recubrimiento se licua al comienzo del proceso de calentamiento, el Al líquido o la aleación de Al reaccionarán con los rodillos del horno de solera de rodillo y se adherirán a los rodillos afectando a la vida útil de los rodillos. Para reducir la generación de Al líquido o aleación de Al, el presente ejemplo comprende una etapa de precalentamiento para la aleación del recubrimiento, cuyo propósito es realizar un aleado suficiente entre Al o aleación de Al en el pre-recubrimiento y Fe en el sustrato para reducir la reacción entre el Al líquido o la aleación de Al en la superficie de la lámina de acero y los rodillos del horno.

10 Las etapas del proceso anteriores se combinan con la lámina de acero pre-recubierta del presente ejemplo, en donde se puede obtener la estructura de recubrimiento requerida para el componente conformado del primer aspecto, se pueden lograr los efectos de aumentar la tenacidad a la flexión VDA y reducir la dureza de la superficie, etc., y se pueden obtener las propiedades mecánicas deseadas.

15 Después de la etapa de transferencia de la lámina de acero, se incluye además una etapa de horneado de la pintura. En la etapa de horneado de la pintura, el componente estampado en caliente se calienta de 130 a 200°C y se mantiene durante 5 a 60 minutos y luego se enfría de cualquier modo.

20 Después de la etapa de horneado de la pintura, se mejoran aún más las propiedades mecánicas del componente estampado en caliente. Por ejemplo, después del horneado a 170°C/20min, el límite elástico del componente estampado en caliente aumenta de 50 a 150MPa, la resistencia a la tracción se reduce de aproximadamente 50 a 120MPa, el alargamiento aumenta aproximadamente de 0 a 3%, y el valor de tenacidad al impacto aumenta de 5 a 20J/cm<sup>2</sup>, mejorando por tanto el efecto de absorción de energía de colisión del material.

#### Breve descripción de los dibujos

25 La figura 1 es una vista de una estructura de recubrimiento antes de la estampación en caliente de una lámina de acero que tiene diferentes espesores de pre-recubrimiento.

La figura 2 es una vista de una estructura de recubrimiento después de la estampación en caliente de una lámina de acero que tiene diferentes espesores de pre-recubrimiento.

La figura 3 es una vista esquemática que muestra la posición de prueba de microdureza de una lámina de acero que tiene diferentes espesores de pre-recubrimiento después de la estampación en caliente.

30 La figura 4 es un diagrama de tendencia de microdureza de una lámina de acero que tiene diferentes espesores de pre-recubrimiento después de la estampación en caliente.

La figura 5 es una curva de rendimiento de flexión de tres puntos de una lámina de acero que tiene diferentes espesores de pre-recubrimiento después de la estampación en caliente de un acero 22MnB5 de 1,2mm de espesor, en donde la imagen del lado derecho es una vista ampliada parcial de la imagen del lado izquierdo.

35 La figura 6 es una vista que muestra un enriquecimiento de C en el límite entre el recubrimiento y el sustrato después de la estampación en caliente de acero 22MnB5 que tiene un pre-recubrimiento de Al-Si.

La figura 7 es una vista que muestra los parámetros del proceso de estampación en caliente de una lámina de 0,5 a 1,5mm.

40 La figura 8 es una vista que muestra los parámetros del proceso de estampación en caliente de una lámina de 1,5 a 3,0mm.

La figura 9 es una vista que muestra una estructura de un recubrimiento después de la estampación en caliente de una lámina de acero en el estado de la técnica.

La figura 10 es una vista que muestra un proceso de estampación en caliente en el estado de la técnica.

#### Descripción detallada de la presente invención

45 La presente invención se define por las características de la reivindicación 1 y se describirá con más detalle a continuación con referencia a modos de realización de ejemplo.

50 En primer lugar, la lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente tiene un espesor de 0,5 a 3,0mm, en donde el pre-recubrimiento tiene un espesor de 3 a 19µm, y en el presente modo de realización, se proporciona la lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente que tiene respectivamente un pre-recubrimiento de un espesor de 5µm y 14µm, en donde el pre-recubrimiento se forma sobre las superficies superior e inferior de la lámina

## ES 2 965 770 T3

de acero. Además, se proporciona a modo de comparación una lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente que tiene un pre-recubrimiento de un espesor de 25µm.

5 En donde, el acero base de la lámina de acero comprende, en porcentaje en peso, los siguientes componentes: 0,28 a 0,4% de C; 0,6 a 3,5% de Mn; 0 a 0,004% de B; 0 a 0,4% de Nb+Ti+V, 0,05-1% de Si, 0,01-1% de Al; contenido total inferior al 5% de Cr, Mo, Ni, Cu; y elementos de impureza inevitables, en donde es preferible un contenido de V de 0,1~0,4%. Como alternativa, el acero base comprende, en porcentaje en peso, los siguientes componentes: 0,19 a 0,28% de C; 0,6 a 3,5% de Mn; 0 a 0,004% de B; 0 a 0,4% de Nb+Ti+V; 0 a 2% de Si, 0 a 2% de Al; contenido total inferior al 5% de Cr, Mo, Ni, Cu; y elementos de impureza inevitables.

10 Por ejemplo, como modo de realización preferido, el acero base comprende, en porcentaje en peso, los siguientes componentes: 0,35% de C; 1,35% de Mn; 0,002% de B; 0,04% de Ti; 0,2% de V; 0,2% de Si, 0,05% de Al; 0,2% de Cr.

15 El pre-recubrimiento de la lámina de acero pre-recubierta se puede formar, por ejemplo, mediante recubrimiento por inmersión en caliente, y la composición básica de una solución de recubrimiento por inmersión en caliente habitual normalmente incluye (en peso): 8 a 11% de Si, 2% a 4% de Fe, y el resto es Al o una aleación de Al e impurezas inevitables. Sin embargo, el presente ejemplo no se limita a esta composición y se pueden emplear diversos recubrimientos de aluminio o aleación de aluminio. Entre estos, el Si sirve principalmente para suprimir la formación de compuestos intermetálicos. Si el contenido de silicio es bajo, la fase Al<sub>2</sub>Fe del compuesto intermetálico rico en aluminio se forma fácilmente dentro de los 2 minutos posteriores al proceso de austenización, que es fácil de transformar en fase Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> en 2 a 6 minutos después de la austenización; esta capa es una fase frágil y por tanto es desfavorable para la matriz de estampación en caliente y para el electrodo de soldadura. Por lo tanto, el contenido de Si generalmente se controla entre 8-11%. La estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación del recubrimiento las proporciona principalmente el Al, es decir, una Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> delgada y densa utilizada como película protectora. El contenido de aluminio en el pre-recubrimiento formado de este modo suele ser igual o superior al 60%.

