

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 010 485**

51 Int. Cl.:

C21D 8/04 (2006.01)
C21D 9/48 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C23C 8/02 (2006.01)
C23C 8/26 (2006.01)
C23C 8/80 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2021** **E 21154979 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2025** **EP 3875611**

54 Título: **Producto plano de acero laminado en frío para envases**

30 Prioridad:

06.03.2020 DE 102020106164

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.04.2025

73 Titular/es:

THYSSENKRUPP RASSELSTEIN GMBH
(100.00%)
Koblenzer Strasse 141
56626 Andernach, DE

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 010 485 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 plano de acero laminado en frío para envases

5 La invención se refiere a un producto plano de acero laminado en frío para envases.

Por motivos de eficiencia de recursos y reducción de costes, se están realizando esfuerzos para reducir el espesor de los productos planos de acero (chapas de acero y bandas de acero) para la producción de envases (en lo sucesivo también denominados acero para envases). Los espesores habituales de los aceros para envases laminados en frío se encuentran en el intervalo de chapa más fina, es decir, entre 0,1 y 0,6 mm. Sin embargo, dado que una reducción del espesor da como resultado una reducción de la rigidez del material, se ha de aumentar la resistencia del acero para envases, para que el material pueda soportar los requisitos de conformabilidad en frío en procesos de conformación en la producción de envases, tal como por ejemplo la embutición profunda o embutición y estiramiento simultáneos. Sin embargo, al mismo tiempo también ha de garantizarse la conformabilidad de la chapa de acero durante la conformación en frío. Por lo tanto, existe una necesidad de chapas de acero altamente resistentes con un límite elástico superior a 550 MPa, que al mismo tiempo presenten buenos parámetros característicos para la conformabilidad, como por ejemplo un alargamiento de rotura de al menos el 5 % y/o un índice de Erichsen (designado también como la embutición de Erichsen según la norma DIN 50101, medida según la prueba de embutición de Erichsen estandarizada en la norma DIN EN ISO 20482) de al menos 5 mm.

Existen numerosas opciones para aumentar la resistencia de las chapas de acero, tal como por ejemplo, la solidificación en frío, solidificación de cristal mixto (mediante adición por aleación de carbono, nitrógeno, fósforo, manganeso y/o silicio), solidificación por precipitación, aumento de la resistencia mediante el establecimiento de una estructura de acero de múltiples fases o endurecimiento de grano fino. Sin embargo, muchas de estas medidas para aumentar la resistencia de aceros tienen efectos secundarios indeseados.

Al aumentar la solidificación en frío, por ejemplo, aumentan las diferencias longitudinales y transversales en la producción de chapas de acero laminadas en frío y, en consecuencia, la anisotropía, y al mismo tiempo disminuye la ductilidad desproporcionadamente.

Durante la solidificación de cristal mixto, los átomos extraños (por ejemplo, N, C, P, Mn, Si) se depositan intersticial o sustitutivamente en la red hospedadora del acero. Sin embargo, muchos de los posibles elementos de aleación tienen efectos secundarios negativos (por ejemplo, el P es una plaga del acero, el Mn y el Si empeoran la calidad de la superficie), por lo que aumentar la resistencia añadiendo estos elementos de aleación no es eficaz.

Al añadir por aleación carbono, si bien la resistencia del acero aumenta al aumentar el contenido en carbono, al mismo tiempo se produce una anisotropía pronunciada en forma de una estructura de líneas durante el procesamiento de la chapa de acero, ya que el carbono se encuentra principalmente en forma de cementita debido a la baja solubilidad en la red de ferrita del acero. 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 peritéctico. Por lo tanto, es necesario limitar el contenido de carbono al 0,1 % en peso, ya que pueden evitarse solo de ese modo de manera eficaz la formación de grietas en el desbaste plano y la oxidación puntual que resulta de esto (difusión de oxígeno en las grietas).

Del estado de la técnica se conocen chapas de acero para envases y procedimientos para su producción, en los que se añade a la masa fundida de acero una cantidad suficiente de carbono y nitrógeno para la solidificación de cristal mixto, para alcanzar resistencias superiores a 500 MPa. Por ejemplo, el documento US 2011/0076177 A1 muestra una chapa de acero de alta resistencia para la producción de latas con un contenido en carbono con respecto al peso del 0,02 % al 0,10 % y un contenido en nitrógeno del 0,012 % al 0,0250 %, que presenta resistencias a la tracción de más de 500 MPa, en donde la proporción en peso del nitrógeno no unido, es decir, depositado intersticialmente en el acero se encuentra en al menos el 0,0100 %. A este respecto, se determinó que en particular el nitrógeno no unido contribuye a un aumento de la resistencia del acero mediante la solidificación de cristal mixto y el endurecimiento por envejecimiento. Sin embargo, el aumento de resistencia que puede conseguirse mediante la deposición intersticial de nitrógeno está limitado a este respecto, por un lado, por la unión parcial del nitrógeno con nitruros, en particular, con AlN y, por otro lado, porque con un contenido en nitrógeno superior al 0,025 % aumenta considerablemente el riesgo de fracturas en desbastes planos durante la laminación en caliente. Del documento WO2005/068667 se conoce una chapa de acero para envases.

En una solidificación por precipitación, por ejemplo, mediante adición por aleación de Ti o Nb, existe el problema de que, debido a la alta temperatura, ya se forman precipitados durante el laminado en caliente. Por lo tanto, intervienen en todas las etapas de producción posteriores, como la laminación en frío, el recocido y, en caso necesario, la relaminación o laminación de acabado y, de manera comparable a la cementita, desarrollan a este respecto una anisotropía pronunciada, especialmente, si la precipitación se produce preferiblemente en los límites de grano. Además, los formadores de precipitación Ti y Nb contribuyen a un aumento de la temperatura de recrystalización.

El aumento de la resistencia mediante la formación de una estructura multifásica en el acero está muy limitado desde el principio en el acero para envases debido a las especificaciones normativas con respecto a los componentes de aleación del acero. Por lo tanto, los aceros multifásicos convencionales, como los que se utilizan por ejemplo en la industria del automóvil, no se pueden utilizar para el acero para envases porque, por ejemplo, los componentes de aleación utilizados para formar una estructura multifásica, como el manganeso y el silicio pueden usarse en los aceros para envases solo hasta una proporción en peso máxima debido a los requisitos normativos de la norma de acero para envases (DIN EN 10202). El ajuste de una estructura multifásica si bien es posible en el caso de acero para envases por medio de una tecnología de refrigeración especial. Sin embargo los estados estructurales resultantes se caracterizan por una alta inestabilidad y el aumento de la resistencia suele ir acompañado de una reducción de la conformabilidad. Si la estructura multifásica se basa en gran medida en el elemento de aleación carbono, existe también el riesgo de que la anisotropía de la cementita se transmita a la estructura multifásica y, por tanto, se vuelva aún más fuerte.

Con el endurecimiento de grano fino, concretamente, la resistencia del acero puede aumentar estableciendo una estructura de grano fino manteniendo la misma conformabilidad, en donde la estructura de grano fino puede conseguirse desde el punto de vista técnico del proceso a través de una temperatura de bobinado baja (temperatura de enrollamiento después de la laminación en caliente), alto grado de laminación en frío y mediante recocido de la chapa de acero laminada en frío en el recocido continuo. Además, la formación de una estructura de grano fino se puede ajustar mediante microaleación e influyendo en el comportamiento de precipitación en la banda laminada en caliente. Sin embargo, los elementos de aleación necesarios para ello son caros y aumentan la temperatura de recocido necesaria para la recrystalización. Además, debido a una mayor resistencia básica de la banda laminada en caliente, la capacidad de laminación en frío empeora y la superficie de la chapa de acero se vuelve más susceptible a defectos.

Las opciones mencionadas para aumentar la resistencia de las chapas de acero manteniendo al mismo tiempo su conformabilidad ocasionan problemas, en particular, en lo que respecta a la isotropía, es decir, en lo que respecta a la dependencia direccional de las propiedades del material. Dado que los envases como p. ej. las latas de bebidas o alimentos son en su mayoría componentes (rotacionalmente) simétricos, las chapas de acero utilizadas para producir los envases suelen tener la forma de piezas en bruto (es decir, una pieza en bruto de chapa plana y circular), que se conforman en procedimientos de embutición profunda y embutición y estiramiento simultáneos para dar un cuerpo de lata cilíndrico o una base o tapa de lata circular. Debido a la simetría del producto final, se requieren propiedades del material de las chapas lo más isotrópicas posible, es decir, las propiedades de las chapas para envases deben ser lo más iguales posible en todas las direcciones del plano de la chapa. En el caso de chapas de acero laminadas en frío, que debido a su fabricación se presentan en forma de una banda de acero, esto es muy exigente, ya que durante la laminación en caliente y en frío siempre existe una dependencia direccional de las propiedades del material debido a la dirección de laminación. Por lo tanto, las chapas de acero laminadas en frío siempre presentan una anisotropía pronunciada debido a su fabricación. Esto se debe en gran medida al alto grado de laminación en frío, que a su vez es necesario para conseguir espesores de chapa extremadamente finos. Dado que el procesamiento de la chapa de acero laminada en frío en la producción de envases se realiza fundamentalmente de manera independiente de la dirección de laminación, a menudo surgen dificultades durante el proceso de conformación, porque, por ejemplo, la resistencia y la conformabilidad no son homogéneas por el perímetro de la pieza en bruto.

Por lo tanto, existe una necesidad de un acero para envases en forma de un producto plano de acero laminado en frío, que se caracterice por propiedades lo más isotrópicas posible dentro del plano de chapa del producto plano de acero. En el contexto de la continua reducción del espesor del producto plano de acero y el aumento de la resistencia necesario para ello, esto representa un objetivo contradictorio que es difícil de alcanzar. Además, junto a las propiedades isotrópicas del producto plano de acero, en la producción de envases deben tenerse en cuenta otros requisitos para los aceros para envases, en particular, en lo que respecta a la flexibilidad de los procesos de conformación y las formas de los envases, la reducción del desperdicio de material, así como la realización necesaria para ello de propiedades lo más uniformes y homogéneas posibles del envase.

Por lo tanto, un objetivo de la invención consiste en la facilitación de un producto plano de acero altamente resistente para la producción de envases con propiedades lo más isotrópicas posible en el plano de chapa, a partir del cual puedan producirse envases con excelentes propiedades isotrópicas y con una amplia variedad de geometrías, así como en diversos procedimientos de conformación con el menor desperdicio de material posible.

Dado que el acero para envases se procesa para dar el envase acabado en un estado envejecido, es decir, después de un largo período de almacenamiento y, dado el caso, después de un lacado y secado, la optimización del material ha de realizarse teniendo en cuenta los efectos del envejecimiento del material, que aparecen después de un período de almacenamiento más largo y/o de un lacado con secado posterior. Por tanto, las características tecnológicas de los aceros para envases se registran tras un envejecimiento artificial del material, que puede realizarse según la norma DIN EN 10202 calentando la muestra a 200°C durante 20 minutos. Dado que el envejecimiento (natural o artificial) de las chapas de acero afecta en particular a la resistencia y la conformabilidad, los efectos del envejecimiento han de tenerse en cuenta a la hora de optimizar las propiedades del material.

La mejora de las propiedades del material de las chapas de acero laminadas en frío en términos de resistencia y conformabilidad se produce a expensas de la isotropía de las propiedades del material por las razones enumeradas anteriormente. Para lograr propiedades isotrópicas de las chapas de acero, existen diversas opciones metalúrgicas y técnicas de procedimiento en la producción de chapas de acero laminadas en frío. Una posibilidad para mejorar específicamente la isotropía de las chapas de acero laminadas en frío es, por ejemplo, añadir por aleación boro. Sin embargo, el boro tiene efectos adversos sobre la procesabilidad del acero y del producto final (chapa de acero). La adición por aleación de boro aumenta la temperatura de recocido necesaria para la recrystalización de la chapa de acero después del laminado en frío, la soldabilidad del material empeora y el potencial de envejecimiento (es decir, el aumento de la resistencia a medida que envejece la chapa de acero) disminuye.

Por lo tanto, otro objetivo de la invención puede observarse en mostrar aceros para envases que puedan producirse de manera económica y procedimientos para su producción, que, por un lado, presenten la mayor resistencia posible manteniendo una conformabilidad que sea suficientemente buena para la embutición profunda y la embutición y estiramiento simultáneos y, por otro lado, la mayor isotropía posible de las propiedades del material en términos de resistencia y conformabilidad en el estado envejecido del material.

