(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **3 006 454**

(51) Int. Cl.:

C23C 2/40	(2006.01)	***B32B 15/01***	(2006.01)
C23C 2/12	(2006.01)	***B21D 22/02***	(2006.01)
C23C 2/26	(2006.01)	***C23C 2/06***	(2006.01)
C23C 2/02	(2006.01)	***C22C 18/00***	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)	***C21D 8/02***	(2006.01)
C22C 38/54	(2006.01)	***C22C 38/04***	(2006.01)
C22C 38/50	(2006.01)	***C22C 38/02***	(2006.01)
C22C 38/48	(2006.01)	***C22C 21/02***	(2006.01)
C22C 38/44	(2006.01)	***C22C 21/10***	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	***C22C 18/04***	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2017 E 21174102 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024 EP 3901321**

(54) Título: **Lámina de acero laminada en caliente y recubierta para estampación en caliente, pieza de acero recubierta estampada en caliente y procedimientos de fabricación de las mismas**

(30) Prioridad:

24.11.2016 WO PCT/IB2016/057100

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.03.2025

(73) Titular/es:

ARCELORMITTAL (100.00%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU

(72) Inventor/es:

HENRION, THOMAS;
JACOLOT, RONAN y
BEAUVAIS, MARTIN

(74) Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

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 laminada en caliente y recubierta para estampación en caliente, pieza de acero recubierta estampada en caliente y procedimientos de fabricación de las mismas

La presente invención se refiere a una lámina de acero laminada en caliente y recubierta para estampación en caliente, con un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm, con una excelente adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente, y a una pieza de acero recubierta estampada en caliente, al menos una parte de la cual tiene un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm, con una excelente adherencia del recubrimiento. La presente invención también se refiere a un procedimiento para fabricar una pieza de acero recubierta estampada en caliente.

A medida que aumenta el uso de aceros de alta resistencia en aplicaciones automotrices, existe una demanda creciente de aceros que tengan tanto una mayor resistencia como una buena conformabilidad. Las crecientes demandas de ahorro de peso y requisitos de seguridad motivan la elaboración intensiva de nuevos conceptos de aceros para automóviles que puedan lograr una mayor ductilidad y resistencia.

De este modo, se han propuesto varias familias de aceros que ofrecen distintos niveles de resistencia. En los últimos años, el uso de aceros recubiertos en procesos de estampación en caliente para el conformado de piezas ha cobrado importancia, especialmente en el campo de la automoción.

Las láminas de acero a partir de las cuales se producen estas piezas mediante estampación en caliente, con un grosor generalmente comprendido entre 0,7 y 2 mm, se obtienen mediante laminación en caliente y posterior laminación en frío. Por ejemplo,WO2016016676A1 divulga una lámina de acero laminada para estampación en caliente.

Además, existe una creciente necesidad de láminas de acero para estampación en caliente con un grosor superior a 1,8 mm, e incluso superior a 3 mm, hasta 5 mm. Dichas láminas de acero se desean, por ejemplo, para producir piezas de chasis o brazos de suspensión, que hasta ahora se han producido mediante prensado en frío, o para producir piezas obtenidas mediante estampación en caliente de piezas en bruto laminadas a medida (TRB).

Sin embargo, las láminas de acero recubiertas para estampación en caliente que tienen un grosor superior a 3 mm no se pueden producir mediante laminación en frío. De hecho, las líneas de laminación en frío existentes no están adaptadas para producir dichas láminas de acero laminadas en frío. Además, la producción de láminas de acero recubiertas laminadas en frío que tienen un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm implica el uso de una baja relación de reducción de laminación en frío, que es incompatible con la recristalización que se necesita en la etapa de recocido después del laminado en frío. Por lo tanto, las láminas de acero recubiertas laminadas en frío que tienen un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm tendrían una planitud insuficiente, lo que daría como resultado, por ejemplo, defectos de desalineación durante la producción de piezas en bruto soldadas a medida.

Por lo tanto, se ha propuesto producir láminas de acero con un grosor elevado mediante laminación en caliente. Por ejemplo, el documento JP 2010-43323 divulga un procedimiento para fabricar láminas de acero laminadas en caliente para estampación en caliente, con un grosor superior a 1,6 mm.

Sin embargo, los inventores han descubierto que, al producir láminas de acero recubiertas mediante laminación en caliente, la adherencia del recubrimiento sobre la superficie de la pieza de acero después de la estampación en caliente es insatisfactoria, lo que conduce a una mala adherencia de la pintura sobre la pieza estampada en caliente. La adherencia de la pintura se evalúa, por ejemplo, mediante un ensayo de adherencia de pintura en húmedo.

Además, en algunos casos particulares, el grosor del recubrimiento, antes y después de la estampación en caliente, no se puede controlar de forma precisa, de modo que el grosor del recubrimiento obtenido no está dentro del intervalo de grosores objetivo. Este intervalo de grosores objetivo está comprendido generalmente entre 10 µm y 33 µm, por ejemplo, el intervalo de 10 - 20 µm, el intervalo de 15 - 33 µm o el intervalo de 20 - 33 µm. Este grosor de recubrimiento no controlado conduce a una mala soldabilidad.

Además, como se explica con más detalle a continuación, los inventores han descubierto que la adherencia del recubrimiento se puede mejorar en determinadas circunstancias ralentizando el proceso de decapado, sin mejorar por ello el control del grosor del recubrimiento. Por el contrario, en estas circunstancias, el control del grosor del recubrimiento, y por tanto la soldabilidad, incluso empeora, y se reduce la productividad de la línea.

Por tanto, la invención tiene como objetivo proporcionar una lámina de acero laminada en caliente y recubierta que tiene un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm y un procedimiento para fabricar la misma, que permite conseguir una mejor adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente, permitiendo al mismo tiempo el control del grosor del recubrimiento de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta dentro del intervalo objetivo, especialmente en el intervalo comprendido entre 10 y 33 µm.

La invención también tiene por objeto proporcionar una pieza de acero recubierto estampada en caliente, al menos una parte de la cual tiene un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm, que tiene una adherencia de recubrimiento

mejorada, y un procedimiento para su fabricación. La invención finalmente tiene por objetivo proporcionar un proceso que no reduzca la productividad en la línea de decapado.
- Para este fin, la invención se refiere a una lámina de acero laminada en caliente y recubierta según la reivindicación 1.
La lámina de acero laminada en caliente y recubierta incluye preferiblemente una o más de las características de las reivindicaciones 2 a 4.

La invención también se refiere a un procedimiento para fabricar una pieza de acero recubierta estampada en caliente según la reivindicación 5. El procedimiento incluye preferiblemente una o más de las características de las reivindicaciones 6 y 7.

La invención se refiere también a una pieza de acero recubierta estampada en caliente según la reivindicación 8.

La invención se refiere también al uso de una pieza de acero recubierta estampada en caliente según la reivindicación 9.

La invención se describirá ahora en detalle e ilustrará mediante ejemplos sin introducir limitaciones, con referencia a las figuras adjuntas entre las que se encuentran:
- La Figura 1 es una sección transversal de una pieza de acero recubierta laminada en caliente, que ilustra la evaluación de la adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente,
- La Figura 2 es una sección transversal de un sustrato de acero laminado en caliente, antes del recubrimiento y estampación en caliente, que ilustra la determinación del porcentaje de huecos en la superficie del sustrato de acero laminado en caliente.

Por producto, sustrato, lámina o pieza de acero laminado en caliente se debe entender que el producto, sustrato, lámina o pieza es laminado en caliente pero no laminado en frío.

La presente invención se refiere a una lámina de acero laminada en caliente que no ha sido laminada en frío posteriormente.

Las láminas o sustratos laminados en caliente difieren de las láminas o sustratos laminados en frío con respecto a las siguientes características: en general, las etapas de laminado en caliente y en frío crean algún daño alrededor de las partículas de la segunda fase debido a las diferencias en el comportamiento reológico entre la matriz y las partículas de la segunda fase (óxidos, sulfuros, nitruros, carburos...). En el caso del laminado en frío, los huecos pueden nuclearse y crecer alrededor de la cementita, los carburos o la perlita. Además, las partículas pueden fragmentarse. Este daño se puede observar en láminas que se cortan y preparan mediante pulido con haz de iones. Esta técnica evita artefactos debido al flujo de metal en el pulido mecánico que puede llenar parcial o totalmente los huecos eventuales. Se realiza una observación adicional de la presencia de huecos eventuales mediante microscopía electrónica de barrido. En comparación con una lámina de acero laminada en caliente laminada en el intervalo austenítico, el daño local observado alrededor o dentro de las partículas de cementita se puede atribuir específicamente al laminado en frío, ya que estas partículas no están presentes en la etapa de laminado en caliente. De este modo, el daño observado dentro o alrededor de cementita, carburos o perlita, en una lámina de acero laminada, es una indicación de que la lámina de acero ha sido laminada en frío.

Además, en lo sucesivo, un sustrato de acero laminado en caliente designará el producto de acero laminado en caliente que se produce al realizar el procedimiento de fabricación antes de cualquier etapa de recubrimiento, y una lámina de acero laminada en caliente y recubierta designará el producto resultante del procedimiento de fabricación, incluyendo la etapa de recubrimiento. La lámina de acero laminada en caliente y recubierta resulta, por tanto, del recubrimiento del sustrato de acero laminado en caliente, y comprende un producto de acero y un recubrimiento en cada lado del producto de acero.

Para distinguir el producto de acero de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta (es decir, excluyendo el recubrimiento) del sustrato de acero laminado en caliente antes del recubrimiento, el producto de acero de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta se designará en lo sucesivo como "lámina de acero laminada en caliente".

Los sustratos de acero laminado en caliente generalmente se producen a partir de un semiproducto de acero que se calienta, se lamina en caliente hasta el grosor deseado, se enfría hasta una temperatura de bobinado $T_{bobinado}$, se bobina a la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ y se decapa para eliminar la cascarilla (o calamina, “scale” en inglés).

Los sustratos de acero laminado en caliente pueden entonces recubrirse para crear láminas de acero laminadas en caliente y recubiertas, que pretenden ser cortadas, calentadas en un horno, estampadas en caliente y enfriadas hasta temperatura ambiente para obtener la estructura deseada.

Los inventores han investigado el problema de la falta de adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente y han descubierto que esta falta de adherencia se produce principalmente en partes de las láminas que estaban ubicadas en la región del núcleo y del eje longitudinal de la bobina durante el bobinado.

Los inventores han investigado más a fondo este fenómeno y han descubierto que la falta de adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente se debe a la oxidación intergranular que se produce durante el bobinado.

En particular, justo antes del bobinado, el acero comprende austenita. Después del bobinado, parte de esta austenita se transforma en ferrita y perlita, generando calor. El calor que se genera conduce a un aumento de la temperatura en el sustrato de acero bobinado, especialmente en la región del núcleo y del eje de la bobina.

El núcleo de la bobina se define como la parte del sustrato (o lámina) que se extiende, a lo largo de la dirección longitudinal del sustrato, desde un primer extremo ubicado al 30% de la longitud total del sustrato, hasta un segundo extremo ubicado al 70% de la longitud total del sustrato. Además, la región del eje se define como la región centrada en el eje medio longitudinal del sustrato, que tiene un ancho igual al 60% del ancho total del sustrato.

En la región del núcleo y del eje, durante el bobinado, los enrollamientos son contiguos, y la presión parcial en oxígeno es tal que solamente se oxidan los elementos más fácilmente oxidables que el hierro, especialmente silicio, manganeso o cromo.

