

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 743**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)

C22C 38/04 (2006.01)

C22C 38/06 (2006.01)

C21D 8/04 (2006.01)

C21D 9/48 (2006.01)

C23C 8/24 (2006.01)

C23C 8/26 (2006.01)

C25D 3/04 (2006.01)

C25D 3/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2021** **E 21154978 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024** **EP 3875626**

54 Título: **Producto de chapa para embalaje**

30 Prioridad:

06.03.2020 DE 102020106164

08.10.2020 DE 102020126437

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

12.11.2024

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP RASSELSTEIN GMBH (100.0%)
Koblenzer Strasse 141
56626 Andernach, DE**

72 Inventor/es:

**KAUP, BURKHARD;
HEINE, LUISA-MARIE y
MASSICOT, BLAISE**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 986 743 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

Producto de chapa para embalaje

- 5 La invención se refiere a un producto de chapa para embalaje de una chapa de acero laminada en frío con un espesor inferior a 0,6 mm.

Los productos de chapa para embalaje son chapas de acero laminadas en frío con un espesor de hasta 0,6 mm, que se usan para la producción de envases, tales como latas de bebidas, conservas o aerosoles. Dado que los productos de chapa para embalaje se someten a una conformación intensa durante la producción de embalajes, por ejemplo, en procedimientos de embutición profunda o de estirado, los productos de chapa para embalaje tienen que presentar, por un lado, una alta capacidad de conformación. Por otro lado, para reducir el peso de los embalajes, como productos de chapa para embalaje se usan chapas de acero lo más finas posible y de alta resistencia, que se llevan al espesor final deseado a partir de una chapa de acero laminada en caliente en una sola etapa de laminación en frío o una etapa de laminación en frío doble. El grado de laminación en frío total (grado de reducción de la reducción de espesor durante la laminación en frío) es a este respecto por regla general de al menos el 80 %, en donde la chapa de acero laminada en caliente (banda en caliente) se lamina en frío una vez o dos veces para la reducción de espesor. Las chapas de acero laminadas en frío de manera simple (*single-reduced*: SR) se recuecen después de la laminación en frío para restaurar la capacidad de conformación y después, dado el caso, se relaminan o se acaban con un bajo grado de relaminación inferior al 5 %. En el caso de chapas de acero laminadas en frío dos veces (*double-reduced*: DR), después del recocido de recristalización, tiene lugar una segunda etapa de laminación en frío con grados de relaminación entre el 5 % y el 45 % para llevar la chapa de acero a un espesor final deseado, a menudo inferior a 0,3 mm.

Del documento WO 2005/068667 A1 se conoce una chapa de acero para embalajes con un espesor de como máximo 0,400 mm y un procedimiento para su producción, en donde la chapa de acero contiene en cada caso como máximo el 0,0800 % de C, el 0,600 % de N, el 2,0 % de Mn, el 0,10 % de P, el 0,05 % de S y el 2,0 % de Al y sobre la superficie están presentes zonas con una proporción de área de al menos el 1 % que contienen compuestos de nitrógeno. Estos compuestos de nitrógeno se obtienen con la nitruración de una chapa de acero laminada en frío en un horno de recocido con una atmósfera que contiene amoníaco, en particular, a temperaturas entre 550 °C y 800 °C y durante un tiempo de nitruración de 0,1 a 360 segundos, en donde la nitruración tiene lugar simultáneamente o después de un recocido de recristalización de la chapa de acero y se aumenta una primera cantidad de nitrógeno hasta al menos el 0,0002 % en una zona de superficie con una proporción de área de al menos el 1 % y una segunda cantidad de nitrógeno dentro de la chapa de acero hasta un máximo del 0,600 %. De este modo, se mejora el color de superficie, así como la capacidad de adherencia de los revestimientos sobre la superficie de la chapa de acero y la soldabilidad de las latas fabricadas a partir de la chapa de acero.

Dado que el grado de laminación en frío total, es decir, la reducción del espesor de una chapa de acero laminada en caliente mediante laminación en frío simple o doble hasta un espesor final deseado, está limitado por motivos tecnológicos y específicos del material, un espesor pequeño de la chapa de acero laminada en caliente (banda en caliente) es deseable para conseguir los espesores finales más bajos posibles en la chapa de acero laminada en frío. No obstante, espesores pequeños de la banda en caliente son desventajosos, por un lado, por motivos económicos y, por otro lado, debido a los defectos del material que aparecen en la banda en caliente. Para poder producir chapas de acero con un espesor final lo más pequeño posible, inferior a 0,6 mm, preferiblemente, inferior a 0,5 mm y, de manera especialmente preferiblemente, inferior a 0,35 mm, a partir de bandas en caliente con espesores habituales mediante laminación en frío simple o doble, son necesarios grados de laminación en frío total de más del 85 %. No obstante, el grado de laminación en frío total de una chapa de acero con una composición predeterminada no puede aumentarse a valores arbitrariamente altos, tanto por motivos tecnológicos como debido al comportamiento de conformación de las chapas de acero necesario para la producción de embalajes. En el caso de grados de laminación en frío total demasiado altos, se deteriora por ejemplo la formación de puntas de las chapas de acero laminadas en frío. Una chapa de acero con una composición de acero predeterminada presenta una formación de puntas dependiente del grado de laminación en frío total, que con un grado de laminación en frío óptimo determinado presenta un mínimo de altura de punta en el borde superior de una copa conformada a partir de la chapa de acero laminada en frío.

El grado de laminación en frío total óptimo (punto óptimo de grado de laminación en frío total) de chapas de acero laminadas en frío, en las que presentan la menor formación de puntas posible, depende a su vez de la composición del acero. Los aceros con un contenido relativamente bajo en carbono y nitrógeno presentan a este respecto un punto óptimo de grado de laminación en frío total alto. No obstante, carbono y nitrógeno contribuyen a aumentar la resistencia de los aceros, por lo que los aceros con un contenido muy bajo en carbono y nitrógeno presentan solo una resistencia moderada. Sin embargo, los embalajes de bajo espesor que tengan suficiente estabilidad final no pueden producirse con aceros con una resistencia moderada.

Partiendo de esto, la invención se basa en el objetivo de proporcionar una chapa de acero laminada en frío para la producción de embalajes, que presenta una resistencia biaxial suficientemente alta con el menor espesor posible y al mismo tiempo un buen comportamiento de conformación en el caso de deformación multiaxial para la producción de embalajes. La chapa de acero laminada en frío se podrá producir a este respecto a partir de una chapa de acero laminada en caliente (banda en caliente) mediante laminación en frío simple con un acabado después del recocido de recristalización o mediante laminación en frío doble con una segunda etapa de laminación en frío después del recocido

de recristalización con el mayor grado de laminación en frío total posible, de modo que a pesar del bajo espesor final deseado de menos de 0,6 mm y un espesor final preferido en el intervalo de 0,10 mm a 0,50 mm, se pueden usar bandas en caliente en el intervalo de espesor habitual. Las chapas de acero laminadas en frío de la invención, como productos de chapa para embalaje, corresponderán a los exigentes requisitos en procesos de conformación multiaxial en la producción de embalajes, tal como, por ejemplo, en procesos de embutición profunda o estirado, en donde los productos de chapa para embalaje resistirán deformaciones multiaxiales y adelgazamiento en dirección de espesor sin fallo del material y sin pérdida de resistencia de los cuerpos de embalaje tridimensionales producidos a partir de las mismas.

Estos objetivos se consiguen con un producto de chapa para embalaje según la reivindicación 1. Características y propiedades preferidas de los productos de chapa para embalaje de la invención, así como el procedimiento para su producción se pueden encontrar en las reivindicaciones dependientes. En la reivindicación 15 se define un procedimiento para la caracterización de los productos de chapa para embalaje según la invención.

La invención se basa en las siguientes consideraciones:

En procedimientos de conformación para la producción de embalajes a partir de productos de chapa para embalaje, tales como, por ejemplo, en procedimientos de embutición profunda y estirado para la producción de latas de bebidas, tiene lugar una deformación multiaxial de la chapa para embalaje (chapa de acero laminada en frío) y localmente un adelgazamiento significativo del espesor original de la lámina para embalaje inferior a 0,6 mm. Por ejemplo, con la embutición profunda y el estirado de una lata de bebida, el espesor de una chapa para embalaje se reduce a aproximadamente el 30 % del espesor original mediante la conformación de la chapa para embalaje por medio de herramientas de conformación en la sección media del cuerpo de lata. La sollicitación del material resultante a este respecto no se caracteriza suficientemente por las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tracción y el alargamiento de rotura, que se determinan en ensayos de tracción uniaxiales mediante diagramas de tensión/alargamiento. Por este motivo, no es preferible optimizar las propiedades mecánicas de las chapas para embalaje en función de los valores característicos determinados en ensayos de tracción uniaxiales.

Por lo tanto, la invención parte de que la caracterización de las propiedades mecánicas de las chapas para embalaje y, en particular, de su comportamiento de conformación se puede caracterizar mejor mediante ensayos de tracción multiaxiales, para poder optimizar basándose en ello las propiedades del material. Por lo tanto, las propiedades mecánicas y la capacidad de conformación de los productos de chapa para embalaje según la invención se prueban ventajosamente mediante el ensayo de embutición hidráulica con sistemas de medición ópticos (en lo sucesivo también denominada "prueba de abombamiento hidráulico" o "ensayo de abombamiento hidráulico") definido en la norma DIN EN ISO 16808 (correspondiente a la norma EN ISO 16808). Del mismo modo, en el ensayo de embutición hidráulica según la norma DIN EN ISO 16808, se determina por medio de un sistema de medición óptico una curva de tensión biaxial/alargamiento en una muestra de una chapa de acero, en donde en con un estirado puro la tensión biaxial real se registra frente al grado de conformación (magnitud de alargamiento real ϵ en la dirección de espesor) teniendo en cuenta la reducción de espesor. Para ello, se sujeta por su borde una muestra de la chapa de acero, que se encuentra en particular en forma de una pieza bruta, entre una matriz y un dispositivo de sujeción y, a continuación, se presiona un líquido contra la chapa de acero sujeta, mediante lo cual se forma un abombamiento hasta que se produce una grieta en la chapa de acero. Durante la prueba de embutición hidráulica se mide la presión del líquido y se registra el desarrollo de la conformación de la chapa con un aparato de medición óptico. A partir de la conformación de la chapa registrada se pueden registrar la curvatura local, los grados de deformación en la superficie y el espesor de la chapa deformada. A partir de la presión del fluido, el espesor y el radio de curvatura de la lámina deformada, se pueden calcular además la tensión biaxial (real) y el alargamiento real en la dirección de espesor. A partir de estos datos, se determina la curva de tensión biaxial/alargamiento (curva de flujo en el estado de tensión biaxial). La forma de la curva de la curva de tensión biaxial/alargamiento de un ensayo de abombamiento hidráulico tiene a este respecto una forma de curva similar en comparación con un ensayo de tracción uniaxial (tal como se define, por ejemplo, en la norma DIN EN ISO 6892-1). No obstante, en el ensayo de embutición hidráulica del ensayo de abombamiento hidráulico se consiguen en el mismo material valores de deformación más altos y, en particular, alargamientos mayores, así como una consolidación en frío más pronunciada, una vez superado el intervalo elástico.

A este respecto, se supone que debido a las formas de curva similares de las curvas de tensión/alargamiento de un ensayo de tracción uniaxial y una prueba de abombamiento hidráulico en la misma muestra en la curva de tensión biaxial/alargamiento del ensayo de embutición hidráulica (prueba de abombamiento hidráulico o ensayo de abombamiento hidráulico) los parámetros mecánicos generalmente determinados en el ensayo de tracción uniaxial, tales como la resistencia absoluta, el límite elástico inferior y superior, el alargamiento de rotura, así como el alargamiento de fluencia se pueden asociar en consecuencia. La **Tabla 1** muestra la asociación efectuada de los parámetros mecánicos a partir de un ensayo de tracción uniaxial y del ensayo de embutición hidráulica según la prueba de abombamiento hidráulico (ensayo de abombamiento hidráulico). En la figura 1 se muestra un ejemplo de la curva de tensión biaxial/alargamiento de una muestra de chapa de acero envejecida determinada a partir de una prueba de abombamiento hidráulico, en donde se representa la tensión biaxial real σ_B en [MPa] frente a la magnitud del alargamiento real en dirección de espesor $|\epsilon|$ en [%] y los parámetros mecánicos registrados a este respecto se indican y representan según la Tabla 1. El alargamiento real en la dirección de espesor es negativo debido a la reducción de espesor en el ensayo de tracción biaxial de la prueba de abombamiento hidráulico. Por lo tanto, por alargamiento (real) ϵ se entiende siempre la magnitud del alargamiento negativo en la dirección

ES 2 986 743 T3

de espesor de la chapa, teniendo en cuenta la reducción de espesor al registrar el alargamiento real. Los intervalos de deformación elástica y plástica se muestran ampliados en los recuadros de la figura 1.

5 Los parámetros mecánicos de una muestra de chapa de acero enumerados en la Tabla 1 se determinan en un diagrama de tensión biaxial/alargamiento, como se muestra como ejemplo en la figura 1, de la siguiente manera:

La curva del diagrama tensión/alargamiento muestra tres áreas características una detrás de otra en la abscisa:

10 (1) Intervalo elástico con aumento lineal de tensión frente al alargamiento:

En el máximo local de esta recta, antes de que tenga lugar la primera caída de tensión significativa, se lee el límite elástico superior $S_{b_{eH}}$;

15 (2) Forma de curva discontinua que marca la transición o el inicio del intervalo plástico y en la que la tensión es aproximadamente constante a lo largo del alargamiento:

20 La tensión más baja dentro de este intervalo discontinuo corresponde al límite elástico inferior $S_{b_{eL}}$, en donde no se tienen en cuenta los fenómenos transitorios. Al final del intervalo (2) discontinuo y, por lo tanto, en la transición a la siguiente curva creciente de la zona (3) de nuevo estable, se determina el alargamiento de fluencia A_{b_e} . Para ello, se traza una paralela a la recta inicial del intervalo elástico y se lee el alargamiento de fluencia en su intersección con la abscisa. Por lo tanto, no se tiene en cuenta la recuperación elástica del material.

25 (3) Intervalo plástico de consolidación en frío continua, en el que la tensión aumenta continuamente por encima del alargamiento hasta la rotura:

Al final de la curva se representa, por un lado, la resistencia absoluta S_{b_m} , que representa la tensión máxima a la rotura. Por otro lado, se lee el alargamiento de rotura A_b , donde el procedimiento es análogo a la determinación del alargamiento de fluencia. Se traza una paralela a la recta inicial del intervalo elástico y se lee el alargamiento de rotura en su intersección con la abscisa. Por lo tanto, tampoco en este caso se tiene en cuenta la recuperación elástica del material.

