

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 459**

51 Int. Cl.:

C23C 28/02 (2006.01)

C23C 14/16 (2006.01)

C23C 14/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2012 PCT/EP2012/005333**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2013 WO13091889**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2012 E 12812866 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 2794951**

54 Título: **Sustrato con un recubrimiento de doble capa**

30 Prioridad:

23.12.2011 EP 11010190

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

21.06.2019

73 Titular/es:

**TATA STEEL NEDERLAND TECHNOLOGY B.V.
(100.0%)
Wenckebachstraat 1
1951 JZ Velsen-Noord, NL**

72 Inventor/es:

**ZOESTBERGEN, EDZO;
MAALMAN, THEODORUS FRANCISCUS JOZEF;
LANGKRUIS, JÖRGEN VAN DE y
GOODENOUGH, MARK ROBERT**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 717 459 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

Sustrato con un recubrimiento de doble capa

5 La divulgación se refiere a un sustrato de acero provisto de una capa de recubrimiento de aleación de Zn-Mg y una capa de Zn entre el sustrato y la capa de recubrimiento y un método para fabricar un sustrato recubierto como tal.

10 Los sustratos de acero, más particularmente las láminas de acero, con una capa de recubrimiento de Zn-Mg se conocen en la técnica, véase, por ejemplo, el documento EP0730045. Tales capas de recubrimiento se aplican para obtener buena resistencia a la corrosión y proporcionan, al mismo tiempo, buena adhesión para recubrimientos de acabado tal como pintura.

15 Tales sustratos recubiertos y más en particular las láminas de acero se usan frecuentemente en aplicaciones donde las láminas deben formarse mecánicamente en una pieza final, por ejemplo, para piezas de automóviles o piezas para diversos productos domésticos o industriales. En la mayoría de las aplicaciones no solo se requiere buena resistencia a la corrosión, sino que también una buena adhesión del recubrimiento con respecto al sustrato. La última propiedad es importante en las operaciones de formación mecánica de láminas de metal como embutición y estampado, y durante la carga de colisión de una pieza de automóvil recubierta, para impedir que el recubrimiento se separe del sustrato y origine defectos visibles o comprometa la integridad estructural.

20 Además, el recubrimiento debería tener un coeficiente de fricción relativamente bajo, que no aumenta o no aumenta significativamente durante la formación de manera tal que el desgaste, que se refiere a la transferencia de material entre la superficie de lámina recubierta y la herramienta de formación, se impide tanto como sea posible incluso cuando existen múltiples etapas de formación.

25 Un objeto de la presente invención consiste en proporcionar un sustrato con un recubrimiento de capa triple que tiene buena resistencia a la corrosión.

30 Otro objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un sustrato con un recubrimiento de capa triple con buena adhesión entre el recubrimiento y el sustrato.

Otro objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un sustrato con un recubrimiento de capa triple que resulta lo suficientemente dúctil como para permitir un alto grado de deformación.

35 Otro objetivo más de la presente invención consiste en proporcionar un sustrato con un recubrimiento de capa triple que tiene un coeficiente de fricción relativamente bajo.

40 Otro objetivo más de la presente invención consiste en proporcionar un sustrato con un recubrimiento de capa triple que permite múltiples etapas de formación sin que ocurra desgaste o con una ocurrencia mínima solamente.

45 De acuerdo con un primer aspecto de la divulgación se realizan uno o de los objetivos anteriores mediante la provisión de un sustrato de acero con al menos en un lado una capa de recubrimiento de Zn-Mg y una capa intermedia entre el sustrato y la capa de recubrimiento de Zn-Mg, en el que el peso del contenido de Mg de la capa de recubrimiento es de un máximo de 2,6 g/m² y en el que la capa intermedia tiene un espesor máximo de 4,0 μm.

50 Se demostró que con el fin de tener buenas propiedades adhesivas entre el sustrato y el recubrimiento, el recubrimiento no solo debería comprender una capa de recubrimiento y una capa intermedia entre la capa de recubrimiento y el sustrato, sino que también el espesor de la capa intermedia y el contenido de Mg de la capa de recubrimiento deberían encontrarse dentro de ciertos límites.

55 Se demostró además que el hecho de tener adhesión óptima entre el recubrimiento y el sustrato, para ciertos rangos de espesor de la capa intermedia, el contenido de Mg máximo de la capa de recubrimiento resulta diferente con respecto a otros rangos de espesor de la capa intermedia. Para tener adhesión óptima entre el recubrimiento y el sustrato, se demostró que el peso del contenido de Mg de la capa de recubrimiento depende del espesor (d) de la capa intermedia de acuerdo con:

$$0,35 < d \leq 1,5 \mu\text{m}: \text{ peso de Mg en capa de recubrimiento} \leq 2,6 \text{ g/m}^2$$

60 $1,5 < d \leq 2,7 \mu\text{m}: \text{ peso de Mg en capa de recubrimiento} \leq 2,2 \text{ g/m}^2$

$$2,7 < d \leq 4,0 \mu\text{m}: \text{ peso de Mg en capa de recubrimiento} \leq 1,7 \text{ g/m}^2$$

65 De acuerdo con un aspecto adicional de la divulgación se proporciona que el espesor más grande de la capa intermedia se limita a $d \leq 4,0 \mu\text{m}$, debido a que un espesor de la capa intermedia que supera este límite superior significa costes adicionales mientras que, al mismo tiempo, no conduce a una mejora adicional claramente evidente de la adhesión entre el recubrimiento y el sustrato.