Como ejemplo, el acero base y el pre-recubrimiento tienen las composiciones que se muestran en la Tabla 1.

25 Tabla 1 Composiciones químicas del acero base y el pre-recubrimiento de la lámina de acero pre-recubierta de acuerdo con el presente ejemplo

|  | Composición química (peso %) |      |      |      |        |      |       |      |
|--|------------------------------|------|------|------|--------|------|-------|------|
|  | C                            | Mn   | Ti   | Cr   | B      | Si   | Al    | Fe   |
| Acero base<br>(22MnB5)                                     | 0,23                         | 1,18 | 0,04 | 0,16 | 0,0025 | 0,22 | 0,034 | Bal. |
| Pre-recubrimiento<br>(AlSi <sub>10</sub> Fe <sub>3</sub> ) | —                            | —    | —    | —    | —      | 10   | Bal.  | 3    |

En donde Bal. representa el balance distinto de otros elementos.

30 La estructura de pre-recubrimiento de la lámina de acero 22MnB5 se muestra en la figura 1. En donde la lámina de acero del lado izquierdo (la lámina de acero del presente ejemplo) tiene un pre-recubrimiento que tiene un espesor de 5µm, la lámina de acero del medio (la lámina de acero del presente ejemplo) tiene un pre-recubrimiento que tiene un espesor de 14µm, y la lámina de acero del lado derecho (lámina de acero convencional) tiene un pre-recubrimiento que tiene un espesor de 25µm. El sustrato para cada lámina de acero es una estructura de ferrita y perlita, y el pre-recubrimiento tiene la estructura (desde el lado del sustrato) de una capa de compuesto intermetálico (Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>Si), un recubrimiento de aluminio.

35 El análisis de las estructuras de pre-recubrimiento muestra que los espesores de la capa de compuesto intermetálico, de las láminas de acero para estampación en caliente que tienen diferentes espesores de pre-recubrimiento, son aproximadamente iguales, todos de aproximadamente 4,5µm, y la diferencia se encuentra principalmente en los espesores del recubrimiento de aluminio. Los espesores del recubrimiento de aluminio en las respectivas láminas de acero anteriores son 0,5µm, 9,5µm y 20,5µm, respectivamente.

40 Por ejemplo, la lámina de acero para estampación en caliente que tiene un pre-recubrimiento de 3 a 19µm se puede producir mediante el siguiente proceso.

(1) Fabricación de acero, de acuerdo con las composiciones químicas anteriores, fundición mediante horno de inducción de vacío, horno eléctrico o convertidor; utilizando tecnología de colada continua para producir planchas, o utilizando directamente colada continua de planchas delgadas y proceso de laminación.

5 (2) Calentamiento uniforme de la plancha, calentando la plancha fundida a una temperatura de 1150 a 1340°C y manteniéndola a esta temperatura durante 20 a 2000 minutos.

10 (3) Laminación en caliente, la plancha se lamina en bruto de 1020 a 1280°C, la cantidad total de prensado de la lámina de acero es del 50% o más, y la temperatura de acabado se controla a 500°C o más para obtener una lámina de acero laminada en caliente; el producto laminado en caliente se enrolla en una zona de temperatura inferior a 840°C y luego se puede realizar el decapado para obtener una lámina de acero decapado laminada en caliente. La estructura final es perlita+ferrita, o perlita+ferrita+una pequeña cantidad de bainita, o perlita+ferrita+una pequeña cantidad de martensita.

(4) La lámina de acero laminada en caliente descrita anteriormente puede someterse a laminación en frío para obtener una tira de acero laminada en frío.

15 (5) La superficie de la lámina de acero laminada en frío se somete a diferentes procesos de recubrimiento del pre-recubrimiento de Al-Si para obtener una lámina de acero pre-recubierta de Al-Si.

A continuación, la lámina de acero pre-recubierta mencionada anteriormente se somete a estampación en caliente y, por ejemplo, se puede emplear el siguiente proceso de estampación en caliente.

20 (a) Austenización de la lámina de acero: cortar la lámina de acero pre-recubierta para obtener una lámina de acero de tamaño y forma predeterminados; utilizando dispositivos de calentamiento como un horno de caja, un horno de solera de rodillos o calentamiento por inducción, etc., el procedimiento de calentamiento como se muestra en la figura 7 y figura 8, la lámina de acero para estampación en caliente o un componente preformado de la misma se calienta rápidamente de 700 a 970°C y se mantiene durante 0,5 a 15 minutos.

25 (b) Transferencia de la lámina de acero: la lámina de acero calentada se transfiere a una matriz de estampación en caliente y se asegura que la temperatura de la lámina de acero sea de 550°C o superior cuando se transfiere a la matriz.

30 (c) Estampación en caliente: de acuerdo con el tamaño de la lámina, se establece un tonelaje de prensa razonable para la estampación; y el tiempo que se mantiene se determina de acuerdo con el espesor de la lámina, y la temperatura de la superficie de la matriz puede controlarse mediante el sistema de enfriamiento de la matriz de modo que la lámina de acero en la matriz se enfría a 250°C o menos a una velocidad de enfriamiento promedio de no menos de 10°C/s, y luego se enfría a temperatura ambiente de cualquier modo para obtener un componente estampado en caliente correspondiente.

El componente conformado obtenido mediante la estampación anterior puede someterse además al siguiente tratamiento:

35 (d) Horneado de la pintura: durante el proceso de horneado de la pintura del componente, el componente conformado se calienta de 130 a 200°C, se mantiene durante 5 a 60 minutos y luego se enfría de cualquier modo.

40 En la etapa de austenización de la lámina de acero, para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor de 0,5 a 1,5mm, la temperatura de calentamiento se establece de 700 a 875°C en la etapa de precalentamiento para la aleación del recubrimiento, y se calienta a 840°C o más en la etapa de austenización; específicamente, la temperatura de calentamiento en la primera etapa de calentamiento de austenización se establece de 920 a 940°C, en la segunda etapa se establece de 940 a 960°C, en la tercera etapa se establece de 920 a 940°C, la cuarta etapa es una etapa de preservación del calor, en la que la temperatura se establece de 900 a 920°C. Para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor de 0,5 a 1,0mm, el tiempo total de calentamiento (etapas 1 a 4) se establece en 90s-140s, para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor superior a 1,0mm e inferior o igual a 1,5mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 120s-180s; Para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor superior a 1,5mm e inferior o igual a 3,0mm, la temperatura de calentamiento se establece de 700 a 895°C en la etapa de precalentamiento para la aleación del recubrimiento, en el proceso de calentamiento de austenización, en la primera etapa la temperatura de calentamiento se establece de 940 a 960°C, en la segunda etapa se establece de 950 a 970°C, y en la tercera etapa se establece de 940 a 960°C, la cuarta etapa es una etapa de preservación del calor, y la temperatura se establece de 920 a 940°C. Para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor de más de 1,5mm e inferior o igual a 2,0mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 180s a 220s, y para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor de más de 2,0mm e inferior o igual a 2,5mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 180s-260s, para las láminas de acero pre-recubiertas con un espesor superior a 2,5mm e inferior o igual a 3,0mm, el tiempo total de calentamiento se establece en 200s a 300s. En el caso de que se cumpla el requisito de tiempo total de calentamiento, el tiempo de calentamiento en cada etapa se puede distribuir de acuerdo con el espesor de la lámina de acero o similar.