30 En la figura 2 se muestra que el intervalo plástico de la curva de tensión/alargamiento de la figura 1 está en el intervalo entre el alargamiento de fluencia A_{b_e} y un alargamiento límite superior (plástico) de $\epsilon_{m\acute{a}x} = 0,5 \cdot A_b \cdot (S_{b_{eL}}/S_{b_m})$, donde A_b es el alargamiento de rotura, $S_{b_{eL}}$ el límite elástico inferior y S_{b_m} la resistencia absoluta. El intervalo plástico de la curva tensión/alargamiento representado en la figura 2 se puede describir mediante una función $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$, en donde σ_B es la tensión biaxial real (en MPa), ϵ es la magnitud del alargamiento real en la dirección de espesor (en %), b es un factor de proporcionalidad y n es un índice de consolidación. En el ejemplo de la figura 2, el intervalo elástico-plástico de la curva tensión/alargamiento entre el alargamiento de fluencia A_{b_e} y el alargamiento límite (plástico) superior $\epsilon_{m\acute{a}x}$, puede representarse mediante la función $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ con $b = 402$ MPa y $n = 0,132$. Se muestra una curva de ajuste correspondiente en el diagrama de tensión/alargamiento de la figura 2.

40 Partiendo de estas consideraciones preliminares, la invención se refiere a:

Producto de chapa para embalaje de una chapa de acero laminada en frío con un espesor inferior a 0,6 mm, que presenta la siguiente composición con respecto al peso:

- 45 – C: 0,001 - 0,06 %,
- Si: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,002 al 0,03 %,
- 50 – Mn: 0,17 - 0,5 %,
- P: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,005 al 0,03 %,
- S: 0,001 - 0,03 %,
- 55 – Al: 0,001 - 0,1 %,
- N: 0,002 - 0,12 %, preferiblemente, del 0,004 al 0,07 %,
- opcionalmente Cr: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,08 %,
- 60 – opcionalmente Ni: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,05 %,
- opcionalmente Cu: < 0,1 %, preferiblemente 0,002 - 0,05 %,
- 65 – opcionalmente Ti: < 0,01 %,

ES 2 986 743 T3

- opcionalmente B: < 0,005 %,
- opcionalmente Nb: < 0,01 %,
- 5 – opcionalmente Mo: < 0,02 %,
- opcionalmente Sn: < 0,03 %,
- el resto hierro e impurezas inevitables,

10 en donde el producto de chapa para embalaje presenta un límite elástico ($S_{b_{el}}$) inferior durante una deformación biaxial en un ensayo de abombamiento hidráulico superior a 300 MPa y un alargamiento de rotura (Ab) asociado superior al 10 % y en el intervalo plástico entre el alargamiento de fluencia (Ab_e) y un alargamiento límite (plástico) superior de $\epsilon_{m\acute{a}x.} = 0,5 \cdot Ab \cdot (S_{b_{el}}/S_{b_m})$ un diagrama de tensión biaxial/alargamiento $\sigma_B(\epsilon)$, que se puede representar con una función $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$, en donde

- σ_B es la tensión biaxial real (en MPa),
- ϵ es la magnitud del alargamiento real en la dirección de espesor (en %),
- 20 – $S_{b_{el}}$ es el límite elástico inferior,
- S_{b_m} es la resistencia absoluta,
- 25 – Ab_e es el alargamiento de fluencia,
- Ab es el alargamiento de rotura,
- b es un factor de proporcionalidad y
- 30 – n es un índice de consolidación,

y una consolidación del producto de chapa para embalaje en la dirección de espesor se caracteriza por un índice de consolidación de

$$35 \quad n \geq 0,353 - 5,1 \cdot S_{b_{el}} / 10^4 \text{ MPa} .$$

40 Los productos de chapa para embalaje con propiedades correspondientes de una curva de tensión biaxial/alargamiento determinada en la prueba de abombamiento hidráulico se pueden generar mediante una reducción del espesor de la chapa de acero mediante laminación en frío simple o doble de una banda en caliente con un espesor preferido de 2 mm a 4 mm hasta espesores finales inferiores a 0,6 mm y se caracterizan, por un lado, por una resistencia biaxial suficientemente alta para la producción de embalajes, y por otro lado, presentan una capacidad de conformación multiaxial suficientemente alta, que permite la producción de embalajes en sofisticados procedimientos de embutición profunda con una deformación multiaxial también con un adelgazamiento significativo del material en la dirección de espesor sin que se formen grietas. Debido a la alta resistencia biaxial y la alta capacidad de conformación multiaxial, se pueden usar productos de chapa para embalaje más delgados para la producción de embalajes, sin temor a ninguna pérdida en la estabilidad del embalaje producido. Mediante el uso de productos de chapa para embalaje más finos, se puede reducir el peso del embalaje fabricado con ellas.

50 Se ha mostrado a este respecto que estas propiedades mecánicas ventajosas de los productos de chapa para embalaje según la invención, que se pueden determinar mediante el ensayo de embutición hidráulica de la prueba de abombamiento hidráulico mediante el registro de una curva de tensión biaxial/alargamiento, se pueden conseguir, por un lado, debido a la composición del acero de las chapas de acero laminadas en frío con un bajo contenido en carbono en el intervalo del 0,001 al 0,06 % en peso, y, por otro lado, debido a un alto contenido en nitrógeno del 0,002 al 0,12 % en peso. A este respecto, se prefiere el nitrógeno y se introduce en la chapa de acero laminada en frío al menos esencialmente mediante una nitruración de la chapa de acero laminada en frío en un horno de recocido con una atmósfera de gas de nitruración, en particular, una atmósfera de amoníaco. Mediante la nitruración de la chapa de acero en el horno de recocido, el nitrógeno introducido se puede almacenar intersticialmente en la red de (ferrita) del acero de manera muy uniforme a lo largo de la sección transversal de la chapa de acero. De este modo, se pueden conservar las propiedades positivas de la chapa de acero laminada en caliente (banda en caliente) para mantener un alto punto óptimo de grado de laminación en frío total y una alta consolidación de solución sólida. En particular, el contenido en nitrógeno en la banda en caliente se puede mantener bajo y, en particular, inferior al 0,016 % en peso. Esto garantiza que durante la producción de un desbaste a partir del acero fundido no se generen grietas y poros en el desbaste y que la banda en caliente generada a partir del desbaste mediante laminación en caliente no presente resistencias demasiado altas y, por lo tanto,

65

pueda laminarse en frío con los sistemas de laminación habituales con grados de laminación en frío totales (relación de reducción total de la laminación en frío simple o doble) de más del 80 %.

El nitrógeno introducido con la nitruración de la chapa de acero laminada en frío en el horno de recocido se puede introducir a este respecto distribuido de manera homogénea a lo largo del espesor de la chapa de acero, sin que se formen capas de nitruro duras y quebradizas sobre las superficies de la chapa de acero. Esto se puede conseguir, en particular, porque la nitruración de la chapa de acero laminada en frío en un horno de recocido continuo, a través del cual la chapa de acero se hace pasar en forma de banda (es decir, como banda de acero laminada en frío) a una velocidad de banda predeterminada de preferiblemente más de 200 m/min y en el horno de recocido se introduce, por un lado, un gas de nitruración, en particular, gas amoníaco, para formar una atmósfera de gas que contiene nitrógeno y, por otro lado, se pulveriza uniformemente sobre al menos una o ambas superficies de la banda de acero mediante boquillas.

Preferiblemente, la banda en caliente ya presenta un contenido en nitrógeno inicial N_0 en el intervalo del 0,001 % peso al 0,016 % en peso, para maximizar el contenido en nitrógeno total en la chapa de acero laminada en frío y, de este modo, la consolidación de solución sólida provocada por la nitruración de la banda fría. Preferiblemente, con la nitruración en el horno de recocido, se aumenta el contenido en nitrógeno inicial de la banda en caliente en al menos un 0,002 % en peso. El contenido en nitrógeno total, que se compone de la suma de la proporción de nitrógeno inicial N_0 en la banda en caliente y la proporción de nitrógeno ΔN introducida con la nitruración de la chapa de acero laminada en frío en el horno de recocido, se ajusta durante el recocido de la chapa de acero laminada en frío mediante la presencia del donador de nitrógeno en el horno de recocido, de modo que se difunda el nitrógeno atómico del donador de nitrógeno disociado a las temperaturas de recocido en la chapa de acero laminada en frío y de ese modo aumente en ΔN la proporción de nitrógeno. La proporción de nitrógeno ΔN introducida durante la nitruración en el horno de recocido es preferiblemente de al menos el 0,002 % en peso.

La proporción en peso total del nitrógeno libre en la chapa de acero laminada en frío resulta de la suma del contenido en nitrógeno libre en la banda en caliente N_{libre} (banda en caliente) y el nitrógeno ΔN añadido mediante la nitruración en el horno de recocido continuo:

$$N_{\text{libre}} = N_{\text{libre}}(\text{banda en caliente}) + \Delta N$$

A este respecto, se parte de que la proporción de nitrógeno ΔN introducida con la nitruración en el horno de recocido continuo se almacena al menos esencialmente intersticialmente en espacios intersticiales. El límite superior para la proporción en peso de nitrógeno libre en la chapa de acero laminada en frío se determina por el límite de solubilidad del nitrógeno en la red de ferrita del acero, que es de aproximadamente el 0,1 % en peso.

El donador de nitrógeno usado para la nitruración de la chapa de acero laminada en frío en el horno de recocido puede ser, por ejemplo, una atmósfera de gas que contiene nitrógeno en el horno de recocido, en particular, una atmósfera que contiene amoníaco, o un líquido que contiene nitrógeno que se aplica sobre la superficie de la chapa de acero laminada en frío, antes de calentarse en el horno de recocido. El donador de nitrógeno se diseñará a este respecto de modo que mediante disociación se proporcione nitrógeno atómico en el horno de recocido, que puede difundirse en la chapa de acero. En particular, el donador de nitrógeno puede ser gas amoníaco. Para que este se disocie en el horno de recocido para formar nitrógeno atómico, con la nitruración de la chapa de acero laminada en frío se ajustan preferiblemente temperaturas de horno de más de 400 °C en el horno de recocido.

La nitruración de la chapa de acero laminada en frío en el horno de recocido continuo puede tener lugar a este respecto antes, durante o después del recocido de recristalización. Así, es posible por ejemplo llevar a cabo la nitruración en el horno de recocido continuo en una primera zona aguas arriba del horno de recocido continuo a una primera temperatura por debajo de la temperatura de recristalización en presencia de un donador de nitrógeno y después calentar la chapa de acero en una segunda zona aguas abajo del horno de recocido continuo para el recocido de recristalización a una segunda temperatura por encima de la temperatura de recristalización. Este orden de nitruración y recocido de recristalización también se puede invertir. Un desacoplamiento de este tipo entre la nitruración y el recocido de recristalización en zonas distintas del horno de recocido continuo tiene la ventaja de que se puede ajustar la temperatura óptima para el proceso respectivo, en donde la temperatura óptima para la nitruración es menor que para el recocido de recristalización. Sin embargo, por motivos económicos se prefiere una nitruración y un recocido simultáneos de la chapa de acero en el horno de recocido continuo a una temperatura por encima de la temperatura de recristalización en presencia de un donador de nitrógeno.

Mediante la nitruración de la chapa de acero laminada en frío en el horno de recocido, se puede conseguir que el nitrógeno introducido a este respecto se introduzca en la chapa de acero esencialmente en forma no unida, es decir, en forma disuelta en la red de ferrita del acero, dado que el nitrógeno introducido con la nitruración en el horno de recocido no se une a fuertes formadores de nitruro tal como aluminio o cromo para dar nitruros. De este modo, se consigue a su vez una alta resistencia porque el nitrógeno no unido disuelto en el acero contribuye a un aumento de la resistencia debido a la consolidación de solución sólida. Preferiblemente, en el acero está almacenada intersticialmente una proporción en peso de más de 0,003 %, preferiblemente, de al menos el 0,01 %, del nitrógeno en forma no unida. Por lo tanto, el nitrógeno introducido en la chapa de acero laminada en frío durante la nitruración en el horno de recocido puede contribuir (casi) completamente a una consolidación de la solución sólida y, con ello, a un aumento de los parámetros de resistencia del

ES 2 986 743 T3

producto de chapa para embalaje, mediante lo cual puede conseguirse un alargamiento límite inferior Sb_{eL} en la prueba de embutición hidráulica con una deformación biaxial (prueba de abombamiento hidráulico) de más de 300 MPa.

Dado que la consolidación de solución sólida generada mediante la nitruración de la chapa de acero es más eficiente cuando el nitrógeno introducido se almacena intersticialmente en forma no unida en espacios intersticiales del acero (en particular, la red de ferrita), es conveniente cuando la composición de aleación del acero presenta la menor cantidad posible de formadores de nitruros (fuertes) tales como Al, Ti, B, Cr, Mo y/o Nb para evitar que el nitrógeno se una en forma de nitruros. Por lo tanto, la composición de aleación del acero presenta preferiblemente los siguientes límites superiores para la proporción en peso de los siguientes componentes de aleación que forman nitruro:

- Al: < 0,1 %, preferiblemente, menos del 0,05 %;
- Ti: < 0,01 %, preferiblemente, menos del 0,002 %;
- B: < 0,005 %, preferiblemente, menos del 0,001 %;
- Nb: < 0,01 %, preferiblemente, menos del 0,002 %;
- Cr: < 0,1 %, preferiblemente, menos del 0,08 %,
- Mo: < 0,001 %.

La proporción en peso total de los formadores de nitruro asciende preferiblemente a menos del 0,1 %. De esta manera, se puede garantizar una proporción en peso de nitrógeno no unido superior al 0,003 %.

Además, mediante la comparación de productos de chapa para embalaje según la invención con muestras comparativas no según la invención, se ha mostrado que mediante la nitruración de la chapa de acero laminada en frío en el horno de recocido se pueden obtener valores más altos para los índices de consolidación n en los productos de chapa para embalaje según la invención. El índice de consolidación n es una medida de la consolidación en frío del producto de chapa para embalaje en la dirección de espesor. Por lo tanto, los productos de chapa para embalaje según la invención se caracterizan por una mayor consolidación en frío en el intervalo plástico entre el alargamiento de fluencia Ab_e y el alargamiento límite (plástico) superior de $\epsilon_{m\acute{a}x} = 0,5 \cdot Ab \cdot (Sb_{eL}/Sb_m)$ en comparación con muestras comparativas no según la invención, debido al mayor contenido en nitrógeno provocado por la nitruración en el horno de recocido.

Las propiedades mecánicas de los productos de chapa para embalaje según la invención, que pueden registrarse con la prueba de abombamiento hidráulico mediante la determinación de una curva de tensión biaxial/alargamiento, se consiguen a este respecto después de un envejecimiento (artificial o natural) del material. Un envejecimiento natural puede deberse a este respecto a un almacenamiento prolongado del material o a un lacado y posterior secado de la pintura. Sin embargo, para la caracterización del material también se puede realizar un envejecimiento artificial mediante un tratamiento térmico de los productos de chapa para embalaje durante un periodo de tratamiento de 20 a 30 minutos a una temperatura de envejecimiento de 200 °C a 210 °C.