- 5 En el rango de espesor inferior de la capa intermedia existe un cierto límite inferior que puede garantizar buenas propiedades adhesivas entre el sustrato y la capa intermedia. A pesar de que un número de ensayos mostraron que incluso con un espesor de 0,1 μm para la capa intermedia se pueden obtener buenos resultados, se prefiere un mayor espesor de la capa intermedia para impedir la migración de Mg a través de la capa de Zn a la interfaz de sustrato. Tal migración de Mg podría degradar considerablemente la adhesión del recubrimiento al sustrato. Por esta razón, se mantiene preferiblemente un espesor para el límite inferior de la capa intermedia de 0,35 μm . El límite inferior del espesor de la capa intermedia resulta importante para la adhesión entre la capa intermedia y la capa de recubrimiento.
- 10 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, la capa intermedia es una capa de Zn con el fin de tener buena resistencia a la corrosión así como también buena adhesión.
- 15 De acuerdo con un aspecto adicional más de la invención, se proporciona una capa de Zn superior en la capa de recubrimiento con un contenido de Mg de $\leq 0,5\%$ en peso. Una capa superior como tal puede proporcionarse con el fin de tener buena resistencia contra efectos de oscurecimiento y/o tinción debido al contacto con un ambiente húmedo.
- 20 La capa intermedia puede aplicarse mediante métodos diferentes tal como electrogalvanizado (EZ), galvanizado en caliente (HDG), o deposición física de vapor (PVD). Debido a que resulta más económico usar EZ para aplicación de la capa intermedia y las propiedades relevantes de la capa intermedia que resulta se encuentran dentro de los rangos reivindicados, este método resulta una buena alternativa con respecto a PVD.
- 25 De acuerdo con otro aspecto de la invención el Zn y el Mg de la capa de recubrimiento se aplican de manera simultánea mediante PVD, lo que da como resultado una microestructura que comprende una fase de $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$ y una fase de Zn con Mg disuelto en solución sólida. Al aplicar Zn y Mg de manera simultánea mediante PVD incluso a concentraciones de Mg más altas, se obtiene una fase de $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$ en la capa de recubrimiento en lugar de una fase MgZn_2 . La fase de $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$ es más rica en Zn y proporciona mejor formabilidad y también una mejor adhesión con la capa intermedia, debido a que la fase de MgZn_2 es una fase de Laves hexagonal, que corresponde a la familia frágil de intermetálicos, véase por ejemplo, P. Paufler, Early work on Laves phases in East Germany, Intermetallics (2011), volumen 19, p599-612. Hasta un cierto límite, la capa de recubrimiento puede comprender, además, una fase de MgZn_2 en adición a o como parte de reemplazo de la fase de $\text{Mg}_2\text{Zn}_{11}$, sin tener un efecto evidente en la ductilidad de la capa de recubrimiento.
- 30 De acuerdo con otro aspecto más de la invención, se aplica Zn superior mediante PVD. Al aplicar la capa superior mediante PVD el tiempo entre la deposición de la capa de recubrimiento y la capa superior se minimiza, impidiendo con esto la oxidación de la capa de recubrimiento o reduciendo considerablemente el grado de oxidación de la capa de recubrimiento. Esto resulta beneficioso para la adhesión de la capa superior con respecto a la capa de recubrimiento.
- 35 La invención se divulga en la reivindicación 1 y proporciona un método para la fabricación de un sustrato de acero con una capa intermedia de Zn, una capa de recubrimiento de Zn-Mg y una capa superior de Zn.
- 40 Se proporciona además que la capa intermedia de Zn se deposita mediante EZ, HDG o PVD.
- 45 Existen técnicas de PVD que usan una fundición de aleación, tal como PVD por inducción directa, PVD por levitación electromagnética (EML) y deposición de vapor asistida por jet (JET-PVD). La aleación puede ser también vaporizada a partir de una diana sólida con PVD por pulverización catódica. Con cada una de estas técnicas de PVD pueden alcanzarse las ventajas de adhesión relacionadas con PVD.
- 50 El método comprende además la etapa de limpieza plasmática del sustrato mediante limpieza plasmática antes de aplicar la capa intermedia.
- 55 De manera alternativa a la limpieza plasmática, el sustrato puede desoxidarse también con un horno de reducción o limpiarse en una línea de decapado antes de ingresar a la cámara de vacío. Estas etapas de limpieza y/o desoxidación pueden combinarse también con limpieza plasmática en la cámara de vacío, después de que el sustrato ingresa a la cámara de vacío.
- 60 La invención se explicará adicionalmente haciendo referencia a los ejemplos y figuras a continuación, en las que:
La Fig. 1 muestra esquemáticamente una línea de proceso de PVD para aplicar a un recubrimiento de aleación de Zn-Mg en una banda;
- 65 La Fig. 2a muestra un diagrama con el tiempo hasta la formación de óxido rojo con muestras fosfatadas y no fosfatadas;
- La Fig. 2b muestra un diagrama con la profundidad media de los cinco pozos más profundos en las muestras fosfatadas;