El diagrama de fases de hierro-oxígeno a 1 atmósfera muestra que el óxido de hierro que se forma a altas temperaturas, es decir, la wustita (FeO), no es estable a temperaturas inferiores a 570°C, y se transforma, en el equilibrio termodinámico, en otras dos fases: hematita (FesOs) y magnetita (Fe_3O_4). Por el contrario, si el aumento de temperatura en algunas partes de la bobina durante el bobinado, especialmente en la región del núcleo y del eje de la bobina, es tal que la temperatura supera los 570°C, la hematita y la magnetita se transforman en wustita, siendo uno de los productos de esta descomposición el oxígeno.

El oxígeno resultante de esta reacción se combina con elementos más fácilmente oxidables que el hierro, especialmente silicio, manganeso, cromo y aluminio, que están presentes en la superficie del sustrato de acero.

Estos óxidos se forman de forma natural en los límites de los granos, en lugar de difundirse de manera homogénea en la matriz. Como resultado, la oxidación es más pronunciada en los límites de los granos. Esta oxidación se denominará en adelante oxidación intergranular.

De este modo, al final del bobinado, la bobina comprende una oxidación intergranular, en la superficie y hasta una cierta profundidad, que puede ser de hasta 17 micrómetros.

Los inventores han descubierto que una importante oxidación intergranular en el sustrato de acero laminado en caliente, y en consecuencia en la lámina de acero laminada en caliente, da como resultado una mala adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente. De hecho, después del recubrimiento, cuando la lámina se calienta para ser estampada en caliente, el carbono se difunde hacia el recubrimiento y se encuentra con los óxidos intergranulares, en particular óxidos de manganeso y silicio. Esta difusión de carbono da como resultado una reacción entre SiO_2 y C, entre MnO y C, y entre Mn_2SiO_4 y C, para formar óxidos de carbono. Estos óxidos de carbono migran y se disuelven hasta la solidificación final del recubrimiento, cuando se reúnen para formar bolsas, dando como resultado porosidades en el recubrimiento y, por lo tanto, una mala adherencia del recubrimiento.

El impacto de la oxidación intergranular sobre la adherencia del recubrimiento es específico de las láminas de acero laminadas en caliente, que no se someten a un laminado en frío posterior al bobinado, a diferencia de las láminas de acero laminadas en frío. De hecho, durante la producción de dichas láminas laminadas en frío, la oxidación intergranular que puede estar presente en la superficie del sustrato, antes del laminado en frío, se somete durante el laminado en frío, como toda la lámina, a una reducción de grosor. En consecuencia, la profundidad de la oxidación intergranular de la lámina laminada en frío, antes de la estampación en caliente, se reduce en gran medida en comparación con la profundidad de la oxidación intergranular de una lámina de acero laminada en caliente.

La oxidación intergranular se puede reducir o incluso eliminar, antes del recubrimiento, mediante un decapado intensivo del sustrato de acero, por ejemplo en un baño de HCl durante un tiempo de 375 segundos.

Sin embargo, el decapado intensivo requiere una velocidad de línea muy baja, lo que no es compatible con el procesamiento industrial.

Además, este decapado intensivo da como resultado una superficie desarrollada muy importante, en la superficie del sustrato de acero. La superficie desarrollada designa el área total de la superficie del sustrato de acero, que está en contacto con el baño durante el recubrimiento.

Esta importante superficie desarrollada da como resultado una disolución más intensa del hierro de la superficie del acero durante el recubrimiento por inmersión en caliente en el baño, lo que da como resultado un crecimiento de la capa intermetálica, que finalmente no se limita a una única región limitada del recubrimiento adyacente a la lámina de acero, sino que alcanza la superficie del recubrimiento. Como consecuencia, el grosor del recubrimiento no se puede

controlar en el intervalo de grosores objetivo. La capa intermetálica está formada de un compuesto en estado sólido compuesto de elementos metálicos con una estequiometría definida, que tiene una estructura cristalina en la que los átomos ocupan posiciones específicas.

Por lo tanto, los inventores han descubierto que suprimir o limitar la oxidación intergranular durante el bobinado permite fabricar una lámina de acero laminada en caliente y recubierta con un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm que tiene una adherencia de recubrimiento mejorada después de la estampación en caliente, al tiempo que permite el control del grosor del recubrimiento en el intervalo objetivo, especialmente entre 10 y 33 µm, y al mismo tiempo que mantiene una buena productividad en la línea de decapado industrial.

La composición del acero es tal que el acero puede estamparse en caliente para crear una pieza que tenga una resistencia a la tracción mayor o igual a 500 MPa, o mayor o igual a 1000 MPa, o mayor o igual a 1350 MPa, o mayor o igual a 1680 MPa.

A continuación se describe una composición del acero según un primer aspecto de la invención.

En cuanto a la composición química del acero, el carbono juega un papel importante en la templabilidad y la resistencia a la tracción obtenidas después de la estampación en caliente, gracias a su efecto sobre la dureza de la martensita.

Por debajo de un contenido de 0,04%, no es posible obtener una resistencia a la tracción superior a 500 MPa después de la estampación en cualquier condición de enfriamiento. Por encima de 0,38%, en combinación con los otros elementos de la composición según este primer aspecto, la adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente no es satisfactoria. Sin querer limitarse a una teoría, un contenido de C superior a 0,38% puede dar lugar a una formación importante de óxidos de carbono durante el calentamiento de la lámina antes de la estampación en caliente, agravando el impacto negativo de la oxidación intergranular sobre la adherencia del recubrimiento. Además, por encima de 0,38%, la resistencia al agrietamiento retardado y la tenacidad del acero disminuyen.

El contenido de C depende de la resistencia a la tracción deseada TS de la pieza estampada en caliente, producida mediante estampación en caliente de la lámina de acero. En particular, para contenidos de carbono que oscilan entre el 0,06 % y el 0,38 % en peso, la resistencia a la tracción TS de las piezas estampadas en caliente producidas mediante austenización total y estampación, seguidas de un temple martensítico, depende prácticamente solo del contenido de carbono y está vinculada al contenido de carbono mediante la expresión:

$$TS\ (MPa) = 3220\ (C\%) + 908$$

donde C% designa el contenido de carbono, en porcentaje en peso.

Según una realización, el contenido de C es mayor o igual a 0,75%.

Además de su papel desoxidante, el manganeso tiene un efecto importante sobre la capacidad de temple, en particular cuando su contenido es de al menos 0,40%, siendo el contenido de C de como máximo 0,38%. Por encima de 3%, la estabilización de la austenita por Mn es demasiado importante, lo que conduce a la formación de una estructura bandeada demasiado pronunciada. Según una realización, el contenido de Mn es inferior o igual a 2,0%.

Se añade silicio en un contenido de al menos 0,005% para ayudar a desoxidar el acero líquido y contribuir al endurecimiento del acero. Sin embargo, su contenido debe ser limitado para evitar una formación excesiva de óxidos de silicio. Además, el contenido de silicio debe ser limitado para evitar una estabilización demasiado importante de la austenita. El contenido de silicio es por lo tanto inferior o igual a 0,70%, por ejemplo inferior o igual a 0,5%. Preferiblemente, el contenido de Si es de al menos 0,10%.

Se puede añadir aluminio como desoxidante, siendo el contenido de Al inferior o igual a 0,1%, y superior a 0,005%, generalmente superior o igual a 0,010%. Preferiblemente, el contenido de Al es inferior o igual a 0,070%.

Opcionalmente, la composición de acero comprende cromo, tungsteno y/o boro, para aumentar la capacidad de temple del acero.

En particular, se puede añadir Cr para aumentar la capacidad de temple del acero y contribuir a lograr la resistencia a la tracción deseada TS después de la estampación en caliente. Cuando se añade Cr, su contenido es mayor o igual a 0,01 %, hasta 2 %. Si no se realiza ninguna adición voluntaria de Cr, el contenido de Cr puede ser tan bajo como 0,001 %.

Se puede añadir W para aumentar la capacidad de temple y la templabilidad del acero mediante la formación de carburos de tungsteno. Cuando se añade W, su contenido es mayor o igual a 0,001%, e inferior o igual a 0,30%.

Cuando se añade B, su contenido es superior a 0,0002%, y preferiblemente superior o igual a 0,0005%, hasta 0,010%. El contenido de B es preferiblemente inferior o igual a 0,005%.

Se añaden opcionalmente hasta un 0,1 % de niobio y/o hasta un 0,2 % de titanio para proporcionar endurecimiento por precipitación.

Cuando se añade Nb, su contenido es preferiblemente de al menos 0,01%. En particular, cuando el contenido de Nb está comprendido entre 0,01% y 0,1%, se forman precipitados de carbonitruros endurecedores finos Nb(CN) en la austenita o en la ferrita durante el laminado en caliente. El contenido de Nb es preferiblemente inferior o igual a 0,06%. Aún más preferiblemente, el contenido de Nb está comprendido entre 0,03% y 0,05%.

Cuando se añade Ti, su contenido es preferiblemente de al menos 0,015%, hasta 0,2%. Cuando el contenido de Ti está comprendido entre 0,015% y 0,2%, se produce una precipitación a muy alta temperatura en forma de TiN y, a continuación, a menor temperatura, en la austenita en forma de TiC fino, lo que da como resultado un endurecimiento. Además, cuando se añade titanio además de boro, el titanio evita la combinación de boro con nitrógeno, combinándose el nitrógeno con titanio. Por lo tanto, el contenido de titanio es preferiblemente superior a 3,42 N. Sin embargo, el contenido de Ti debe permanecer inferior o igual a 0,2%, preferiblemente inferior o igual a 0,1%, para evitar la precipitación de precipitados gruesos de TiN. Si no se realiza una adición voluntaria de Ti, el Ti está presente como impureza en un contenido de al menos 0,001%.

El molibdeno puede añadirse en un contenido de como máximo 0,65%. Cuando se añade Mo, su contenido es preferiblemente de al menos 0,05%, por ejemplo inferior o igual a 0,10%. El Mo se añade preferiblemente junto con Nb y Ti, para formar coprecipitados que son muy estables a altas temperaturas y limitan el crecimiento de grano austenítico al calentarse. Se obtiene un efecto óptimo cuando el contenido de Mo está comprendido entre 0,15% y 0,25%.

El níquel está presente como impureza en un contenido que puede ser tan bajo como 0,001%, e inferior o igual a 0,1%.

El azufre, el fósforo y el nitrógeno generalmente están presentes en la composición del acero como impurezas.

El contenido de nitrógeno es de al menos 0,0005%. El contenido de nitrógeno debe ser como máximo 0,010% para evitar la precipitación de precipitados gruesos de TiN.

El azufre y el fósforo, en cantidades excesivas, reducen la ductilidad. Por lo tanto, sus contenidos se limitan a 0,05% y 0,1% respectivamente.

Preferiblemente, el contenido de S es de como máximo 0,03 %. Conseguir un contenido de S muy bajo, es decir inferior a 0,0001 %, es muy costoso y no aporta ningún beneficio. Por tanto, el contenido de S es generalmente superior o igual a 0,0001 %.

Preferiblemente, el contenido de fósforo es de como máximo 0,05%, aún preferiblemente como máximo 0,025%. Conseguir un contenido de fósforo muy bajo, es decir inferior a 0,0001%, es muy costoso. Por lo tanto, el contenido de fósforo es generalmente superior o igual a 0,0001%.

El acero puede experimentar un tratamiento de globularización de sulfuros realizado con calcio, que tiene como efecto mejorar el ángulo de curvatura, debido a la globularización del MnS. Por lo tanto, la composición del acero puede comprender al menos un 0,0001% de Ca, hasta un 0,006%.