Para producir productos de chapa para embalaje según la invención, en primer lugar se funde un desbaste de un acero con la siguiente composición en relación con las proporciones en peso de los componentes de aleación enumerados:

- C: 0,001 - 0,06 %,
- Si: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,002 al 0,03 %,
- Mn: 0,17 - 0,5 %,
- P: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,005 al 0,03 %,
- S: 0,001 - 0,03 %,
- Al: 0,001 - 0,1 %,
- N: < 0,016 %, preferiblemente, del 0,001 al 0,010 %,
- opcionalmente Cr: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,08 %,
- opcionalmente Ni: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,05 %,
- opcionalmente Cu: < 0,1 %, preferiblemente 0,002 - 0,05 %,
- opcionalmente Ti: < 0,01 %,

- opcionalmente B: < 0,005 %,
- 5 – opcionalmente Nb: < 0,01 %,
- opcionalmente Mo: < 0,02 %,
- opcionalmente Sn: < 0,03 %,
- 10 – el resto hierro e impurezas inevitables

El desbaste se lamina en caliente hasta obtener una banda en caliente, en donde la temperatura de laminación final durante la laminación en caliente del desbaste está preferiblemente por encima de la temperatura Ar3 del acero y, en particular, en el intervalo de 800 a 920 °C. La banda en caliente presenta preferiblemente un espesor en el intervalo de 2 mm a 4 mm. Por 15 motivos económicos y de calidad, se deben buscar espesores de banda en caliente lo más altos posibles, preferiblemente, más de 2 mm. No obstante, para lograr espesores finales más bajos de la chapa de acero laminada en frío, se requieren espesores de banda en caliente más altos si la banda en caliente se va a laminar en frío usando estaciones de laminación convencionales sin aumentar el grado de laminación en frío total a valores que ya no son tecnológicamente alcanzables. Por tanto, el espesor de la banda en caliente no debe exceder los 4 mm. Un intervalo de 2 a 4 mm de espesor de la banda en 20 caliente evita, por un lado, la formación de defectos en la banda en caliente debido a un grado de reducción demasiado alto durante la laminación en caliente, así como el mantenimiento de la temperatura de laminación final preferida y, por otro lado, permite la producción de chapas de acero finas mediante una laminación en frío simple o doble de la banda en caliente con sistemas de laminación convencionales con un alto grado de laminación en frío total en el intervalo del 80 % al 98 %.

25 A continuación, la banda en caliente se arrolla preferiblemente en un rollo (bobina) a una temperatura de bobinado inferior a la temperatura Ar1 y, en particular, en el intervalo de 500 °C a 750 °C. A continuación, se enfría el rollo bobinado de banda en caliente, preferiblemente, mediante enfriamiento natural hasta temperatura ambiente y se descalcifica convenientemente mediante decapado. Después tiene lugar una laminación en frío (primaria) de la banda en caliente con una relación de 30 reducción (grado de laminación en frío) de al menos el 80 % hasta obtener una banda de acero laminada en frío.

Después, la banda de acero laminada en frío se lleva a un horno de recocido. El horno de recocido es preferiblemente un horno de recocido continuo, a través del cual se hace pasar la banda de acero laminada en frío a una velocidad de 35 banda predeterminada de preferiblemente más de 200 m/min. En el horno de recocido tiene lugar por un lado un recocido de recristalización y por otro lado una nitruración, en donde la nitruración y el recocido de recristalización pueden tener lugar tanto simultáneamente y en las mismas secciones del horno de recocido o también uno tras otro y, en particular, en secciones diferentes del horno de recocido continuo. El recocido de recristalización tiene lugar a este respecto a una temperatura de recocido de la banda de acero de al menos 630 °C. La nitruración de la banda de acero tiene lugar en el 40 horno de recocido en presencia de un donador de nitrógeno, que proporciona una atmósfera de gas de nitruración en el horno de recocido. El donador de nitrógeno, que es un gas nitrurante y, en particular, gas amoniaco se pulveriza adicionalmente mediante boquillas sobre al menos una superficie y, preferiblemente, sobre ambas superficies de la banda de acero, para conseguir una distribución uniforme del nitrógeno introducido a lo largo del espesor de la banda de acero.

El tiempo de permanencia de la banda de acero en el horno de recocido se sitúa preferiblemente entre 10 segundos y 400 segundos y, en el caso de uso de un horno de recocido continuo, puede ajustarse mediante la velocidad de 45 banda con la que se conduce la banda de acero a través del horno de recocido continuo. Esta duración de recocido es suficiente, por un lado, para conseguir una recristalización completa de la chapa de acero y, por otro lado, una distribución lo más homogénea posible del nitrógeno introducido en la banda de acero con la nitruración en el horno de recocido a lo largo del espesor de la banda de acero.

50 En el horno de recocido o en la zona del horno de recocido en la que tiene lugar la nitruración de banda de acero, se ajusta convenientemente una temperatura para mantener una atmósfera de gas de nitruración, a la que el donador de nitrógeno introducido en el horno de recocido, que preferiblemente es gas amoniaco, se disocia al menos parcialmente en nitrógeno atómico. Esto garantiza la difusión más completa, rápida y uniforme posible del nitrógeno en forma atómica en los puntos intersticiales de la rejilla de acero y conduce a una distribución homogénea 55 del nitrógeno no unido en la banda de acero y, con ello, a un alto nivel de consolidación de solución sólida.

Después de la nitruración y el recocido de recristalización, la banda de acero se enfría a temperatura ambiente. El enfriamiento puede realizarse de forma pasiva liberando calor o utilizando activamente un fluido refrigerante, como 60 por ejemplo, gas refrigerante o agua. Después del enfriamiento de la banda de acero a temperatura ambiente, tiene lugar un acabado o relaminación de la banda de acero con un grado de relaminación del 0,2 % al 45 %. Preferiblemente, el grado de laminación es < 20 % y, en particular, se encuentra en el intervalo del 1 al 18 %.

El grado de laminación en frío total de $GKWG = 1 - d/D$ resultante del espesor d del producto de chapa para embalaje y el espesor D de la banda en caliente después del acabado o la relaminación es preferiblemente al menos el 80 %, 65 de manera especialmente preferible, el 85 % o más. De manera especialmente preferida, el grado de laminación en frío total se aproxima al punto óptimo de grado de laminación en frío total dependiente de la composición del

acero y se encuentra convenientemente dentro de una tolerancia de $\pm 5\%$ en el punto óptimo del grado de laminación en frío total. El punto óptimo del grado de laminación en frío total se correlaciona con la formación geométrica de puntas, que se forman en un ensayo de estirado en copa sobre una muestra de chapa y se caracteriza a este respecto por un mínimo en la altura de punta y un número de seis puntas. Los espesores finales preferidos de los productos de chapa para embalaje según la invención se encuentran en el intervalo de 0,10 mm a 0,50 mm y, de manera especialmente preferida, en el intervalo de espesor de 0,12 mm a 0,35 mm.

Debido al aumento de resistencia provocado por una consolidación de solución sólida mediante la nitruración de la chapa de acero durante el recocido en el horno de recocido (continuo) en presencia del donador de nitrógeno, los productos de chapa para embalaje según la invención no requieren relaminación con un alto grado de relaminación para aumentar adicionalmente la resistencia mediante una consolidación en frío. Por lo tanto, el grado de laminación puede limitarse preferiblemente a como máximo el 20 % y preferiblemente en el intervalo de, en particular, en el intervalo del 1 al 18 %, mediante lo cual se puede evitar un deterioro de la isotropía de las propiedades del material debido a una segunda laminación en frío con altos grados de relaminación.

Después de la segunda laminación en frío o acabado, se puede aplicar un revestimiento sobre la superficie del producto plano de acero para mejorar la resistencia a la corrosión, por ejemplo, mediante deposición electrolítica de un revestimiento de estaño o cromo/óxido de cromo y/o mediante lacado con una laca o mediante laminación de una lámina de polímero de un plástico termoplástico, en particular, una lámina de un poliéster tal como PET o una poliolefina tal como PP o PE.

A pesar del bajo contenido en carbono, los productos de chapa para embalaje según la invención se caracterizan por una alta resistencia básica, que se consigue en particular mediante una consolidación de solución sólida debido a la introducción de nitrógeno no unido con la nitruración de la chapa de acero en el horno de recocido. Por otro lado, los productos de chapa para embalaje según la invención presentan una mayor consolidación en frío durante una deformación plástica multiaxial en la producción de embalajes, lo que resulta especialmente ventajoso en conformaciones muy exigentes (tales como, por ejemplo, los procedimientos de estirado denominados procedimientos de DWI) para poder garantizar una seguridad suficiente de los componentes. La resistencia de los productos de chapa para embalaje según la invención se puede aumentar adicionalmente mediante el envejecimiento natural o artificial de la chapa de acero o del producto final (embalaje) producido a partir de la misma.

Las propiedades del material ventajosas y otras características de los productos de chapa para embalaje según la invención, así como del procedimiento de producción y de la caracterización de los productos de chapa para embalaje según la invención mediante ensayos de embutición hidráulica (pruebas de abombamiento hidráulico) resultan de los ejemplos que se describen a continuación con referencia a las Tablas y dibujos asociados. Los ejemplos mostrados sirven únicamente para explicar la invención y para ilustrar las propiedades materiales ventajosas de los productos de chapa para embalaje según la invención en comparación con ejemplos comparativos no según la invención y no limitan el alcance de protección de la invención, que se determina por las reivindicaciones de patente definidas en último lugar.

Los dibujos muestran:

Fig. 1: Ejemplo de una curva de tensión biaxial/alargamiento $\sigma_B(\epsilon)$ determinada a partir de una prueba de abombamiento hidráulico de una muestra de chapa de acero envejecida, en donde están representados los parámetros mecánicos registrados a este respecto según la Tabla 1 y el intervalo de la deformación elástico-plástica está representado de manera ampliada en el recuadro;

Fig. 2: Representación detallada del intervalo plástico de la curva tensión biaxial/alargamiento de la figura 1 sobre el alargamiento de fluencia (Ab_e) con un ajuste asociado de la función $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$;

Fig. 3: curvas de tensión biaxial/alargamiento de muestras de chapa de acero según la invención y no según la invención, determinadas a partir de una prueba de abombamiento hidráulico, en cada caso con una composición comparable de la banda en caliente y diferente contenido de nitrógeno y el mismo grado de relaminación en cada caso, en donde en la figura 3a se muestran la curva tensión/alargamiento de muestras de chapa de acero según la invención y no según la invención con un bajo contenido en carbono ($C < 0,03\%$ en peso) y en la figura 3b las curvas tensión/alargamiento de muestras de chapa de acero según la invención y no según la invención con un mayor contenido en carbono ($C > 0,03\%$ en peso);

Fig. 4: Representación del desarrollo del límite elástico inferior determinado a partir de la curva de tensión biaxial/alargamiento ($S_{b_{el}}$ en MPa) de muestras de chapa de acero según la invención y no según la invención dependiendo del grado de relaminación (NWG en %), en donde en la figura 4a se muestran los valores de muestras con bajo contenido en carbono ($C < 0,03\%$ en peso) y en la figura 4b se muestran los valores de muestras con mayor contenido en carbono ($C > 0,03\%$ en peso);

Fig. 5: Representación del desarrollo del alargamiento de rotura determinado a partir de la curva de tensión biaxial/alargamiento (Ab en MPa) de muestras de chapa de acero según la invención y no según la invención en función del grado de laminación (NWG en %), en donde en la figura 5a se muestran los valores de muestras con bajo contenido en carbono ($C < 0,03\%$ en peso) y en la figura 5b los valores de muestras con mayor contenido en carbono ($C > 0,03\%$ en peso);

Fig. 6: Representación del desarrollo de los índices de consolidación n determinados a partir del intervalo plástico de la curva tensión biaxial/alargamiento $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ de muestras de chapa de acero según la invención y no según la invención en función del grado de relaminación (NWG en %), en donde en la figura 6a se muestran los valores de muestras con bajo contenido en carbono ($C < 0,03$ % en peso) y en la figura 6b se muestran los valores de muestras con mayor contenido en carbono ($C > 0,03$ % en peso);

Fig. 7: Representación del desarrollo de los índices de consolidación determinados a partir del intervalo elástico-plástico de la curva tensión biaxial/alargamiento $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$ a partir de la figura 6 de muestras de chapa de acero según la invención y no según la invención en función de su límite elástico inferior ($S_{b_{eL}}$ en MPa) según la figura 4;

Para la producción de productos de chapa para embalaje según la invención, se cuela un desbaste a partir de masa fundida de acero y se lamina en caliente hasta obtener una banda en caliente. Los componentes del acero a partir del cual se pueden producir productos de chapa para embalaje según la invención se explican detalladamente a continuación, donde los datos en porcentaje se refieren a las proporciones en peso de los componentes del acero:

Composición del acero:

- Carbono, C: al menos el 0,001 % y como máximo el 0,06 %;

El carbono aumenta la dureza o la resistencia. Por lo tanto, el acero contiene al menos el 0,001 % en peso de carbono. Los aceros con un bajo contenido en carbono presentan un punto óptimo del grado de laminación en frío total más alto, por lo que a partir de bandas en caliente con bajo contenido en carbono y espesores de banda en caliente habituales en el intervalo de 2 a 4 mm, se pueden generar mediante laminación en frío chapas de acero más finas con la misma formación de puntas. Para garantizar la capacidad de laminación de la chapa de acero durante la laminación en frío primaria y, dado el caso, en una segunda etapa de laminación en frío (relaminación o acabado) y al mismo tiempo para garantizar una baja formación de puntas y no reducir el alargamiento de rotura, el contenido en carbono no será superior al 0,06 %. Un bajo contenido en carbono evita asimismo una anisotropía pronunciada en forma de estructura de líneas durante la producción y procesamiento de las chapas de acero, ya que debido a la baja solubilidad en la red de ferrita del acero, el carbono se encuentra en gran medida en forma de cementita. Además, a medida que aumenta el contenido en carbono, la calidad de la superficie se deteriora y el riesgo de grietas en el desbaste aumenta a medida que se acerca el punto peritético.

- Manganeso, Mn: al menos el 0,17 % y como máximo el 0,5 %;

El manganeso también aumenta la dureza o la resistencia. El manganeso también mejora la soldabilidad y la resistencia al desgaste del acero. Asimismo, mediante adición de manganeso se reduce la tendencia a la rotura del rojo durante la laminación en caliente al unir azufre en MnS menos dañino. Además, el manganeso conduce al refinamiento del grano y el manganeso puede aumentar la solubilidad del nitrógeno en la red de hierro y evitar la difusión de carbono a la superficie del desbaste. Por lo tanto, se preferirá un contenido en manganeso de al menos el 0,17 % en peso. Para conseguir altas resistencias, se requiere un contenido en manganeso superior al 0,2 % en peso, en particular del 0,30 % en peso o más. Sin embargo, cuando el contenido en manganeso es demasiado alto, esto afecta a la resistencia a la corrosión del acero y ya no se garantiza la compatibilidad con los alimentos. Además, en el caso de contenidos en manganeso demasiado altos, la resistencia de la banda en caliente llega a ser demasiado alta, lo que lleva a que la banda en caliente ya no se pueda laminar en frío de manera económica. Por lo tanto, el límite superior para el contenido en manganeso es del 0,5 % en peso.

- Fósforo, P: menos del 0,03 %

El fósforo es un elemento acompañante indeseable en los aceros. Un alto contenido en fósforo lleva en particular a la fragilización del acero y, por lo tanto, perjudica la capacidad de conformación de las chapas de acero, por lo que el límite superior para el contenido en fósforo es del 0,03 % en peso.

- Azufre, S: más del 0,001 % y como máximo el 0,03 %

El azufre es un elemento acompañante indeseable que perjudica la capacidad de alargamiento y la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, no más del 0,03 % en peso de azufre puede estar contenido en el acero. Por otro lado, para desulfurar el acero han de tomarse medidas complejas y costosas, por lo que, desde el punto de vista económico, un contenido en azufre inferior al 0,001 % en peso ya no es justificable. Por tanto, el contenido en azufre se encuentra en el intervalo del 0,001 % en peso al 0,03 % en peso, de manera especialmente preferida entre el 0,005 % en peso y el 0,01 % en peso.