La Fig. 3 muestra un diagrama con resultados de un ensayo de espolvoreo de doblado en V;
La Fig. 4 muestra los resultados de un ensayo de fricción lineal, y

5 La Fig. 5 muestra los resultados de un ensayo de adhesión de colisión.

La Fig. 1 muestra esquemáticamente la línea de proceso de PVD por inducción directa que se usa para recubrimiento de una lámina de acero con una capa de recubrimiento. En una cámara 1 de vacío una lámina 2 de acero se desenrolla a partir del desenrollador 3 y se mueve a un enrollador 4 pasando así un primer dispositivo 5 de PVD y un segundo dispositivo 6 de PVD. Los dispositivos 5 y 6 de PVD comprenden cada uno un metal o una fundición 7, 8 de aleación metálica en un crisol 9, 10, un enrollador 11, 12 de inducción para fundir y evaporar el metal o aleación metálica en el crisol 9, 10 y una caja 13, 14 de distribución de vapor para dirigir el vapor a la lámina 2 de acero. Se proporciona un dispositivo 15 de limpieza plasmática para limpiar la lámina de acero antes de que se lleve a cabo la deposición de una capa de recubrimiento.

En la configuración que se muestra el primer dispositivo 5 de PVD se usa para calentar y evaporar Zn en el crisol 9 y depositar una capa de Zn en la lámina 2 y el segundo dispositivo 6 de PVD, para calentar, evaporar Zn y Mg en el crisol 10 y depositar una capa de Zn-Mg encima de la capa de Zn ya depositada. El espesor de las capas se regula mediante la variación de la velocidad con la que la lámina se mueve a lo largo de las cajas 13 y 14 de distribución de vapor.

En la línea de proceso de PVD que se muestra el desenrollador 3 y el enrollador 4 se colocan ambos dentro de la cámara de vacío debido a que la línea de proceso se usa para propósitos experimentales. En una línea de proceso de PVD industrial el desenrollador 3 y el enrollador 4 se colocarán ambos por fuera de la cámara de vacío con bloqueos de vacío a través de los que la lámina 2 se mueve hacia adentro y hacia afuera de la cámara de vacío.

Ejemplo 1

Se usó una lámina de acero interférrico como una lámina matriz, que se desengrasó y se insertó como una bobina en la cámara de vacío de una línea piloto de inducción directa para PVD continua. En la cámara de vacío, la bobina se desenrolló, se limpió plasmáticamente con gas de Argón para retiro de óxido con una unidad de pulverización catódica hasta que la temperatura de banda fue de aproximadamente 160 °C, recubierta en un lado, en primer lugar con una capa de Zn y luego con una capa de Zn-Mg, usando deposición física de vapor y finalmente, se enrolló de nuevo.

La deposición de vapor se llevó a cabo mediante calentamiento de la fundición de Zn y Zn-Mg en crisoles de cerámica no conductores a un rango de temperatura de 615-675 °C y 720-780 °C, respectivamente, usando bobinas de inducción. El vapor de metal y el vapor de aleación se guiaron cada uno en una caja de distribución de vapor (VDB) con una temperatura media de 1000 °C. El vapor se deposita en la banda mediante boquillas de la VDB. La capa de zinc se deposita en primer lugar, a continuación sigue una capa de recubrimiento de Zn-Mg. El área de boquilla de las boquillas de VDB se dimensiona para alcanzar una condición de obstrucción, lo que asegura que el vapor abandone la VDB con velocidad sónica. La presión normal en la cámara de vacío se encontraba en el rango de 10^{-3} - 10^{-5} mbar. Después de que la deposición de vapor de la capa de recubrimiento la temperatura de banda normal fue de aproximadamente 220 °C. Las temperaturas de fundición y la velocidad de banda se variaron para controlar los espesores de capa. El proceso de producción de los recubrimientos se representa esquemáticamente en la Figura 1.

Después, se retiraron los cupones de recubrimiento a partir de las bobinas recubiertas para una variedad de ensayos, que se mencionan a continuación. Los resultados de los ensayos se han comparado con referencias de recubrimiento (MZ) de ZnMgAl por electrogalvanizado (EG), galvanizado (GI), galvanizado recocido (GA) y galvanizado en caliente. La concentración de Mg en los recubrimientos se midió usando análisis realizados por química húmeda.

Los recubrimientos de acuerdo con la presente invención se codifican como sigue a continuación: Zi+ZMj_k, con "i" el espesor de la capa de Zn en micrómetros y "j", "k", la concentración y espesor de capa en micrómetros de la capa de Zn-Mg, respectivamente.

Los recubrimientos de lado único producidos con sus pesos de recubrimiento se muestran en la Tabla 1. Los detalles sobre las referencias bilaterales se indican en la Tabla 2. Resulta claro que los recubrimientos de la invención que contienen Mg son mucho más livianos que las referencias. Cuanto más alto es el porcentaje de Mg en el recubrimiento, más liviano es el recubrimiento.