Los objetivos mencionados se consiguen según la invención con un producto plano de acero con las características de la reivindicación 1. Por un producto plano de acero se entiende a este respecto una chapa de acero en forma de lámina o banda con un espesor en el intervalo de chapa más fina, en particular, en el intervalo de espesor de 0,1 mm a 0,6 mm.

La invención se basa en el conocimiento de que la solidificación de cristal mixto por medio de componentes de aleación del acero depositados intersticialmente permite una mejora simultánea de la resistencia, la conformabilidad y la isotropía, y que la solidificación de cristal mixto mediante carbono y nitrógeno resulta especialmente eficaz a este respecto, siempre que la unión de carbono y nitrógeno a carburos y nitruros pueda suprimirse, al menos en gran medida, desde el punto de vista técnico del proceso. La formación de carburos y nitruros favorecería el desarrollo de propiedades anisotrópicas.

A este respecto, otro hallazgo en el que se basa la invención es que la introducción de nitrógeno mediante nitruración de un producto plano de acero laminado en frío en un horno de recocido en presencia de un donador de nitrógeno, al final de la ruta de producción de acero para envases, es especialmente adecuada tanto para realizar una solidificación de cristal mixto efectiva mediante nitrógeno, como para mejorar la isotropía de las propiedades del material relevantes para el procesamiento posterior del producto plano de acero en la producción de envases, en particular, el límite elástico y el alargamiento de rotura. Se ha demostrado que la nitruración en un horno de recocido, a diferencia del aumento del contenido en nitrógeno mediante la introducción de nitrógeno en la masa fundida de acero, lleva esencialmente a una deposición intersticial de nitrógeno sin que la unión del nitrógeno lleve a nitruros.

Sorprendentemente, a este respecto, se determinó que el nitrógeno depositado intersticialmente en el producto plano de acero laminado en frío durante la nitruración en el horno de recocido (en particular, en un horno de recocido continuo antes o durante el recocido por recrystalización) repercute positivamente en la conformabilidad y la isotropía de las propiedades del material. Al parecer, la deposición intersticial de nitrógeno provoca una isotropía excepcional de las propiedades mecánicas del producto plano de acero, debido a una distribución uniforme del nitrógeno en la red (de ferrita) del acero.

A esto contribuye además que con la deposición intersticial de nitrógeno, en comparación con carbono, se desplaza la posición del punto peritéctico a contenidos de aleación más altos y, por tanto, una deposición de grandes cantidades de nitrógeno en los lugares intersticiales de la rejilla de acero en relación con la calidad de la superficie y el riesgo de formación de grietas en desbastes planos es esencialmente menos crítico que con el carbono. Para evitar grietas en desbastes planos, la proporción en peso del carbono en el producto plano de acero según la invención se limita al 0,10 %.

Sin embargo, para la deposición de nitrógeno solo existe una limitación del contenido en nitrógeno en relación con el límite de la solubilidad del nitrógeno en la red de ferrita del acero, así como la eficiencia económica del procedimiento de fabricación, que, teniendo en cuenta el límite de solubilidad de nitrógeno en la red de ferrita de aproximadamente el 0,1 % en peso y una unión parcial del nitrógeno en nitruros en presencia de fuertes formadores de nitruros como Al, Ti, Nb y/o B en el acero se encuentra en como máximo el 0,120 % en peso. Desde un punto de vista tecnológico del proceso, el contenido en nitrógeno del producto plano de acero nitrurado de la invención se encuentra preferiblemente en como máximo el 0,070 % en peso, dado que una nitruración adicional del producto plano de acero laminado en frío en el horno de recocido (continuo) solo puede realizarse con un esfuerzo tecnológico muy grande, lo que actualmente no es económicamente viable. Por lo tanto, por razones tecnológicas del proceso y económicas, la proporción de nitrógeno con respecto al peso se encuentra de manera especialmente preferida en el 0,050 % o menos.

Es particularmente ventajoso a este respecto añadir el nitrógeno al producto plano de acero lo más tarde posible en el desarrollo del proceso de producción, para evitar que se puedan desarrollar diferentes propiedades del material en y transversalmente a la dirección de laminación después de la nitruración, en particular mediante procesos de laminación en frío a lo largo de una dirección de laminación. La nitruración del producto plano de acero según la

invención puede realizarse, por ejemplo, después de la laminación en frío (primaria) antes o durante el recocido en un horno de recocido continuo.

Debido a que la nitruración solo se realiza después de la laminación en frío (primaria), el nitrógeno no forma parte de los pasos de procesamiento de laminación en caliente y laminación en frío (primaria), que provocan una anisotropía masiva de las propiedades del material. Una deposición intersticial del nitrógeno en la red de hierro (red de ferrita) durante o después del recocido por recristalización favorece adicionalmente la homogeneidad del acero para envases según la invención. En particular, no existe a este respecto el riesgo de precipitación de nitruro, lo que aumentaría la dependencia direccional de las propiedades del material durante la relaminación.

En el caso de chapas de acero doblemente laminadas en frío, debido a la resistencia básica más alta del acero conseguida debido a la solidificación de cristal mixto mediante el nitrógeno depositado intersticialmente puede reducirse el grado de relaminación durante la segunda laminación en frío y puede minimizarse la anisotropía originada debido a ello. Con ello, el grado de relaminación durante una segunda laminación en frío puede limitarse preferiblemente al 18 % o menos.

Por lo tanto, el objeto de la invención es un producto plano de acero laminado en frío (una o dos veces) para envases con un espesor inferior a 0,6 mm, que se ha laminado en frío a partir de un acero a lo largo de una dirección de laminación de 0° y presenta la siguiente composición con respecto al peso:

- C: del 0,02 al 0,1 %,
- Si: menos del 0,03 %,
- Mn: del 0,17 al 0,5 %,
- P: menos del 0,03 %,
- S: del 0,001 al 0,03 %,
- Al: del 0,002 al 0,1 %,
- N: del 0,014 al 0,12 %, preferiblemente menos del 0,07 %,
- opcionalmente Cr: menos del 0,1 %, preferiblemente del 0,01 al 0,08 %,
- opcionalmente Ni: menos del 0,1 %, preferiblemente del 0,01 al 0,05 %,
- opcionalmente Cu: menos del 0,1 %, preferiblemente del 0,002 al 0,05 %,
- opcionalmente Ti: menos del 0,01 %,
- opcionalmente B: menos del 0,005 %,
- opcionalmente Nb: menos del 0,01 %,
- opcionalmente Mo: menos del 0,02 %,
- opcionalmente Sn: menos del 0,03 %,
- el resto hierro e impurezas inevitables,

en donde el producto plano de acero en un estado envejecido presenta un límite elástico del 0,5 % (Rp0,5) de al menos 450 MPa y un alargamiento (A) de rotura de al menos el 5 % y la capacidad W(α) de trabajo definida por el producto del alargamiento (A) de rotura y el límite elástico del 0,5 % (Rp 0,5) en función del ángulo (α) con respecto a la dirección de laminación (0°) asciende a no menos del 60 % y a no más del 140 % de la capacidad de trabajo en dirección de laminación W(0°).

Del nitrógeno contenido en el producto de acero plano, se ha depositado intersticialmente en el acero a este respecto al menos una proporción en peso del 0,010 % en forma no unida.

El producto plano de acero según la invención se caracteriza por un alto límite elástico del 0,5 % (Rp0,5) de al menos 450 MPa y un buen alargamiento (A) de rotura de al menos el 5 % en dirección de laminación (0°), así como por una dependencia de la dirección homogénea y solo insignificante de la capacidad W(α) de trabajo en el plano del producto plano de acero comprendido por el ángulo α. La capacidad W(α) de trabajo (todavía dependiente de la dirección debido

a los procesos de laminación a lo largo de la dirección de laminación) representa una medida adecuada para evaluar la utilidad de las chapas de acero laminadas en frío para la producción de envases mediante conformaciones en procedimientos de embutición profunda y de embutición y estiramiento simultáneos, ya que la capacidad W de trabajo calculada a partir del producto del alargamiento (A) de rotura y el límite elástico del 0,5 % ($R_p 0,5$) representa tanto una medida de la resistencia de la chapa de acero como de su conformabilidad. A este respecto, por las razones que se explican con más detalle a continuación, el límite elástico del 0,5 % ($R_p 0,5$) ha resultado una medida adecuada para evaluar la resistencia de un producto plano de acero envejecido.

El límite elástico del 0,5 % ($R_p 0,5$) en el caso del producto plano de acero según la invención se encuentra preferiblemente en un intervalo entre un límite superior y un límite inferior en función del ángulo (α) con respecto a la dirección de laminación (0°), en donde el límite inferior se encuentra en al menos el 90 % y el límite superior se encuentra en como máximo el 110 % del límite elástico del 0,5 % en dirección de laminación $R_p 0,5 (0^\circ)$, en donde el límite elástico del 0,5 % ($R_p 0,5$) en dirección de laminación asciende a al menos 450 MPa.

El alargamiento $A(\alpha)$ de rotura dependiente del ángulo (α) con respecto a dirección de laminación (0°) igualmente se encuentra preferiblemente entre un límite superior y un límite inferior en el caso del producto plano de acero según la invención, en donde el límite inferior se encuentra en al menos el 60 % y el límite superior se encuentra en como máximo el 140 % del alargamiento de rotura en dirección de laminación $A(0^\circ)$, en donde el alargamiento (A) de rotura en dirección de laminación asciende a al menos el 5 %.

La capacidad $W(\alpha)$ de trabajo dependiente del ángulo (α) con respecto a la dirección de laminación (0°) se encuentra correspondientemente de manera especialmente preferida entre al menos el 70 % y como máximo el 130 % de la capacidad de trabajo en la dirección de laminación $W(0^\circ)$.

Debido a la difusión del nitrógeno en el producto plano de acero laminado en frío durante la nitruración en el horno de recocido a las temperaturas de recocido, que se encuentran preferiblemente a más de 630°C (temperatura del producto plano de acero) para garantizar una recristalización completa, se realiza una distribución y deposición uniforme del nitrógeno introducido por difusión en la red del acero. Mediante la distribución uniforme del nitrógeno depositado intersticialmente resulta una alta isotropía de las propiedades mecánicas del producto plano de acero nitrurado, influenciadas por la nitruración, en particular, en lo que respecta al alargamiento de rotura y al límite elástico y, con ello, con respecto a la capacidad de trabajo relevante como medida de calidad para aplicaciones de embutición profunda, como el producto del límite elástico del 0,5 % ($R_p 0,5$) y el alargamiento (A) de rotura. La distribución más homogénea posible del nitrógeno depositado en el horno de recocido resulta a este respecto con tiempos de permanencia más largos del producto plano de acero en el horno de recocido y, en particular, con tiempos de recocido más largos en el caso del recocido por recristalización. Los tiempos de permanencia del producto plano de acero en el horno de recocido se encuentran preferiblemente en más de 10 segundos, de manera especialmente preferida, más de 30 segundos y, en particular, en el intervalo de 100 a 250 segundos. Con tiempos de permanencia de más de 400 segundos en un horno de recocido continuo con una longitud típica del recorrido de paso, la velocidad de paso del producto plano de acero en forma de banda debería elegirse tan baja, que la eficiencia del procedimiento ya no pueda conseguirse por razones económicas, por lo que solo se pueden ajustar tiempos de recocido superiores a 400 segundos en un procedimiento de recocido en campana.

La isotropía de las propiedades del material relevantes para conformaciones en frío, como el límite elástico del 0,5 % ($R_p 0,5$), el alargamiento (A) de rotura y la capacidad (W) de trabajo, obtenida en el caso del producto plano de acero según la invención mediante la nitruración después de la laminación en frío, puede conseguirse a pesar de un estiramiento de grano de los granos de acero, que no se puede evitar mediante la laminación en frío (una y dos veces). En el producto plano de acero según la invención, los granos de la estructura de acero presentan normalmente una longitud de cuerda media de 3,0 a 6,0 μm y un estiramiento (S) de grano dependiente de la dirección, que por ejemplo en la dirección de laminación (0°) en secciones longitudinales del producto plano de acero se encuentra en al menos 1,4 y en secciones planas del producto plano de acero se encuentra en al menos 1,1. Por tanto, de esto resulta que en el producto plano de acero según la invención, a pesar del estiramiento de grano existente debido a la producción, pueden obtenerse propiedades isotrópicas en cuanto al límite elástico, el alargamiento de rotura y la capacidad de trabajo que resulta de esto en el plano de chapa.