55

Por ejemplo, los parámetros en la etapa de austenización de la lámina de acero descrita anteriormente se pueden establecer como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Parámetros del proceso de estampación en caliente

| Espesor de la lámina | Etapa de precalentamiento para aleación del recubrimiento | 1ª etapa                      | 2ª etapa  | 3ª etapa  | 4ª etapa                        | tiempo total de calentamiento |
|----------------------|---|-------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------|
|                      |   | Etapa de calentamiento rápido |           |           | Etapa de preservación del calor |                               |
| 1mm                  | 875°C/60s   | 935°C/20s                     | 950°C/20s | 930°C/20s | 910°C/80s                       | 140s                          |
| 1,5mm                | 875°C/90s   | 935°C/30s                     | 960°C/30s | 940°C/30s | 920°C/90s                       | 180s                          |
| 2,0mm                | 895°C/120s  | 945°C/40s                     | 970°C/40s | 950°C/40s | 930°C/100s                      | 220s                          |
| 2,5mm                | 895°C/150s  | 945°C/50s                     | 970°C/50s | 955°C/50s | 930°C/110s                      | 260s                          |

5 Luego, se analiza el recubrimiento del componente conformado obtenido mediante el proceso 5 anterior.

La Tabla 3 ilustra variaciones en el espesor del recubrimiento antes y después de la estampación en caliente de láminas de acero que tienen diferentes espesores de pre-recubrimiento, en donde IS1 e IS2 representan las láminas de acero pre-recubiertas del presente ejemplo, y CS1 representa una lámina de acero pre-recubierta convencional.

Tabla 3 Espesor del recubrimiento antes y después de la estampación de láminas de acero pre-recubiertas

| Muestra | Acero base | Pre-recubrimiento                  | Espesor del pre-recubrimiento | Espesor del recubrimiento                               | Espesor total de        |
|---------|------------|------------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------|
|         |            |                                    | ( $\mu\text{m}$ )             | después de la estampación en caliente ( $\mu\text{m}$ ) | la lámina de acero (mm) |
| IS1     | 22MnB5     | AlSi <sub>10</sub> Fe <sub>3</sub> | 5                             | 10  | 1,2                     |
| IS2     | 22MnB5     | AlSi <sub>10</sub> Fe <sub>3</sub> | 14                            | 21  | 1,2                     |
| CS1     | 22MnB5     | AlSi <sub>10</sub> Fe <sub>3</sub> | 25                            | 34  | 1,2                     |

10 En las láminas de acero pre-recubiertas mencionadas anteriormente para estampación en caliente que tienen un pre-recubrimiento que tiene un espesor de 5 $\mu\text{m}$ , 14 $\mu\text{m}$  y 25 $\mu\text{m}$ , respectivamente, después de la estampación en caliente, el espesor del recubrimiento se cambia a 10 $\mu\text{m}$ , 21 $\mu\text{m}$  y 34 $\mu\text{m}$ , respectivamente, y la estructura de recubrimiento es como se muestra en la figura 2. Se mide la microdureza para cada capa, y la posición de medición y los resultados se muestran en las figuras 3 y 4.

15 Específicamente, desde la base hacia el exterior se disponen secuencialmente las siguientes capas:

(a) Primera capa: una capa de interdifusión que tiene un espesor de 6 a 14 $\mu\text{m}$ , y en el ejemplo ilustrado, de 8 a 12 $\mu\text{m}$ . El espesor de la capa de interdifusión debe ser mayor o igual a 6 $\mu\text{m}$  para garantizar que se forme una determinada capa de transición para evitar la propagación de grietas al sustrato; el espesor de 14 $\mu\text{m}$  o menos es principalmente para evitar el enriquecimiento de C debido a una difusión excesiva de C. La capa de interdifusión es  $\alpha$ -Fe rica en Al y Si, en donde el contenido de Fe es de 70% en peso o más. Además, la capa de interdifusión puede contener fases de compuesto intermetálico de Fe y Al, como Fe<sub>3</sub>Al de nanopartículas. Además, la superficie de la capa de interdifusión puede estar cubierta además por una capa de compuesto intermetálico FeAl de 1 a 2 $\mu\text{m}$ . El compuesto intermetálico, como recuentos de Fe<sub>3</sub>Al y FeAl, son iguales o inferiores al 20% en volumen en la primera capa. El valor de dureza HV10gf de la primera capa es de 220 a 410.

Cuando el espesor del pre-recubrimiento es fino, la dureza de la capa superficial se reduce considerablemente después de que el acero del presente ejemplo se someta a estampación en caliente. Específicamente, cuando el recubrimiento está compuesto únicamente por la primera capa, la dureza superficial es de 220 a 410HV10gf. Incluso en el caso donde que la capa de interdifusión contenga la fase  $Fe_3Al$ , debido a que el recubrimiento del presente ejemplo es delgado y el contenido de la fase  $Fe_3Al$  es extremadamente pequeño, la dureza del recubrimiento generalmente no es superior a 410HV10gf. Por el contrario, la capa superficial después de la estampación en caliente de la lámina de acero convencional es una fase  $Fe_2Al_5$  distribuida de manera continua, y el valor de tenacidad a la fractura de la fase  $Fe_2Al_5$  en sí es  $1MPa\sqrt{m}$ , y el valor de dureza es tan alto como 900 a 1150HV10gf.

(b) Segunda capa: es principalmente una fase de compuesto intermetálico, como  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl_3$ , compuestos intermetálicos frágiles continuos de Fe y Al que contienen Si. El espesor de la segunda capa es de 0 a  $8\mu m$ , y es de 5 a  $7\mu m$  en el ejemplo ilustrado, en donde el contenido de Fe es de 30% a 47,9% en peso y el valor de dureza HV10gf es de 800 a 960.