- Aluminio, Al: más del 0,001 % y menos del 0,1 %

El aluminio es necesario en la producción de acero como desoxidante para calmar el acero. Además, el aluminio aumenta la resistencia al cascarillado y la capacidad de conformación. Por eso el contenido en aluminio es superior al 0,001 % en peso. No obstante, el aluminio forma con nitrógeno nitruros de aluminio, que en las chapas de acero según la invención son desventajosos, dado que reducen la proporción de nitrógeno libre. Además, concentraciones

ES 2 986 743 T3

de aluminio demasiado elevadas pueden provocar defectos en la superficie en forma de agrupaciones de aluminio. Por lo tanto, el aluminio se utiliza en una concentración máxima del 0,1 peso.

- Silicio, Si: menos del 0,03 %;

El silicio aumenta en el acero la resistencia al cascarillado y es un endurecedor de solución sólida. El silicio sirve como desoxidante en la producción de acero. Otra influencia positiva del silicio en el acero es que aumenta la resistencia a la tracción y el límite elástico. Por lo tanto, se preferirá un contenido en silicio del 0,002 % en peso o más. Sin embargo, cuando el contenido en silicio llega a ser demasiado alto y, en particular, supera el 0,03 % en peso, la resistencia a la corrosión del acero puede deteriorarse y los tratamientos superficiales, en particular, los revestimientos electrolíticos pueden dificultarse.

- opcionalmente nitrógeno, N₀: menos del 0,007 % y, preferiblemente, más del 0,001 %

El nitrógeno es un componente opcional de la masa fundida de acero a partir de la cual se produce el acero para las chapas de acero según la invención. Si bien el nitrógeno actúa como un agente de solidificación de solución sólida para aumentar la dureza y la resistencia. No obstante, un contenido en nitrógeno demasiado alto en la masa fundida de acero lleva a que la banda en caliente producida a partir de la masa fundida de acero sea más difícil de laminar en frío. Además, un alto contenido en nitrógeno en la masa fundida de acero aumenta el riesgo de defectos en la banda en caliente, ya que con concentraciones de nitrógeno del 0,007 % en peso o más, la capacidad de conformación en caliente se vuelve menor. En la producción de productos de chapa para embalaje según la invención está previsto aumentar posteriormente el contenido en nitrógeno de la chapa de acero mediante nitruración de la chapa de acero laminada en frío en un horno de recocido. Por lo tanto, se puede prescindir por completo de la introducción de nitrógeno en la masa fundida de acero. Sin embargo, para conseguir una alta consolidación de solución sólida, es preferible cuando ya la masa fundida de acero tiene un contenido en nitrógeno inicial superior al 0,001 % en peso.

Para introducir un contenido en nitrógeno inicial N₀ en la chapa de acero antes de la nitruración en el horno de recocido, se puede añadir nitrógeno a la masa fundida de acero en una cantidad correspondiente, por ejemplo, mediante soplado de gas nitrógeno y/o mediante adición de un compuesto de nitrógeno sólido tal como nitrógeno de cal (cianamida de calcio) o nitruro de manganeso.

- opcionalmente: Formadores de nitruro, en particular, niobio, titanio, boro, molibdeno, cromo:

Los elementos que forman nitruros, tales como aluminio, titanio, niobio, boro, molibdeno y cromo son desventajosos en las chapas de acero según la invención, porque reducen la proporción de nitrógeno libre mediante la formación de nitruros. Además, estos elementos son caros y, por tanto, aumentan los costes de producción. Por otro lado, los elementos niobio, titanio y boro, por ejemplo, actúan como componentes de microaleación para aumentar la resistencia mediante el refinamiento del grano sin reducir la tenacidad. Por lo tanto, los formadores de nitruro mencionados se pueden añadir ventajosamente a la masa fundida de acero como componentes de aleación dentro de ciertos límites. Por lo tanto, el acero puede contener (opcionalmente) los siguientes componentes de aleación formadores de nitruro en función del peso:

- Titanio, Ti: preferiblemente, más del 0,0005 %, pero por motivos de costes menos del 0,01 %.
- Boro, B: preferiblemente, más del 0,0005 %, pero por motivos de costes menos del 0,005 %, y/o
- Niobio, Nb: preferiblemente, más del 0,001 %, pero por motivos de costes menos del 0,01 %, y/o
- Cromo, Cr: preferiblemente, más del 0,01 % para permitir el uso de chatarra en la producción de la masa fundida de acero y dificultar la difusión de carbono en la superficie del desbaste, pero para evitar carburos y nitruros como máximo el 0,1 %, y/o
- Molibdeno, Mo: menos del 0,02 % para evitar un aumento excesivo de la temperatura de recristalización;

Para evitar una reducción en la proporción de nitrógeno libre, no unido N_{libre} por la formación de nitruros, la proporción en peso total de los formadores de nitruro mencionados en la masa fundida de acero es preferiblemente inferior al 0,1 %.

Otros componentes opcionales:

Además del hierro residual (Fe) e impurezas inevitables, la masa fundida de acero también puede contener otros componentes opcionales, tales como por ejemplo

- opcionalmente cobre, Cu: más del 0,002 % para permitir el uso de chatarra en la producción de la masa fundida de acero, pero menos del 0,1 % para garantizar la compatibilidad con los alimentos;
- opcionalmente Níquel, Ni: más del 0,01 % para permitir el uso de chatarra en la producción de masa fundida de acero y mejorar la tenacidad, pero menos del 0,1 % para garantizar la compatibilidad con los alimentos;

– opcionalmente estaño, Sn: preferiblemente, menos del 0,03 %;

Procedimiento de producción:

5 Para la producción de productos de chapa para embalaje según la invención se genera en primer lugar una masa fundida de acero con la composición descrita del acero, que se cuele de manera continua y, tras enfriarse, se divide en desbastes. A continuación, los desbastes se calientan de nuevo a temperaturas de precalentamiento superiores a 1100 °C, en particular, de 1200 °C y se laminan en caliente para la generación de una banda en caliente con un espesor en el intervalo de 2 a 4 mm.

10 La temperatura de laminación final durante la laminación en caliente es preferiblemente superior a la temperatura de Ar3 para seguir siendo austenítica y, en particular, está entre 800 °C y 920 °C.

15 La banda en caliente se arrolla en un rollo (bobina) a una temperatura de arrollamiento predeterminada y convenientemente constante (temperatura de bobinado, HT). La temperatura de arrollamiento se encuentra preferiblemente por debajo de Ar1 para permanecer en el intervalo ferrítico, preferiblemente, en el intervalo de 500 °C a 750 °C y, de manera especialmente preferida, a menos de 640 °C para evitar la precipitación de AlN. Por motivos económicos, la temperatura de arrollamiento será superior a 500 °C. Después del arrollamiento, el rollo de banda en caliente se enfría de forma natural. Una formación de nitruros de hierro en la superficie de la banda en caliente se puede evitar mediante un enfriamiento activo de la banda en caliente después de finalizar la laminación en caliente hasta que se enrolle con tasas de enfriamiento más altas.

25 Para producir un acero para embalaje en forma de una chapa de acero fina en el intervalo de espesor inferior a 0,6 mm (espesores de lámina finos) y preferiblemente con un espesor final inferior a 0,35 mm, primero se decapa la banda en caliente y luego se lamina en frío, en donde se consigue una reducción de espesor (grado de reducción o grado de laminación en frío) de al menos el 80 % y preferiblemente en el intervalo del 85 % al 98 %. Para restaurar la estructura cristalina del acero destruida durante la laminación en frío, la banda de acero laminada en frío se recuece por recristalización en un horno de recocido. Esto se consigue, por ejemplo, haciendo pasar la chapa de acero en forma de banda de acero laminada en frío, preferiblemente, a una velocidad de banda de al menos 200 m/min, a través de un horno de recocido continuo, en el que la banda de acero se calienta a temperaturas por encima de la temperatura de recristalización del acero. A este respecto, antes o preferiblemente al mismo tiempo que el recocido de recristalización tiene lugar una nitruración de la chapa de acero laminada en frío mediante un calentamiento de la chapa de acero en el horno de recocido en presencia de un donador de nitrógeno. A este respecto, la nitruración se lleva a cabo preferiblemente al mismo tiempo que el recocido de recristalización, introduciéndose un donador de nitrógeno, en particular, en forma de un gas que contiene nitrógeno, en el horno de recocido y calentándose la chapa de acero a una temperatura de recocido por encima de la temperatura de recristalización del acero y manteniéndose durante una duración de recocido (tiempo de espera) de preferiblemente 10 a 150 segundos a la temperatura de recocido. La temperatura de recocido es preferiblemente superior a 630 °C y, en particular, se encuentra en el intervalo de 640 °C a 750 °C. El donador de nitrógeno se selecciona de modo que a las temperaturas en el horno de recocido, se forma nitrógeno atómico mediante la disociación del donador de nitrógeno, que puede difundirse en la chapa de acero. Para ello, se ha demostrado que el amoníaco es un donador de nitrógeno adecuado. Para evitar la oxidación de la superficie de la chapa de acero durante el recocido, en el horno de recocido se utiliza convenientemente una atmósfera de gas protector. Preferiblemente, la atmósfera en el horno de recocido se compone de una mezcla del gas que contiene nitrógeno, que actúa como donador de nitrógeno y un gas protector, tal como gas de formación o gas nitrógeno (gas N₂), en donde la proporción en volumen del gas protector durante la alimentación se encuentra preferiblemente entre el 95 % y el 99,98 % y el resto de la proporción en volumen del gas alimentado se forma por el gas que contiene nitrógeno, en particular, gas amoníaco (gas NH₃). Preferiblemente, durante la nitruración en el horno de recocido se mantiene una concentración de equilibrio del 0,02 al 2 % en volumen de amoníaco y al mismo tiempo se rocía gas amoníaco sobre las superficies de la chapa de acero por medio de boquillas. Esto evita la formación de una capa de nitruro dura y quebradiza en la superficie de la chapa de acero y garantiza que el nitrógeno se difunda en alta concentración en el interior de la chapa de acero y se almacene en esta intersticialmente de manera uniforme en la red (ferrita) del acero. Mediante la nitruración tiene lugar preferiblemente un aumento de la concentración de nitrógeno inicial N₀ de $\Delta N \geq 0,002$ % en peso. La proporción en peso del nitrógeno total en la chapa de acero recristalizada y nitrurada generada mediante la nitruración en el horno de recocido se encuentra preferiblemente entre el 0,002 y el 0,12 %, de manera especialmente preferiblemente, entre el 0,004 y el 0,07 %.

55 Ejemplos de realización:

A continuación, se explican ejemplos de realización de la invención y ejemplos comparativos. Las chapas de acero de los ejemplos de realización de la invención y de los ejemplos comparativos se produjeron a partir de masas fundidas de acero con las composiciones de aleación expuestas en la **Tabla 2** mediante laminación en caliente y posterior laminación en frío. A continuación, las chapas de acero laminadas en frío se recristalizaron en un horno de recocido continuo manteniendo las chapas de acero a temperaturas de recocido de 630 °C o más durante un tiempo de recocido predeterminado en el intervalo de 10 a 120 segundos.

65 Las chapas de acero según la invención, que están calificadas como “según la invención” en la Tabla 2, se nitruraron antes o durante el recocido de recristalización en el horno de recocido, ajustándose en el horno de recocido una atmósfera de amoníaco con una concentración de equilibrio de amoníaco del 0,02 a preferiblemente

el 2 % en volumen y dirigiéndose al mismo tiempo gas amoníaco por medio de boquillas sobre las superficies de las chapas de acero. De este modo, el contenido en nitrógeno de las chapas de acero según la invención se nitruró desde el contenido en nitrógeno inicial N_0 de la banda en caliente hasta un mayor contenido en nitrógeno N . En la Tabla 2 está indicado para las chapas de acero según la invención tanto el contenido en nitrógeno inicial N_0 así como el contenido en nitrógeno conseguido después de la nitruración en el horno de recocido $N = N_0 + \Delta N$, en donde ΔN es el contenido en nitrógeno introducido en la chapa de acero con la nitruración en el horno de recocido.

Durante el recocido de recristalización de las chapas de acero no según la invención, que en la Tabla 2 están calificadas como “no según la invención”, en el horno de recocido estaba presente una atmósfera de gas inerte sin donador de nitrógeno (es decir, sin componentes de nitruración), de modo que las chapas de acero no según la invención no se nitruraron en el horno de recocido y la proporción en peso de nitrógeno es la misma antes y después del tratamiento térmico en el horno de recocido (es decir, $N = N_0$).

Después del tratamiento térmico en el horno de recocido, tanto las chapas de acero según la invención como las chapas de acero de los ejemplos comparativos no según la invención, no nitruradas en el horno de recocido y que están calificadas como “no según la invención” en la Tabla 2 se volvieron a laminar o se acabaron en una segunda etapa de laminación en frío.

Por último, es decir, después de la segunda laminación en frío (relaminación o acabado), se generó un envejecimiento artificial de las chapas de acero calentando la muestra a 200 °C durante 20 minutos. Las propiedades mecánicas de las muestras de las chapas de acero según la invención y de los ejemplos comparativos no según la invención envejecidas artificialmente, de esta manera, se exponen en la **Tabla 3**, en donde

- espesor es el espesor final de las chapas de acero relaminadas (en mm),
- NWG es el grado de relaminación durante la laminación en frío secundaria (en %),
- $S_{b_{eH}}$ es el límite elástico superior (en MPa),
- $S_{b_{eL}}$ es el límite elástico inferior (en MPa),
- S_{b_m} es la resistencia absoluta (en MPa),
- A_b es el alargamiento de rotura (en %),
- A_{b_e} es el alargamiento de fluencia (en %),
- b es un factor de proporcionalidad en MPa y n es un índice de consolidación, que resulta de la descripción de la curva tensión biaxial -alargamiento $\sigma_B(\epsilon)$ determinada en la prueba de abombamiento hidráulico en el intervalo plástico por encima del alargamiento de fluencia (A_{b_e}) mediante la función $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$, cuando σ_B es la tensión biaxial (real) determinada en la prueba de abombamiento hidráulico en MPa y ϵ es la magnitud del alargamiento real (en %) en la dirección de espesor (el alargamiento real en la dirección de espesor es negativo debido a la reducción de espesor en el ensayo de tracción biaxial de la prueba de abombamiento hidráulico; por lo tanto, por alargamiento ϵ se entiende siempre la magnitud del alargamiento negativo en la dirección de espesor de la chapa).

Los parámetros mecánicos de las muestras, tales como el límite elástico superior ($S_{b_{eH}}$ en MPa), el límite elástico inferior ($S_{b_{eL}}$ en MPa), la resistencia absoluta (S_{b_m} en MPa), el alargamiento de rotura (A_b en %) y el alargamiento de fluencia (A_{b_e} en %) se determinaron a partir del diagrama de tensión biaxial/alargamiento, tal como se explica a modo de ejemplo por medio del ejemplo de la figura 1.