El estiramiento (S) de grano de los granos de la estructura de acero está definido a este respecto como la relación entre la longitud (S_H) media de la cuerda horizontal y la longitud (S_V) media de la cuerda vertical. Transversalmente a la dirección de laminación ($\alpha = 90^\circ$), el estiramiento (S) de grano dependiente del ángulo α en el caso de los productos planos de acero según la invención se encuentra regularmente en al menos 1,2.

Dado que la solidificación de cristal mixto generada mediante la nitruración del producto plano de acero es más eficiente cuando el nitrógeno introducido se deposita intersticialmente en los espacios intersticiales del acero (en particular, de la red de ferrita), es conveniente cuando la composición de aleación del acero presenta la menor cantidad posible de formadores de nitruros como Al, Ti, B 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 estos componentes de aleación de severa formación de nitruro:

- Al: < 0,1 %, preferiblemente menos del 0,05 %;
- Ti: < 0,01 %, preferiblemente menos del 0,002 %;
- 5 – B: < 0,005 %, preferiblemente menos del 0,001 %;
- Nb: < 0,01 %, preferiblemente menos del 0,002 %;

La proporción en peso total de los formadores de nitruro asciende preferiblemente a menos del 0,1 %. De esta manera, se puede garantizar en particular una proporción en peso del nitrógeno no unido superior al 0,01 %.

La proporción en peso del nitrógeno no unido en la banda laminada en caliente N_{libre} (banda laminada en caliente) puede describirse a este respecto a través de la siguiente *Fórmula 1*, en donde se asume que los formadores de nitruro Al, Ti, B y Nb presentes en el acero, dado el caso, dentro de límites superiores se unen completamente con nitrógeno para dar nitruros:

$$N_{\text{libre}} (\text{banda laminada en caliente}) = \frac{1}{2} (N_0 - Ti / 3,4 - B / 0,8 - Nb / 6,6 - \text{factor Al} + | N_0 - Ti / 3,4 - B / 0,8 - Nb / 6,6 - \text{factor Al} |) \quad (\text{Fórmula 1}),$$

en donde N_0 es la proporción en peso del nitrógeno en la masa fundida del acero, el factor Al dependiendo de la temperatura de la bobinadora HT (temperatura de enrollamiento de la banda laminada en caliente) y del contenido en aluminio Al (en % en peso) se define tal como sigue:

- si $HT < 640^{\circ}\text{C}$: Factor Al = 0;
- si $750 \geq HT \geq 640^{\circ}\text{C}$: Factor Al = $N_0 - N_0 \times (-0,682 HT + 536) / 100 = N_0 \times (1 - (-0,682 HT + 536)/100)$;

y el sumando

$$| N_0 - Ti / 3,4 - B / 0,8 - Nb / 6,6 - \text{Factor Al} |$$

se define como la cantidad de la diferencia " $N_0 - Ti / 3,4 - B / 0,8 - Nb / 6,6 - \text{Factor Al}$ ". En la fórmula 1 se tiene en cuenta mediante estos sumandos de cantidad que, como máximo, solo el nitrógeno completo realmente presente en la banda laminada en caliente (es decir, en la masa fundida de acero) puede unirse mediante los formadores de nitruros presentes en la banda laminada en caliente (es decir, en la masa fundida de acero).

La proporción en peso total del nitrógeno libre en el producto plano de acero laminado en frío resulta de la suma del contenido en nitrógeno libre en la banda laminada en caliente (N_{libre} (banda laminada en caliente) según la fórmula 1 anterior) y del nitrógeno ΔN añadido mediante nitruración en el horno de recocido continuo:

$$N_{\text{libre}} = N_{\text{libre}} (\text{banda laminada en caliente}) + \Delta N \quad (\text{Fórmula 2})$$

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 del nitrógeno libre en el producto plano de acero laminado en frío se determina a este respecto por el límite de solubilidad del nitrógeno en la red de ferrita del acero, que se encuentra en aprox. el 0,1 % en peso.

La proporción en peso total del nitrógeno libre en el producto plano de acero laminado en frío (N_{libre}) se encuentra preferiblemente en más del 0,01 %. Para introducir la mayor proporción posible de nitrógeno en forma no unida en el producto plano de acero laminado en frío, la mayor parte de la proporción en peso total de nitrógeno se introduce preferiblemente mediante nitruración en el horno de recocido continuo, en donde la proporción en peso de ΔN se encuentra, preferiblemente, en al menos el 0,002 % en peso y, de manera particularmente preferida, en más del 0,008 % en peso.

El producto plano de acero según la invención puede obtenerse mediante un procedimiento de producción, en el que primero se genera una banda laminada en caliente mediante laminación en caliente a partir de un desbaste plano que se ha producido a partir de la masa fundida de acero mencionada anteriormente, a una temperatura de laminación final preferida de $> \text{Ar3}$ y, en particular, entre 800°C y 900°C , que se enrolla a una temperatura de enrollamiento (temperatura de bobinado HT) de $< \text{Ar1}$ y, en particular, en el intervalo de 500°C a 750°C , y después de enfriar se lamina en frío con una relación de reducción de al menos el 80 % para formar un producto plano de acero (banda de acero) y, a continuación, se somete a recocido de manera recrystalizante en un horno de recocido, en particular, un horno de recocido continuo, a una temperatura de recocido de al menos 630°C en presencia, al menos temporal, de un donador de nitrógeno y, a continuación, se enfría a temperatura ambiente y finalmente se somete a relaminación o

laminación de acabado con un grado de relaminación del 0,2 % al 45 %. Preferiblemente, el grado de relaminación es inferior al 18 %, para no perjudicar las propiedades isotrópicas mediante la relaminación.

La nitruración del producto plano de acero en el horno de recocido continuo puede realizarse a este respecto antes, durante o después del recocido recrystalizante. 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 recrystalización en presencia de un donador de nitrógeno y después calentar el producto plano de acero en una segunda zona aguas abajo del horno de recocido continuo para el recocido de recrystalización a una segunda temperatura por encima de la temperatura de recrystalización. Este orden de nitruración y recocido de recrystalización también se puede invertir. Un desacoplamiento de este tipo entre la nitruración y el recocido de recrystalización 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 recrystalización. Sin embargo, por razones económicas, es preferible nitrurar y recocer simultáneamente el producto plano de acero en un horno de recocido continuo a una temperatura superior a la temperatura de recrystalización en presencia de un donador de nitrógeno.

Las propiedades del producto plano de acero producido de esta manera surgen a este respecto después del envejecimiento de la banda de acero relaminada, en donde puede provocarse el envejecimiento o bien calentando artificialmente a 200°C durante 20 minutos o mediante un lacado con posterior secado de laca del producto plano de acero.

Preferiblemente, la banda laminada en caliente ya presenta una proporción de nitrógeno inicial N_0 en el intervalo del 0,001 % en peso al 0,016 % en peso, para maximizar el contenido total de nitrógeno en el producto plano de acero laminado en frío y, de esta manera, maximizar la solidificación de cristal mixto causada por la nitruración de la banda laminada en frío. Para evitar la formación de grietas en desbastes planos durante la colada del desbaste plano y durante la laminación en caliente y para no aumentar ya la resistencia de la banda laminada en caliente hasta tal punto, que no se pueda laminar más en frío con los dispositivos de laminación en frío habituales, la proporción en peso del nitrógeno en la masa fundida de acero a partir de la cual se fabrica la banda laminada en caliente no debe exceder el 0,016 %. El contenido total en nitrógeno del producto plano de acero según la invención, que es la suma de la proporción inicial de nitrógeno N_0 y la proporción de nitrógeno ΔN introducida durante el nitruración en el horno de recocido se ajusta durante el recocido del producto plano de acero laminado en frío mediante la presencia del donador de nitrógeno en el horno de recocido, difundándose el nitrógeno atómico disociado del donador de nitrógeno en el producto plano de acero laminado en frío a las temperaturas de recocido y, por lo tanto, aumenta la proporción de nitrógeno en ΔN . La proporción de nitrógeno ΔN introducida durante la nitruración en el horno de recocido se encuentra a este respecto preferiblemente en al menos el 0,002 % en peso, en donde de esta manera aumenta la proporción total de nitrógeno del producto plano de acero a más del 0,014 % en peso, cuando la proporción inicial de nitrógeno N_0 en la masa fundida de acero era inferior a este valor. De manera especialmente preferida, se nitrura el producto plano de acero laminado en frío en el horno de recocido continuo hasta más del 0,020 % en peso de la proporción de nitrógeno. El contenido total de nitrógeno del producto plano de acero nitrurado en el horno de recocido continuo puede alcanzar (al menos teóricamente) el límite de solubilidad del nitrógeno en la red (de ferrita) del acero de aproximadamente el 0,1 % en peso.

En el caso del donador de nitrógeno puede tratarse, por ejemplo, de una atmósfera de gas que contiene nitrógeno en el horno de recocido, en particular, de una atmósfera que contiene amoníaco o de un líquido que contiene nitrógeno, que se aplica a la superficie del producto plano de acero laminado en frío, antes de que este se caliente en el horno de recocido. A este respecto, el donador de nitrógeno debía diseñarse de tal manera, que la disociación proporcione nitrógeno atómico en el horno de recocido, que pueda difundirse en el producto plano de acero. En particular, el donador de nitrógeno puede ser gas amoníaco. Para que este se disocie para formar nitrógeno atómico en el horno de recocido, al nitrurar el producto plano de acero laminado en frío se ajustan preferiblemente temperaturas del horno de más de 400°C en el horno de recocido.

Debido al aumento de resistencia provocado por la solidificación de cristal mixto mediante la nitruración del producto plano de acero durante el recocido en el horno de recocido (continuo) en presencia del donador de nitrógeno, en el caso del producto plano de acero según la invención no se requiere ninguna relaminación con un alto grado de relaminación para aumentar adicionalmente la resistencia mediante una solidificación en frío. Por lo tanto, el grado de relaminación puede limitarse preferiblemente a como máximo el 18 %, con lo que se puede evitar un deterioro de la isotropía de las propiedades del material debido a una segunda laminación en frío con grados de relaminación elevados.

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.

Las excelentes propiedades mecánicas isotrópicas de las chapas de acero según la invención permiten la producción de tapas de botes con tira para apertura rápida (“easy-open-ends” EOE) o de botes de aerosol o componentes de botes de aerosol, como por ejemplo bases o tapas de botes de aerosol con propiedades isotrópicas en toda la superficie de las tapas con tira para apertura rápida o de los botes de aerosol y sus componentes. Las propiedades isotrópicas de las chapas de acero según la invención resultan ventajosas, en particular, en el caso de tapas con tira para apertura rápida redondas u ovaladas, así como bases o tapas redondas de botes de aerosol, ya que se presentan propiedades mecánicas casi constantes en todo el perímetro del respectivo producto. Las propiedades mecánicas isotrópicas de las chapas de acero según la invención resultan ventajosas también en aplicaciones de embutición profunda, en las que se conforma una pieza de chapa redonda (en bruto), por ejemplo, para generar un cuerpo de lata para una lata de dos piezas, dado que en este caso también se pueden obtener propiedades mecánicas constantes de la pieza de chapa metálica conformada en todo su perímetro y no se producen puntos reducidos con espesor de chapa reducido durante la conformación.

Estas y otras propiedades, características y ventajas del producto plano de acero según la invención resultan de los ejemplos de realización descritos con más detalle a continuación con referencia a los dibujos y tablas adjuntos. Los dibujos muestran:

Fig. 1: Ejemplo de un diagrama esquemático de tensión-alargamiento obtenido en un ensayo de tracción en un producto plano de acero según la invención;

Fig. 2 diagramas circulares de la dependencia angular del alargamiento (A) de rotura en el plano de productos planos de acero examinados en ensayos de tracción, en donde la figura 2a muestra los resultados de las muestras examinadas 1 a 13 y la figura 2b muestra los resultados de las muestras examinadas 14 a 26;

Fig. 3 diagramas circulares de la dependencia angular del límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$) en el plano de productos planos de acero examinados en ensayos de tracción, en donde la figura 3a muestra los resultados de las muestras examinadas 1 a 13 y la figura 3b muestra los resultados de las muestras examinadas 14 a 26;

Fig. 4 diagramas circulares de la dependencia angular de la capacidad de trabajo $W = A \cdot R_{p0,5}$ en el plano de productos planos de acero examinados en ensayos de tracción, en donde la figura 4a muestra los resultados de las muestras examinadas 1 a 13 y la figura 4b muestra los resultados de las muestras examinadas 14 a 26;

Fig. 5 representación esquemática de las investigaciones para determinar la estructura de grano de los productos planos de acero investigados;

Fig. 6 representación de la influencia del envejecimiento de los productos planos de acero laminados en frío sobre la isotropía del alargamiento de rotura.