(c) Tercera capa: es principalmente una fase de compuesto intermetálico como  $FeAl$  o  $FeAl_2$ . El espesor de la tercera capa es de aproximadamente 0 a  $10\mu m$ , y es de 4 a  $7\mu m$  en el ejemplo ilustrado, en donde el contenido de Fe es de 48 a 69% en peso y el valor de dureza HV10gf es de 400 a 630.

(d) Una capa superficial distribuida de manera discontinua, que comprende una estructura de tercera capa, es decir, una fase de compuesto intermetálico como  $FeAl$ ,  $FeAl_2$ , y una estructura de segunda capa, es decir, una fase de compuesto intermetálico como  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl_3$ , etc., en donde el contenido de la estructura de la tercera capa es al menos el 30% en volumen, y la estructura de la segunda capa es el 70% o menos, preferiblemente sin la estructura de la segunda capa. El espesor de la capa superficial es de aproximadamente 0 a  $4\mu m$ , y en el ejemplo ilustrado, es de 0 a  $3\mu m$ , y el valor de dureza HV10gf es de 650 a 850.

Cabe señalar que la estructura de recubrimiento del componente conformado también es diferente de acuerdo con el espesor del pre-recubrimiento y el procedimiento de calentamiento de la lámina de acero pre-recubierta, y la lámina de acero pre-recubierta y el proceso de calentamiento aseguran que el componente conformado tenga la estructura de recubrimiento requerida por el presente ejemplo. Por ejemplo, cuando el espesor del pre-recubrimiento es de  $5\mu m$ , el espesor del recubrimiento después de la estampación mediante el proceso de la presente invención llega a ser de  $10\mu m$ ; como se muestra en la imagen en el lado izquierdo de la figura 2, la estructura de recubrimiento incluye solo la capa a, es decir, la capa de interdifusión,  $CT^*$  en la figura indica el espesor del recubrimiento después de la estampación en caliente. Cuando el espesor del pre-recubrimiento es de  $14\mu m$ , como se muestra en la imagen central de la figura 2, el espesor del recubrimiento después del proceso de estampación se cambia a  $21\mu m$ , y la estructura de recubrimiento contiene las capas a, b, c y la capa discontinua d.

Además, ha de enfatizarse que a medida que el recubrimiento se hace más delgado, su microestructura evoluciona gradualmente, y la dureza de la capa superficial del recubrimiento también evoluciona gradualmente. Por ejemplo, una lámina que tiene un espesor de pre-recubrimiento de  $14\mu m$  se estampa en caliente y su estructura de recubrimiento se compone de las capas a, b y c. La capa más externa no está compuesta principalmente de fase frágil  $Fe_2Al_5$ , sino principalmente de fase  $FeAl$  o  $FeAl_2$ , por lo que la dureza de la capa superficial se reduce en gran medida y el valor de dureza HV10gf es 400-630, incluso si contiene una pequeña cantidad de fase  $Fe_2Al_5$ , el valor de dureza HV10gf no supera 630.

Por otro lado, después de la estampación en caliente de la lámina que tiene un espesor de pre-recubrimiento de  $5\mu m$ , la estructura de recubrimiento final tiene sólo una capa de interdifusión con un espesor de aproximadamente  $10\mu m$ , y la capa de interdifusión está compuesta principalmente por  $\alpha$ -Fe rica en Al y Si. En este caso, el valor de dureza HV10gf de la capa más externa es de 220 a 410.

Por el contrario, en el caso de un acero convencional que tiene un pre-recubrimiento con un espesor de  $25\mu m$ , el espesor del recubrimiento final después de la estampación en caliente es de aproximadamente  $34\mu m$ , y la capa más externa es una fase  $Fe_2Al_5$  distribuida de manera continua que tiene una dureza de aproximadamente 950 HV10gf.

Como se describió anteriormente, después de que la lámina de acero pre-recubierta del presente ejemplo se estampa en caliente, la dureza de la superficie disminuye gradualmente a medida que se reduce el espesor del recubrimiento. De esta manera, no sólo se reduce el grado de desgaste de la matriz de estampación, sino que también se prolonga la vida útil del electrodo de soldadura.

Se realiza una prueba de flexión en un aparato de prueba de flexión especificado en la norma VDA238-100. La muestra se coloca sobre dos rodillos, en donde se asegura en la medida de lo posible que los rodillos instalados estén libres de fricción. El umbral de precarga está establecido en 3ON. La precarga se realiza con una velocidad de desplazamiento del haz de 10mm/min. Una vez alcanzado el valor establecido, se presiona hacia abajo con una velocidad de desplazamiento del haz de 20mm/min. El estándar para finalizar la prueba es que la presión tenga una caída de 30 a 60N después de que la presión alcanzó un valor máximo.

El resultado de la prueba de flexión de tres puntos muestra que el ángulo máximo de flexión  $\alpha_{max}$  en la dirección de laminación es  $65\pm 0,3^\circ$ ,  $62\pm 0,4^\circ$ ,  $58\pm 2,0^\circ$ , después de que la lámina de 22MnB5 de 1,2mm que tiene el espesor del pre-recubrimiento de  $5\mu m$ ,  $14\mu m$  y  $25\mu m$  respectivamente se estampa en caliente, como se muestra en la figura 5.

Es decir, para una lámina que tiene un espesor de 1,2mm, la lámina del presente ejemplo que tiene un pre-recubrimiento de 5µm tiene un ángulo de flexión máximo VDA de aproximadamente 65 grados después de la estampación en caliente, mientras que la lámina convencional que tiene un pre-recubrimiento de 25µm solo tiene un ángulo de flexión máximo VDA de aproximadamente 58 grados después de la estampación en caliente, y su dispersión de datos es grande. Es evidente que la lámina de acero que tiene un pre-recubrimiento de 3 a 19µm de espesor puede aumentar el ángulo máximo de flexión de tres puntos en aproximadamente 7 grados en comparación con la lámina de acero pre-recubierta convencional. Las razones por las que la lámina de acero del presente ejemplo mejora la tenacidad a la flexión VDA son como se indica a continuación.

Los inventores analizan el recubrimiento y la distribución de elementos en el sustrato, y detectan la distribución del elemento C de la lámina recubierta con 22MnB5 después de la estampación en caliente usando la función de escaneo lineal de sonda electrónica. Como se muestra en la figura 6, se comprueba que en el proceso de calentamiento y austenización, los átomos de C se difundieron en el sustrato y formaron una zona rica en C de 1 a 4µm de espesor en las proximidades del límite entre la capa de interdifusión y el sustrato, y después del enfriamiento la zona rica en C permanece en las proximidades de la zona de contacto entre el sustrato y la capa de interdifusión, formando una martensita con alto contenido de C, que es frágil, y el fallo prematuro en esta posición durante la flexión en frío es una causa importante de un rendimiento de flexión en frío deficiente.