En la figura 3 se muestran curvas de tensión biaxial/alargamiento a modo de ejemplo, que se determinaron a partir de una prueba de abombamiento hidráulico en muestras de chapas de acero según la invención y no según la invención, en donde en la figura 3a se muestran muestras con bajo contenido en carbono ($C < 0,03$ %) y en la figura 3b muestras con mayor contenido en carbono ($C > 0,03$ %). A este respecto, se comparan muestras según la invención y muestras no según la invención, en cada caso con la misma composición y el mismo grado de relaminación (NWG). A partir de la comparación de las curvas de tensión biaxial/alargamiento de muestras según la invención y no según la invención, resulta que la tensión biaxial en el intervalo plástico por encima del alargamiento de fluencia ($\epsilon > A_{b_e}$) es normalmente mayor en las muestras según la invención que en las muestras no según la invención. Esto indica una mayor consolidación en frío de las muestras según la invención en el ensayo de abombamiento hidráulico. La diferencia en la consolidación en frío entre las muestras según la invención y las muestras no según la invención es particularmente notable a concentraciones de carbono más altas ($C > 0,03$ %) en la composición del acero (véase la figura 3b).

Otra medida de la consolidación de una muestra de chapa de acero es el límite elástico inferior (biaxial) $S_{b_{eL}}$ determinado en la prueba de abombamiento hidráulico. Esto depende, entre otras cosas, del grado de relaminación (NWG). Para representar gráficamente la consolidación de muestras según la invención y no según la invención, en la figura 4 se representan los límites elásticos inferiores $S_{b_{eL}}$ determinados a partir de la prueba de abombamiento hidráulico en función del

grado de relaminación de NWG (en %), en donde se muestran a su vez muestras de chapa de acero con un bajo contenido en carbono ($C < 0,03\%$) en la figura 4a y muestras con un mayor contenido en carbono ($C > 0,03\%$) en la figura 4b.

5 A partir de una comparación de las muestras según la invención y las muestras no según la invención, se puede apreciar a partir de las representaciones de la figura 4 que las muestras según la invención presentan un límite elástico inferior ($S_{b_{el}}$) más alto con el mismo grado de relaminación (NWG) con respecto a las muestras no según la invención.

10 En la figura 5 se representa el desarrollo del alargamiento de rotura (Ab en %) a partir de la prueba de abombamiento hidráulico de muestras según la invención y de muestras no según la invención en función del grado de relaminación (NWG en %), en donde se muestran muestras con un contenido en carbono más bajo ($C < 0,03\%$) en la figura 5a y muestras con un contenido en carbono más alto ($C > 0,03\%$) en la figura 5b. A partir de una comparación del alargamiento de rotura de las muestras según la invención y las muestras no según la invención, se puede desprender a partir de las figuras 5a y 5b que el alargamiento de rotura de las muestras según la invención es mayor con el mismo grado de relaminación (NWG).

15 A partir de las curvas de tensión biaxial/alargamiento de las muestras según la invención y de las muestras no según la invención determinadas en la prueba de abombamiento hidráulico, en el intervalo plástico entre el alargamiento de fluencia Ab_e y un alargamiento límite superior (plástico) de $\epsilon_{m\acute{a}x} = 0,5 \cdot Ab \cdot (S_{b_{el}}/S_{b_m})$, en donde Ab es el alargamiento de rotura, $S_{b_{el}}$ es el límite elástico inferior y S_{b_m} es la resistencia absoluta mediante funciones de ajuste $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$, se determinó el factor de proporcionalidad b y índice de consolidación n . Los valores del factor de proporcionalidad b y de los índices de consolidación n determinados para las muestras examinadas se indican en la Tabla 3. El índice de consolidación n representa a este respecto una medida de la consolidación en frío de una muestra de chapa de acero en la prueba de abombamiento hidráulico. Dado que el índice de consolidación n también depende del grado de relaminación (NWG), los índices de consolidación n determinados a partir de la prueba de abombamiento hidráulico de muestras según la invención y muestras no según la invención se representan en la figura 6 en función del grado de relaminación (NWG en %), en donde en la figura 6a se muestran muestras con bajo contenido en carbono ($C < 0,03\%$) y en la figura 6b se muestran muestras con mayor contenido en carbono ($C > 0,03\%$). A partir de una comparación de las muestras según la invención y las muestras no según la invención, se desprende que el índice de consolidación n de las muestras según la invención es mayor que el de las muestras no según la invención con el mismo grado de relaminación (NWG).

30 Se puede conseguir una cuantificación de la consolidación en frío independiente del grado de relaminación de muestras de chapa de acero en la prueba de abombamiento hidráulico, con una representación del índice de consolidación n determinado en la prueba de abombamiento hidráulico en función del límite elástico inferior $S_{b_{el}}$. Por lo tanto, en la figura 7 se muestran los índices de consolidación n determinados en la prueba de abombamiento hidráulico dependiendo del límite elástico inferior $S_{b_{el}}$. De la figura 7 se desprende que los índices de consolidación n de las muestras según la invención con el mismo límite elástico inferior $S_{b_{el}}$ son mayores que en las muestras no según la invención. Para límites elásticos inferiores de $S_{b_{el}} > 300$ MPa y un alargamiento de rotura mínimo de $Ab > 10\%$, las muestras según la invención se pueden distinguir de las muestras no según la invención por el siguiente desarrollo del índice de consolidación n en función del límite elástico inferior $S_{b_{el}}$ (en MPa):

40
$$n \geq 0,353 - 5,1 \cdot S_{b_{el}} / 10^4 \text{ MPa.}$$

45 Las muestras según la invención, que cumplen la ecuación anterior, se caracterizan por un mayor límite elástico y una mayor consolidación en frío en comparación con las muestras no según la invención y, por lo tanto, son más adecuadas para la conformación multiaxial en comparación con las muestras no según la invención, tal como por ejemplo, en la producción de cuerpos de lata tridimensionales a partir de productos de chapa para embalaje. A este respecto, las muestras según la invención se caracterizan en particular por una mayor consolidación en frío después de un envejecimiento (es decir, después de un envejecimiento natural o artificial de la muestra). La mayor consolidación en frío se puede conseguir en las muestras según la invención introduciendo nitrógeno no unido durante la nitruración de las muestras en el horno de recocido y la consolidación de solución sólida resultante.

55

60

65

Tabla 1

Tamaño	Límite elástico superior	Límite elástico inferior	Resistencia absoluta	Alargamiento de fluencia	Alargamiento de rotura	Alargamiento límite superior	Índice de consolidación	Factor de proporcionalidad
Ensayo de tracción	R_{eH}	R_{eL}	R_m	aprox. A_e	A	-	-	-
ensayo de abombamiento hidráulico	S_{beH}	S_{beL}	S_{bm}	A_{be}	Ab	$\epsilon_{máx}$	n	b
Descripción del ensayo de abombamiento hidráulico	Tensión real biaxial más alta antes de la primera caída de tensión significativa hacia el intervalo discontinuo	Tensión real biaxial más pequeña en el intervalo discontinuo durante el flujo plástico	Tensión real biaxial más alta después del intervalo discontinuo y poco antes de la rotura	Alargamiento real permanente en la dirección de espesor en la transición entre intervalo discontinuo e intervalo continuo posterior	Alargamiento real permanente máximo en la dirección de espesor poco antes de la rotura	Magnitud de un alargamiento real en la dirección de espesor, que resulta dependiendo del alargamiento de rotura, la resistencia absoluta y el límite elástico inferior	Índice de una función de potencia, que describe la forma de curva entre alargamiento de fluencia y alargamiento límite superior	Factor multiplicativo de una función de potencia, que describe la forma de curva entre alargamiento de fluencia y alargamiento límite superior

Tabla 2

N.º	Categoría	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	No [%]
1	no según la invención	0,0016	0,0016	0,1900	0,0080	0,0070	0,0070	0,0130	0,0140	0,0020	0,0290	0,0090	0,0008	0,0007	0,0016
2	no según la invención	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0007	0,0020
3	no según la invención	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0009	0,0020
4	no según la invención	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0004	0,0020
5	no según la invención	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0008	0,0020
6	no según la invención	0,0017	0,0020	0,2300	0,0100	0,0040	0,0130	0,0150	0,0230	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0007	0,0020
7	no según la invención	0,0017	0,0018	0,2200	0,0120	0,0040	0,0100	0,0260	0,0210	0,0270	0,0090	0,0040	0,0004	0,0008	0,0018
8	según la invención	0,0018	0,0430	0,2000	0,0070	0,0263	0,0070	0,0290	0,0180	0,0020	0,0100	0,0110	0,0006	0,0009	0,0022
9	según la invención	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0010	0,0017
10	según la invención	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0008	0,0017
11	según la invención	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0010	0,0017
12	no según la invención	0,0019	0,0041	0,2200	0,0090	0,0040	0,0160	0,0160	0,0190	0,0010	0,0070	0,0020	0,0010	0,0010	0,0017
13	no según la invención	0,0021	0,0016	0,2400	0,0110	0,0050	0,0230	0,0180	0,0350	0,0020	0,0070	0,0040	0,0004	0,0010	0,0016
14	no según la invención	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031
15	no según la invención	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031
16	no según la invención	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65

N.º	Categoría	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	No [%]
17	no según la invención	0,0022	0,0031	0,2200	0,0090	0,0050	0,0170	0,0380	0,0280	0,0010	0,0120	0,0070	0,0010	0,0010	0,0031
18	según la invención	0,0024	0,0052	0,2300	0,0110	0,0050	0,0190	0,0160	0,0210	0,0010	0,0070	0,0030	0,0010	0,0007	0,0022
19	según la invención	0,0024	0,0136	0,2300	0,0100	0,0050	0,0250	0,0150	0,0210	0,0010	0,0120	0,0040	0,0005	0,0005	0,0022
20	según la invención	0,0024	0,0052	0,2300	0,0110	0,0050	0,0190	0,0160	0,0210	0,0010	0,0070	0,0030	0,0010	0,0010	0,0022
21	según la invención	0,0024	0,0052	0,2300	0,0110	0,0050	0,0190	0,0160	0,0210	0,0010	0,0070	0,0030	0,0010	0,0011	0,0022
22	no según la invención	0,0027	0,0020	0,2300	0,0110	0,0050	0,0250	0,0130	0,0240	0,0020	0,0070	0,0020	0,0004	0,0013	0,0020
23	no según la invención	0,0029	0,0021	0,2300	0,0100	0,0050	0,0270	0,0150	0,0210	0,0020	0,0120	0,0040	0,0005	0,0005	0,0021
24	según la invención	0,0030	0,0119	0,2400	0,0080	0,0040	0,0210	0,0180	0,0220	0,0020	0,0060	0,0020	0,0004	0,0005	0,0017
25	según la invención	0,0041	0,0050	0,1800	0,0110	0,0194	0,0140	0,0540	0,0120	0,0260	0,0220	0,0140	0,0005	0,0008	0,0020
26	no según la invención	0,0064	0,0025	0,1900	0,0100	0,0250	0,0280	0,0320	0,0180	0,0010	0,0090	0,0010	0,0005	0,0008	0,0025
27	según la invención	0,0080	0,0050	0,1700	0,0110	0,0250	0,0060	0,0180	0,0140	0,0280	0,0210	0,0180	0,0006	0,0005	0,0018
28	según la invención	0,0120	0,0090	0,1900	0,0140	0,0210	0,0160	0,0170	0,0190	0,0340	0,0290	0,0090	0,0028	0,0016	0,0024
29	no según la invención	0,0120	0,0022	0,2300	0,0150	0,0060	0,0090	0,0130	0,0230	0,0370	0,0080	0,0140	0,0004	0,0023	0,0022
30	según la invención	0,0130	0,0210	0,1800	0,0070	0,0220	0,0150	0,0140	0,0150	0,0410	0,0160	0,0030	0,0006	0,0005	0,0045
31	según la invención	0,0140	0,0080	0,2100	0,0090	0,0028	0,0160	0,0150	0,0230	0,0270	0,0080	0,0030	0,0060	0,0010	0,0034
32	según la invención	0,0140	0,0080	0,2100	0,0090	0,0016	0,0024	0,0150	0,0230	0,0270	0,0080	0,0030	0,0060	0,0010	0,0034
33	no según la invención	0,0140	0,0080	0,2100	0,0090	0,0430	0,0160	0,0150	0,0230	0,0270	0,0080	0,0030	0,0060	0,0010	0,0034
34	según la invención	0,0170	0,0420	0,2000	0,0080	0,0280	0,0190	0,0230	0,0200	0,0140	0,0220	0,0180	0,0004	0,0008	0,0043
35	según la invención	0,0210	0,0120	0,2200	0,0100	0,0290	0,0230	0,0350	0,0130	0,0170	0,0120	0,0180	0,0007	0,0007	0,0037
36	no según la invención	0,0210	0,0021	0,2500	0,0140	0,0260	0,0060	0,0170	0,0230	0,0450	0,0090	0,0040	0,0007	0,0009	0,0021

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65

N.º	Categoría	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	No [%]
37	según la invención	0,0240	0,0170	0,2300	0,0200	0,0260	0,0260	0,0160	0,0170	0,0450	0,0250	0,0180	0,0007	0,0008	0,0028
38	no según la invención	0,0280	0,0026	0,2100	0,0200	0,0120	0,0280	0,0120	0,0210	0,0460	0,0150	0,0070	0,0008	0,0010	0,0026
39	según la invención	0,0290	0,0230	0,2200	0,0080	0,0250	0,0240	0,0450	0,0210	0,0470	0,0240	0,0060	0,0007	0,0023	0,0027
40	según la invención	0,0320	0,0140	0,2800	0,0110	0,0090	0,0290	0,0330	0,0340	0,0380	0,0160	0,0040	0,0006	0,0006	0,0047
41	según la invención	0,0330	0,0180	0,2300	0,0120	0,0060	0,0090	0,0160	0,0260	0,0330	0,0080	0,0030	0,0010	0,0009	0,0039
42	no según la invención	0,0340	0,0041	0,2500	0,0090	0,0130	0,0130	0,0180	0,0260	0,0360	0,0100	0,0030	0,0007	0,0010	0,0041
43	no según la invención	0,0350	0,0046	0,2300	0,0140	0,0070	0,0130	0,0190	0,0320	0,0370	0,0090	0,0030	0,0008	0,0009	0,0046
44	según la invención	0,0360	0,0180	0,2200	0,0140	0,0070	0,0100	0,0150	0,0240	0,0350	0,0070	0,0020	0,0007	0,0010	0,0048
45	no según la invención	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0007	0,0028
46	no según la invención	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0010	0,0028
47	no según la invención	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0010	0,0028
48	no según la invención	0,0360	0,0028	0,2300	0,0150	0,0100	0,0060	0,0150	0,0260	0,0460	0,0090	0,0020	0,0007	0,0002	0,0028
49	según la invención	0,0370	0,0200	0,2400	0,0180	0,0070	0,0170	0,0190	0,0290	0,0280	0,0110	0,0030	0,0009	0,0005	0,0043
50	según la invención	0,0380	0,0176	0,2300	0,0130	0,0060	0,0130	0,0170	0,0260	0,0330	0,0090	0,0030	0,0007	0,0008	0,0039
51	según la invención	0,0380	0,0215	0,2400	0,0100	0,0060	0,0100	0,0150	0,0220	0,0260	0,0080	0,0010	0,0007	0,0008	0,0041
52	no según la invención	0,0380	0,0037	0,2500	0,0110	0,0060	0,0070	0,0160	0,0290	0,0390	0,0090	0,0030	0,0004	0,0011	0,0037
53	según la invención	0,0410	0,0139	0,2300	0,0100	0,0060	0,0110	0,0150	0,0210	0,0390	0,0160	0,0010	0,0008	0,0010	0,0032
54	según la invención	0,0410	0,0139	0,2300	0,0100	0,0060	0,0110	0,0150	0,0210	0,0390	0,0160	0,0010	0,0008	0,0010	0,0032
55	según la invención	0,0430	0,0133	0,2800	0,0080	0,0060	0,0110	0,0180	0,0250	0,0290	0,0080	0,0010	0,0007	0,0010	0,0035