60 Se llevaron a cabo los siguientes ensayos de producto:

- Ensayo de corrosión por perforación con una configuración de fisura para simular un diseño de reborde de guarnecido (Volvo STD 423-0014)
- 65 • Ensayo de doblado en V para espolvoreo (Honda C502-99)
- Ensayo de fricción lineal para desgaste y determinación del coeficiente de fricción

Prueba de adhesión de colisión (BMW AA-M223)

5 En la industria automovilística, los paneles se fosfatan antes de pintar para adhesión mejorada de pintura. Este tratamiento de fosfatación puede influir en el comportamiento de corrosión por fisura, por ejemplo en una junta de guarnecido de un automóvil, donde la fosfatación no se completa. Esto se demuestra con los resultados de los ensayos de corrosión acelerada por perforación que se informan aquí. Con el ensayo de corrosión por perforación todas las muestras se fosfataron con Bonderite y se electrorecubrieron con PPG 771 de tipo electrorecubrimiento. La mitad de las muestras se prepararon con fosfato en el área de fisura, la otra mitad sin fosfato al enmascarar el área de fisura durante la fosfatación.

10 En la Figura 2a, b se indican los resultados de los ensayos de corrosión por perforación. Los recubrimientos de la invención se comparan con las referencias, ambos con o sin fosfatación del área de fisura antes del ensayo de corrosión.

15 Los resultados muestran claramente que los recubrimientos de Zn+ZnMg-PVD tienen un tiempo significativamente más largo para la formación en primer lugar de óxido rojo y pozos significativamente menos profundos que las referencias, mientras que, al mismo tiempo, el peso de recubrimiento resulta significativamente menor. El efecto resulta incluso más pronunciado con fosfato en el área de fisura.

20 En la Figura 3, se muestran los resultados de los ensayos de espolvoreo de doblado en V. El ensayo se llevó a cabo por triplicado. La figura muestra que los recubrimientos de acuerdo con la invención tienen mejor resistencia al espolvoreo que la referencia GA90 y la respuesta al espolvoreo puede optimizarse además mediante la reducción del contenido de Mg.

25 Con los ensayos de fricción lineal, se arrojaron muestras de 50 mm de ancho y 300 mm de largo a una velocidad de 0,33 mm/s entre un conjunto de herramientas que se presionaron en conjunto con una fuerza de 2 kN. La Figura 4 muestra los datos de fricción lineal de los recubrimientos de acuerdo con la invención, en comparación con las referencias. Debido al calibre más delgado del material de la invención con respecto al espesor de las referencias, se colocaron dos muestras del material de la invención con las partes posteriores unas en contra de las otras para mejor distribución de carga. Cuanto más espeso es el material, tanto mejor soportará la deformación plástica que se le impone mediante las herramientas de formación, por lo tanto, los datos provistos para los recubrimientos de acuerdo con la invención se consideran que son una infravaloración del rendimiento para calibres más delgados, más cercanos a la referencia GA90.

30 Resulta claro que el coeficiente de fricción se mantiene constante durante significativamente más pases que con respecto a recubrimientos de zinc solamente y compite bien con GA90 de recubrimiento por galvanizado recocido. Solo el recubrimiento MZ70 rinde mejor. El comportamiento de desgaste del recubrimiento de Z1+ZM14_4 resultó excelente con ningún desprendimiento ni desgaste en absoluto, el desgaste del recubrimiento de Z1+ZM10_4 fue incluso bueno y se espera que sea mejor para calibres más delgados.

35 El ensayo de adhesión (BMW AA-M223) se desarrolla para circunstancias de colisión relevantes para procesos de formación para representar comportamiento de adhesión del zinc en condiciones similares a la colisión. Una junta que se une de manera adhesiva debería romperse preferiblemente en el adhesivo, no entre el adhesivo y el zinc y, ciertamente, no entre el zinc y el acero. El ensayo se desarrolló originalmente para aceros avanzados de alta resistencia (AHSS) por lo tanto, se adaptó para calibres delgados de la siguiente manera: las muestras delgadas se pegaron en una banda de calibre más alto (1 mm) mediante un adhesivo (DP490, un adhesivo epoxi de dos componentes) que se cura a temperatura ambiente.

40 Las bandas de 200 x 30 mm se cortaron (en tres veces) y de desengrasaron ultrasónicamente en acetona para retirar aceite. Se aplica una línea de adhesivo Betamate 1496V de DOW Chemical de al menos 150 mm de largo, alrededor de 4-5 mm de espesor y al menos 10 mm de ancho. La cura del adhesivo se lleva a cabo en un horno que se mantiene a 175 °C durante 30 minutos. La banda se dobla hasta 90° con el pegamento en la banda exterior en una máquina de doblado especial alrededor de una herramienta con un radio de 1 mm. El pegamento se rompe en este proceso. Se observa cualquier delaminación del adhesivo o del recubrimiento de zinc. Si el recubrimiento se retira sustancialmente o completamente a partir del sustrato, el recubrimiento se califica luego como no-OK.