Los inventores comprobaron además a través de investigaciones que la cantidad de segregación de átomos de C se puede reducir reduciendo el espesor del pre-recubrimiento, mejorando de este modo el rendimiento de flexión en frío. Mediante cálculos de acuerdo con los datos experimentales de los modos de realización, la zona de contacto de la capa de aleación de la lámina de acero convencional que tiene un pre-recubrimiento de 25µm de espesor se mueve hacia el lado del acero base por 9µm después de la estampación en caliente; por el contrario, la zona de contacto de la capa de aleación de la lámina de acero que tiene un pre-recubrimiento de 14µm y 5µm de espesor se mueve hacia el lado del acero base por 7µm y 5µm respectivamente después de la estampación en caliente. Por lo tanto, la cantidad total de enriquecimiento de átomos de C en el acero base cerca del límite entre el recubrimiento y el sustrato después de la estampación en caliente, en la lámina de acero convencional que tiene el pre-recubrimiento de 25µm es 1,8 y 1,4 veces mayor que en la lámina de acero que tiene el pre-recubrimiento de 14µm y 5µm.

Además, las propiedades mecánicas se prueban para el componente conformado mediante estampación en caliente de la lámina de acero pre-recubierta que se muestra en la Tabla 3. Los resultados de la prueba se muestran en la siguiente Tabla 4. En donde, los componentes conformados ISP1, ISP2 y CSP1 secuencialmente corresponden a las láminas de acero pre-recubiertas IS1, IS2, CS1; TS representa la resistencia a la tracción, YS representa el límite elástico, TE representa el alargamiento total y αmax representa el ángulo de flexión máximo (el ángulo de flexión bajo la fuerza de flexión máxima), TD representa la dirección perpendicular a la dirección de laminación y RD representa la dirección que es paralela a la dirección de laminación.

Tabla 4 Resultados de Propiedades Mecánicas (Muestra JIS5)

| Número De muestra | TS/MPa  | YS/MPa  | TE/%     | Grado αmax(TD/RD) |
|-------------------|---------|---------|----------|-------------------|
| ISP1              | 1569±12 | 1128±15 | 7,2±0,17 | 62±0,8/65±0,3     |
| ISP2              | 1151±14 | 1116±26 | 7,1±0,21 | 60±0,7/62±0,4     |
| CSP1              | 1545±19 | 1132±27 | 6,8±0,49 | 54±1,1/58±2,0     |

Como puede apreciarse en la tabla anterior, en comparación con la lámina de acero pre-recubierta convencional, la lámina de acero pre-recubierta del presente ejemplo puede aumentar el ángulo de flexión máximo y mejorar el rendimiento de flexión en frío; al mismo tiempo, también puede lograr resistencia a la tracción, límite elástico y alargamiento que son comparables o incluso superiores a los de la lámina de acero pre-recubierta convencional.

El componente estampado en caliente del presente ejemplo se puede usar como un componente estructural de seguridad, un componente estructural de refuerzo, un componente de rueda, un componente estructural de automóvil de alta resistencia o un componente estructural de chasis de un vehículo de motor, incluyendo pero sin limitarse al pilar A, pilar B, parachoques de automóvil, estructura del techo, estructura del chasis y barra anticolidión de la puerta del automóvil.

Por ejemplo, en los modos de realización anteriores, se describe el caso donde la lámina de acero pre-recubierta tiene el pre-recubrimiento en ambas superficies superior e inferior, pero el pre-recubrimiento puede formarse en una superficie.

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso de estampación en caliente, **caracterizado por** comprender las siguientes etapas:

5 etapa de austenización de la lámina de acero en donde una lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente o un componente preformado de la misma se calienta en múltiples etapas a 840°C o más, en donde la lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente se proporciona con un pre-recubrimiento de aluminio o aleación de aluminio en al menos una superficie del acero base, el espesor total de la lámina de acero pre-recubierta para estampación en caliente es de 0,5mm a 3,0mm, y el espesor del pre-recubrimiento es de 3 a 19µm;

10 etapa de transferencia de la lámina de acero en donde la lámina de acero pre-recubierta calentada se transfiere a una matriz de estampación en caliente, en donde se asegura que la temperatura de la lámina de acero pre-recubierta sea superior a 550°C cuando se transfiere a la matriz;

etapa de estampación en caliente en donde la lámina de acero pre-recubierta transferida es estampada en la matriz para obtener un componente estampado en caliente;

15 en la etapa de austenización de la lámina de acero, el calentamiento en múltiples etapas se realiza de la siguiente manera:

para una lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor de 0,5 a 1,5mm, la temperatura de calentamiento se establece en 700-875°C en una etapa de precalentamiento para la aleación de recubrimiento, la temperatura de calentamiento en la primera etapa de calentamiento de austenización se establece en 920-940°C, la temperatura de calentamiento en la segunda etapa se establece en 940-960°C, la temperatura de calentamiento en la tercera etapa se establece en 920-940°C, la cuarta etapa es una etapa de preservación del calor y la temperatura se establece de 900 a 920°C; para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor de 0,5 a 1,0mm, el tiempo total de calentamiento para la primera a la cuarta etapa de calentamiento de austenización se establece de 90s a 140s; para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor superior a 1,0mm e inferior o igual a 1,5mm, el tiempo total de calentamiento para la primera a la cuarta etapa de calentamiento de austenización se establece de 120s a 180s;

para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor superior a 1,5mm e inferior o igual a 3,0mm, la temperatura de calentamiento en la etapa de precalentamiento para la aleación del recubrimiento se establece de 700 a 895°C; en el proceso de calentamiento de austenización, la temperatura de calentamiento en la primera etapa se establece en 940-960°C, la temperatura de calentamiento en la segunda etapa se establece en 950-970°C, la temperatura de calentamiento en la tercera etapa se establece en 940-960°C, la cuarta etapa es una etapa de preservación del calor, y la temperatura se establece de 920 a 940°C, en donde para la lámina de acero pre-recubierta con un espesor superior a 1,5mm e inferior o igual a 2,0mm, el tiempo total de calentamiento para la primera a la cuarta etapa de calentamiento de austenización se establece en 180s-220s; para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor superior a 2,0mm e inferior o igual a 2,5mm, el tiempo total de calentamiento para la primera a la cuarta etapa de calentamiento de austenización se establece en 180s-260s; para la lámina de acero pre-recubierta que tiene un espesor superior a 2,5mm e inferior o igual a 3,0mm, el tiempo total de calentamiento para la primera a la cuarta etapa de calentamiento de austenización se establece en 200s-300s,

en donde el acero base de la lámina de acero pre-recubierta comprende, en porcentaje en peso, los siguientes componentes: 0,28 a 0,4% de C; 0,6 a 3,5% de Mn; 0 a 0,004% de B; 0 a 0,4% de Nb+Ti+V, 0,05-1% de Si, 0,01-1% de Al; contenido total inferior al 5% de Cr, Mo, Ni, Cu; y elementos de impureza inevitables, como alternativa, el acero base comprende, en porcentaje en peso, los siguientes componentes: 0,19 a 0,28% de C; 0,6 a 3,5% de Mn; 0 a 0,004% de B; 0 a 0,4% de Nb+Ti+V; 0 a 2% de Si, 0 a 2% de Al; contenido total inferior al 5% de Cr, Mo, Ni, Cu; y elementos de impureza inevitables.