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65

N.º	Categoría	C [%]	N [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]	Ni [%]	Cr [%]	Al [%]	Cu [%]	Mo [%]	Ti [%]	Nb [%]	No [%]
56	según la invención	0,0440	0,0180	0,2300	0,0130	0,0040	0,0130	0,0180	0,0270	0,0320	0,0140	0,0020	0,0010	0,0006	0,0045
57	no según la invención	0,0440	0,0043	0,2400	0,0080	0,0120	0,0090	0,0150	0,0180	0,0450	0,0150	0,0010	0,0005	0,0005	0,0043
58	no según la invención	0,0470	0,0038	0,2300	0,0090	0,0110	0,0210	0,0190	0,0310	0,0270	0,0180	0,0140	0,0008	0,0014	0,0038
59	no según la invención	0,0480	0,0046	0,2400	0,0370	0,0140	0,0300	0,0570	0,0270	0,0360	0,0060	0,0040	0,0043	0,0013	0,0046
60	según la invención	0,0490	0,0142	0,2500	0,0070	0,0060	0,0090	0,0180	0,0220	0,0440	0,0070	0,0010	0,0023	0,0010	0,0037
61	según la invención	0,0490	0,0280	0,2100	0,0240	0,0020	0,0090	0,0200	0,0410	0,0270	0,0110	0,0030	0,0015	0,0007	0,0029
62	no según la invención	0,0520	0,0052	0,1600	0,0140	0,0220	0,0023	0,0130	0,0230	0,0470	0,0130	0,0130	0,0009	0,0006	0,0052
63	según la invención	0,0530	0,0490	0,4300	0,0100	0,0280	0,0270	0,0120	0,0260	0,0490	0,0030	0,0070	0,0005	0,0008	0,0057
64	según la invención	0,0530	0,0540	0,4800	0,0150	0,0180	0,0270	0,0280	0,0330	0,0390	0,0300	0,0080	0,0005	0,0013	0,0063
65	según la invención	0,0540	0,0570	0,5000	0,0280	0,0090	0,0220	0,0420	0,0430	0,0180	0,0130	0,0010	0,0004	0,0009	0,0023
66	no según la invención	0,0560	0,0057	0,1600	0,0130	0,0260	0,0140	0,0200	0,0280	0,0430	0,0230	0,0150	0,0010	0,0010	0,0057
67	según la invención	0,0570	0,0310	0,3400	0,0270	0,0130	0,0090	0,0110	0,0310	0,0260	0,0190	0,0010	0,0031	0,0009	0,0067
68	no según la invención	0,0580	0,0037	0,3500	0,0110	0,0090	0,0080	0,0236	0,0240	0,0290	0,0180	0,0050	0,0005	0,0005	0,0037
69	según la invención	0,0590	0,0101	0,3700	0,0230	0,0280	0,0120	0,0180	0,0480	0,0210	0,0200	0,0050	0,0007	0,0005	0,0048
70	no según la invención	0,0710	0,0087	0,2500	0,0180	0,0030	0,0270	0,0150	0,0280	0,0460	0,0200	0,0180	0,0027	0,0007	0,0087

ES 2 986 743 T3

Tabla 3											
N.º	Categoría	Espesor [mm]	NWG [%]	Sb _{eH} [MPa]	Sb _{eL} [MPa]	Sb _m [MPa]	Abe [%]	Ab [%]	b [MPa]	n [1]	
5	1	no según la invención	0,48	0,4	351	276	494	1,7	42,3	264	0,201
	2	no según la invención	0,30	1	331	286	493	1,9	38,0	243	0,199
10	3	no según la invención	0,22	7,5	390	350	536	0,7	39,0	371	0,095
	4	no según la invención	0,27	10	413	372	465	1,1	31,4	371	0,114
	5	no según la invención	0,25	15	464	435	487	0,8	27,3	443	0,061
15	6	no según la invención	0,24	20	486	465	494	0,8	17,3	470	0,045
	7	no según la invención	0,20	0,4	364	291	501	1,8	39,4	279	0,183
20	8	según la invención	0,17	0,6	387	315	541	4,1	42,7	264	0,201
	9	según la invención	0,22	1	409	317	557	2,7	41,8	257	0,215
	10	según la invención	0,19	10	486	454	587	2,1	28,7	404	0,128
25	11	según la invención	0,18	15	537	486	594	1,6	21,6	471	0,114
	12	no según la invención	0,13	40	693	662	675	1,6	9,3	657	0,022
30	13	no según la invención	0,22	6	417	367	566	1,3	42,8	356	0,130
	14	no según la invención	0,23	1	402	313	551	1,6	46,0	272	0,179
35	15	no según la invención	0,21	10	490	425	581	1,8	33,5	409	0,108
	16	no según la invención	0,20	15	545	477	588	1,7	26,8	478	0,068
	17	no según la invención	0,14	40	685	640	645	1,4	10,5	650	0,013
40	18	según la invención	0,22	1	405	341	591	2,5	41,1	283	0,207
	19	según la invención	0,21	4,5	463	421	656	1,3	32,9	395	0,163
45	20	según la invención	0,20	8	548	496	663	2,0	26,0	455	0,126
	21	según la invención	0,18	16	551	502	629	1,4	21,8	481	0,100
	22	no según la invención	0,17	40	673	651	692	1,0	10,8	670	0,011
50	23	no según la invención	0,21	4,5	424	405	580	1,5	42,6	351	0,141
	24	según la invención	0,18	5	472	428	645	1,9	36,4	376	0,163
55	25	según la invención	0,28	0,6	444	354	514	3,4	43,1	375	0,177
	26	no según la invención	0,18	2	402	329	532	1,8	36,6	308	0,153
60	27	según la invención	0,32	0,4	441	347	578	2,5	36,5	309	0,183
	28	según la invención	0,29	0,4	459	393	604	2,3	35,8	337	0,170
	29	no según la invención	0,29	1	410	337	534	1,9	36,9	307	0,163
65	30	según la invención	0,14	4,5	501	472	682	1,3	32,1	438	0,160

ES 2 986 743 T3

Tabla 3											
N.º	Categoría	Espesor [mm]	NWG [%]	Sb _{eH} [MPa]	Sb _{eL} [MPa]	Sb _m [MPa]	Abe [%]	Ab [%]	b [MPa]	n [1]	
5	31	según la invención	0,48	0,6	451	375	597	2,1	36,7	337	0,174
	32	según la invención	0,23	20	611	561	658	1,9	17,9	546	0,075
	33	no según la invención	0,45	33	717	683	698	0,8	5,4	694	0,031
10	34	según la invención	0,16	1	461	447	692	1,3	37,4	432	0,183
	35	según la invención	0,15	11	567	514	661	2,1	25,8	478	0,118
15	36	no según la invención	0,19	0,8	435	347	542	2,2	37,4	321	0,157
	37	según la invención	0,26	20	643	614	715	1,5	17,1	602	0,079
	38	no según la invención	0,14	4,5	483	407	562	1,6	32,3	376	0,109
20	39	según la invención	0,34	7	567	538	717	1,6	28,4	504	0,133
	40	según la invención	0,29	0,6	523	459	653	2,5	34,1	401	0,149
25	41	según la invención	0,17	5	541	498	667	2,1	27,0	447	0,134
	42	no según la invención	0,16	22	606	588	615	1,2	24,6	596	0,010
	43	no según la invención	0,22	0,8	470	395	588	3,2	41,6	349	0,129
30	44	según la invención	0,18	17	657	638	741	1,3	20,6	623	0,072
	45	no según la invención	0,21	0,4	498	370	591	3,5	45,4	293	0,157
35	46	no según la invención	0,21	1	509	401	580	3,0	40,4	344	0,132
	47	no según la invención	0,20	5	543	486	588	2,7	26,5	454	0,066
40	48	no según la invención	0,18	15	665	571	608	2,4	8,6	546	0,048
	49	según la invención	0,17	10	645	602	762	1,5	26,6	575	0,103
	50	según la invención	0,21	1,2	538	483	654	3,3	29,4	403	0,149
45	51	según la invención	0,15	8	584	540	631	2,3	17,8	497	0,096
	52	no según la invención	0,17	10	532	477	601	1,2	30,9	470	0,077
50	53	según la invención	0,22	0,4	559	430	667	3,0	40,5	343	0,168
	54	según la invención	0,19	15	720	649	703	3,3	13,3	632	0,039
	55	según la invención	0,21	7,5	571	531	668	2,2	27,2	482	0,108
55	56	según la invención	0,13	8	626	578	677	3,0	16,6	524	0,100
	57	no según la invención	0,17	10	565	507	597	1,7	20,0	488	0,081
60	58	no según la invención	0,14	11	589	518	615	2,4	25,2	492	0,054
	59	no según la invención	0,28	2,2	525	454	588	2,6	32,1	401	0,104
65	60	según la invención	0,21	6	573	522	655	2,3	24,1	481	0,096

N.º	Categoría	Espesor [mm]	NWG [%]	Sb _{eH} [MPa]	Sb _{eL} [MPa]	Sb _m [MPa]	Abe [%]	Ab [%]	b [MPa]	n [1]
61	según la invención	0,14	0,6	581	546	747	1,9	31,9	498	0,137
62	no según la invención	0,23	12	601	549	614	1,2	23,7	499	0,060
63	según la invención	0,24	14	694	682	757	0,9	14,8	652	0,064
64	según la invención	0,20	1,4	601	576	770	1,8	31,1	537	0,154
65	según la invención	0,23	5	630	608	781	1,7	27,4	570	0,117
66	no según la invención	0,35	18	667	607	647	0,8	18,1	586	0,036
67	según la invención	0,15	8	661	641	793	1,6	24,4	607	0,101
68	no según la invención	0,23	15	649	572	630	1,3	10,5	548	0,031
69	según la invención	0,25	12	682	605	692	3,1	21,4	553	0,068
70	no según la invención	0,22	6	624	545	646	2,7	27,3	503	0,054

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Producto de chapa para embalaje de una chapa de acero laminada en frío con un espesor inferior a 0,6 mm, que presenta la siguiente composición con respecto al peso:

5
 -C: 0,001 - 0,06 %,
 -Si: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,002 al 0,03 %,
 -Mn: 0,17 - 0,5 %,
 10
 -P: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,005 al 0,03 %,
 -S: 0,001 - 0,03 %,
 -Al: 0,001 - 0,1 %,
 -N: 0,002 - 0,12 %, preferiblemente, del 0,004 al 0,07 %,
 -opcionalmente Cr: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,1 %,
 -opcionalmente Ni: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,05 %,
 15
 -opcionalmente Cu: < 0,1 %, preferiblemente 0,002 - 0,05 %,
 -opcionalmente Ti: < 0,01 %,
 -opcionalmente B: < 0,005 %,
 -opcionalmente Nb: < 0,01 %,
 -opcionalmente Mo: < 0,02 %,
 20
 -opcionalmente Sn: < 0,03 %,

-el resto hierro e impurezas inevitables,
 en donde el producto de chapa para embalaje presenta un límite elástico inferior ($S_{b_{eL}}$) durante una deformación biaxial en un ensayo de abombamiento hidráulico de acuerdo con la norma DIN EN ISO 16808 superior a 300 MPa y un alargamiento de rotura asociado (A_b) superior al 10 % y en el intervalo plástico entre el alargamiento de fluencia (A_{b_e}) y un alargamiento límite plástico superior de $\epsilon_{m\acute{a}x.} = 0,5 \cdot A_b \cdot (S_{b_{eL}}/S_{b_m})$ un diagrama de tensión biaxial/alargamiento $\sigma_B(\epsilon)$, que se puede representar con una función $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$, en donde

30
 - σ_B es la tensión biaxial real en MPa,
 - ϵ es la magnitud del alargamiento real en la dirección de espesor en %,
 - $S_{b_{eL}}$ es el límite elástico inferior,
 - S_{b_m} es la resistencia absoluta,
 - A_{b_e} es el alargamiento de fluencia,
 35
 -b es un factor de proporcionalidad y
 -n es un índice de consolidación,

y una consolidación del producto de chapa para embalaje en la dirección de espesor se caracteriza por un índice de consolidación de

40

$$n \geq 0,353 - 5,1 \cdot S_{b_{eL}}/10^4 \text{ MPa.}$$

2. Producto de chapa para embalaje según la reivindicación 1, **caracterizado por que** una proporción en peso de al menos el 0,002 %, preferiblemente, de más del 0,004 % del nitrógeno está incorporado en forma no unida intersticialmente en el acero.

3. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el producto de chapa para embalaje se puede obtener mediante

50
 -laminación en caliente de una palanquilla de acero para obtener una banda en caliente, en donde la banda en caliente presenta preferiblemente un espesor en el intervalo de 2 mm a 4 mm,
 -arrollamiento de la banda en caliente a una temperatura de arrollamiento por debajo de la temperatura A_{r1} y, en particular, en el intervalo de 500 °C a 750 °C,
 -laminación en frío de la banda en caliente con una relación de reducción de al menos el 80 % hasta obtener una banda de acero laminada en frío,
 55
 -nitruración de la banda de acero laminada en frío en un horno de recocido, en particular, un horno de recocido continuo, en presencia de un donador de nitrógeno a una temperatura de al menos 550 °C y recocido de recristalización de la banda de acero laminada en frío en un horno de recocido a una temperatura de recocido de al menos 630 °C,
 -enfriamiento de la banda de acero recocida por recristalización a temperatura ambiente,
 60
 -relaminación de la banda de acero recristalizada a un grado de relaminación del 0,2 % al 45 %.

4. Producto de chapa para embalaje según la reivindicación 3, **caracterizado por que** la temperatura de laminación final durante la laminación en caliente de la palanquilla es superior a la temperatura A_{r3} y se encuentra, en particular, en el intervalo de 800 °C a 920 °C.