Para producir productos planos de acero según la invención, se cuela un desbaste plano de una masa fundida de acero y se lamina en caliente para dar una banda laminada en caliente. La composición de aleación de la masa fundida de acero se orienta a este respecto de manera conveniente a los valores límite predeterminados mediante normas para el acero para envases (tal como se define, por ejemplo, en la norma ASTM A623-11 “Standard Specification for Tin Mill Products” o en “European Standard EN 10202”). Los componentes del acero a partir de los cuales se pueden producir productos planos de acero según la invención se explican en detalle a continuación:

Composición del acero:

- Carbono, C: al menos el 0,02 % y como máximo el 0,1 %, preferiblemente menos del 0,085 %;

El carbono aumenta la dureza o la resistencia. Por lo tanto, el acero contiene al menos el 0,02 % en peso de carbono. Para garantizar la laminabilidad del producto plano de acero durante la laminación en frío primaria y, dado el caso, en una segunda etapa de laminación en frío (relaminación o laminación de acabado) y no reducir el alargamiento de rotura, el contenido en carbono no debe ser demasiado alto. Al aumentar el contenido en carbono, durante la producción y procesamiento del producto plano de acero se produce una anisotropía pronunciada en forma de estructura de líneas, 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. Por lo tanto, es necesario limitar el contenido en carbono a como máximo el 0,1 % en peso, ya que pueden evitarse solo de ese modo de manera eficaz la formación de grietas en el desbaste plano y la oxidación puntual que resulta de esto (difusión de oxígeno en las grietas).

- 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, es necesario un contenido en manganeso de al menos el 0,17 % en peso. Para conseguir altas resistencias, se prefiere un contenido en manganeso de más del 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, si el contenido en manganeso es demasiado alto, la resistencia de la banda laminada en caliente llega a ser demasiado alta, lo que significa que la banda laminada en caliente ya no se puede laminar en frío. 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 productos planos 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 debe estar contenido más del 0,03 % en peso de azufre en el acero. Por otra parte, para desulfurar el acero han de tomarse medidas complejas y costosas, por lo que un contenido en azufre inferior al 0,001 % en peso ya no es justificable desde el punto de vista económico. Por lo 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 0,002 % 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 tanto, el contenido en aluminio se encuentra en más del 0,002 % en peso. Sin embargo, el aluminio forma con nitrógeno nitruros de aluminio, que en los productos planos de acero según la invención son desventajosos porque reducen la proporción de nitrógeno libre. Además, concentraciones de aluminio demasiado elevadas pueden provocar defectos en la superficie en forma de agrupaciones de aluminio. Por tanto, el aluminio se utiliza en una concentración de como máximo el 0,1 % en 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 Si se utiliza 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 tanto, es preferible un contenido en silicio del 0,003 % en peso o más. Sin embargo, si el contenido en silicio llega a ser demasiado alto, en particular, si excede el 0,03 % en peso, la resistencia a la corrosión del acero puede deteriorarse y los tratamientos superficiales, en particular, mediante revestimientos electrolíticos pueden resultar difíciles.

• Opcionalmente nitrógeno, N: menos del 0,016 % y, preferiblemente, más del 0,001 %

El nitrógeno es un componente opcional en la masa fundida de acero, a partir de la cual se produce el acero para los productos planos 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. Sin embargo, un contenido demasiado alto en nitrógeno en la masa fundida de acero, superior al 0,016 % en peso hace que la banda laminada 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 laminada en caliente, ya que la capacidad de conformación en caliente se reduce a concentraciones de nitrógeno del 0,016 % en peso o más. Según la invención, está previsto elevar el contenido en nitrógeno del producto plano de acero posteriormente mediante nitruración del producto plano de acero laminado 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 solidificación de cristal mixto, es preferible cuando ya la masa fundida de acero tiene un contenido en nitrógeno inicial superior al 0,001 % en peso, de manera especialmente preferida, del 0,010 % en peso o más.

Para la introducción de un contenido inicial en nitrógeno N₀ en el producto plano de acero antes de la nitruración en el horno de recocido, se puede añadir nitrógeno a la masa fundida de acero en una cantidad apropiada, por ejemplo, soplando gas nitrógeno y/o añadiendo 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, como aluminio, titanio, niobio, boro, molibdeno y cromo son desventajosos en el acero de los productos planos 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 nitrógeno 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 nitrógeno en función del peso:

- Titanio, Ti: preferiblemente, más del 0,002 %, pero por motivos de costes menos del 0,01 %,
- Boro, B: preferiblemente, más del 0,001 %, 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 0,08 %, y/o
- Molibdeno, Mo: menos del 0,02 % para evitar un aumento excesivo de la temperatura de recrystalización;

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 nitrógeno 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 fabricación del producto plano de acero:

Con la composición del acero descrita se produce una masa fundida de acero, que primero se cuela de forma continua y, después del enfriamiento, se divide en desbastes planos. A continuación, los desbastes planos se calientan de nuevo a temperaturas de precalentamiento superiores a 1100°C, en particular, de 1200°C y se laminan en caliente para obtener una banda laminada en caliente con un espesor en el intervalo de 1 a 4 mm.

La temperatura de laminación final durante la laminación en caliente es preferiblemente superior a la temperatura de Ar_3 para seguir siendo austenítica y, en particular, está entre 800°C y 900°C.

La banda en caliente se enrolla 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 Ar_1 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 AIN . Por motivos económicos, la temperatura de arrollamiento será superior a 500°C. Una formación de nitruros de hierro en la superficie de la banda en caliente se puede evitar mediante un enfriamiento de la banda en caliente después de finalizar la laminación en caliente hasta que se enrolle con tasas de enfriamiento más altas.

Para producir un acero para envases en forma de un producto plano de acero fino en el intervalo de espesor inferior a 0,6 mm (espesores de chapa fina) y, preferiblemente, con un espesor inferior a 0,4 mm, la banda laminada en caliente se lamina en frío, en donde de manera conveniente se realiza una reducción del 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 recrystalización en un horno de recocido. Esto se realiza, por ejemplo, haciendo pasar el producto plano de acero en forma de banda de acero laminada en frío a través de un horno de recocido continuo, en el que la banda de acero se calienta a temperaturas superiores a la temperatura de recrystalización del acero. A este respecto, antes o preferiblemente al mismo tiempo que el recocido de recrystalización tiene lugar una nitruración del producto plano de acero laminado en frío mediante un calentamiento del producto plano 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 en el horno de recocido, introduciéndose un donador de nitrógeno, en particular, en forma de un gas que contiene nitrógeno, preferiblemente, amoníaco (NH_3), en el horno de recocido y calentándose el producto plano 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 650°C a 750°C . El donador de nitrógeno se selecciona de modo que a las temperaturas en el horno de recocido se forme nitrógeno atómico mediante la disociación del donador de nitrógeno, que puede difundirse en el producto plano de acero. Para ello, se ha demostrado que el amoníaco es adecuado. Para evitar la oxidación de la superficie del producto plano de acero durante el recocido, se utiliza convenientemente una atmósfera de gas protector en el horno de recocido. La atmósfera en el horno de recocido está constituida preferiblemente por una mezcla del gas que contiene nitrógeno y que actúa como donador de nitrógeno, y un gas protector, tal como HNx , en donde la proporción en volumen del gas protector se encuentra preferiblemente entre el 90 % y el 99,5 % y el resto de la proporción en volumen de la atmósfera gaseosa se forma del gas que contiene nitrógeno, en particular, del gas amoníaco (gas NH_3).

Ejemplos de realización:

A continuación, se explican ejemplos de realización de la invención y ejemplos comparativos. A partir de masas fundidas de acero con las composiciones de aleación expuestas en la **Tabla 1**, se produjeron productos planos de acero (chapas de acero) mediante laminación en caliente y posterior laminación en frío.

A continuación, los productos planos de acero laminados en frío se sometieron a recocido recristalizante en un horno de recocido continuo, manteniéndose los productos planos de acero a temperaturas de recocido de 640°C durante un período de recocido de 45 segundos.

Los parámetros de procedimiento y materiales de las chapas de acero tratadas térmicamente de esta manera de la Tabla 1 se enumeran en la **Tabla 2**, en donde

- N (tras la nitruración) es el contenido en nitrógeno tras la nitruración en el horno de recocido,
- D es el espesor de la chapa de acero (en mm),
- NWG es el grado de relaminación durante la laminación en frío secundaria (en %),
- NH_3 es el contenido en amoníaco en el horno de recocido (en % en volumen),
- $\text{Rp}_{0,5}$ es el límite elástico del 0,5 % (en MPa) en la dirección de laminación,
- A es el alargamiento de rotura (en %) en dirección de laminación y
- R_m es la resistencia a la tracción (en MPa) en la dirección de laminación.

En los ejemplos según la invención (ejemplos 1 a 3, 10 a 12, 15, 16, 18, 19, 21 a 23 así como 25 y 26 de las Tablas 1 y 2), se introdujo amoníaco en el horno de recocido continuo durante el tratamiento térmico de los productos planos de acero, de modo que en el horno de recocido continuo había una atmósfera gaseosa compuesta por amoníaco y gas protector HNx . El porcentaje en volumen de amoníaco en la atmósfera gaseosa se indica en la Tabla 2 como NH_3 (% en volumen). En los ejemplos comparativos (ejemplos 4 a 9, 13, 14, 17, 20 y 24 en las Tablas 1 y 2), durante el recocido había una atmósfera de gas protector HNx al 100 % en el horno de recocido continuo. El contenido total en nitrógeno que resulta mediante la nitruración en la atmósfera de gas que contiene amoníaco del horno de recocido continuo en las muestras según la invención se indica en la Tabla 2 con N (tras la nitruración) [% en peso]. El contenido total en nitrógeno N se registró a este respecto según la norma DIN EN ISO 14284 (en particular, el punto 4.4.1) después de eliminar una capa superficial de nitruro de hierro, que se formó en la superficie de las muestras durante la nitruración.

La proporción en peso total de nitrógeno se compone a este respecto conjuntamente del contenido inicial en nitrógeno de la masa fundida de acero (N_0 , véase la Tabla 1) y de la proporción de nitrógeno ΔN introducida por nitruración en el horno de recocido continuo, en donde está presente una proporción significativa del contenido total en nitrógeno N_{libre} en forma no unida y el resto en forma unida como nitruro, véase la fórmula (1). A partir de la proporción en peso de los formadores de nitruros presentes en el acero, la proporción en peso del nitrógeno N_{libre} se puede calcular mediante la fórmula (1).

Después del tratamiento térmico en el horno de recocido continuo, los productos planos de acero laminados en frío y recocidos por recristalización se sometieron a una relaminación o laminación de acabado. Los grados de relaminación (NWG) de la segunda laminación en frío o de la laminación de acabado, así como el espesor de los productos planos

de acero relaminados se enumeran en la Tabla 2. Finalmente, se generó un envejecimiento artificial de los productos planos de acero, calentando la muestra a 200°C durante 20 minutos.

La figura 6 ilustra la influencia del envejecimiento en la dependencia angular del alargamiento de rotura para el ejemplo comparativo 5 y compara el estado sin envejecer con el estado envejecido, distinguiendo entre envejecimiento artificial y natural en este último caso. A este respecto, puede observarse que una anisotropía significativa solo se desarrolla con el envejecimiento. Sin embargo, dado que el envejecimiento es casi inevitable en el procesamiento práctico del acero para envases, es particularmente importante determinar y optimizar la isotropía en el estado envejecido, que es el objeto de la invención.

Se realizaron ensayos de tracción y exámenes de la estructura en las muestras envejecidas de los ejemplos 1 a 26. En particular, el límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$, medido según la norma DIN EN ISO 6892-1) y el alargamiento (A) de rotura se determinaron en los ensayos de tracción, así como el tamaño de grano medio y el estiramiento de grano en los exámenes de estructura. En la figura 1 se muestra un ejemplo de un diagrama esquemático de tensión-alargamiento de los ensayos de tracción.