El resto de la composición del acero consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

Según una primera realización, el acero tiene la siguiente composición química, en porcentaje en peso:

$$0{,}040\% \leq C \leq 0{,}100\%$$
$$0{,}80\% \leq Mn \leq 2{,}0\%$$
$$0{,}005\% \leq Si \leq 0{,}30\%$$
$$0{,}010\% \leq Al \leq 0{,}070\%$$
$$0{,}001\% \leq Cr \leq 0{,}10\%$$
$$0{,}001\% \leq Ni \leq 0{,}10\%$$
$$0{,}03\% \leq Ti \leq 0{,}08\%$$
$$0{,}015\% \leq Nb \leq 0{,}1\%$$
$$0{,}0005\% \leq N \leq 0{,}009\%$$
$$0{,}0001\% \leq S \leq 0{,}005\%$$
$$0{,}0001\% \leq P \leq 0{,}030\%$$
$$Mo \leq 0{,}10\%$$
$$Ca \leq 0{,}006\%$$

el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

Con esta composición se pueden producir piezas de acero que tengan, después de estampación en caliente, una resistencia a la tracción de al menos 500 MPa.

Según una segunda realización, el acero tiene la siguiente composición química, en porcentaje en peso:

$$0{,}062\% \leq C \leq 0{,}095\%$$
$$1{,}4\% \leq Mn \leq 1{,}9\%$$
$$0{,}2\% \leq Si \leq 0{,}5\%$$
$$0{,}020\% \leq Al \leq 0{,}070\%$$
$$0{,}02\% \leq Cr \leq 0{,}01\%$$

donde

$$1{,}5\% \leq (C + Mn + Si + Cr) \leq 2{,}7\%$$
$$3{,}4 \times N \leq Ti \leq 8 \times N$$
$$0{,}04\% \leq Nb \leq 0{,}06\%$$

donde

$$0{,}044\% \leq (Nb + Ti) \leq 0{,}09\%$$
$$0{,}0005\% \leq B \leq 0{,}004\%$$
$$0{,}001\% \leq N \leq 0{,}009\%$$
$$0{,}0001\% \leq S \leq 0{,}003\%$$
$$0{,}0001\% \leq P \leq 0{,}020\%$$

y opcionalmente

$$0{,}0001\% \leq Ca \leq 0{,}006\%,$$

el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

Con esta composición se pueden producir piezas de acero que tengan, después de estampación en caliente, una resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa.

Según una tercera realización, el acero tiene la siguiente composición química, en porcentaje en peso:

$$0{,}15\% \leq C \leq 0{,}38\%$$
$$0{,}5\% \leq Mn \leq 3\%$$
$$0{,}10\% \leq Si \leq 0{,}5\%$$
$$0{,}005\% \leq Al \leq 0{,}1\%$$
$$0{,}01\% \leq Cr \leq 1\%$$
$$0{,}001\% \leq Ti \leq 0{,}2\%$$
$$0{,}0005\% \leq B \leq 0{,}08\%$$
$$0{,}0005\% \leq N \leq 0{,}010\%$$
$$0{,}0001\% \leq S \leq 0{,}05\%$$
$$0{,}0001\% \leq P \leq 0{,}01\%$$

el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

Con esta composición se pueden producir piezas de acero que tengan, después de la estampación en caliente, una resistencia a la tracción de al menos 1350 MPa.

A continuación, se describe una composición del acero según un segundo aspecto.

El contenido de C está comprendido entre 0,24% y 0,38% si el contenido de Mn está comprendido entre 0,40% y 3%. El carbono juega un papel importante en la templabilidad y la resistencia a la tracción obtenidas después de la estampación en caliente, gracias a su efecto sobre la dureza de la martensita. Un contenido de al menos 0,24% permite conseguir una resistencia a la tracción TS de al menos 1800 MPa después de la estampación en caliente, sin añadir elementos costosos. Por encima de 0,38%, cuando el contenido de Mn está comprendido entre 0,40% y 3%, la resistencia al agrietamiento retardado y la tenacidad del acero disminuyen. El contenido de C está comprendido preferiblemente entre 0,32% y 0,36% si el contenido de Mn está comprendido entre 0,40% y 3%.

Se puede utilizar un contenido de C aumentado comprendido entre 0,38% y 0,43% cuando el contenido de Mn se reduce al intervalo comprendido entre 0,05% y 0,40%. La reducción del contenido de Mn se compensa así con el aumento del contenido de C, al tiempo que se consigue una resistencia a la corrosión mejorada bajo tensión.

Además de su función desoxidante, el manganeso tiene un efecto importante sobre la capacidad de temple.

Cuando el contenido de C está comprendido entre 0,24% y 0,38%, el contenido de Mn debe ser de al menos 0,40% e inferior o igual a 3%. Un contenido de Mn de al menos 0,40% es necesario para alcanzar una temperatura Ms, siendo la temperatura de inicio de la transformación de la austenita en martensita al enfriarse lo suficientemente baja para alcanzar el nivel de resistencia deseado (resistencia a la tracción TS de al menos 1800 MPA en esta realización).

Por encima del 3%, la estabilización de la austenita por Mn es demasiado importante, lo que conduce a la formación de una estructura bandeada demasiado pronunciada. El contenido de Mn es preferiblemente inferior o igual al 2,0%.

Como alternativa, el contenido de Mn se puede reducir al intervalo comprendido entre 0,05% y 0,40% si el contenido de C se aumenta al intervalo comprendido entre 0,38% y 0,43%. La reducción del contenido de Mn permite lograr una mayor resistencia a la corrosión bajo tensión.

El contenido de Mn y C se define preferiblemente junto con el contenido de Cr.

Cuando el contenido de C está comprendido entre 0,32% y 0,36%, un contenido de Mn comprendido entre 0,40% y 0,80% y un contenido de Cr comprendido entre 0,05% y 1,20% permiten conseguir una alta resistencia al agrietamiento retardado.

Cuando el contenido de C está comprendido entre 0,24% y 0,38%, estando el contenido de Mn comprendido entre 1,50% y 3%, la soldabilidad por puntos es particularmente satisfactoria.

Cuando el contenido de C está comprendido entre 0,38% y 0,43%, estando comprendido el contenido de Mn entre 0,05% y 0,40%, y preferiblemente entre 0,09% y 0,11%, la resistencia a la corrosión bajo tensión aumenta considerablemente.

Estos intervalos de composición permiten alcanzar una temperatura Ms comprendida entre aproximadamente 320°C y 370°C, lo que garantiza una muy alta resistencia de las piezas estampadas en caliente.

El silicio se añade en un contenido comprendido entre 0,10% y 0,70% en peso. Un contenido de al menos 0,10% proporciona un endurecimiento adicional y ayuda a desoxidar el acero líquido. Sin embargo, su contenido debe limitarse para evitar una formación excesiva de óxidos de silicio. Además, el contenido de silicio debe limitarse para evitar una estabilización demasiado importante de la austenita. El contenido de silicio es por lo tanto inferior o igual a 0,70%.

Cuando el contenido de C está comprendido entre 0,24% y 0,38%, el contenido de Si es preferiblemente de al menos 0,50% para evitar un revenido de la martensita nueva que puede ocurrir a medida que el acero se mantiene dentro de la matriz después de la transformación martensítica.

Se puede añadir aluminio como desoxidante, siendo el contenido de Al inferior o igual a 0,070%, y superior o igual a 0,015%. Por encima de 0,070%, se pueden crear aluminatos gruesos durante la elaboración, reduciendo la ductilidad. Preferiblemente, el contenido de Al es inferior comprendido entre 0,020% y 0,060%.

Opcionalmente, la composición de acero comprende cromo y/o tungsteno para aumentar la capacidad de temple del acero.

El cromo aumenta la templabilidad del acero y contribuye a lograr la resistencia a la tracción deseada TS después de la estampación en caliente. Cuando se añade Cr, su contenido es mayor o igual a 0,01%, hasta 2%. Si no se realiza ninguna adición voluntaria de Cr, el contenido de Cr puede ser tan bajo como 0,001%.

Cuando el contenido de C está comprendido entre 0,24% y 0,38%, el contenido de Cr está comprendido preferiblemente entre 0,30% y 0,50%. Cuando el contenido de Mn está comprendido entre 1,50% y 3%, la adición de Cr es opcional, siendo suficiente la templabilidad conseguida mediante la adición de Mn.

Cuando el contenido de C está comprendido entre 0,38% y 0,43%, se prefiere un contenido de Cr superior a 0,5%, y preferiblemente comprendido entre 0,950% y 1,050%, con el fin de aumentar la resistencia a la corrosión bajo tensión.

Además de las condiciones definidas anteriormente, los contenidos de C, Mn, Cr y Si deben satisfacer la siguiente condición:

$$2{,}6C + \frac{Mn}{5{,}3} + \frac{Cr}{13} + \frac{Si}{15} \geq 1{,}1\%,$$

En estas condiciones, la fracción de martensita autorevenida resultante del revenido de la martensita que puede producirse a medida que la pieza se mantiene en la matriz es muy limitada, de modo que la fracción de martensita fresca muy elevada permite alcanzar una resistencia a la tracción de al menos 1800 MPa.

Se puede añadir W para aumentar la capacidad de temple y la templabilidad del acero mediante la formación de carburos de tungsteno. Cuando se añade W, su contenido es mayor o igual a 0,001%, e inferior o igual a 0,30%.

B se añade en un contenido superior al 0,0005%, hasta el 0,0040%. B aumenta la capacidad de temple. Al difundirse en los límites de grano, B evita la segregación intergranular de P.

Se añaden opcionalmente hasta un 0,06 % de niobio y/o hasta un 0,1 % de titanio para proporcionar endurecimiento por precipitación.

Cuando se añade Nb, su contenido es preferiblemente de al menos 0,01%. En particular, cuando el contenido de Nb está comprendido entre 0,01% y 0,06%, se forman precipitados de carbonitruros endurecedores finos Nb(CN) en la austenita o en la ferrita durante el laminado en caliente. De este modo, el Nb limita el crecimiento de los granos austeníticos durante el calentamiento antes de la estampación. Sin embargo, el contenido de Nb es inferior o igual a 0,06%. De hecho, por encima de 0,06%, la carga de laminado puede llegar a ser demasiado alta. Preferiblemente, el contenido de Nb está comprendido entre 0,03% y 0,05%.

El Ti se añade en un contenido de al menos 0,015%, hasta 0,1%. Cuando el contenido de Ti está comprendido entre 0,015% y 0,1%, se produce una precipitación a muy alta temperatura en forma de TiN y a continuación, a menor temperatura, en la austenita en forma de TiC fino, lo que da como resultado un endurecimiento. Además, el titanio evita la combinación de boro con nitrógeno, combinándose el nitrógeno con titanio. Por lo tanto, el contenido de titanio es superior a 3,42N. Sin embargo, el contenido de Ti debe permanecer inferior o igual a 0,1%, para evitar la precipitación de precipitados gruesos de TiN. Preferiblemente, el contenido de Ti está comprendido entre 0,020% y 0,040% para crear nitruros finos que limiten el crecimiento de los granos austeníticos durante el calentamiento antes de la estampación.

El molibdeno puede añadirse en un contenido de como máximo 0,65%. Cuando se añade Mo, su contenido es preferiblemente de al menos 0,05%. El Mo se añade preferiblemente junto con Nb y Ti, para formar coprecipitados que son muy estables a altas temperaturas y limitan el crecimiento de grano austenítico al calentarse. Se obtiene un efecto óptimo cuando el contenido de Mo está comprendido entre 0,15% y 0,25%.