45 Los resultados para GA90 y Z1+ZM14_4 (peso de Mg correspondiente en la capa de recubrimiento es de 2,8 g/m²) fueron NOK. Los resultados para Z1+ZM10_4 (peso de Mg correspondiente en la capa de recubrimiento es de 2,2 g/m²) y EG100 fueron OK. Esto muestra que los recubrimientos de la invención pueden soportar este ensayo de adhesión severo cuanto el contenido de Mg es del 10% en peso o más bajo. Se proporcionan más detalles en el próximo ejemplo en cuanto a los límites exactos para un ensayo exitoso.

50 Ejemplo 2

5 La misma lámina matriz y mismo proceso de producción se usaron como en el ejemplo anterior para producir recubrimiento de lado único que consiste de una capa de recubrimiento de Zn en la lámina matriz y una capa de recubrimiento de Zn-Mg encima de la capa de recubrimiento de Zn. El espesor de la capa de Zn se encuentra en el rango de 0,2 - 4 micrómetros y el peso total de la capa de recubrimiento de Zn-Mg, en el rango de 1,9 - 26 g/m². El peso de Mg en la capa de recubrimiento de Zn-Mg del recubrimiento se encontraba en el rango de 0-4,0 g/m².

10 Después, se retiraron los cupones de recubrimiento a partir de las bobinas recubiertas para el ensayo de adhesión de colisión de acuerdo con BMW AA-M223. Se debe tener en cuenta que este ensayo es un ensayo severo para el rendimiento de adhesión de recubrimiento del producto recubierto.

15 Los resultados de los ensayos de adhesión de colisión se han resumido en la Figura 5. La figura muestra el régimen de combinaciones del espesor de la capa de recubrimiento de Zn y el peso de Mg en la capa de recubrimiento de Zn-Mg, para el cual el ensayo de colisión se superó exitosamente. La figura muestra que el peso permitido de Mg en el recubrimiento superior depende del espesor de la capa de Zn y que se pueden definir rangos en los que la adhesión resulta superior con respecto a contenidos de peso de Mg más altos en el recubrimiento superior.

Tabla 1 Recubrimientos de la invención producidos por PVD, recubrimientos son de lado único

Código	Mg en crisol (% en peso)	Temperatura de fundición de ZnMg (°C)	Espesor general de recubrimiento (micrómetro)	Peso de recubrimiento, un lado (g/m ²)	Mg en capa de ZnMg (% en peso)	Peso de Mg (g/m ²)
Z1+ZM10_4	9,4	722	5,0	30,5	10	2,2
Z1+ZM14_4	12,5	780	5,0	30	14	2,8

20 **Tabla 2 Sistemas de recubrimiento de referencia (doble lado), los números indican el peso de recubrimiento de ambos lados que se agregan en conjunto.**

Nombre	Calibre (mm)	Peso de recubrimiento de lado único (g/m ²)	Al en recubrimiento (% en peso)	Mg en recubrimiento (% en peso)	Fe en recubrimiento (% en peso)	Mg en peso (por lado) [g/m ²]
EG100	0,80	33	< 0,01	< 0,01	0,16	0
GI120	0,80	59	0,4	< 0,01	0,3	0
GA90	0,69	43	0,3	< 0,01	10	0
MZ70	0,70	36	1,9	1,8	0,3	0,65

REIVINDICACIONES

5 1. Método para fabricación de un sustrato de acero con una capa intermedia, una capa de recubrimiento de Zn-Mg y una capa superior, en el que al menos en un lado una capa de recubrimiento de Zn-Mg, una capa intermedia entre el sustrato y la capa de recubrimiento de Zn-Mg y una capa superior son provistas, caracterizado porque el peso del contenido de Mg de la capa de recubrimiento es de un máximo de 2,6 g/m², en el que la capa intermedia tiene un espesor máximo de 4,0 µm y en el que el peso del contenido de Mg de la capa de recubrimiento depende del espesor (d) de la capa intermedia de acuerdo con:

10 $0,35 < d \leq 1,5 \mu\text{m}$: peso de Mg en capa de recubrimiento $\leq 2,6 \text{ g/m}^2$

$1,5 < d \leq 2,7 \mu\text{m}$: peso de Mg en capa de recubrimiento $\leq 2,2 \text{ g/m}^2$

15 $2,7 < d \leq 4,0 \mu\text{m}$: peso de Mg en capa de recubrimiento $\leq 1,7 \text{ g/m}^2$

20 en el que el Zn y Mg de la capa de recubrimiento se aplican de manera simultánea mediante evaporación de PVD a partir de un crisol (10) único que mantiene una fundición de aleación de Zn y Mg, lo que da como resultado una microestructura que comprende una fase de Mg₂Zn₁ y una fase de Zn con Mg disuelto en solución sólida, en el que la capa intermedia es una capa de Zn y en el que una capa superior de Zn se aplica mediante calentamiento y evaporación de Zn y deposición de Zn en la capa de recubrimiento de Zn-Mg.