Los productos planos de acero envejecidos muestran un diagrama de tensión-alargamiento discontinuo. Normalmente, el límite elástico superior o inferior se utiliza como valor de referencia para caracterizar la resistencia, a veces también la resistencia a la tracción. El límite elástico superior determinado en el ensayo de tracción depende a este respecto en gran medida de las condiciones de medición, la máquina de prueba utilizada y su alineación. Para una máquina de prueba determinada, el valor también varía considerablemente. Para conformaciones en frío, el límite elástico inferior es un parámetro relevante para determinar la conformabilidad de un producto plano de acero. Sin embargo, esto es difícil o imposible de determinar, si el material no se solidifica después del área de Lüders. En este caso, tampoco se define la resistencia a la tracción. Por lo tanto, en lugar del límite elástico inferior, se estima la altura de la meseta, para lo cual se utiliza como medida el límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$), ya que este valor puede determinarse de manera unívoca (figura 1). El parámetro de límite elástico del 0,2 % ($R_{p0,2}$) determinado con frecuencia para caracterizar productos planos de acero no envejecidos no es fiable en caso de muestras envejecidas, porque está demasiado cerca del límite elástico superior y se encuentra en un intervalo en el que la tensión aún no se ha estabilizado. Por estas razones, el límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$) se determina en este caso como la medida relevante de la resistencia de las muestras. Además, el alargamiento (A) de rotura de las muestras se determinó a partir de los ensayos de tracción. Todas las mediciones del límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$) y del alargamiento (A) de rotura se realizaron a este respecto a lo largo de la dirección de laminación (0°) y en el plano del producto plano de acero en incrementos de 10° en un intervalo angular de 10° a 170° con respecto a la dirección de laminación, para determinar la (an)isotropía del límite elástico ($R_{p0,5}$) y del alargamiento (A) de rotura en el plano de la chapa. La dependencia determinada del alargamiento $A(\alpha)$ de rotura del ángulo α con respecto a la dirección de laminación (0°) se muestra en un diagrama circular en la figura 2, en donde la figura 2a muestra los resultados de las muestras examinadas 1 a 13 y la figura 2b muestra los resultados de las muestras examinadas 14 a 26. La dependencia determinada del límite elástico del 0,5 % $R_{p0,5}(\alpha)$ del ángulo α con respecto a la dirección de laminación (0°) se muestra en el diagrama circular de la figura 3, en donde la figura 3a muestra los resultados de las muestras examinadas 1 a 13 y la figura 3b muestra los resultados de las muestras examinadas 14 a 26.

El parámetro de la capacidad $W(\alpha)$ de trabajo, relevante para conformaciones en frío, definido como el producto del alargamiento $A(\alpha)$ de rotura y el límite elástico del 0,5 % $R_{p0,5}(\alpha)$ se determinó mediante cálculo a partir de los valores de medición determinados para la dependencia del límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$) y del alargamiento (A) de rotura del ángulo α con respecto a la dirección de laminación. El resultado de la capacidad $W(\alpha)$ de trabajo así determinada en función del ángulo α con respecto a la dirección de laminación (0°) se muestra en los diagramas circulares de la figura 4, en donde la figura 4a muestra los resultados de las muestras según los ejemplos 1 a 13 y la figura 4b muestra los resultados de las muestras según los ejemplos 14 a 26.

De las figuras 2 a 4 puede distinguirse que las muestras según la invención presentan una isotropía significativamente mejor en lo que respecta al límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$), el alargamiento (A) de rotura y la capacidad $W(\alpha)$ de trabajo formada a partir de estos como producto, en comparación con los ejemplos comparativos (no nitrurados en el horno de recocido continuo) (ejemplos 4 a 9, 13, 14, 17, 20 y 24). De la figura 2 puede distinguirse que las muestras según la invención presentan un alargamiento $A(\alpha)$ de rotura que se encuentran en el plano de la chapa en un intervalo del 60 % al 140 % del alargamiento de rotura en dirección de laminación $A(0^\circ)$. De la figura 3 puede distinguirse que las muestras según la invención presentan un límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$) en función del ángulo α con respecto a la dirección de laminación (0°), que se encuentra en el plano de la chapa en un intervalo del 90 % al 110 % del límite elástico en dirección de laminación $R_{p0,5}(0^\circ)$. La capacidad $W(\alpha)$ de trabajo de las muestras según la invención se encuentra en el plano de la chapa, en función del ángulo α con respecto a la dirección de laminación (0°), en un intervalo del 60 % al 140 % de la capacidad de trabajo en la dirección de laminación $W(0^\circ)$, como puede distinguirse de la figura 4. Por el contrario, los ejemplos comparativos presentan una anisotropía significativamente mayor de alargamiento (A) de rotura, del límite elástico del 0,5 % ($R_{p0,5}$) y de la capacidad de trabajo, como puede distinguirse de las figuras 2 a 4.

Para determinar la estructura de grano de los productos planos de acero, se produjeron secciones metalográficas de las muestras en planos longitudinal y transversalmente a la dirección de laminación, así como en planos planares de

la chapa. Los planos de corte están ilustrados en la figura 5. El tamaño de grano y el estiramiento de grano se determinaron a partir de las secciones metalográficas mediante examen microfotográfico de las superficies de corte de la muestra. En estas micrografías, se cuenta el número de intersecciones entre una cuadrícula y los límites de grano. El tamaño de grano medio resulta a partir del valor medio del segmento de intersección de la línea (longitud de cuerda media). En la figura 5 se ilustra el estiramiento de grano o el estiramiento de la longitud de cuerda de los granos de la estructura de acero en las direcciones x (horizontal, longitudinal a la dirección de laminación) e y (vertical, en dirección del espesor del producto plano de acero). La longitud S_H de cuerda horizontal se determina en la dirección x del grano. Perpendicularmente a esto, en la dirección y se determina la longitud S_V de cuerda vertical. Esto se realiza en secciones metalográficas tomadas tanto longitudinal como transversalmente a la dirección de laminación. Al determinar las longitudes de cuerda, no se mide cada grano individual, sino que se superpone una cuadrícula uniforme sobre la micrografía y con la ayuda de la longitud de la cuadrícula y el número de intersecciones se determina una longitud de cuerda, que puede utilizarse como sustituto del tamaño de grano. La longitud de cuerda media horizontal o vertical corresponde al valor medio de la evaluación de todas las áreas microestructurales registradas. El estiramiento S de grano se define como: $S = S_H/S_V$ o $S = x/y$.

El tamaño de grano (determinado según ASTM E 112 y DIN EN ISO 643, así como por medio de imágenes comparativas) y el estiramiento S de grano (determinado por el procedimiento de intersección de líneas), así como la longitud de cuerda media de las muestras se indican en la **Tabla 3**. Todas las muestras presentan una longitud de cuerda media en el intervalo de 3,3 a 5,4 µm. El estiramiento (S) de grano dependiente de la dirección en dirección de laminación (0°) se encuentra en al menos 1,4 en las secciones longitudinales del producto plano de acero y en al menos 1,1 en las secciones planares del producto plano de acero. El estiramiento (S) de grano transversalmente a la dirección de laminación (90°) presenta un valor de al menos 1,2. En este sentido, no pudo determinarse ninguna diferencia significativa entre las muestras según la invención y las muestras comparativas.

A partir de esto, puede concluirse que la mayor resistencia de las muestras según la invención no se logra mediante el refinamiento del grano, sino principalmente mediante la solidificación de cristal mixto producida por la nitruración en el horno de recocido continuo. Además, se puede observar que la isotropía mejorada de las propiedades mecánicas de las muestras según la invención se puede lograr a pesar de una anisotropía en la estructura (causada por la laminación en frío). La anisotropía de la estructura, que también está presente en las muestras según la invención resulta del estiramiento S de grano, que es comparable al estiramiento de grano de las muestras comparativas en las muestras según la invención. Por lo tanto, la solidificación de cristal mixto generada mediante la nitruración en el horno de recocido continuo no solo aumenta la resistencia (resistencia a la tracción R_m), sino que también mejora la homogeneidad de los valores característicos mecánicos, como el alargamiento A de rotura y el límite elástico del 0,5 % R_{p0,5}, así como de la capacidad de trabajo que resulta de esto $W = A R_{p0,5}$.

Tabla 1

Ejemplo	Invención	C	Mn	P	Si	Al	Cu	Cr	Nb	Ti	S	Sn	B	Mo	Ni	N_0
[% en peso]																
1	según la invención	0,070	0,31	0,016	0,009	0,013	0,011	0,020	0,0010	0,0005	0,009	0,002	0,0003	0,0001	0,018	0,0117
2	según la invención	0,073	0,33	0,013	0,011	0,015	0,027	0,029	0,0008	0,0004	0,007	0,006	0,0002	0,0003	0,016	0,0123
3	según la invención	0,069	0,32	0,016	0,007	0,016	0,008	0,025	0,0009	0,0008	0,007	0,006	0,0003	0,0001	0,017	0,0120
4	Ejemplo comparativo	0,032	0,25	0,011	0,016	0,040	0,009	0,024	0,0010	0,0009	0,007	0,002	0,0002	0,0002	0,016	0,0040
5	Ejemplo comparativo	0,035	0,23	0,014	0,013	0,037	0,009	0,032	0,0010	0,0008	0,007	0,002	0,0003	0,0003	0,019	0,0046
6	Ejemplo comparativo	0,038	0,25	0,011	0,007	0,039	0,009	0,029	0,0010	0,0004	0,006	0,002	0,0003	0,0003	0,016	0,0037
7	Ejemplo comparativo	0,034	0,25	0,009	0,013	0,036	0,010	0,026	0,0010	0,0007	0,013	0,006	0,0003	0,0003	0,018	0,0041
8	Ejemplo comparativo	0,058	0,29	0,009	0,010	0,031	0,011	0,046	0,0010	0,0008	0,003	0,004	0,0003	0,0004	0,020	0,0059
9	Ejemplo comparativo	0,063	0,29	0,012	0,016	0,033	0,014	0,047	0,0010	0,0008	0,007	0,007	0,0003	0,0004	0,021	0,0054
10	según la invención	0,044	0,23	0,013	0,013	0,032	0,014	0,027	0,0010	0,0010	0,004	0,008	0,0003	0,0002	0,018	0,0045
11	según la invención	0,036	0,22	0,014	0,010	0,035	0,007	0,024	0,0010	0,0007	0,007	0,002	0,0003	0,0002	0,015	0,0048
12	según la invención	0,038	0,23	0,013	0,013	0,033	0,009	0,026	0,0010	0,0007	0,006	0,002	0,0003	0,0003	0,017	0,0039
13	Ejemplo comparativo	0,066	0,24	0,008	0,019	0,064	0,013	0,055	0,0010	0,0010	0,006	0,006	0,0003	0,0003	0,016	0,0052

ES 3 010 485 T3

14	Ejemplo comparativo	0,730	0,31	0,013	0,020	0,035	0,018	0,045	0,0010	0,0007	0,012	0,008	0,0004	0,0002	0,018	0,0087
15	según la invención	0,069	0,31	0,013	0,012	0,018	0,008	0,027	0,0010	0,0009	0,003	0,002	0,0003	0,0003	0,016	0,0133
16	según la invención	0,036	0,22	0,014	0,010	0,035	0,007	0,024	0,0009	0,0007	0,007	0,002	0,0002	0,0002	0,015	0,0048
17	Ejemplo comparativo	0,064	0,28	0,009	0,019	0,033	0,009	0,047	0,0010	0,0011	0,006	0,003	0,0003	0,0002	0,018	0,0048
18	según la invención	0,069	0,27	0,014	0,019	0,011	0,034	0,028	0,0020	0,0003	0,011	0,002	0,0004	0,0004	0,022	0,0108
19	según la invención	0,052	0,27	0,012	0,020	0,024	0,017	0,030	0,0003	0,0002	0,004	0,003	0,0004	0,0003	0,015	0,0054
20	Ejemplo comparativo	0,071	0,31	0,011	0,006	0,010	0,010	0,028	0,0010	0,0004	0,008	0,002	0,0003	0,0002	0,012	0,0190
21	según la invención	0,021	0,21	0,010	0,005	0,022	0,014	0,021	0,0010	0,0010	0,010	0,002	0,0008	0,0004	0,020	0,0039
22	según la invención	0,071	0,31	0,013	0,010	0,013	0,010	0,036	0,0010	0,0005	0,010	0,002	0,0003	0,0002	0,015	0,0113
23	según la invención	0,038	0,17	0,012	0,01	0,036	0,009	0,020	0,0009	0,0006	0,011	0,002	0,0003	0,0003	0,017	0,0041
24	Ejemplo comparativo	0,108	0,43	0,009	0,017	0,017	0,013	0,045	0,0009	0,0005	0,012	0,007	0,0004	0,0004	0,015	0,0118
25	según la invención	0,098	0,34	0,015	0,014	0,013	0,022	0,027	0,0008	0,0007	0,011	0,004	0,0005	0,0002	0,021	0,0131
26	según la invención	0,041	0,50	0,011	0,016	0,028	0,008	0,034	0,0009	0,0008	0,006	0,008	0,0003	0,0003	0,020	0,0049