Se añade níquel para aumentar la resistencia a la fractura retardada del acero, en un contenido comprendido entre 0,25% y 2%.

El contenido de nitrógeno es de al menos 0,003% para lograr una precipitación de TiN, Nb(CN) y/o (Ti,Nb)(CN), limitando el crecimiento de los granos austeníticos, como se explicó anteriormente. El contenido de nitrógeno debe ser como máximo de 0,010% para evitar la precipitación de precipitados gruesos de TiN.

El azufre y el fósforo, en cantidades excesivas, reducen la ductilidad. Por lo tanto, sus contenidos se limitan a 0,005% y 0,025%, respectivamente.

El contenido de S es de como máximo de 0,005% para limitar la precipitación de sulfuros. Conseguir un contenido de S muy bajo, es decir inferior a 0,0001%, es muy costoso y no aporta ningún beneficio. Por tanto, el contenido de S es generalmente superior o igual a 0,0001%.

El contenido de fósforo es de como máximo 0,025%, por lo que se limita la segregación de P en los límites de grano austenítico. Conseguir un contenido de P muy bajo, es decir inferior a 0,0001%, es muy costoso. Por lo tanto, el contenido de P es generalmente superior o igual a 0,0001%.

El acero puede experimentar un tratamiento de globularización de sulfuros realizado con calcio, que tiene como efecto mejorar el ángulo de curvatura, debido a la globularización del MnS. Por lo tanto, la composición del acero puede comprender al menos un 0,0005% de Ca, hasta un 0,005%.

El resto de la composición del acero consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

Como se explicó anteriormente, los inventores han descubierto que la falta de adherencia del recubrimiento de una pieza de acero, producida por estampación en caliente de una lámina de acero laminada en caliente y recubierta, resulta de la oxidación intergranular presente en la superficie de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta, antes de la estampación en caliente, y a través de un cierto grosor.

En primer lugar, los inventores han buscado un criterio que debe ser satisfecho por la pieza de acero recubierta estampada en caliente para garantizar una adherencia satisfactoria del recubrimiento.

Los inventores han descubierto que la calidad de la adherencia del recubrimiento se puede evaluar determinando el porcentaje de porosidades en la superficie en el recubrimiento.

El porcentaje de porosidades en superficie en el recubrimiento se determina en la pieza de acero recubierta estampada en caliente, es decir después de la estampación en caliente y el enfriamiento hasta temperatura ambiente.

El porcentaje de porosidades en superficie en el recubrimiento se determina observando cinco secciones transversales diferentes de una muestra bajo un microscopio óptico, con un aumento de x1000. Cada sección transversal tiene una longitud l_{ref}, que se selecciona para caracterizar el recubrimiento de manera representativa. La longitud l_{ref} se elige como 150 µm.

Como se ilustra en la Figura 1, para cada sección transversal, se realiza un análisis de imagen, mediante un analizador de imagen, por ejemplo Olympus Stream Essentials®, para determinar el porcentaje de las porosidades en superficie en el recubrimiento en esta sección transversal. Para ello, se identifican los límites superior e inferior B_1 y B_2 del recubrimiento. En particular, el límite superior sigue el contorno del recubrimiento, en la interfaz con el entorno circundante, y el límite inferior separa el material de acero del recubrimiento. A continuación, se determina la superficie total ocupada por el recubrimiento, incluidas las porosidades P, entre los límites inferior y superior, y se evalúa la superficie ocupada por las porosidades que se encuentran entre los límites inferior y superior (áreas de color gris en la Figura 1). El porcentaje de porosidades en superficie en el recubrimiento de la sección transversal considerada se calcula entonces como la relación entre la superficie ocupada por las porosidades y la superficie total ocupada por el recubrimiento (multiplicada por 100).

Finalmente, el porcentaje de porosidades en superficie en el recubrimiento se determina como el promedio de los cinco valores así obtenidos.

La adherencia del recubrimiento se considera satisfactoria si el porcentaje de porosidades en la superficie en el recubrimiento es inferior o igual al 3%. Por el contrario, si el porcentaje de porosidades en la superficie en el recubrimiento es superior al 3%, la adherencia del recubrimiento se considera insatisfactoria.

Además, los inventores han identificado dos criterios que deben ser satisfechos, por el sustrato de acero laminado en caliente y la lámina de acero laminada en caliente respectivamente, para asegurar que el grosor del recubrimiento pueda ser controlado para estar en el intervalo objetivo, especialmente en el intervalo de 10 a 33 µm, por ejemplo entre 20 y 33 µm o entre 10 y 20 µm, y que, después de la estampación, la adherencia del recubrimiento sea satisfactoria.

El primer criterio está relacionado con el estado de la superficie del sustrato de acero laminado en caliente, después del decapado y antes del recubrimiento.

En particular, como se explicó anteriormente, la superficie desarrollada del sustrato de acero laminado en caliente justo antes del recubrimiento debe controlarse para evitar una disolución intensiva del hierro de la superficie del acero y un crecimiento descontrolado de la capa intermetálica durante la inmersión en caliente en el baño, lo que daría como resultado la imposibilidad de controlar el grosor del recubrimiento dentro del intervalo objetivo.

De hecho, la oxidación intergranular del sustrato de acero laminado en caliente se puede reducir mediante un decapado intensivo, lo que a su vez permite reducir la oxidación intergranular de la lámina de acero laminada en caliente. Sin embargo, debido a este decapado intensivo, el sustrato tendría un estado de superficie (es decir, una superficie desarrollada) incompatible con el control del grosor del recubrimiento.

Los inventores han descubierto que para garantizar que el grosor del recubrimiento esté comprendido en el intervalo objetivo, es decir comprendido entre 10 y 33 µm, el grosor de la capa intermetálica formada durante el recubrimiento debe permanecer inferior a 15 µm, y que para obtener un grosor de la capa intermetálica inferior a 15 µm, el porcentaje de huecos en la superficie en la región de la superficie del sustrato de acero laminado en caliente, después de cualquier decapado y antes del recubrimiento, debe ser inferior al 30%. El grosor de la capa intermetálica designa aquí el grosor de la capa intermetálica del recubrimiento de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta.

El criterio sobre el porcentaje de huecos en la superficie debe cumplirse, en particular, en la región del sustrato de acero laminado en caliente que estaba ubicado en la región del núcleo y del eje de la bobina durante el bobinado.

Como se ilustra en la Figura 2, la región de superficie se define como la región que se extiende desde el punto superior de la superficie del sustrato de acero laminado en caliente hasta una profundidad, desde este punto superior, de 15 µm. El porcentaje de huecos en la superficie en la región de superficie se determina a partir de cinco secciones transversales distintas representativas del sustrato de acero laminado en caliente, teniendo cada sección transversal

una longitud l_{ref} de 150 µm. Las secciones transversales se toman preferiblemente de una muestra recogida de la región del núcleo y del eje de la bobina. En cada sección transversal, se determina una región de superficie de muestra mediante un análisis de imagen, por ejemplo Olympus Stream Essentials®, como una región rectangular cuyo lado superior une los dos puntos más altos Pt1 y Pt2 del perfil de superficie de la sección transversal, y cuyo lado inferior está alejado del lado superior de 15 µm. Por lo tanto, cada región de superficie de muestra tiene una longitud l_{ref} de 150 µm y una profundidad de 15 µm.

Para cada sección transversal, se identifican las regiones de la región de superficie de la muestra que no son de acero, y se determina la superficie total de estas regiones. El porcentaje de huecos en la superficie en la región de superficie de la muestra se determina entonces como la relación entre la superficie total de las regiones que no son de acero y la superficie total de la región de superficie de la muestra, multiplicada por 100. Finalmente, el porcentaje de huecos en la superficie del sustrato de acero laminado en caliente y decapado se determina como el promedio de los cinco valores así obtenidos.

El segundo criterio es una profundidad máxima de oxidación intergranular de la lámina de acero laminada en caliente, es decir, del producto de acero después del recubrimiento. De hecho, los inventores han descubierto que para obtener una adherencia satisfactoria del recubrimiento después de la estampación en caliente, la profundidad de oxidación intergranular de la lámina de acero laminada en caliente debe ser inferior a 4 µm.

Este criterio debe cumplirse en particular en la región de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta que estaba ubicada en la región del núcleo y del eje de la bobina durante el bobinado.

La profundidad de oxidación intergranular se determina en la lámina de acero laminada en caliente y recubierta, es decir, después del recubrimiento.

La profundidad de oxidación intergranular se define como el grosor de la región de la lámina de acero laminada en caliente, desde la superficie de la lámina de acero laminada en caliente (es decir, desde la interfaz entre el recubrimiento y la lámina de acero laminada en caliente) hacia el interior de la lámina de acero laminada en caliente, en una dirección ortogonal a esta superficie, en la que se observa oxidación intergranular.

En particular, la oxidación intergranular se observa con un microscopio óptico con un aumento de x1000, en cinco secciones transversales diferentes, cada una con una longitud l_{ref} de 150 µm, a partir de una muestra recogida de la región del núcleo y del eje de la bobina. En cada sección transversal, se mide la profundidad máxima de la oxidación intergranular. Finalmente, la profundidad de la oxidación intergranular se determina como el promedio de los cinco valores así obtenidos.

Por lo tanto, para garantizar que, después del recubrimiento, el grosor del recubrimiento se pueda controlar para que esté en el intervalo objetivo y que, después de la estampación en caliente, la adherencia del recubrimiento sea satisfactoria, es decir, que el porcentaje de porosidades en la superficie en el recubrimiento sea inferior o igual al 3%, se deben cumplir las dos condiciones siguientes:
- el porcentaje de huecos en superficie en la región de superficie del sustrato de acero laminado en caliente, después del decapado y antes del recubrimiento, debe ser inferior al 30%, y
- la profundidad de oxidación intergranular de la lámina de acero laminada en caliente, después del decapado y recubrimiento, debe ser inferior a 4 µm.

Los productos de acero laminados en caliente se pueden producir mediante la fundición de un acero que tiene una composición como la mencionada anteriormente de modo que se obtenga un semiproducto de acero, recalentando el semiproducto de acero a una temperatura $T_{recalentamiento}$ comprendida entre 1150 °C y 1300 °C, y laminando en caliente el semiproducto de acero recalentado, con una temperatura de laminación final FRT, para obtener un producto de acero laminado en caliente. La temperatura $T_{recalentamiento}$ está comprendida, por ejemplo, entre 1150 °C y 1240 °C.

La temperatura final de laminación FRT está generalmente comprendida entre 840°C y 1000°C.

La reducción por laminación en caliente está adaptada para que el producto de acero laminado en caliente tenga un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm, por ejemplo comprendido entre 3 mm y 5 mm.

A continuación, el producto de acero laminado en caliente se enfría en la mesa de salida para alcanzar la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ y se bobina para obtener un sustrato de acero laminado en caliente.

La temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ se selecciona para evitar o al menos limitar la oxidación intergranular.

En particular, la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ se selecciona de modo que la profundidad de oxidación intergranular del sustrato de acero laminado en caliente sea inferior a 5 µm. De hecho, si la profundidad de oxidación intergranular del sustrato de acero laminado en caliente es inferior a 5 µm, la profundidad de oxidación intergranular de la lámina de acero laminada en caliente, después del recubrimiento, permanecerá inferior a 4 µm. Aún preferiblemente, la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ se selecciona de modo que no se produzca oxidación intergranular.