2. El proceso de estampación en caliente de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende además una etapa de horneado de pintura después de la etapa de transferencia de lámina de acero, en donde en la etapa de horneado de pintura, el componente estampado en caliente se calienta de 130 a 200°C y se mantiene durante 5 a 60 minutos y luego se enfría de cualquier modo.

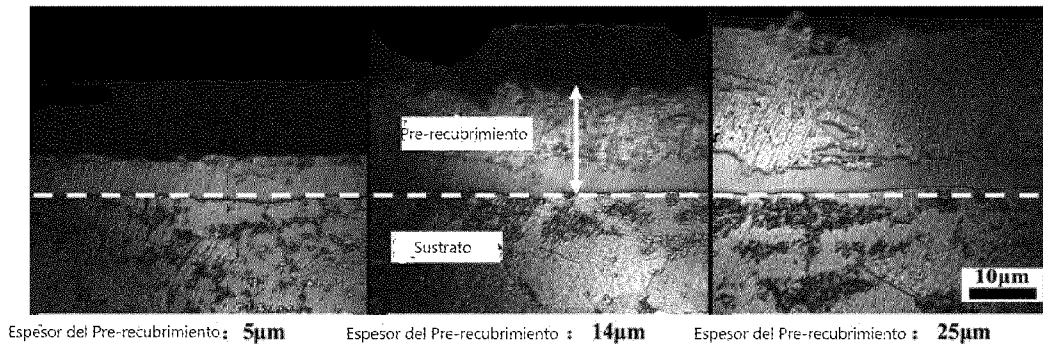


Fig.1

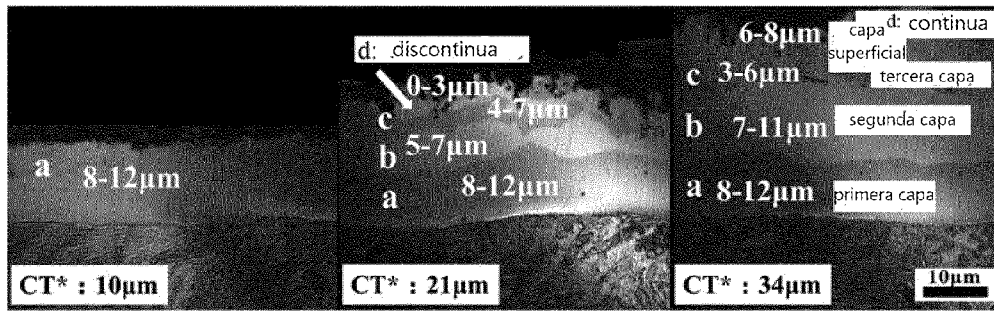


Fig.2

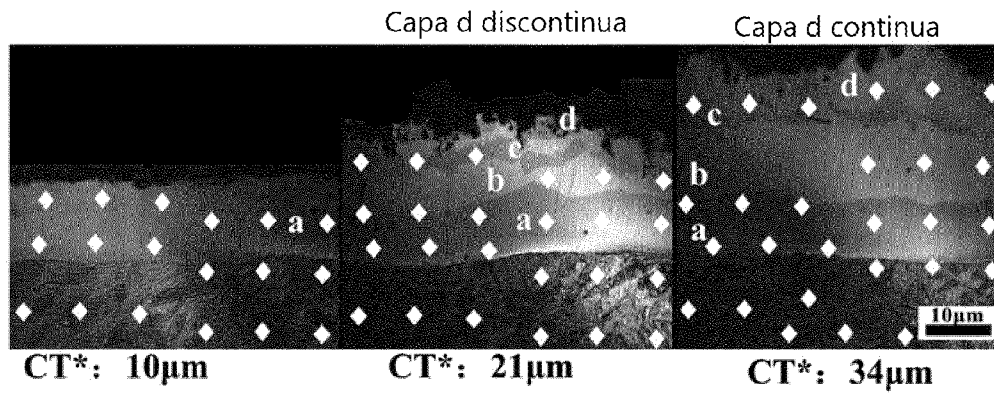


Fig.3

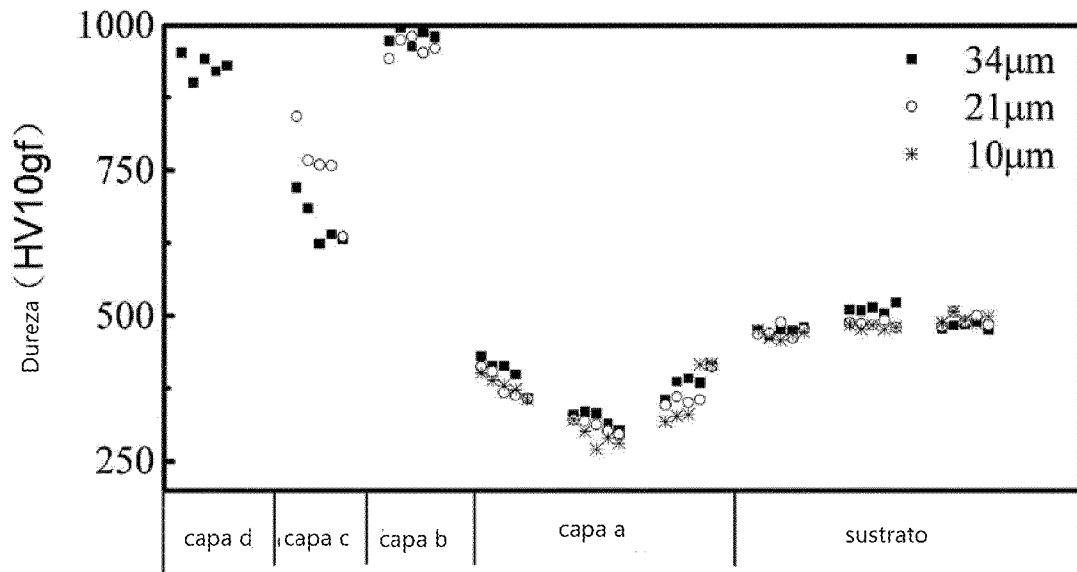


Fig.4