ES 2 986 743 T3

5. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones 3 o 4, **caracterizado por que** el tiempo de permanencia de la banda de acero en el horno de recocido se encuentra entre 10 segundos y 400 segundos.
- 5 6. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones 3 a 5, **caracterizado por que** el grado de relaminación es del 20 % o inferior y, en particular, se encuentra en el intervalo del 1 al 18 %.
7. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones 3 a 6, en donde el donador de nitrógeno está al menos parcialmente disociado en nitrógeno atómico a las temperaturas en el horno de recocido.
- 10
8. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones 3 a 7, en donde el donador de nitrógeno es gas amoniaco.
- 15 9. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones 3 a 8, **caracterizado por que** la banda en caliente presenta una proporción de nitrógeno inicial N_0 en el intervalo del 0,001 % en peso al 0,016 % en peso, preferiblemente del 0,001 % en peso al 0,008 % en peso, y por que la proporción en peso de nitrógeno en el producto plano de acero durante el recocido se aumenta en $\Delta N \geq 0,002$ % en peso por la presencia del donador de nitrógeno.
- 20
10. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** contiene un revestimiento superficial sobre al menos una superficie de la chapa de acero laminada en frío, en particular, un revestimiento de estaño y/o cromo/óxido de cromo aplicado electrolíticamente y/o un revestimiento orgánico, en particular, en forma de una laca o de una lámina de polímero.
- 25
11. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las propiedades del producto de chapa para embalaje se obtienen después del envejecimiento del producto de chapa para embalaje, en particular, después de un envejecimiento artificial mediante un tratamiento térmico durante 20 a 30 minutos a una temperatura de envejecimiento en el intervalo de 200 °C a 210 °C o después de un almacenamiento y/o mediante un lacado con secado posterior.
- 30
12. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones 3 a 11, en donde el grado de laminación en frío total de $GKWG = 1 - d/D$ resultante del espesor (d) del producto de chapa para embalaje y del espesor (D) de la banda en caliente es de al menos 0,90.
- 35
13. Producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones anteriores, en donde se trata de una chapa extrafina reducida de manera simple o doble con un espesor (d) en el intervalo de 0,10 mm a 0,50 mm, preferiblemente, de 0,12 mm a 0,35 mm.
- 40
14. Uso de un producto de chapa para embalaje según una de las reivindicaciones anteriores para la producción de cuerpos de lata.
- 45
15. Procedimiento para la producción y caracterización de un producto de chapa para embalaje a partir de una chapa de acero laminada en frío con un espesor inferior a 0,6 mm, en donde el producto de chapa para embalaje se produce a partir de una banda en caliente mediante laminación en frío simple o doble de la banda en caliente con una relación de reducción de al menos el 80 % y la banda en caliente presenta la siguiente composición con respecto al peso:
- 50
- C: 0,001 - 0,06 %,
 - Si: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,002 al 0,03 %,
 - Mn: 0,17 - 0,5 %,
 - P: < 0,03 %, preferiblemente, del 0,005 al 0,03 %,
 - S: 0,001 - 0,03 %,
 - Al: 0,001 - 0,1 %,
 - 55
 - N: < 0,016 %, preferiblemente, del 0,001 al 0,008 %,
 - opcionalmente Cr: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,08 %,
 - opcionalmente Ni: < 0,1 %, preferiblemente 0,01 - 0,05 %,
 - opcionalmente Cu: < 0,1 %, preferiblemente 0,002 - 0,05 %,
 - opcionalmente Ti: < 0,01 %,
 - 60
 - opcionalmente B: < 0,005 %,
 - opcionalmente Nb: < 0,01 %,
 - opcionalmente Mo: < 0,02 %,
 - opcionalmente Sn: < 0,03 %,
 - el resto hierro e impurezas inevitables,
 - 65

5 en donde la banda de acero laminada en frío se nitrura con un contenido de nitrógeno referido al peso de $\Delta N \geq 0,002 \%$ en un horno de recocido, en particular, un horno de recocido continuo, en presencia de un donador de nitrógeno a una temperatura de al menos $550 \text{ }^\circ\text{C}$, introduciéndose un gas de nitruración, en particular, gas amoniaco, por un lado para la formación de una atmósfera de gas que contiene nitrógeno en el horno de recocido y, por otro lado, rociándose uniformemente al menos una o ambas superficies de la banda de acero por medio de boquillas y recociéndose por recristalización la banda de acero a una temperatura de recocido de al menos $630 \text{ }^\circ\text{C}$, enfriándose después a temperatura ambiente y relaminándose en frío con un grado de relaminación del $0,2 \%$ a 45% y, a continuación, sometiéndose a una deformación biaxial en el ensayo de abombamiento hidráulico según la norma DIN EN ISO 16808 en el intervalo plástico para la caracterización de la capacidad de conformación, en donde el producto de chapa para embalaje muestra un límite elástico inferior ($S_{b_{eL}}$) superior a 300 MPa y un alargamiento de rotura asociado (Ab) superior al 10% , así como en el intervalo entre el alargamiento de fluencia (Ab_e) y un alargamiento límite plástico superior de $\epsilon_{m\acute{a}x} = 0,5 \cdot Ab \cdot (S_{b_{eL}}/S_{b_m})$ un diagrama de tensión biaxial-alargamiento $\sigma_B(\epsilon)$ que puede representarse con una función $\sigma_B = b \cdot \epsilon^n$, en donde

- 15
- σ_B es la tensión biaxial real en MPa,
 - ϵ es la magnitud del alargamiento real en la dirección de espesor en %,
 - $S_{b_{eL}}$ es el límite elástico inferior,
 - S_{b_m} es la resistencia absoluta,
 - 20 - Ab_e es el alargamiento de fluencia,
 - b es un factor de proporcionalidad y
 - n es un índice de consolidación que cumple

$$n \geq 0,353 - 5,1 \cdot S_{b_{eL}}/10^4 \text{ MPa.}$$

25

30

35

40

45

50

55

60

65

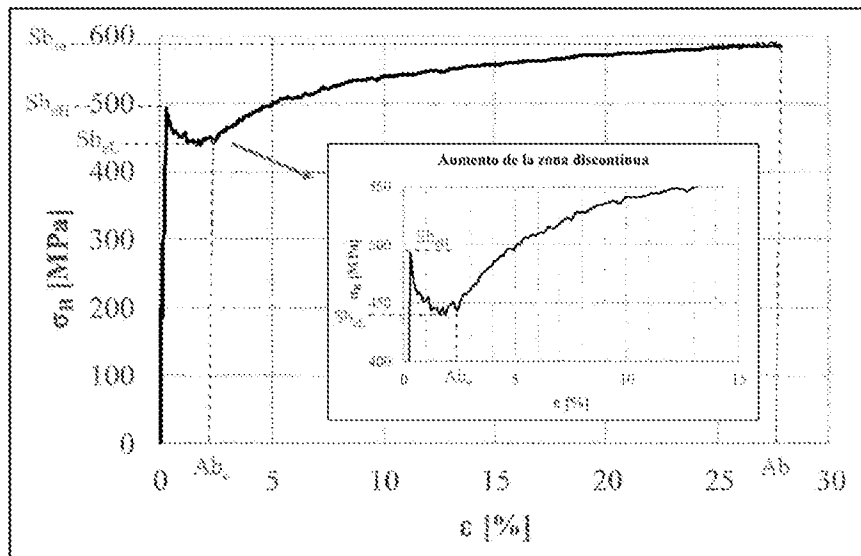


Figura 1

Tamaño	Valor de la curva de ejemplo
Sb_m	584 MPa
$Sb_{0.01}$	494 MPa
$Sb_{0.02}$	440 MPa
Ab	27,8 %
Ab_c	2,4 %