Con una composición de acero según el primer aspecto, los inventores han descubierto que para obtener una profundidad de oxidación intergranular de la lámina de acero laminada en caliente de menos de 4 µm, la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ debe ser inferior a una temperatura de bobinado máxima $T_{bobinadomáx}$, que depende de la fracción de austenita justo antes del bobinado, denotada $f\gamma$.

De hecho, una fracción de austenita $f\gamma$ elevada justo antes del bobinado dará como resultado una transformación sustancial de la austenita durante el bobinado, por lo tanto, un aumento importante de la temperatura, especialmente en la región de bobinado y eje de la lámina durante el bobinado. Por el contrario, si la fracción de austenita $f\gamma$ justo antes del bobinado es baja, no se producirá ninguna o poca transformación de la austenita durante el bobinado, de modo que se reducirá el aumento de la temperatura de la lámina.

Como consecuencia, la temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomáx}$ es una función decreciente de la fracción de austenita $f\gamma$ justo antes del bobinado.

Los inventores han descubierto que, para obtener una profundidad de oxidación intergranular en la lámina de acero laminada en caliente de menos de 4 µm, la temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomáx}$ se expresa como:

$$T_{bobinadomáx} = 650 - 140 \times f\gamma$$

donde $T_{bobinadomáx}$ se expresa en grados Celsius y $f\gamma$ designa la fracción de austenita presente en el acero justo antes del bobinado, comprendida entre 0 (que corresponde al 0% de austenita) y 1 (que corresponde al 100% de austenita). La temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomáx}$ está comprendida, por tanto, entre 510°C y 650°C.

Por lo tanto, la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ debe satisfacer:

$$T_{bobinado} \leq 650 - 140 \times f\gamma$$

La fracción de austenita $f\gamma$ en el acero justo antes del bobinado se puede determinar a través de una técnica electromagnética (EM) sin contacto y no destructiva, utilizando un dispositivo para detectar las propiedades magnéticas de la lámina de acero.

El principio de esta técnica, que se describe por ejemplo en el documento "Online electromagnetic monitoring of austenite transformation in hot strip rolling and its application to process optimization" A.V. Marmulev et al., Revue de Métallurgie 110, pág. 205-213 (2013), se basa en la diferencia entre las propiedades magnéticas de la austenita, que es paramagnética, y las propiedades magnéticas de la ferrita, perlita, bainita y martensita, que son fases ferromagnéticas.

Un dispositivo para determinar la fracción de austenita $f\gamma$ se describe, por ejemplo, en US 2003/0038630 A1.

La fracción de austenita $f\gamma$ justo antes del bobinado depende de la composición del acero, especialmente del contenido de C, de la temperatura final de laminación FRT y del proceso de enfriamiento entre la temperatura final de laminación FRT y la temperatura de bobinado $T_{bobinadomáx}$.

En particular, cuanto mayor sea el contenido de C del acero, mayor será la fracción de austenita $f\gamma$ en la lámina de acero justo antes del bobinado. Por lo tanto, siendo todos los demás parámetros iguales, cuanto mayor sea el contenido de C, menor será la temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomáx}$. En particular, si el contenido de C del acero es mayor o igual a 0,075 %, la fracción de austenita en el sustrato permanece mayor que 0,5, de modo que la temperatura de bobinado $T_{bobinadomáx}$ es menor que 580 °C.

La temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomáx}$ se puede determinar, para un acero que tiene una composición y un grosor determinados, en una línea determinada, siendo fijada la temperatura final de laminación FRT, determinando la fracción de austenita en el producto de acero durante el enfriamiento a partir de la temperatura final de laminación FRT, y comparando, durante el enfriamiento, la temperatura T del sustrato con el valor 650 - 140 $f\gamma'(T)$, siendo $f\gamma'(T)$ la fracción de austenita del sustrato a la temperatura T durante el enfriamiento.

La temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomax}$ es la temperatura a la que T = 650 -140 fY(T).

Generalmente, la temperatura de bobinado es preferiblemente inferior a 580 °C, aún preferiblemente inferior a 570 °C.

Sin embargo, la temperatura de bobinado debe permanecer superior a 450 °C, para evitar un aumento no deseado en las propiedades mecánicas del acero que resultaría de una temperatura de bobinado baja.

En estas condiciones, la oxidación intergranular en el sustrato de acero laminado en caliente es limitada, de modo que la profundidad de la oxidación intergranular de la lámina de acero laminado en caliente después del recubrimiento será

inferior a 4 µm.

Con una composición de acero según el segundo aspecto, los inventores han descubierto que para obtener una profundidad de oxidación intergranular de la lámina de acero laminada en caliente de menos de 4 µm, la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ debe ser incluso más restringida en comparación con las composiciones según el primer aspecto, y ajustada a valores inferiores o iguales a 495°C.

Las reglas indicadas anteriormente para asegurar en paralelo la adherencia del recubrimiento y el grosor del recubrimiento en el intervalo objetivo siguen siendo válidas. Sin embargo, debido a la presencia de Ni mayor o igual a 0,25%, no son suficientes para inducir al mismo tiempo una buena productividad en la línea de decapado. De hecho, los inventores descubrieron que la presencia de Ni mayor a 0,25% induce una mayor adherencia de la cascarilla en el laminador de bandas en caliente. La presencia de dicha cascarilla, altamente adherida a la superficie, perjudica la capacidad de recubrimiento de la lámina. Esta cascarilla podría eliminarse mediante un decapado intenso, lo que sin embargo reduciría en gran medida la productividad en la línea de decapado. Los inventores han descubierto que reducir la temperatura de bobinado por debajo o igual a $T_{bobinadomáx}$ = 495°C podría ayudar a reducir la cantidad de cascarilla formada en la mesa de salida en el laminador de bandas en caliente. Por lo tanto, se reduce el níquel metálico formado en la interfaz entre la cascarilla y el acero, lo que finalmente facilita la rotura de la cascarilla y el decapado en la línea de decapado y, en consecuencia, proporciona un proceso con mayor productividad en esta última línea.

Después del bobinado, el sustrato de acero laminado en caliente se decapa. Dado que la profundidad de oxidación intergranular es limitada, las condiciones de decapado no tienen influencia en la adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente ni en el grosor del recubrimiento.

En particular, incluso si se realiza un decapado ligero, debido a la baja profundidad de oxidación intergranular antes del decapado, la profundidad de oxidación intergranular en la lámina de acero laminada en caliente después del decapado y el recubrimiento será en cualquier caso inferior a 4 µm, de modo que se formarán pocos o ningún óxido de carbono durante el calentamiento antes del conformado en caliente, y que la adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente no se verá afectada.

Además, incluso si se realiza un decapado intensivo, debido a la baja profundidad de oxidación intergranular antes del decapado, el porcentaje de huecos en superficie de la región de la superficie del sustrato de acero laminado en caliente después del decapado permanecerá por debajo del 30%. Por lo tanto, no se producirá una disolución intensa de hierro de la superficie del acero ni un crecimiento descontrolado de la capa intermetálica durante el recubrimiento por inmersión en caliente de la lámina de acero en el baño, y el grosor del recubrimiento se puede controlar al grosor objetivo.

El decapado se realiza por ejemplo en un baño de HCl, durante un tiempo comprendido entre 15 y 65 segundos.

El sustrato de acero laminado en caliente, que está decapado, así obtenido satisface por tanto el primer criterio definido anteriormente, es decir, tiene un porcentaje de huecos en superficie en la región de superficie inferior al 30%. Además, la lámina de acero laminada en caliente y decapada tiene poca o ninguna oxidación intergranular, lo que permite satisfacer el segundo criterio definido anteriormente, es decir, obtener una profundidad de oxidación intergranular inferior a 4 µm en la lámina de acero laminada en caliente después del recubrimiento.

Después del decapado, el sustrato de acero laminado en caliente y decapado se puede aceitar o se le puede aplicar una película orgánica, por ejemplo Easyfilm ® HPE, para proteger temporalmente la superficie de la lámina.

El sustrato de acero laminado en caliente y decapado se recubre a continuación por inmersión en caliente de forma continua en un baño, ya sea con Al o con una aleación de Al, para obtener una lámina de acero laminada en caliente y recubierta.

Por ejemplo, el recubrimiento puede ser un recubrimiento de Al-Si. Un baño típico para un recubrimiento de Al-Si generalmente contiene en su composición básica, en porcentaje en peso, de 8% a 11% de silicio, de 2% a 4% de hierro, siendo el resto aluminio o aleación de aluminio, e impurezas inherentes al procesamiento. Los elementos de aleación presentes con el aluminio incluyen estroncio y/o calcio, entre 15 y 30 ppm cada uno.

Como otro ejemplo, el recubrimiento puede ser un recubrimiento de Zn-Al-Mg. Un baño típico para un recubrimiento de Zn-Al-Mg contiene, en porcentaje en peso, entre 0,1% y 10% de magnesio, entre 0,1% y 20% de aluminio, siendo el resto Zn o aleación de Zn, elementos adicionales opcionales, tales como Si, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Ni, Zr y/o Bi, e impurezas inherentes al procesamiento.

Por ejemplo, el baño contiene entre 0,5% y 8% de aluminio, entre 0,3% y 3,3% de magnesio, siendo el resto Zn o aleación de Zn, elementos adicionales opcionales, tales como Si, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Ni, Zr y/o Bi, e impurezas inherentes al procesamiento.

Como otro ejemplo, el recubrimiento es un recubrimiento de Al-Zn-Si-Mg.

Un primer ejemplo de baño para un recubrimiento de Al-Zn-Si-Mg contiene, en porcentaje en peso, de 2,0% a 24,0% de zinc, de 7,1% a 12,0% de silicio, opcionalmente de 1,1% a 8,0% de magnesio, y opcionalmente elementos adicionales elegidos entre Pb, Ni, Zr o Hf, siendo el contenido de cada elemento adicional inferior a 0,3%, siendo el resto aluminio e impurezas inevitables y elementos residuales, siendo la relación Al/Zn superior a 2,9.

Un segundo ejemplo de baño para un recubrimiento de Al-Zn-Si-Mg contiene, en porcentaje en peso, de 4,0% a 20,0% de zinc, de 1% a 3,5% de silicio, opcionalmente de 1,0% a 4,0% de magnesio, y opcionalmente elementos adicionales elegidos entre Pb, Ni, Zr o Hf, siendo el contenido de cada elemento adicional inferior a 0,3%, siendo el resto aluminio e impurezas inevitables y elementos residuales, estando la relación Zn/Si comprendida entre 3,2 y 8,0.

Un tercer ejemplo de baño para un recubrimiento de Al-Zn-Si-Mg contiene, en porcentaje en peso, de 2,0% a 24,0% de zinc, de 1,1% a 7,0% de silicio, opcionalmente de 1,1% a 8,0% de magnesio cuando la cantidad de silicio está entre 1,1 y 4,0%, y opcionalmente elementos adicionales elegidos entre Pb, Ni, Zr o Hf, siendo el contenido de cada elemento adicional inferior a 0,3%, siendo el resto aluminio e impurezas inevitables y elementos residuales, siendo la relación Al/Zn superior a 2,9.

Después de la deposición del recubrimiento por inmersión en caliente, la lámina de acero recubierta generalmente se limpia con boquillas que expulsan gas en ambos lados de la lámina de acero recubierta, y a continuación la lámina de acero recubierta se enfría.

La lámina de acero laminada en caliente y recubierta así obtenida comprende una lámina de acero laminada en caliente y, en cada lado de la lámina de acero laminada en caliente, un recubrimiento de Al o de una aleación de Al.