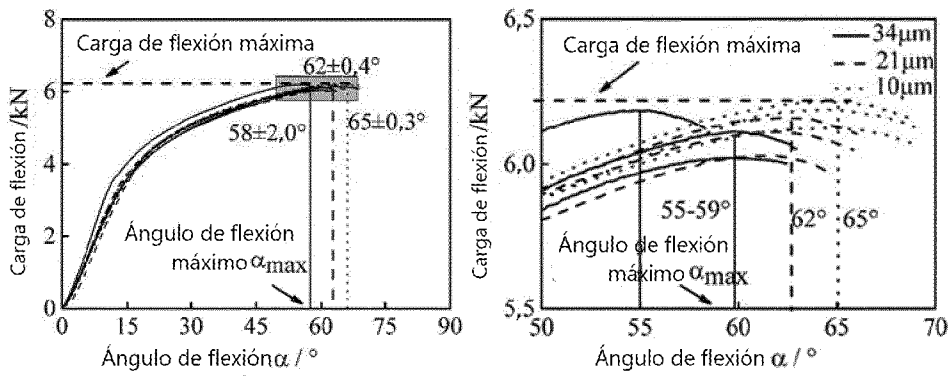


Fig.5

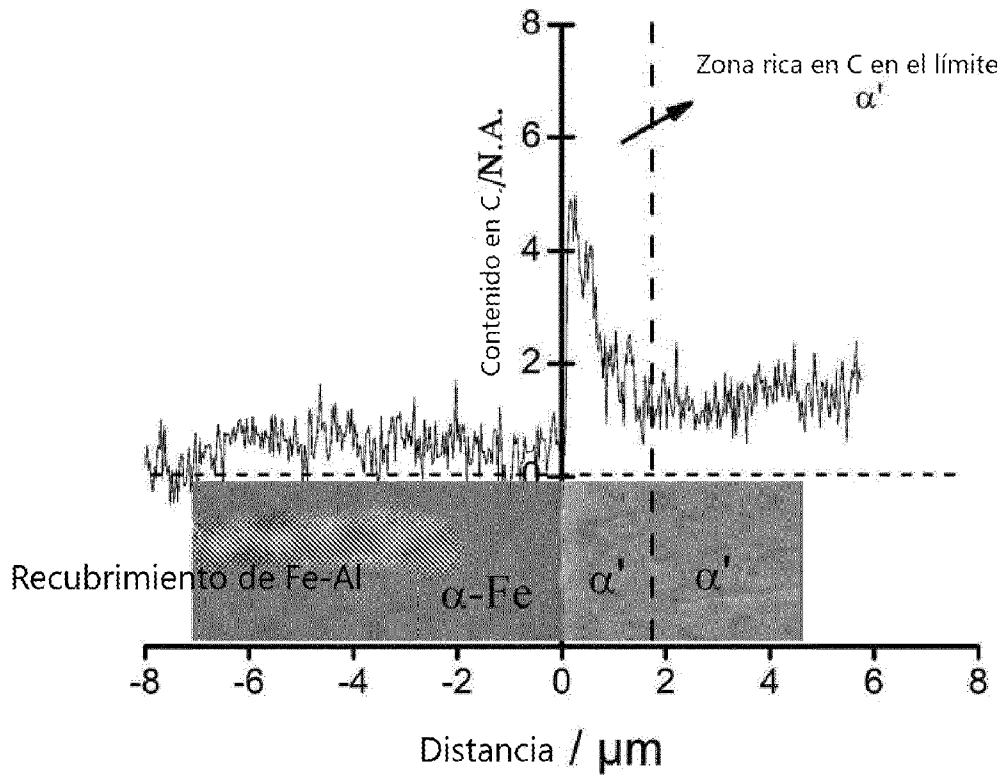


Fig.6

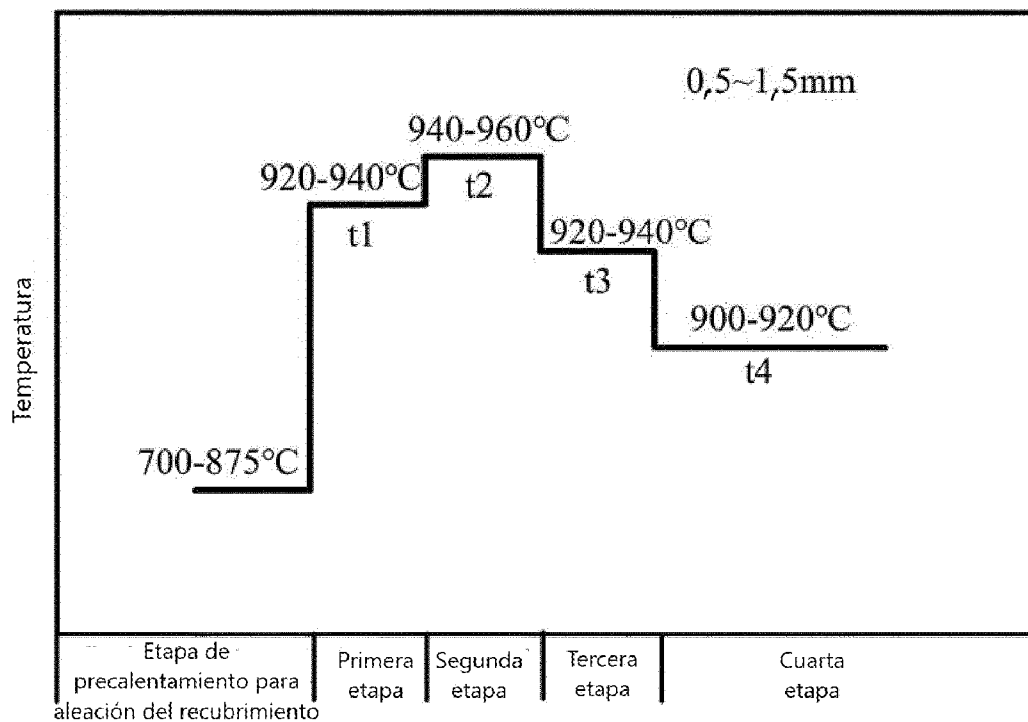


Fig.7

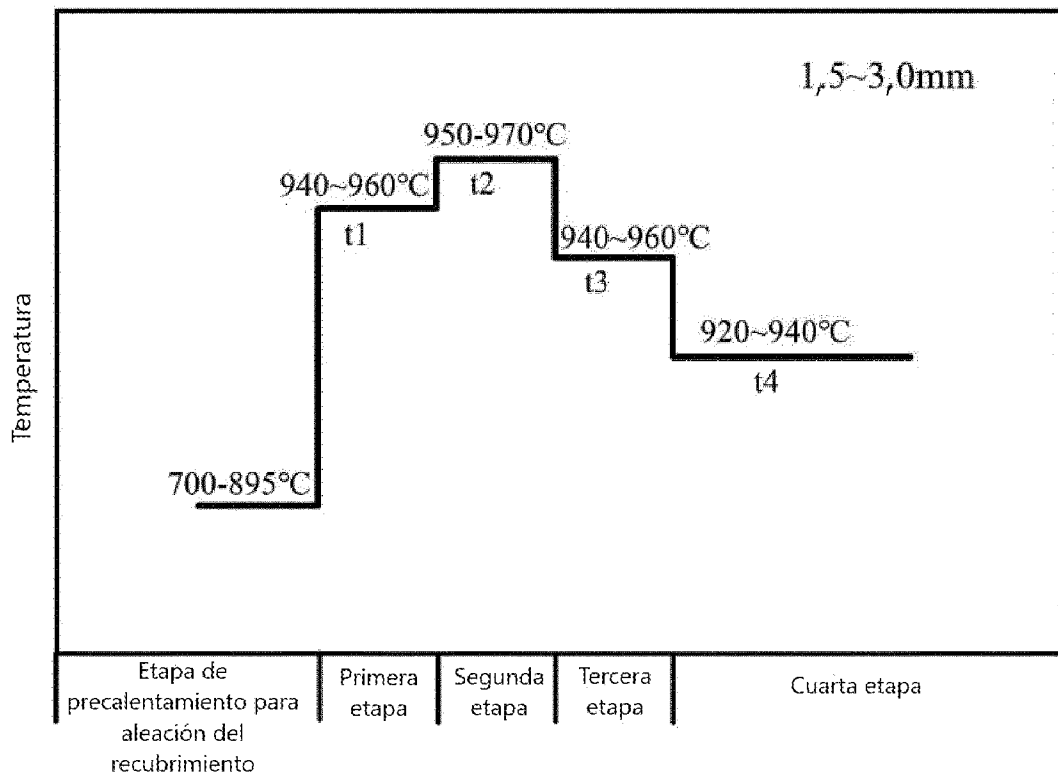


Fig.8

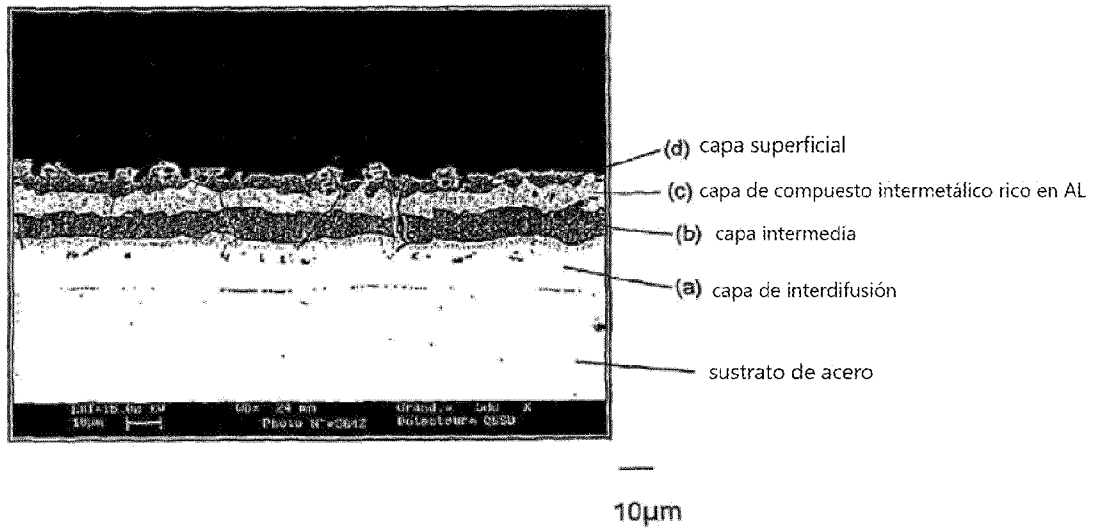


Fig.9

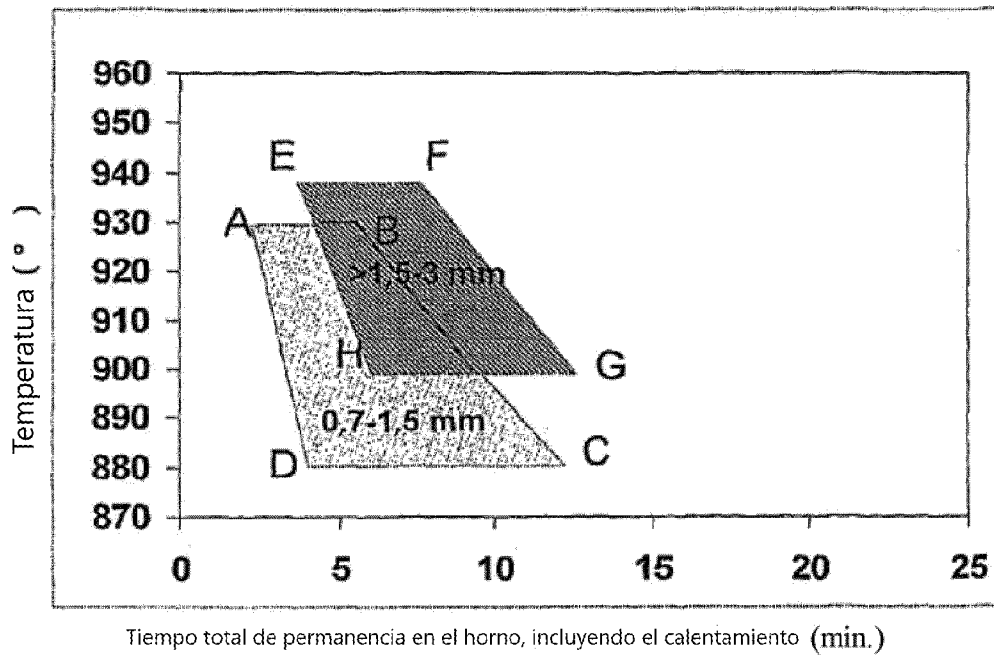


Fig.10