Tabla 2

Ejemplo	Clasificación	N (tras la nitruración)	D	NWG	NH3	Rp 0,5[mPa]	A[%]	Rm [mPa]
		[% en peso]	[mm]	[%]	[% en volumen]	En dirección de laminación		
1	según la invención	0,045	0,268	12,0	0,40	681	9,9	708
2	según la invención	0,041	0,189	16,0	0,30	785	6,6	797
3	según la invención	0,018	0,268	10,0	0,08	615	9,7	648
4	Ejemplo comparativo	-	0,155	24,0	-	635	1,5	636
5	Ejemplo comparativo	-	0,222	0,8	-	431	21,7	431
6	Ejemplo comparativo	-	0,173	10,0	-	494	8,1	497
7	Ejemplo comparativo	-	0,160	22,0	-	-	0,3	603
8	Ejemplo comparativo	-	0,192	1,2	-	439	16	458
9	Ejemplo comparativo	-	0,184	11,0	-	532	1,4	532
10	según la invención	0,018	0,132	8,0	0,20	586	7,3	587
11	según la invención	0,018	0,182	17,0	0,20	624	6,9	639
12	según la invención	0,018	0,211	1,2	0,17	467	16,6	489
13	Ejemplo comparativo	-	0,224	1,4	-	427	11,8	454
14	Ejemplo comparativo	-	0,230	7,0	-	547	4,3	569
15	según la invención	0,016	0,310	10,0	0,04	606	9,8	614
16	según la invención	0,014	0,209	8,0	0,20	549	7,1	553
17	Ejemplo comparativo	-	0,162	1,4	-	418	12,1	431
18	según la invención	0,025	0,223	1,0	0,15	464	17,4	483
19	según la invención	0,018	0,202	8,0	0,20	554	9,3	562
20	Ejemplo comparativo	-	0,322	11,0	-	627	4,1	639
21	según la invención	0,015	0,380	10	0,23	496	12,4	513
22	según la invención	0,072	0,241	10,0	1,47	788	7,2	798
23	según la invención	0,017	0,232	15,0	0,18	603	5,1	618
24	Ejemplo comparativo	0,018	0,177	1,2	0,08	475	14,2	613
25	según la invención	0,038	0,164	8,0	0,34	638	7,8	641
26	según la invención	0,017	0,431	8,0	0,16	578	8,4	580

Tabla 3

ES 3 010 485 T3

5	Ejemplo	Clasificación	NWG [%]	Posición	Tamaño de grano			Estiramiento de grano		Longitud de cuerda media
					KGA a (500:1)		Mediante una imagen comparativa a 200:1	[Y/X] en %	[X/Y]	
					[ASTM]	[G643]				µm
	1	según la invención	12	Longitudinal	13,3	13,3	12	64,2	1,6	3,5
	1		Transversal	13,3	13,3	12	75,6	1,3	3,5	
	1		Sup.	12,8	12,8	11-12	73,7	1,4	4,2	
10	2	según la invención	16	Longitudinal	13,2	13,2	12	67,4	1,5	3,7
	2		Transversal	13,4	13,3	12	75,2	1,3	3,4	
	2		Sup.	12,8	12,8	12	75,2	1,3	4,3	
15	3	según la invención	10	Longitudinal	13,4	13,4	12	62,8	1,6	3,4
	3		Transversal	13,3	13,3	12	74,8	1,3	3,5	
	3		Sup.	12,9	12,9	11-12	72,1	1,4	4,1	
20	4	Ejemplo comparativo	24	Longitudinal	13,1	13,1	12	47,8	2,1	3,9
	4		Transversal	13,2	13,2	12	56,0	1,8	3,7	
	4		Sup.	12,1	12,1	11-12	79,8	1,3	5,3	
25	5	Ejemplo comparativo	0,8	Longitudinal	12,8	12,8	11-12	67,0	1,5	4,3
	5		Transversal	13,1	13,1	11-12	72,3	1,4	3,8	
	5		Sup.	12,3	12,3	10-11	94,9	1,1	5,1	
30	6	Ejemplo comparativo	10	Longitudinal	12,9	12,8	11-12	59,1	1,7	4,2
	6		Transversal	13,2	13,2	11-12	80,0	1,3	3,7	
	6		Sup.	12,1	12,1	10-11	87,3	1,1	5,4	
35	7	Ejemplo comparativo	22	Longitudinal	13,2	13,2	11-12	56,4	1,8	3,7
	7		Transversal	13,2	13,2	11-12	62,2	1,6	3,7	
	7		Sup.	12,2	12,2	10/12	70,8	1,4	5,2	
40	8	Ejemplo comparativo	1,2	Longitudinal	13,2	13,2	11-12	65,9	1,5	3,7
	8		Transversal	13,4	13,3	11-12	76,2	1,3	3,5	
	8		Sup.	12,6	12,6	10/12	74,9	1,3	4,5	
45	9	Ejemplo comparativo	11	Longitudinal	13,3	13,3	12	68,8	1,5	3,6
	9		Transversal	13,4	13,3	11-12	64,4	1,6	3,5	
	9		Sup.	12,3	12,2	10/12	68,8	1,5	5,1	
50	10	según la invención	8	Longitudinal	13,2	13,2	11-12	58,2	1,7	3,7
	10		Transversal	13,5	13,4	11-12	73,0	1,4	3,4	
	10		Sup.	12,9	12,9	11-12	81,3	1,2	4,1	
55	11	según la invención	17	Longitudinal	13,0	12,9	11-12	44,8	2,2	4,0
	11		Transversal	12,9	12,9	11-12	53,9	1,9	4,1	
	11		Sup.	12,3	12,2	10-11	82,0	1,2	5,1	
60	12	según la invención	1,2	Longitudinal	12,9	12,9	11-12	68,4	1,5	4,2
	12		Transversal	13,1	13,1	11-12	70,0	1,4	3,9	
	12		Sup.	12,3	12,3	10/11	93,7	1,1	5,0	
65	13	Ejemplo comparativo	1,4	Longitudinal	13,3	13,3	11-12	63,9	1,6	3,6
	13		Transversal	13,3	13,3	11-12	75,7	1,3	3,5	
	13		Sup.	12,7	12,7	11-12	76,8	1,3	4,4	
70	14	Ejemplo comparativo	7	Longitudinal	13,5	13,5	12	67,0	1,5	3,3
	14		Transversal	13,4	13,4	12	77,3	1,3	3,4	
	14		Sup.	12,9	12,9	11-12	74,1	1,3	4,1	
75	15	según la invención	10	Longitudinal	13,5	13,5	12	63,8	1,6	3,3
	15		Transversal	13,4	13,4	12	75,1	1,3	3,4	
	15		Sup.	13,0	13,0	11-12	74,2	1,4	4,0	
80	16	según la invención	8	Longitudinal	13,3	13,3	12	60,1	1,7	3,6
	16		Transversal	13,5	13,5	12	72,3	1,4	3,3	
	16		Sup.	13,0	13,0	11-12	79,9	1,3	4,0	
85	17	Ejemplo comparativo	1,4	Longitudinal	13,1	13,1	12	64,9	1,5	3,9
	17		Transversal	13,3	13,3	11-12	77,0	1,3	3,6	

ES 3 010 485 T3

	17		1,4	Sup.	12,7	12,7	11-12	75,1	1,3	4,4
	18	según la invención	1	Longitudinal	13,3	13,3	12	70,1	1,4	3,5
	18		1	Transversal	13,4	13,4	12	77,3	1,3	3,4
5	18		1	Sup.	12,9	12,9	11-12	78,6	1,3	4,2
	19	según la invención	8	Longitudinal	13,3	13,3	11-12	60,1	1,7	3,6
	19		8	Transversal	13,5	13,4	12	75,7	1,3	3,3
	19		8	Sup.	12,9	12,9	10/12	83,1	1,2	4,1
10	20	Ejemplo comparativo	11	Longitudinal	13,3	13,3	12	65,2	1,5	3,6
	20		11	Transversal	13,4	13,4	12	77,4	1,3	3,4
	20		11	Sup.	12,9	12,9	11-12	72,1	1,4	4,1
	21	según la invención	0,6	Longitudinal	12,7	12,7	12	68,4	1,5	4,5
15	21		0,6	Transversal	12,9	12,9	12	71,1	1,4	4,1
	21		0,6	Sup.	12,3	12,3	11-12	92,3	1,1	4,9
	22	según la invención	10	Longitudinal	13,5	13,5	12	65,1	1,5	3,2
	22		10	Transversal	13,3	13,3	12	77,3	1,3	3,5
20	22		10	Sup.	12,9	12,9	11-12	78,1	1,3	4,2
	23	según la invención	15	Longitudinal	12,9	12,9	11-12	53,1	1,9	4,2
	23		15	Transversal	12,7	12,7	12	55,7	1,8	4,4
	23		15	Sup.	12,1	12,1	10/12	83,2	1,2	5,3
25	24	Ejemplo comparativo	1,2	Longitudinal	13,3	13,2	12	69,7	1,4	3,6
	24		1,2	Transversal	13,3	13,3	11-12	74,2	1,3	3,5
	24		1,2	Sup.	12,8	12,8	11-12	71,1	1,4	4,3
	25	según la invención	8	Longitudinal	13,1	13,1	12	67,3	1,5	3,8
30	25		8	Transversal	13,0	13,0	12	81,1	1,2	4,0
	25		8	Sup.	12,5	12,5	11-12	82,9	1,2	4,7
	26	según la invención	8	Longitudinal	12,9	12,9	12	60,1	1,7	4,1
	26		8	Transversal	13,3	13,3	12	69,7	1,4	3,6
35	26		8	Sup.	12,7	12,7	11-12	83,3	1,2	4,5

REIVINDICACIONES

1. Producto plano de acero laminado en frío para envases con un espesor inferior a 0,6 mm, que se ha laminado en frío a partir de un acero a lo largo de una dirección de laminación de 0° y presenta la siguiente composición con respecto al peso:

-C: 0,02 - 0,1 %,
-Si: < 0,03 %,
-Mn: 0,17 - 0,5 %,
-P: < 0,03 %,
-S: 0,001 - 0,03 %,
-Al: 0,002 - 0,1 %,
-N: 0,014 - 0,12 %, preferiblemente inferior al 0,07 %,
-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 %,
-opcionalmente Nb: < 0,01 %,
-opcionalmente Mo: < 0,02 %,
-opcionalmente Sn: < 0,03 %,
-el resto hierro e impurezas inevitables,
-en donde al menos una proporción en peso del 0,01 % del nitrógeno en forma no unida se ha depositado intersticialmente en el acero y el producto plano de acero, medido en un estado envejecido según las especificaciones de la descripción, presenta un límite elástico del 0,5 % (Rp0,5) de al menos 450 MPa y un alargamiento (A) de rotura de al menos el 5 % en dirección de laminación de 0° y la capacidad W(α) de trabajo definida por el producto del alargamiento (A) de rotura y el límite elástico del 0,5 % (Rp 0,5) en función del ángulo α con respecto a la dirección de laminación de 0° asciende a no menos del 60 % y a no más del 140 % de la capacidad de trabajo en la dirección W(0°) de laminación.
2. Producto plano de acero según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el límite elástico del 0,5 % (Rp0,5) en función del ángulo α con respecto a la dirección de laminación de 0° asciende a no menos del 90 % y a no más del 110 % del límite elástico del 0,5 % en dirección de laminación Rp0,5 (0°).
3. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el alargamiento A(α) de rotura en función del ángulo α con respecto a la dirección de laminación de 0° asciende a no menos del 60 % y a no más del 140 % del alargamiento de rotura en dirección de laminación A(0°).
4. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la capacidad W(α) de trabajo en función del ángulo α con respecto a la dirección de laminación de 0° asciende a al menos el 70 % y a como máximo el 130 % de la capacidad de trabajo en dirección W(0°) de laminación.
5. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** los granos de la estructura de acero presentan una longitud de cuerda media de 3,0 a 6,0 μm.
6. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** los granos de la estructura de acero presentan una longitud (S_H) de cuerda horizontal media y una longitud (S_V) de cuerda vertical media así como un estiramiento (S) de grano definido como la relación de la longitud (S_H) de cuerda horizontal media y la longitud (S_V) de cuerda vertical media, en donde el estiramiento (S) de grano dependiente de la dirección en dirección de laminación de 0° en secciones longitudinales del producto plano de acero presenta un valor de al menos 1,4 y en secciones planares del producto plano de acero presenta un valor de al menos 1,1 y/o que el estiramiento (S) de grano transversalmente a la dirección de laminación en el ángulo de 90° presenta un valor de al menos 1,2.
7. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el producto plano de acero puede obtenerse mediante

-laminación en caliente de un desbaste plano del acero hasta obtener una banda laminada en caliente,
-enrollamiento de la banda laminada en caliente a una temperatura de enrollamiento de 500°C a 750°C,
-laminación en frío de la banda laminada en caliente con una relación de reducción de al menos el 80 % hasta obtener una banda de acero laminada en frío,
-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 del producto plano de acero recocido de manera recristalizante a temperatura ambiente,
 -relaminación de la banda de acero recristalizada con un grado de relaminación del 0,2 % al 45 %, -en donde se obtienen las propiedades del producto plano de acero después de un envejecimiento de la banda de acero relaminada.