La lámina de acero laminada en caliente generalmente tiene una estructura ferrito-perlítica, es decir, una estructura que consiste en ferrita y perlita.

El grosor del recubrimiento de Al o aleación de Al, en cada lado de la lámina de acero laminada en caliente, está comprendido entre 10 µm y 33 µm.

Según una primera realización, el grosor del recubrimiento se controla para que esté comprendido en el intervalo entre 20 µm y 33 µm.

Según una segunda realización, el grosor del recubrimiento se controla para que esté comprendido en el intervalo entre 10 µm y 20 µm.

Según una tercera realización, el grosor del recubrimiento se controla para que esté en el intervalo entre 15 µm y 25 µm.

Después del recubrimiento, la profundidad de oxidación intergranular en la lámina de acero laminada en caliente permanece inferior a 4 µm, generalmente inferior a 3 µm debido al decapado. Esta profundidad se extiende desde la superficie de la lámina de acero laminada en caliente (es decir, la superficie que separa la lámina de acero laminada en caliente del recubrimiento) hacia el interior de la lámina de acero.

Además, debido al bajo porcentaje de huecos en superficie en la región de la superficie del sustrato de acero laminado en caliente antes del recubrimiento, incluso después del decapado, el grosor del recubrimiento está comprendido dentro del intervalo de grosor objetivo, especialmente entre 10 µm y 33 µm, en cada lado de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta, y en cada ubicación en cada lado de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta.

La lámina de acero laminada en caliente y recubierta pretende ser estampada en caliente.

Para ello, la lámina de acero laminada en caliente y recubierta se corta para obtener una pieza en bruto. Opcionalmente, esta pieza en bruto puede soldarse a una segunda pieza en bruto, para obtener así una pieza en bruto soldada a medida (TWB) que comprende una primera pieza en bruto cortada a partir de una lámina de acero laminada en caliente y recubierta según la invención y una segunda pieza en bruto. La segunda pieza en bruto también puede obtenerse a partir de una lámina de acero laminada en caliente y recubierta según la invención, o puede ser una pieza en bruto cortada a partir de una lámina de acero laminada en frío y recubierta. En particular, la primera pieza en bruto, que tiene un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm, puede soldarse a una segunda pieza en bruto que tiene un grosor diferente y/o puede estar fabricada de un acero que tiene una composición diferente. La segunda pieza en bruto está fabricada preferiblemente de un acero que tiene una composición que comprende, en porcentaje en peso:

$$0{,}04\% \leq C \leq 0{,}38\%$$
$$0{,}40\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0{,}005\% \leq Si \leq 0{,}70\%$$
$$0{,}005\% \leq Al \leq 0{,}1\%$$
$$0{,}001\% \leq Cr \leq 2\%$$
$$0{,}001\% \leq Ni \leq 2\%$$
$$0{,}001\% \leq Ti \leq 0{,}2\%$$
$$Nb \leq 0{,}1\%$$
$$B \leq 0{,}010\%$$
$$0{,}0005\% \leq N \leq 0{,}010\%$$
$$0{,}0001\% \leq S \leq 0{,}05\%$$
$$0{,}0001\% \leq P \leq 0{,}1\%$$
$$Mo \leq 0{,}65\%$$
$$W \leq 0{,}30\%$$
$$Ca \leq 0{,}006\%$$

el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

La segunda pieza en bruto también puede estar fabricada de un acero que tenga una composición que comprenda, en porcentaje en peso: ya sea

$$0{,}24\% \leq C \leq 0{,}38\% \text{ y } 0{,}40\% \leq Mn \leq 3\%$$

o

$$0{,}38\% \leq C \leq 0{,}43\% \text{ y } 0{,}05\% \leq Mn \leq 0{,}40\%$$

$$0{,}10\% \leq Si \leq 0{,}70\%$$
$$0{,}015\% \leq Al \leq 0{,}070\%$$
$$0{,}001\% \leq Cr \leq 2\%$$
$$0{,}25\% \leq Ni \leq 2\%$$
$$0{,}015\% \leq Ti \leq 0{,}1\%$$
$$0\% \leq Nb \leq 0{,}06\%$$
$$0{,}0005\% \leq B \leq 0{,}0040\%$$
$$0{,}003\% \leq N \leq 0{,}010\%$$
$$0{,}0001\% \leq S \leq 0{,}005\%$$
$$0{,}0001\% \leq P \leq 0{,}025\%$$

los contenidos de titanio y nitrógeno satisfacen la siguiente relación:

$$Ti/N > 3{,}42$$

los contenidos de carbono, manganeso, cromo y silicio satisfacen la siguiente relación:

$$2{,}6C + \frac{Mn}{5{,}3} + \frac{Cr}{13} + \frac{Si}{15} \geq 1{,}1\%,$$

la composición química que comprende opcionalmente uno de varios de los siguientes elementos:

$$0{,}05\% \leq Mo \leq 0{,}65\%$$
$$0{,}001\% \leq W \leq 0{,}30\%$$
$$0{,}0005\% \leq Ca \leq 0{,}005\%$$

el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

Para simplificar, se utilizará en adelante el término "pieza en bruto" para designar una pieza en bruto obtenida a partir de una lámina de acero laminada en caliente y recubierta según la invención, o una pieza en bruto soldada a medida que incluye esta pieza en bruto.

A continuación, la pieza en bruto se somete a un tratamiento térmico en un horno antes de la estampación en caliente, y se estampa en caliente para obtener una pieza de acero recubierta estampada en caliente.

En particular, la pieza en bruto se calienta en un horno a una temperatura Tc que permite conseguir en el sustrato de acero una transformación al menos parcial en austenita. Esta temperatura está comprendida, por ejemplo, entre 860°C y 950°C, y generalmente comprendida entre 880°C y 950°C, obteniéndose así una pieza en bruto calentada.

A continuación, la pieza en bruto calentada se retira del horno y se transfiere del horno a una matriz, donde experimenta una deformación en caliente (estampación en caliente), con el fin de obtener la geometría deseada de la pieza para obtener una pieza en bruto estampada en caliente. La pieza en bruto estampada en caliente se enfría hasta 400 °C a una velocidad de enfriamiento Vr que es preferiblemente de más de 10 °C/s, aún preferiblemente de más de 30 °C/s, obteniendo así una pieza de acero recubierta estampada en caliente.

La pieza de acero recubierta estampada en caliente así obtenida presenta una adherencia del recubrimiento muy satisfactoria.

En particular, el porcentaje de porosidades en superficie en el recubrimiento de la pieza de acero recubierta estampada en caliente es inferior o igual al 3%.

Además, después de pintar, por ejemplo mediante pulverización, la adherencia de la pintura es muy satisfactoria. La adherencia de la pintura se puede evaluar en particular realizando una prueba de adherencia de pintura en húmedo según la norma ISO 2409:2007. La adherencia de la pintura se considera buena si el resultado de la prueba de adherencia de pintura en húmedo es inferior o igual a 2, y mala si el resultado de la prueba de adherencia de pintura en húmedo es superior a 2.

EJEMPLOS

Las láminas de acero laminadas en caliente y recubiertas se produjeron mediante la fundición de semiproductos que tenían las composiciones descritas en la Tabla 1, en porcentaje en peso:

Tabla 1

Acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Al (%)	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Nb (%)	B (%)	N (%)	S (%)	P (%)	Mo (%)	W (%)	Ca (%)
A	0,23	1,13	0,24	0,037	0,159	0,013	0,036	0,001	0,0018	0,005	0,0017	0,015	0,003	0,003	0,0015
B	0,06	1,64	0,022	0,024	0,027	0,016	0,067	0,048	-	0,005	0,004	0,016	0,003	0,002	0,0015
C	0,36	1,24	0,226	0,032	0,111	0,105	0,034	0,001	0,0032	0,006	0,0014	0,015	0,021	0,004	0,0021
D	0,344	0,81	0,541	0,030	0,354	0,417	0,034	0,038	0,0039	0,005	0,0004	0,008	0,205	0,003	0,0006
E	0,07	1,62	0,36	0,040	0,09	0,012	0,021	0,051	0,0030	0,005	0,0010	0,012	-	0,003	0,0034

Los contenidos de Ni indicados en la Tabla 1 para los aceros A, B y E corresponden a la presencia de Ni como residuo (o impureza).

Los semiproductos se laminaron en caliente hasta un grosor (gro), con una temperatura de laminación final FRT.

Los productos de acero laminados en caliente se enfriaron hasta una temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ y se bobinaron a la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$, para obtener sustratos de acero laminado en caliente.

A continuación, los sustratos de acero laminado en caliente se decaparon en un baño de HCl durante un tiempo $t_{decapado}$. Después del decapado, se tomaron muestras de la región del núcleo y del eje de los sustratos de acero laminado en caliente y, para cada muestra, se determinó el porcentaje de huecos en superficie de la región de la superficie de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente.

A continuación, los sustratos de acero laminado en caliente se recubrieron por inmersión en caliente. La Tabla 2 muestra las composiciones de baño utilizadas para la inmersión en caliente de las muestras. El objetivo era un grosor de recubrimiento comprendido entre 20 y 33 µm en cada lado de la lámina.

Tabla 2

Recubrimiento	Si (%)	Fe (%)	Zn (%)	Mg (%)	Al (%) + impurezas
α	9	3	<0,1	<0,1	88
β	3,4	1,4	15,6	1,8	77,8

Después del recubrimiento por inmersión en caliente, algunas de las láminas laminadas en caliente y recubiertas se sometieron a una deposición de Zn de 0,7 µm sobre el recubrimiento de aleación de Al a través de electrodeposición.

Después del recubrimiento, se tomaron muestras de la región del núcleo y del eje de las láminas y, para cada muestra, se determinó la profundidad de oxidación intergranular de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente. Además, se determinaron el grosor del recubrimiento y el grosor de la capa intermetálica.

Las láminas de acero laminadas en caliente y recubiertas así obtenidas se cortaron para obtener piezas en bruto. Las piezas en bruto cortadas de la región del núcleo y del eje de las láminas de acero laminadas en caliente y recubiertas se calentaron en un horno a una temperatura de 920 °C durante un tiempo t_c. Este tiempo t_c incluye la fase de calentamiento a la temperatura objetivo y la fase de mantenimiento a esta temperatura. A continuación, las piezas en bruto calentadas se transfirieron a una matriz, se estamparon en caliente y se enfriaron hasta temperatura ambiente.

De cada pieza recubierta estampada en caliente se tomó una muestra y se evaluó la adherencia del recubrimiento determinando el porcentaje de porosidades en la superficie en el recubrimiento según el procedimiento descrito anteriormente. Además, se midió el grosor del recubrimiento.

Finalmente, se aplicó una pintura electrodepositada de 20 µm sobre una cara de cada pieza, y se evaluó la adherencia de la pintura sobre las piezas mediante un ensayo de adherencia de pintura en húmedo según la norma ISO 2409:2007. La adherencia de la pintura se consideró buena si el resultado de este ensayo era inferior o igual a 2, o mala si el resultado de este ensayo era superior a 2.

En todos estos ejemplos, el ancho de las láminas fue igual a 1 m.

Las condiciones de fabricación (composición del acero, grosor (gro) después del laminado en caliente, temperatura final de laminado FRT, fracción de austenita justo antes del bobinado f_γ y temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomax}$, temperatura de bobinado $T_{bobinado}$, tiempo de decapado $t_{decapado}$ y tiempo de calentamiento t_C) para cada pieza se indican en la Tabla 3.