25 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la capa intermedia se ha aplicado ya sea mediante electrogalvanizado (EZ), galvanizado en caliente (HDG) o deposición física de vapor (PVD).

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el sustrato se limpia mediante limpieza plasmática antes de aplicar la capa intermedia.

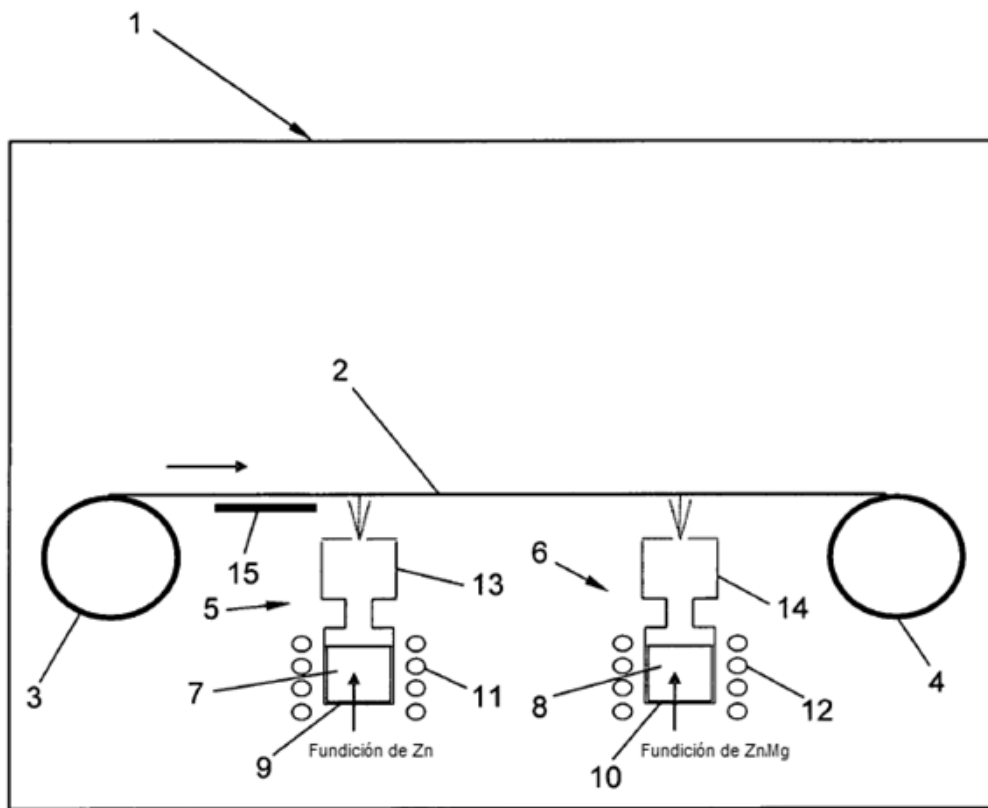


Figura 1

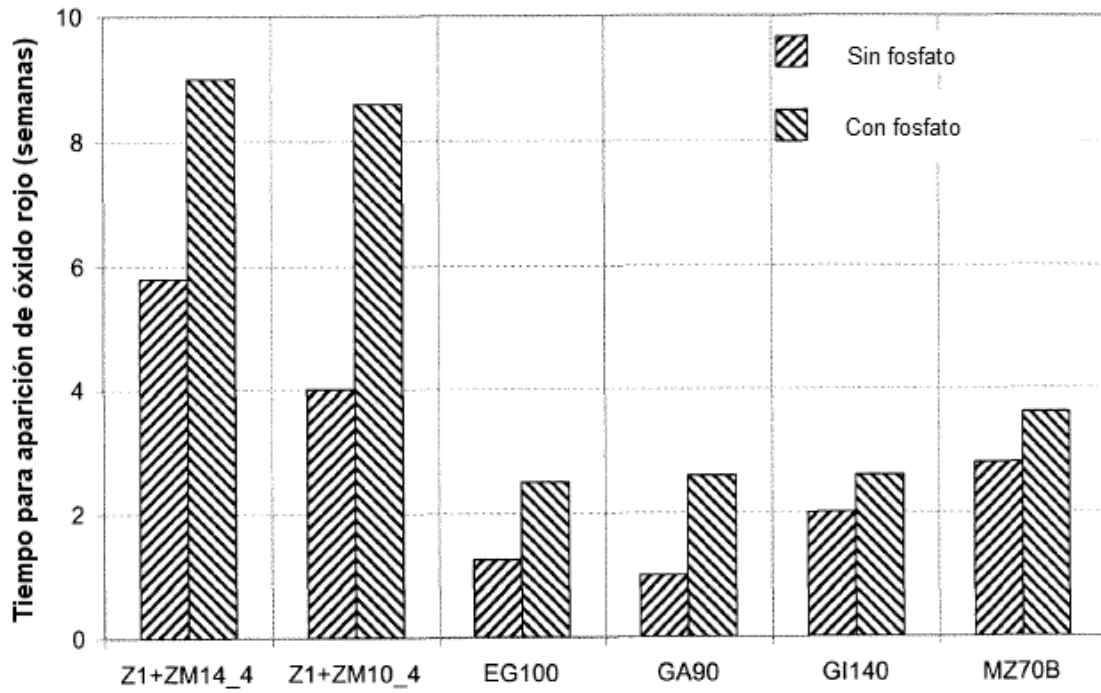