8. Producto plano de acero según la reivindicación anterior, **caracterizado por que** la temperatura de laminación final en la laminación en caliente del desbaste plano es superior a la temperatura Ar3.

9. Producto plano de acero según las reivindicaciones 7 u 8, **caracterizado por que** el tiempo de permanencia del producto plano de acero en el horno de recocido se encuentra entre 10 segundos y 400 segundos.

10. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado por que** el grado de relaminación es del 18 % o inferior.

11. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones 7 a 10, en donde en el caso del donador de nitrógeno se trata de gas amoníaco y/o en donde el donador de nitrógeno se ha disociado a las temperaturas en el horno de recocido al menos parcialmente en nitrógeno atómico.

12. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones 7 a 11, **caracterizado por que** la banda laminada en caliente presenta una proporción de nitrógeno inicial N_0 en el intervalo del 0,001 % en peso al 0,016 % en peso y por que se eleva la proporción en peso del nitrógeno en el producto plano de acero durante el recocido mediante la presencia del donador de nitrógeno en $\Delta N \geq 0,002$ % en peso.

13. Producto plano de acero según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el estado envejecido del producto plano de acero se ha provocado o bien de manera natural mediante un almacenamiento más largo y/o mediante un lacado con secado posterior, o de manera artificial mediante calentamiento del producto plano de acero durante 20 minutos a temperaturas en el intervalo de 200°C a 210°C.

14. Uso de un producto plano de acero según una de las reivindicaciones anteriores para la fabricación de tapas de anilla para latas o para la fabricación de envases de aerosol o componentes de envases de aerosol, en donde el producto plano de acero se dota preferiblemente de un revestimiento superficial, en particular, de un revestimiento de estaño o cromo/óxido de cromo aplicado electrolíticamente y/o de un revestimiento orgánico, en particular, en forma de una laca o de una lámina de polímero, antes de la conformación.