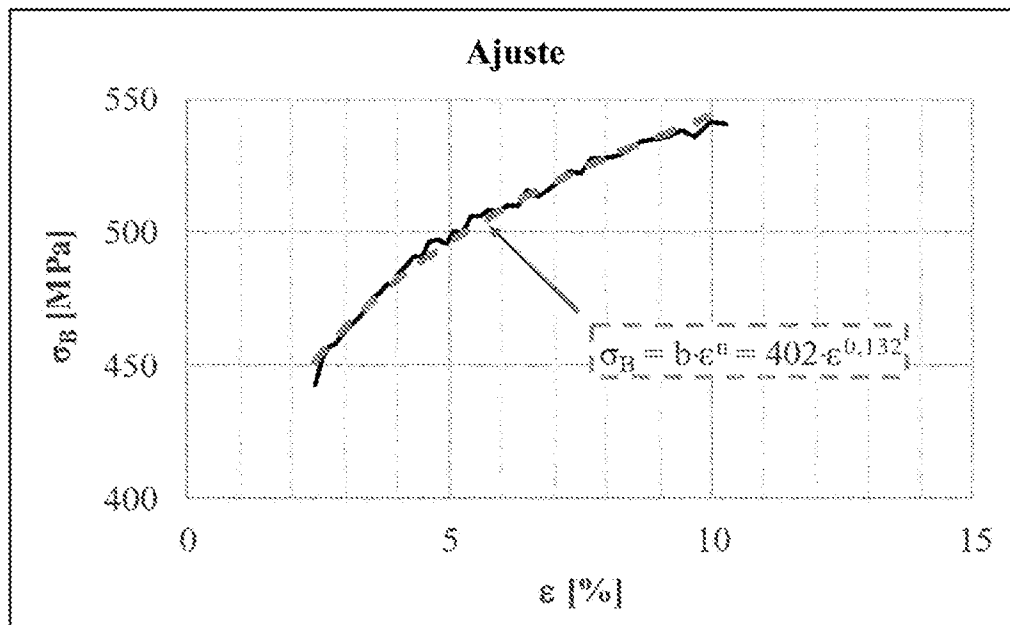


Figura 2

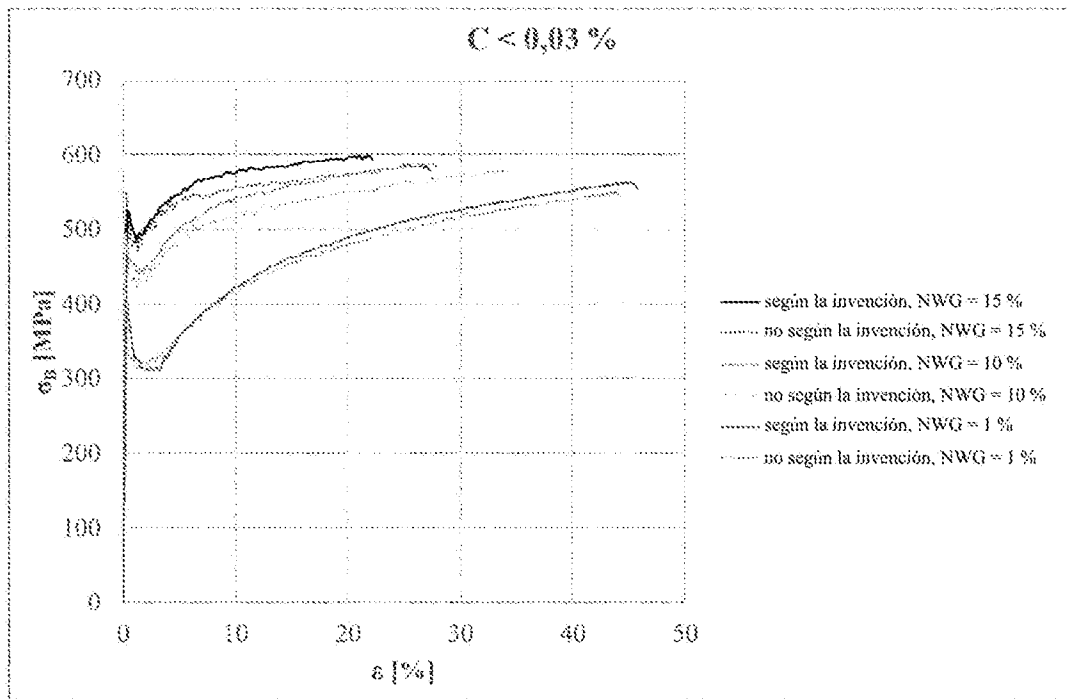


Figura 3a

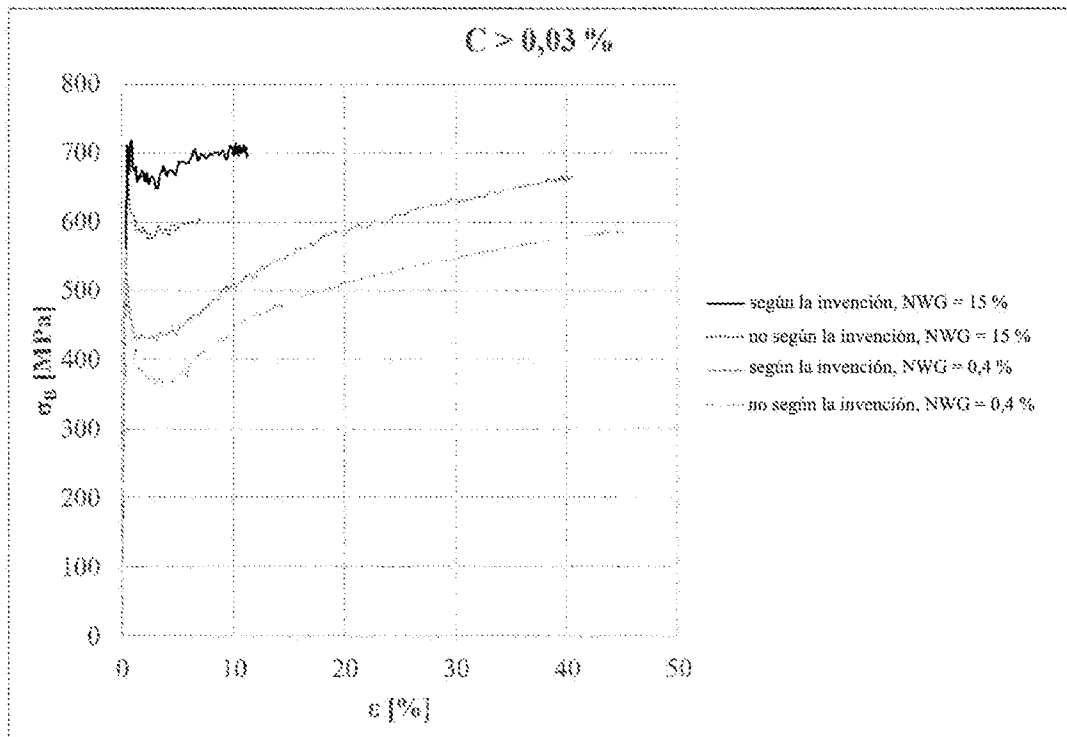


Figura 3b

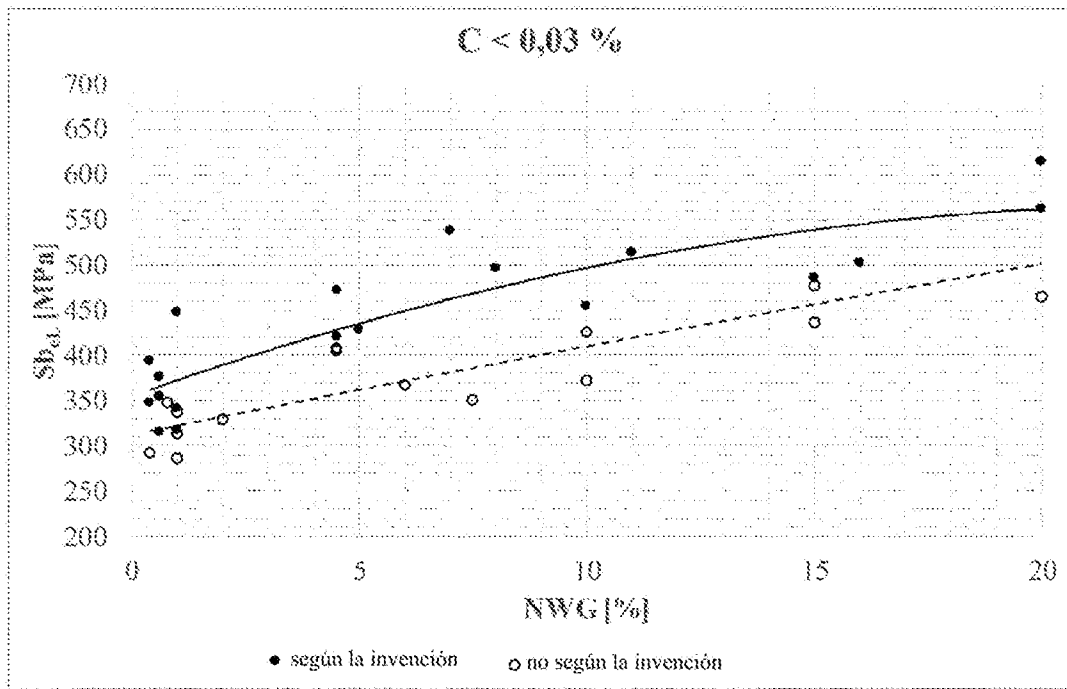


Figura 4a

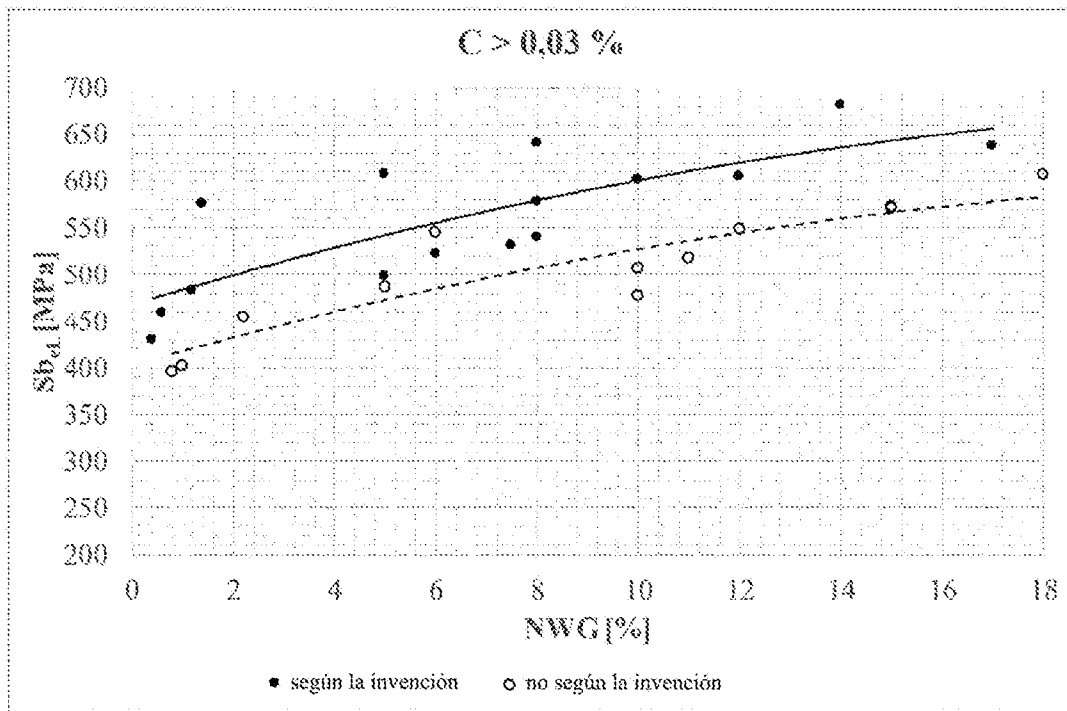


Figura 4b

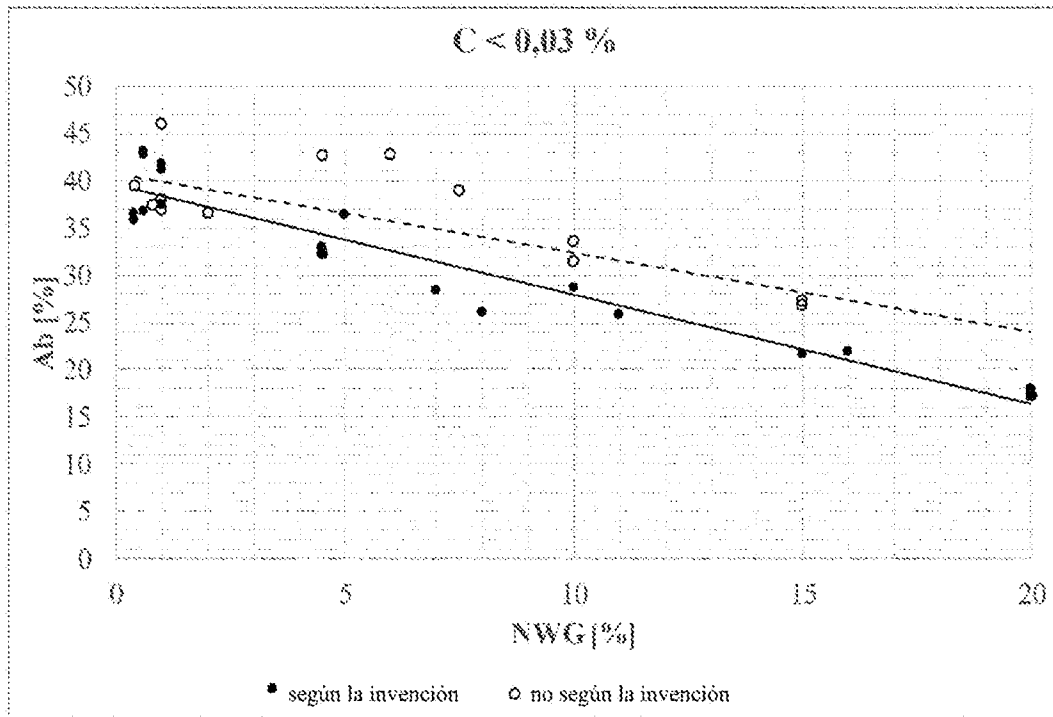


Figura 5a

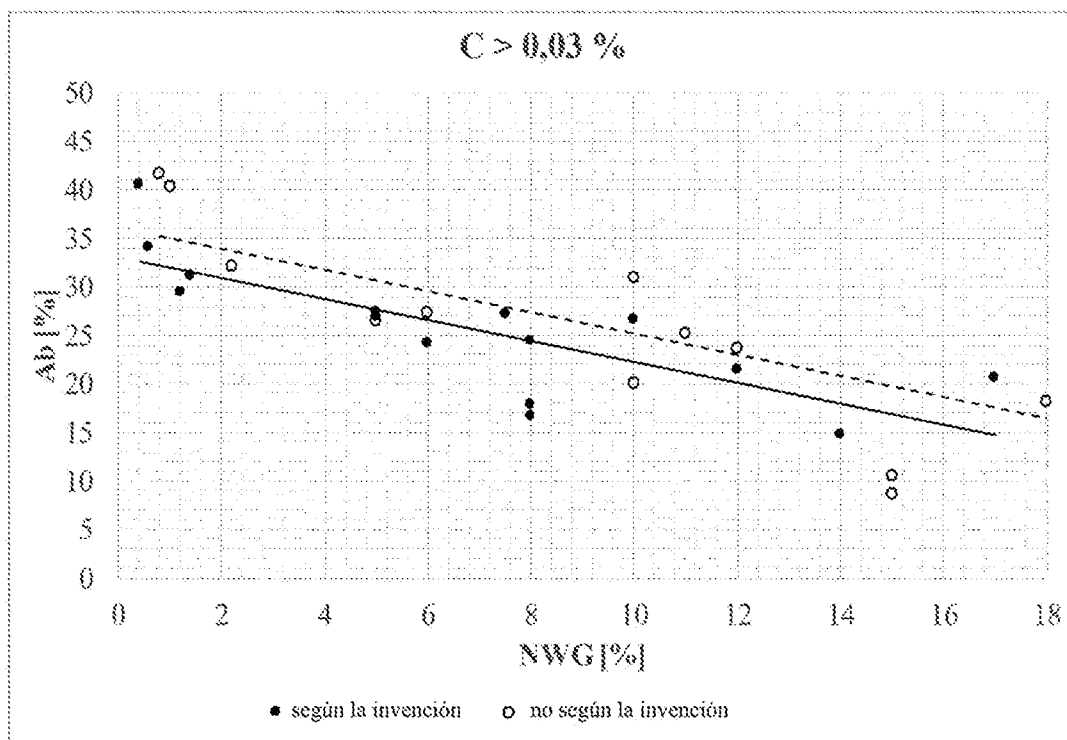


Figura 5b

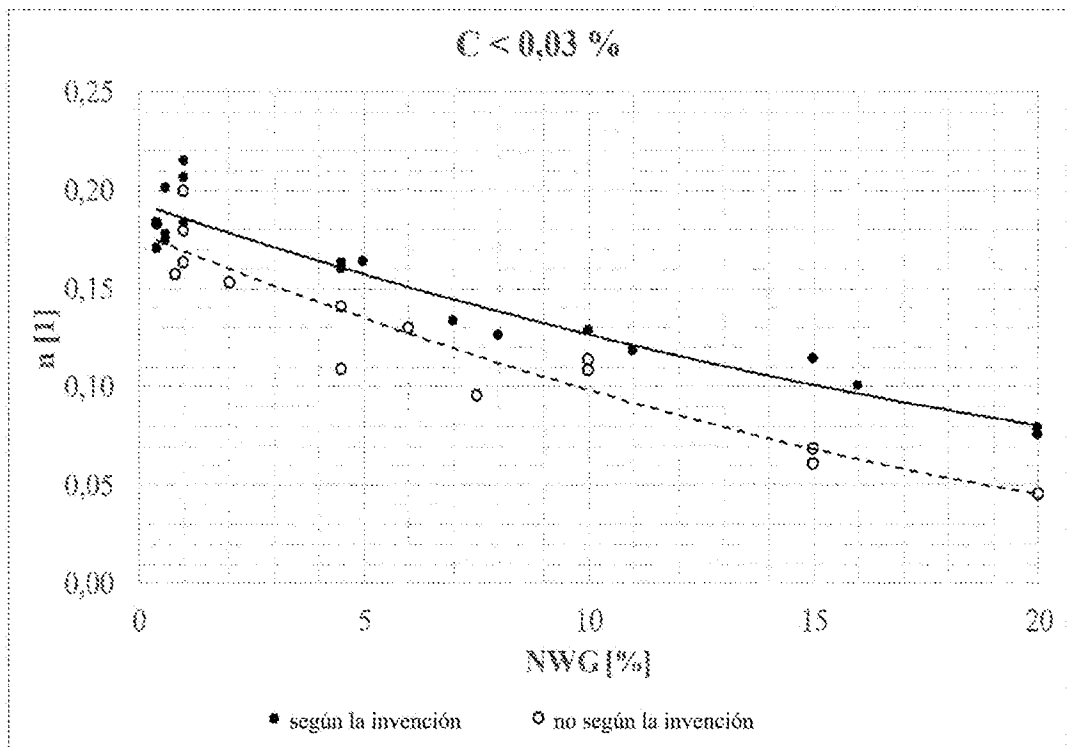


Figura 6a

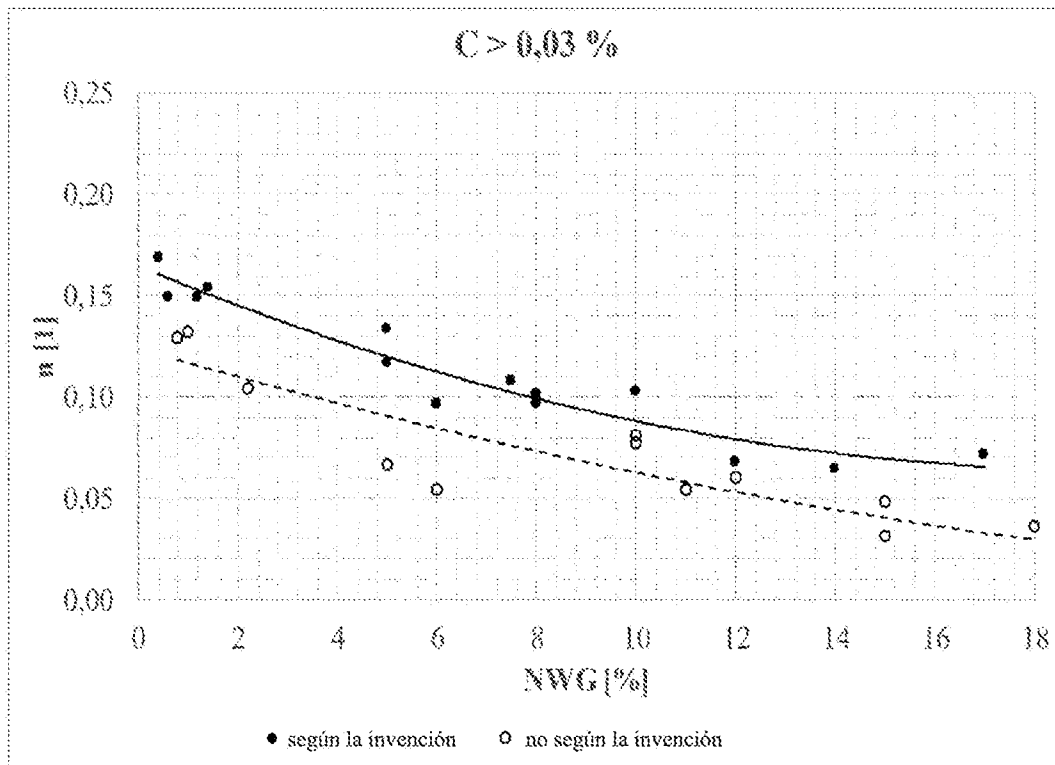


Figura 6b

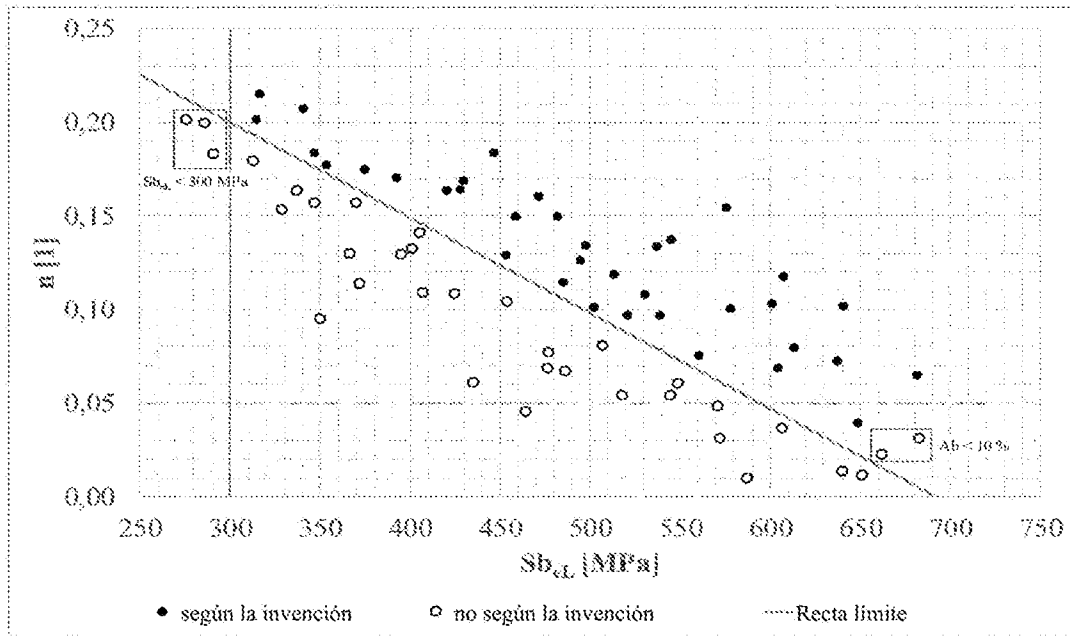


Figura 7