Tabla 3

Muestra	Acero	Recubrimiento	Electrodeposición de recubrimiento de Zn	grosor (mm)	FRT (ºC)	f_γ	$T_{bobinado\ máx}$ (ºC)	$T_{bobinado}$ (ºC)	$T_{decapado}$ (s)	T_C (s)
1	A	α	NO	3,3	875	0,65	559	585	25	600
2	A	α	NO	3,3	875	0,65	559	655	45	600
3	A	α	NO	3,3	875	0,65	559	585	45	600
4	A	α	NO	3,3	875	0,65	559	585	375	600
5	A	α	NO	3,3	850	0,61	565	540	375	600
6	A	α	NO	3,3	850	0,59	567	515	16	600
7	A	α	NO	3,3	850	0,59	567	515	21	600
8	A	α	NO	3,3	885	0,87	528	520	28	600
9	A	α	NO	3,3	885	0,87	528	520	35	600

10	A	α	NO	3,3	905	0,88	527	510	26	600
11	A	α	NO	3,3	905	0,88	527	510	23	600
12	A	α	NO	3,3	865	0,61	565	533	63	600
13	A	α	NO	3,3	905	0,87	528	519	22	600
14	A	α	NO	3,3	904	0,87	528	515	15	600
15	A	α	NO	3,3	867	0,64	560	554	52	600
16	A	α	NO	3,3	861	0,64	560	548	24	600
17	A	α	NO	3,3	851	0,85	531	476	45	600
18	A	α	NO	3,3	857	0,83	534	504	60	600
19	B	α	NO	2,6	845	0,1	636	655	41	520
20	B	α	NO	2,6	905	0,1	636	555	25	520
21	B	α	NO	2,6	845	0,1	636	555	60	520
22	C	α	NO	3,2	905	0,8	538	655	21	600
23	D	α	NO	3,2	875	0,9	495	531	28	600
24	D	α	NO	3,2	872	0,9	495	495	38	600
25	D	α	NO	3,2	874	0,9	495	581	20	600
26	E	α	NO	3,3	880	0,5	580	545	24	600
27	A	β	NO	3,1	885	0,65	559	655	25	600
28	A	β	NO	3,1	885	0,84	532	515	21	600
29	A	α	SÍ	3,3	862	0,62	563	515	22	600

En esta tabla, los valores subrayados no son de acuerdo con la invención.

Las propiedades medidas en cada sustrato, lámina o pieza de acero laminado en caliente (porcentaje de huecos en la superficie SV_{SS} en la región de la superficie del sustrato de acero laminado en caliente, profundidad de oxidación intergranular D_{IO} de la lámina de acero laminado en caliente, el grosor de recubrimiento C_t, grosor IM_t de la capa intermetálica, y porcentaje de porosidades en la superficie en el recubrimiento de la pieza estampada en caliente $SP_{recubrimiento}$, y calidad de la adherencia de la pintura - buena o mala) se indican en la Tabla 4.

Muestra	SV_{SS} (%)	D_{10} (µm)	C_t (µm)	IMt (µm)	$SP_{recubrimiento}$ < 3%)	Adherencia de la pintura
1	18,1	5	27,5	11,4	NO	Mala
2	17,1	10	30,52	8,6	NO	Mala
3	17,5	4	27,9	11,2	NO	Mala
4	37,1	NA	37,6	37,6	SÍ	Buena
5	5,7	0	31,8	10,9	SÍ	Buena
6	18,2	0	31,2	12,8	SÍ	Buena
7	11	0	29	11	SÍ	Buena
8	15,3	0	29,6	12	SÍ	Buena
9	19,9	0	24,3	10,4	SÍ	Buena
10	nd	2	23	10,4	SÍ	Buena
11	11,5	2	21,3	11,7	SÍ	Buena
12	10,8	0	21,9	10,3	SÍ	Buena
13	14,2	2	26,9	12,6	SÍ	Buena
14	14,4	0	28,4	10,5	SÍ	Buena
15	20,2	0	23,5	10,2	SÍ	Buena
16	13,9	0	22,7	10,9	SÍ	Buena
17	13	0	26,5	9,9	SÍ	Buena
18	16	0	27,2	11,1	SÍ	Buena
19	nd	9	28,2	8,7	NO	Mala
20	nd	0	22,6	11,8	SÍ	Buena
21	nd	0	26,8	10,3	SÍ	Buena
22	nd	12	30	10	NO	Mala
23	nd	8	27,6	10,1	NO	Mala
24	nd	0	24,9	9,9	SÍ	Buena
25	nd	9	28,4	11,5	NO	Mala
26	7,0	0	27,1	11	SÍ	Buena
27	nd	13	23	7	NO	Mala
28	nd	2	28,1	10,7	SÍ	Buena
29	nd	0	26,2	11,1	SÍ	Buena

En la Tabla 4, nd significa "no determinado" y NA significa "no aplicable".

Las muestras 1-4, 19, 22, 23, 25 y 27 se produjeron con temperaturas de bobinado no conformes con la invención. En

particular, las muestras 1-4, 19, 22, 23, 25 y 27 se bobinaron a una temperatura superior a la temperatura máxima de bobinado $T_{bobinadomax}$, lo que dio lugar a una gran profundidad de oxidación intergranular antes del decapado.

Las muestras 1-3, 19, 22, 23, 25 y 27 se decaparon en condiciones normales, es decir durante un tiempo comprendido entre 15 y 65 segundos. Como consecuencia de la temperatura de bobinado y las condiciones de decapado, la profundidad de oxidación intergranular de la lámina de acero (medida después del recubrimiento) para las muestras 1-3 19, 22, 23, 25 y 27 es mayor o igual a 4 µm, es decir mayor que la profundidad máxima de oxidación admisible.

Por lo tanto, después de la estampación en caliente, el porcentaje de porosidades en la superficie en el recubrimiento es superior al 3% y la adherencia a la pintura es deficiente.

Además, el ejemplo 23, fabricado en acero E que comprende 0,417% de Ni, se bobinó a una temperatura de 531°C. Como consecuencia, una gran cantidad de cascarilla, adherida a la superficie, estaba presente en la lámina antes del decapado y después del decapado. La eliminación de esta cascarilla habría requerido realizar un decapado intensivo, lo que sin embargo habría reducido en gran medida la productividad de la línea de decapado.

Se podrían haber obtenido resultados similares utilizando una temperatura de bobinado inferior a 531 °C pero superior a 495 °C. La muestra 4 se decapó intensamente, durante un tiempo de 375 segundos. Como consecuencia de la temperatura de bobinado y las condiciones de decapado, incluso si la lámina de acero laminada en caliente no comprende oxidación intergranular después del recubrimiento, el porcentaje de huecos en superficie en la región de la superficie del sustrato de acero antes del recubrimiento era muy alto (37,1 %). Como resultado, se produjo un crecimiento descontrolado de la capa intermetálica durante el recubrimiento por inmersión en caliente, de modo que el grosor del recubrimiento no se pudo controlar en el intervalo de 20-33 µm, siendo el grosor del recubrimiento para la muestra 4 de 37,6 µm.

Por el contrario, la muestra 5 se decapó de manera intensiva durante el mismo tiempo que la muestra 4, pero, a diferencia de la muestra 4, se produjo con una temperatura de bobinado de acuerdo con la invención. Por lo tanto, antes del decapado, el sustrato de acero laminado en caliente comprendía poca o ninguna oxidación intergranular, de modo que, después del decapado, el porcentaje de huecos en superficie en la región de la superficie del sustrato de acero era bajo (5 %), al contrario de la muestra 4. Como resultado, el grosor del recubrimiento se pudo controlar en el intervalo de 20-33 µm. La comparación de las muestras 4 y 5 ilustra por tanto que las condiciones de fabricación de acuerdo con la invención permiten lograr una mejor adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente, y una excelente adherencia de la pintura al mismo tiempo que permiten el control del grosor del recubrimiento.

Además, la comparación de las muestras 5 y 6, que se decapan de manera intensa (muestra 5) o ligeramente (muestra 6), muestra que, bajo la condición de que la temperatura de bobinado se seleccione de acuerdo con la invención, la intensidad del decapado no tiene influencia en la adherencia del recubrimiento y no afecta el control del grosor del recubrimiento.

Estos resultados muestran que, en el proceso de la invención, la intensidad del decapado se puede reducir sin perjudicar la adherencia del recubrimiento después de la estampación en caliente. El proceso de la invención, por tanto, no necesita un decapado intensivo. Por lo tanto, el proceso de la invención permite producir una lámina de acero laminada en caliente y recubierta que tiene un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm con una adherencia del recubrimiento mejorada después de la estampación en caliente, al tiempo que permite el control del grosor del recubrimiento de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta en el intervalo objetivo, especialmente en el intervalo comprendido entre 10 y 33 µm, y sin reducir la productividad en la línea de decapado.

Las muestras 5 a 18, 20, 21, 24, 26, 28 y 29 muestran que cuando la lámina de acero laminada en caliente y recubierta se produce mediante un procedimiento de acuerdo con la invención, la lámina de acero laminada en caliente comprende poca o ninguna oxidación intergranular, de modo que el porcentaje de porosidades en superficie en el recubrimiento de la pieza estampada en caliente $SP_{recubrimiento}$ es bajo, y la adherencia de la pintura es buena. Además, la profundidad de la oxidación intergranular antes del decapado es baja, de modo que el porcentaje de huecos en superficie en la región de la superficie del sustrato de acero antes del recubrimiento es bajo. Como consecuencia, el grosor del recubrimiento se puede controlar en el intervalo de 20-33 µm.

En particular, la muestra 24 está fabricada de acero D, que tiene una composición de acuerdo con el segundo aspecto de la invención. La temperatura de bobinado fue menor o igual a 495 °C. Como consecuencia de la temperatura de bobinado, la lámina de acero laminada en caliente comprende poca o ninguna oxidación intergranular, el porcentaje de porosidades en superficie en el recubrimiento de la pieza estampada en caliente $SP_{recubrimiento}$ es bajo y la adherencia de la pintura es buena. Además, la profundidad de la oxidación intergranular antes del decapado es baja, de modo que el porcentaje de huecos en superficie en la región de la superficie del sustrato de acero antes del recubrimiento es bajo. Como consecuencia, el grosor del recubrimiento se puede controlar en el intervalo de 20-33 µm. Además, el tiempo de decapado se puede reducir para lograr una alta productividad en la línea de decapado.

REIVINDICACIONES

1. Lámina de acero laminada en caliente y recubierta, que comprende:
- una lámina de acero laminada en caliente que tiene un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm, cuya composición comprende, en porcentaje en peso:

0,04% ≤ C ≤ 0,38%
0,40% ≤ Mn ≤ 3%
0,005% ≤ Si ≤ 0,70%
0,005% ≤ Al ≤ 0,1%
0,001% ≤ Cr ≤ 2%
0,001% ≤ Ni ≤ 2%
0,001% ≤ Ti ≤ 0,2%
Nb ≤ 0,1%
B ≤ 0,010%
0,0005% ≤ N ≤ 0,010%
0,0001% ≤ S ≤ 0,05%
0,0001% ≤ P ≤ 0,1%
Mo ≤ 0,65%
W ≤ 0,30%
Ca ≤ 0,006%

consistiendo el resto de la composición en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición,

teniendo dicha lámina de acero laminada en caliente una profundidad de oxidación intergranular inferior a 4 µm, definiéndose la profundidad de oxidación intergranular como el grosor de la región de la lámina de acero laminada en caliente, desde la superficie de la lámina de acero laminada en caliente hacia el interior de la lámina de acero laminada en caliente, en una dirección ortogonal a esta superficie, en la que se observa una oxidación intergranular, observándose la oxidación intergranular con un microscopio óptico de aumento x1000, en cinco secciones transversales diferentes, teniendo cada sección transversal una longitud lref de 150 µm, a partir de una muestra recogida de la región del núcleo y del eje de la bobina, de modo que en cada sección transversal se mida la profundidad máxima de la oxidación intergranular, determinándose la profundidad de oxidación intergranular como el promedio de los cinco valores obtenidos,

teniendo dicha lámina de acero laminada en caliente una estructura que consiste en ferrita y perlita,
- un recubrimiento de Al o una aleación de Al, que tiene un grosor comprendido entre 10 y 33 µm, en cada lado de la lámina de acero laminada en caliente.