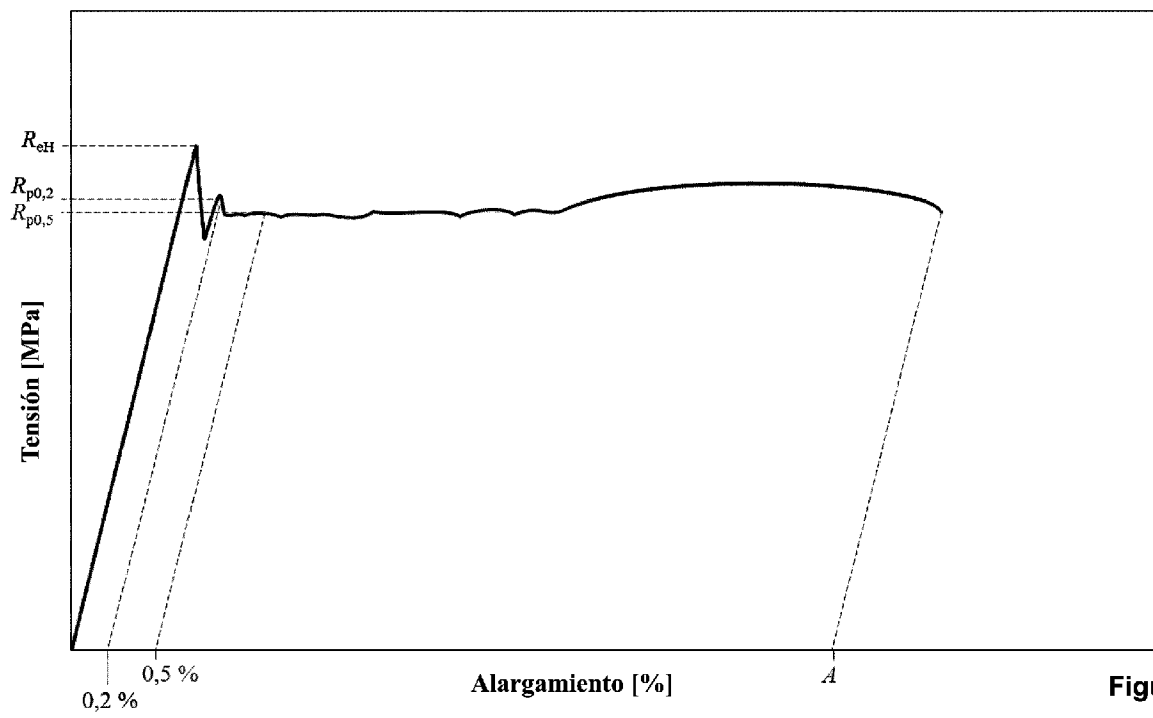


Figura 1

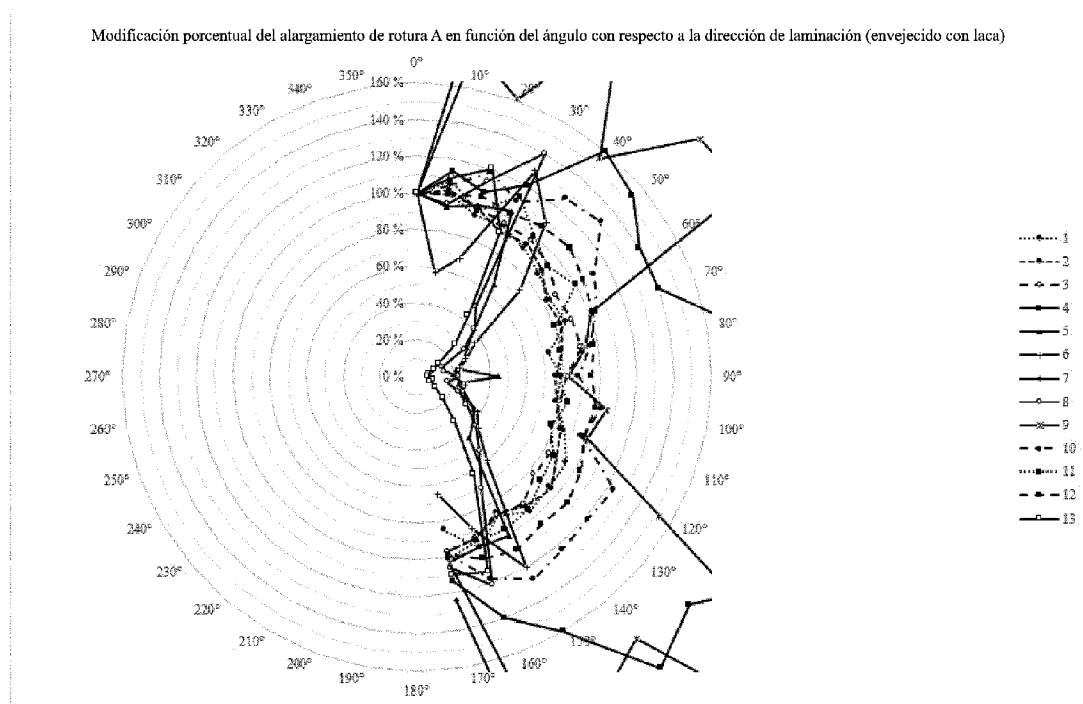


Figura 2a

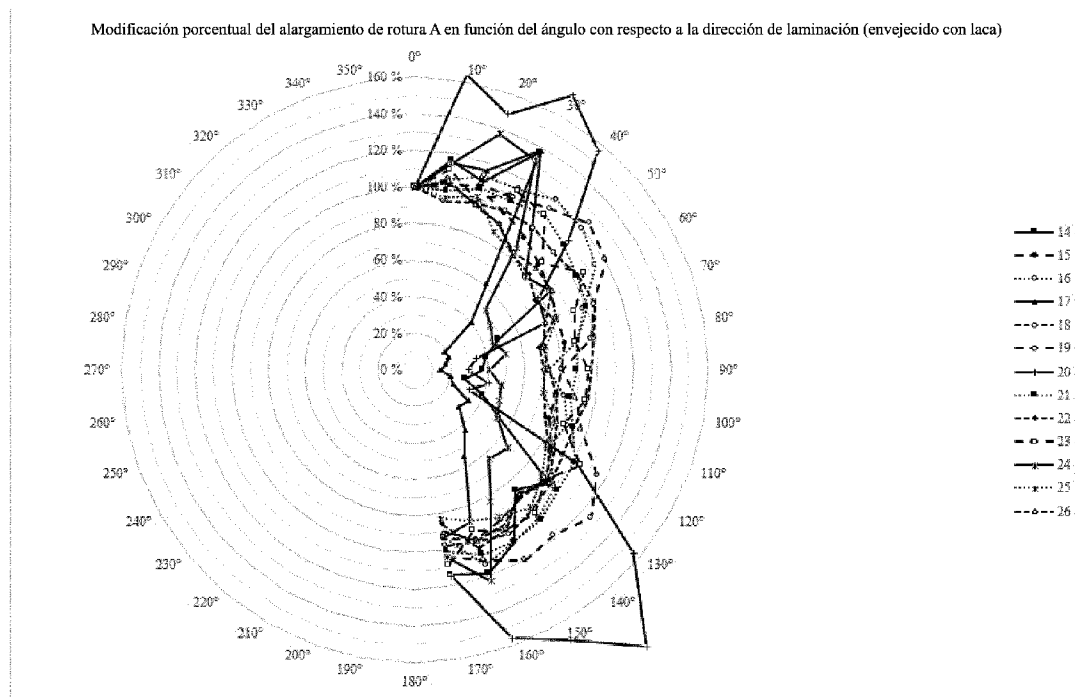


Figura 2b

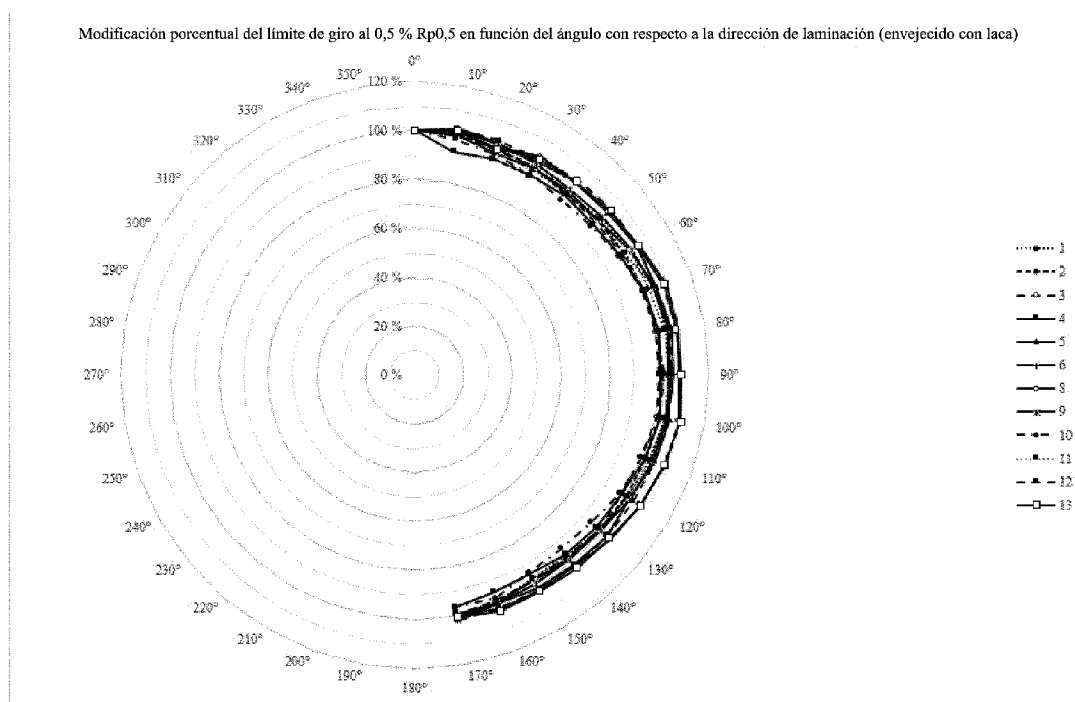


Figura 3a

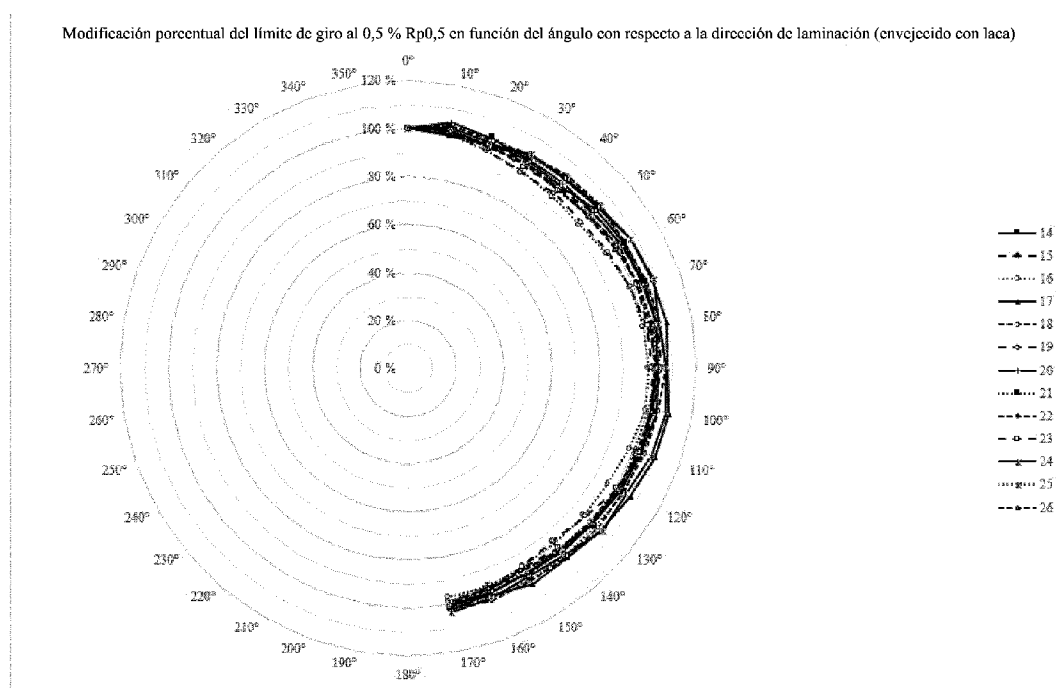


Figura 3b

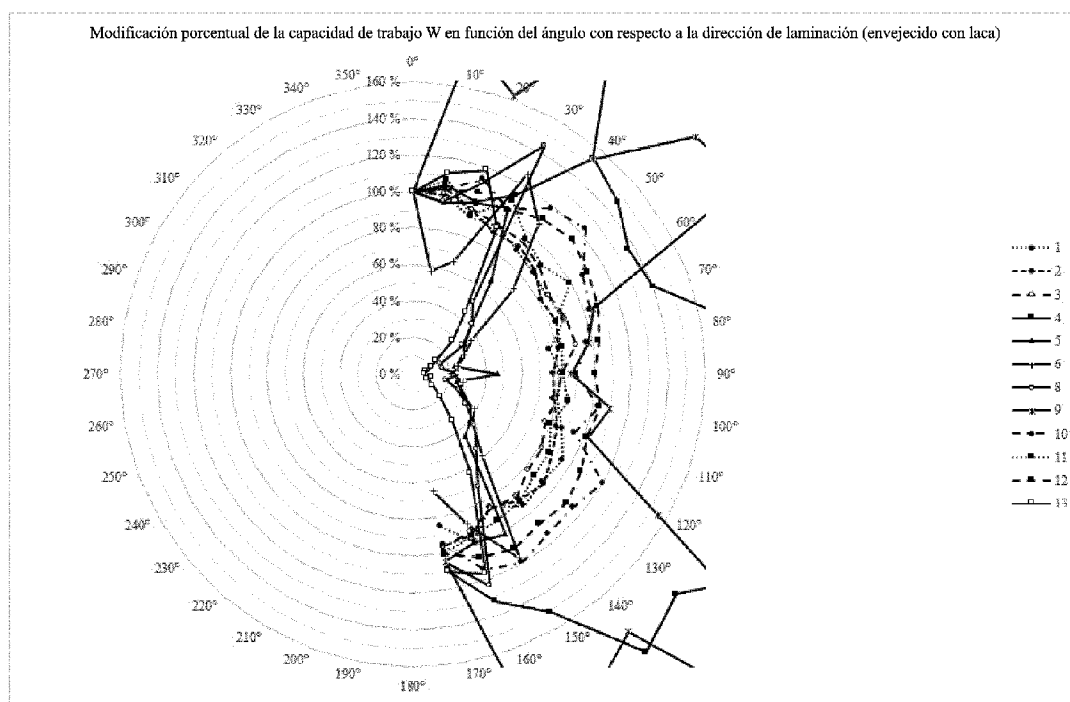
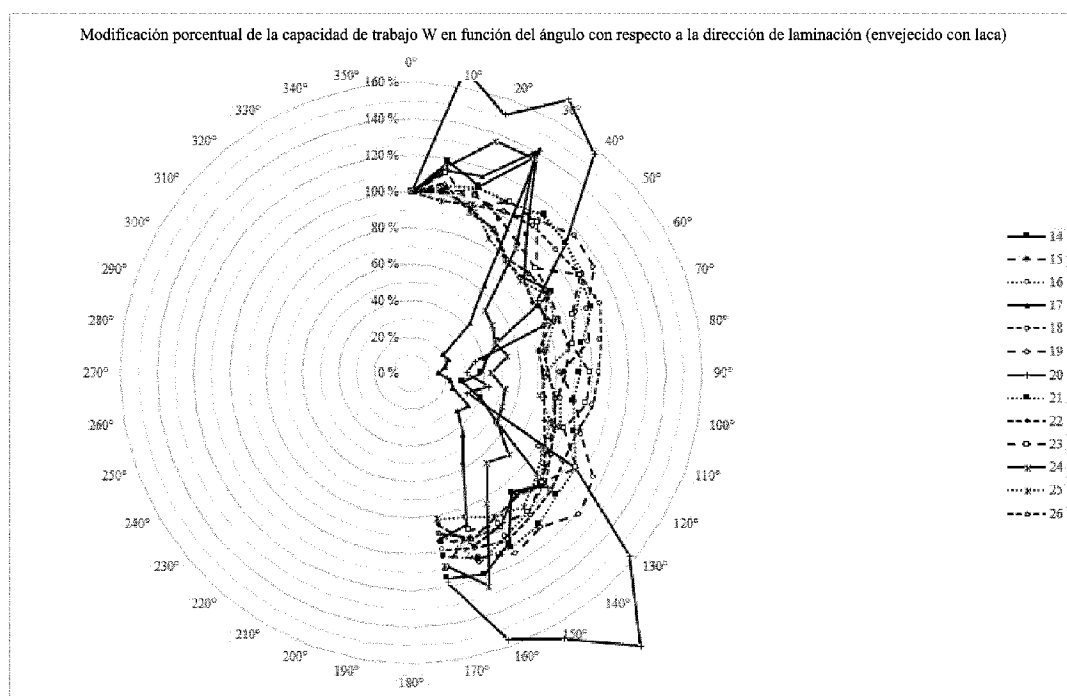


Figura 4a



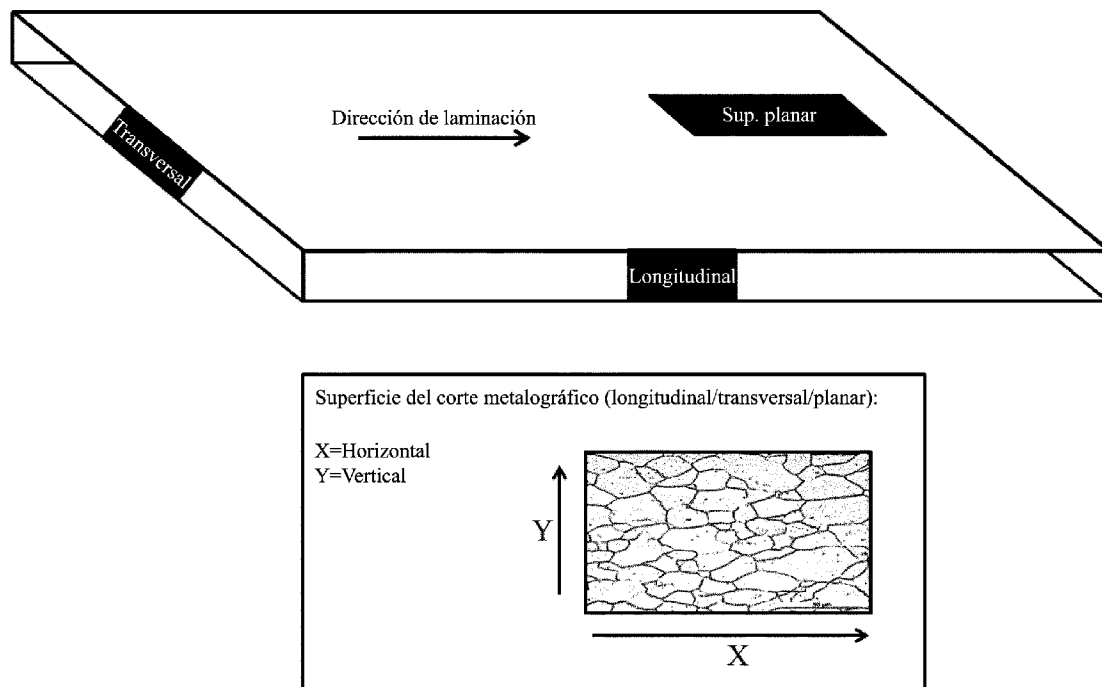


Figura 5

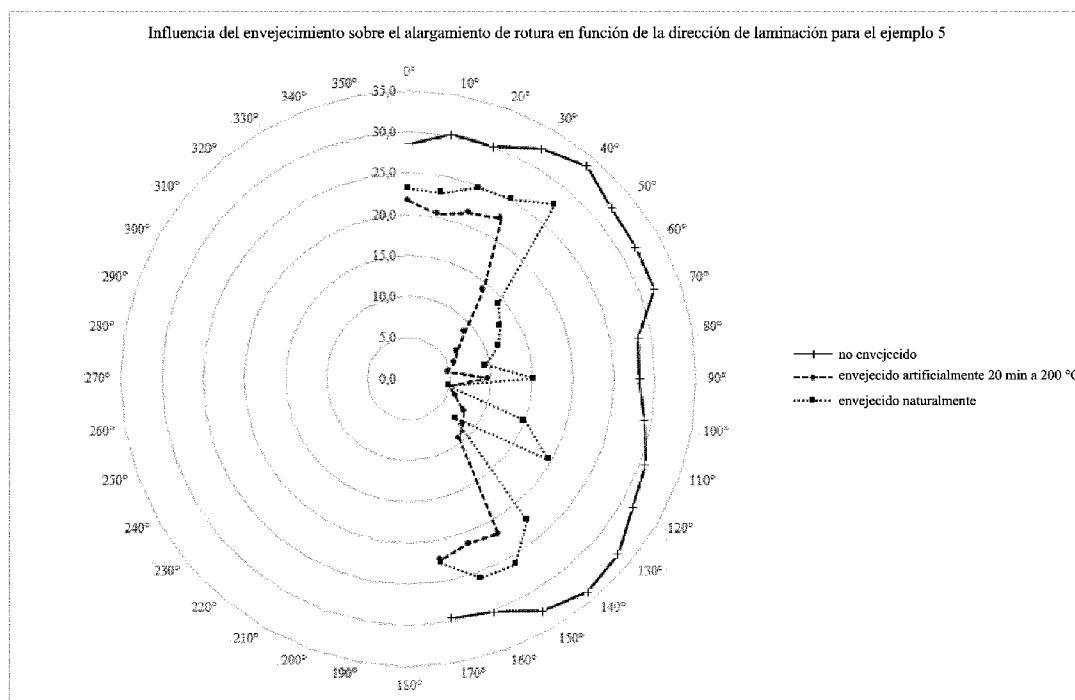


Figura 6