Figura 2a

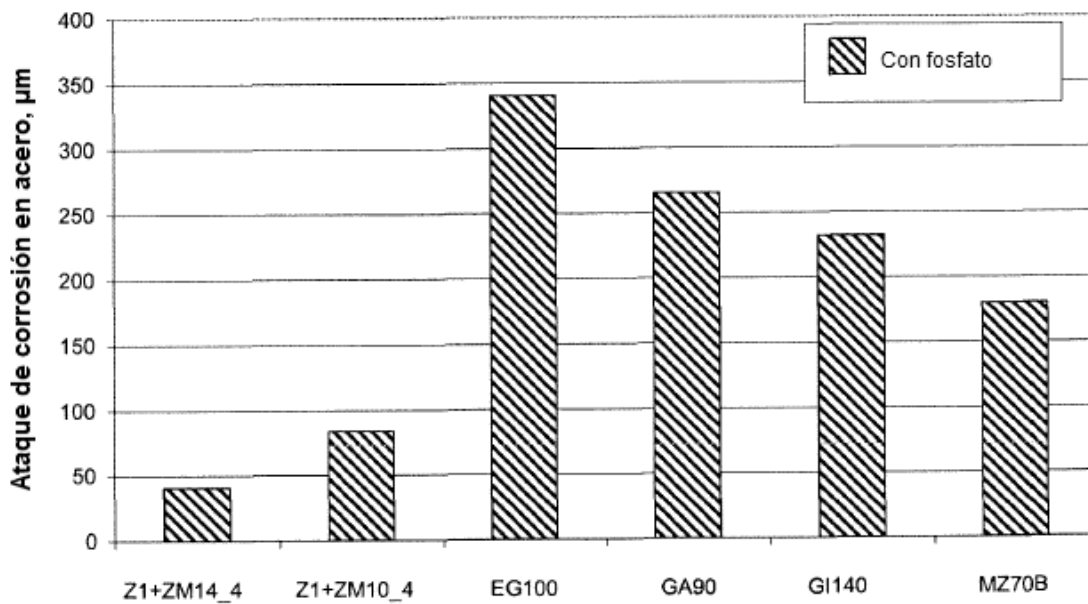


Figura 2b

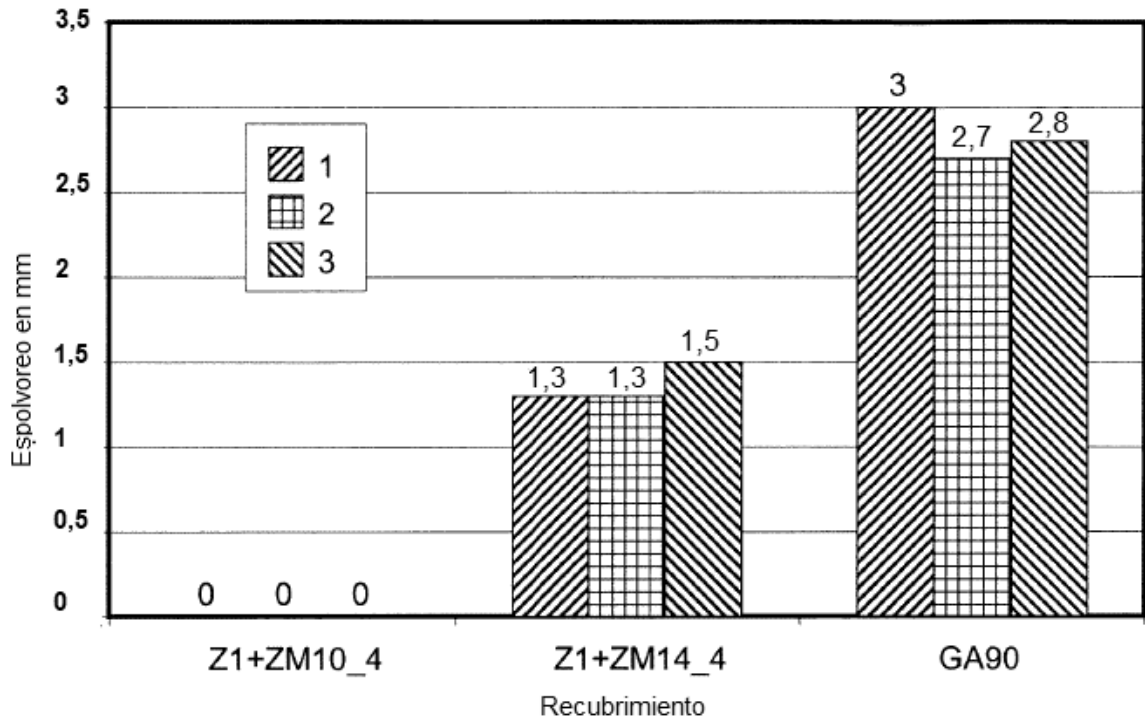


Figura 3

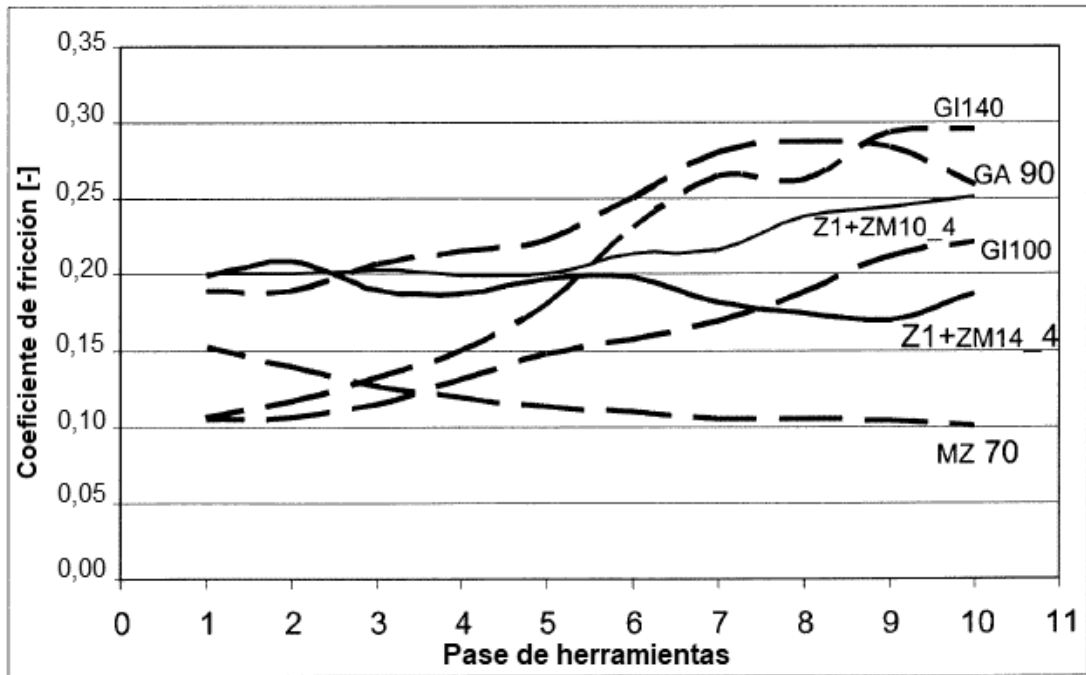


Figura 4

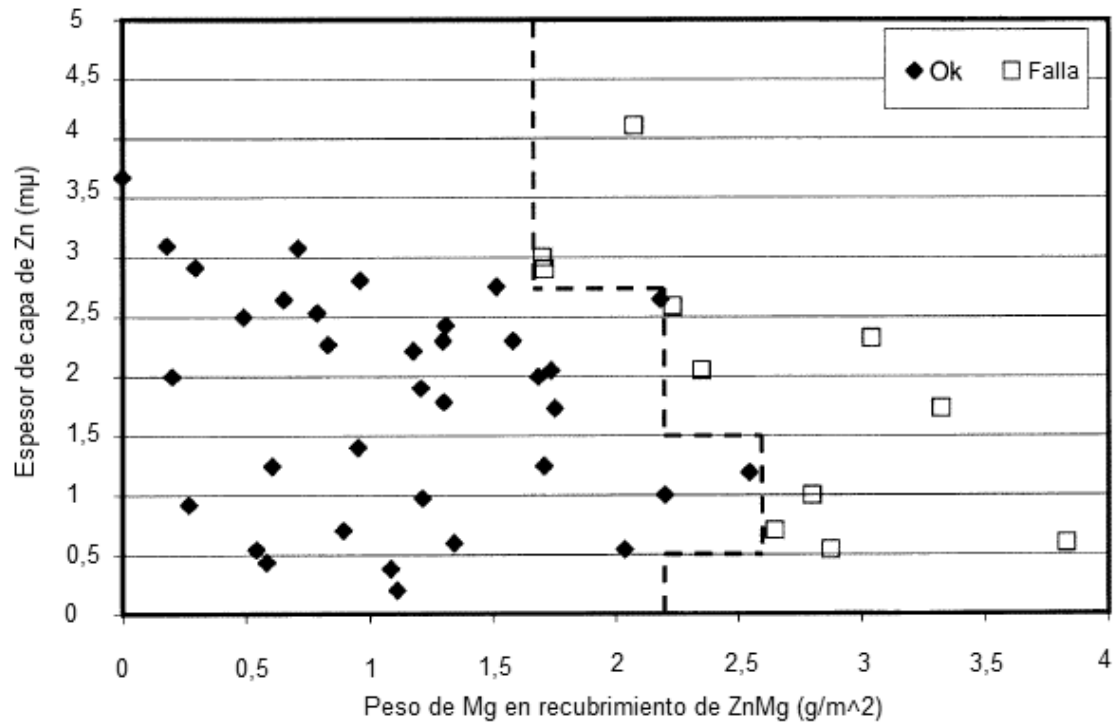


Figura 5