2. Lámina de acero laminada en caliente y recubierta, según la reivindicación 1, en la que 0,075% ≤ C ≤ 0,38%.

3. Lámina de acero laminada en caliente y recubierta, según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en la que el recubrimiento comprende una capa intermetálica que tiene un grosor inferior o igual a 15 µm.

4. Lámina de acero laminada en caliente y recubierta, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la lámina de acero laminada en caliente y recubierta comprende además, en cada cara, un recubrimiento de Zn con un grosor inferior o igual a 1,1 µm.

5. Procedimiento para fabricar una pieza de acero recubierta estampada en caliente, que comprende las etapas de:
- proporcionar una lámina de acero laminada en caliente y recubierta, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, obteniendo de este modo una lámina de acero laminada en caliente y recubierta,
- cortar la lámina de acero laminada en caliente y recubierta para obtener una pieza en bruto,
- calentar la pieza en bruto en un horno hasta una temperatura Tc para obtener una pieza en bruto calentada,
- transferir la pieza en bruto calentada a una matriz y estampar en caliente la pieza en bruto calentada en la matriz, para obtener de este modo una pieza en bruto estampada en caliente,
- enfriar la pieza en bruto estampada en caliente hasta una temperatura inferior a 400°C para obtener una pieza de acero recubierta estampada en caliente.

6. Procedimiento para fabricar una pieza de acero recubierta estampada en caliente, según la reivindicación 5, en el que, tras el corte de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta para obtener la pieza en bruto y antes de calentar la pieza en bruto hasta la temperatura Tc, se suelda la pieza en bruto a otra pieza en bruto fabricada de un acero que tiene una composición que comprende, en porcentaje en peso:

0,04% ≤ C ≤ 0,38%
0,40% ≤ Mn ≤ 3%
0,005% ≤ Si ≤ 0,70%
0,005% ≤ Al ≤ 0,1%

$$0{,}001\% \leq Cr \leq 2\%$$
$$0{,}001\% \leq Ni \leq 2\%$$
$$0{,}001\% \leq Ti \leq 0{,}2\%$$
$$Nb \leq 0{,}1\%$$
$$B \leq 0{,}010\%$$
$$0{,}0005\% \leq N \leq 0{,}010\%$$
$$0{,}0001\% \leq S \leq 0{,}05\%$$
$$0{,}0001\% \leq P \leq 0{,}1\%$$
$$Mo \leq 0{,}65\%$$
$$W \leq 0{,}30\%$$
$$Ca \leq 0{,}006\%$$

consistiendo el resto de la composición en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

7. Procedimiento para fabricar una pieza de acero recubierta estampada en caliente, según la reivindicación 5, en el que, tras el corte de la lámina de acero laminada en caliente y recubierta para obtener la pieza en bruto y antes de calentar la pieza en bruto hasta la temperatura Tc, la pieza en bruto se suelda a otra pieza en bruto fabricada de un acero que tiene una composición que comprende, en porcentaje en peso:

$$0{,}24\% \leq C \leq 0{,}38\% \text{ y } 0{,}40\% \leq Mn \leq 3\%$$

o

$$0{,}38\% \leq C \leq 0{,}43\% \text{ y } 0{,}05\% \leq Mn \leq 0{,}40\%$$

$$0{,}10\% \leq Si \leq 0{,}70\%$$
$$0{,}015\% \leq Al \leq 0{,}070\%$$
$$0{,}001\% \leq Cr \leq 2\%$$
$$0{,}25\% \leq Ni \leq 2\%$$
$$0{,}015\% \leq Ti \leq 0{,}1\%$$
$$0\% \leq Nb \leq 0{,}06\%$$
$$0{,}0005\% \leq B \leq 0{,}0040\%$$
$$0{,}003\% \leq N \leq 0{,}010\%$$
$$0{,}0001\% \leq S \leq 0{,}005\%$$
$$0{,}0001\% \leq P \leq 0{,}025\%$$

satisfaciendo los contenidos de titanio y nitrógeno la siguiente relación:

$$Ti/N > 3{,}42$$

satisfaciendo los contenidos de carbono, manganeso, cromo y silicio la siguiente relación:

$$2{,}6C + \frac{Mn}{5{,}3} + \frac{Cr}{13} + \frac{Si}{15} \geq 1{,}1\%,$$

comprendiendo la composición química opcionalmente uno de varios de los siguientes elementos:

$$0{,}05\% \leq Mo \leq 0{,}65\%$$
$$0{,}001\% \leq W \leq 0{,}30\%$$
$$0{,}0005\% \leq Ca \leq 0{,}005\%$$

consistiendo el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

8. Pieza de acero recubierta estampada en caliente, que comprende al menos una parte que tiene un grosor comprendido entre 1,8 mm y 5 mm, comprendiendo dicha pieza de acero recubierta estampada en caliente un recubrimiento de Al o de aleación de Al, teniendo el recubrimiento un porcentaje de porosidades en superficie, medido como se describe en la descripción, inferior o igual al 3%, estando fabricada dicha parte de un acero que tiene una composición que comprende, en porcentaje en peso:

$$0{,}04\% \leq C \leq 0{,}38\%$$
$$0{,}40\% \leq Mn \leq 3\%$$
$$0{,}005\% \leq Si \leq 0{,}70\%$$
$$0{,}005\% \leq Al \leq 0{,}1\%$$
$$0{,}001\% \leq Cr \leq 2\%$$

0,001% ≤ Ni ≤ 2%
0,001% ≤ Ti ≤ 0,2%
Nb ≤ 0,1%
B ≤ 0,010%
0,0005% ≤ N ≤ 0,010%
0,0001% ≤ S ≤ 0,05%
0,0001% ≤ P ≤ 0,1%
Mo ≤ 0,65%
W ≤ 0,30%
Ca ≤ 0,006%

consistiendo el resto de la composición en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

9. Utilización de una pieza de acero recubierta estampada en caliente, según la reivindicación 8, o producida mediante un procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, para la fabricación de piezas de chasis o de carrocería o de brazos de suspensión para vehículos automóviles.

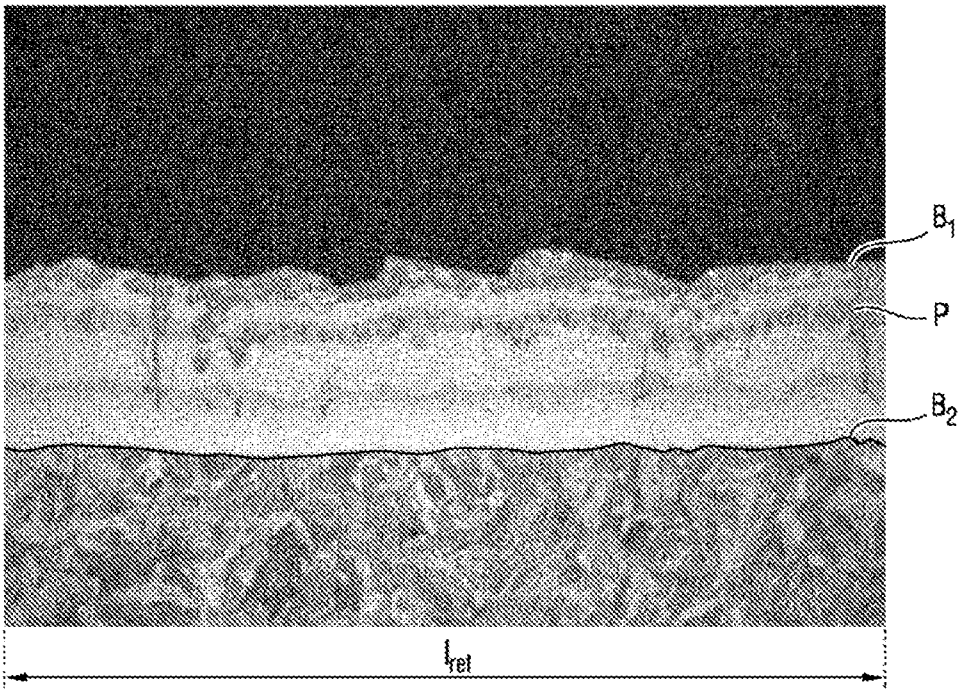


FIG.1

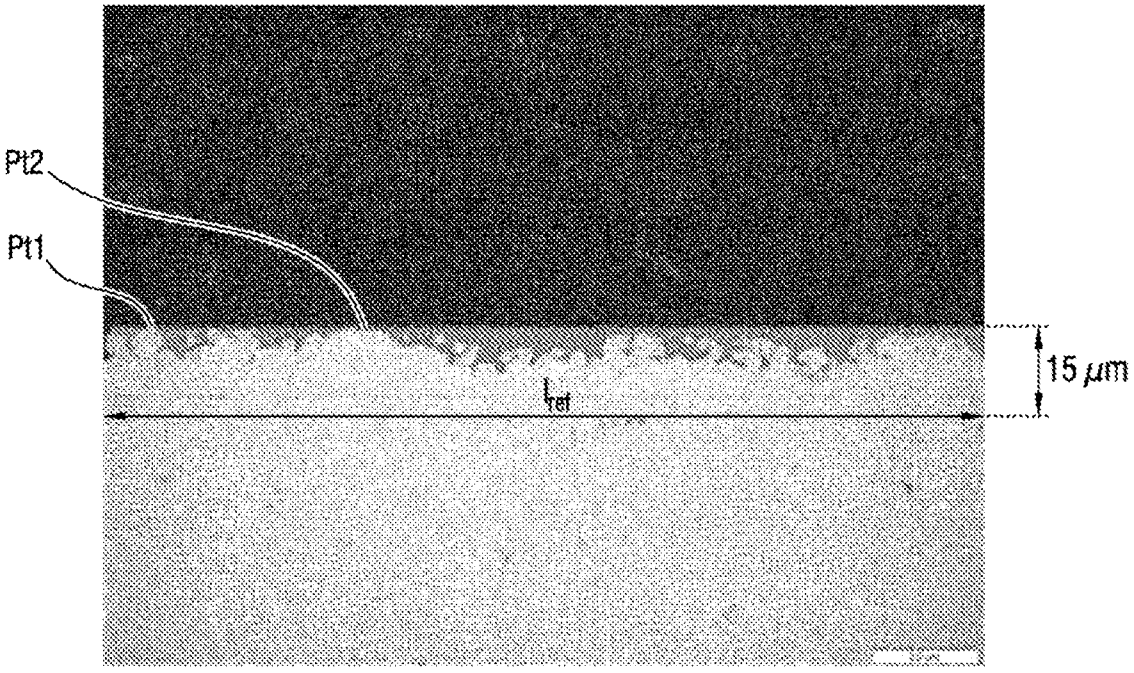


FIG.2