

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 927 557**

51 Int. Cl.:

B21B 1/46 (2006.01)

B21B 3/00 (2006.01)

B21B 45/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.04.2020** **PCT/EP2020/060867**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2020** **WO20216686**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2020** **E 20717067 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2022** **EP 3959021**

54 Título: **Método para producir una tira de acero que contiene silicio de alta resistencia con excelente calidad superficial y dicha tira de acero producida por el mismo**

30 Prioridad:

20.04.2019 EP 19170439

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

08.11.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MELFO PRADA, WANDA, MARIA, CAROLINA;
HUISERT, MATTHEÛS, HENDRIK, MARINUS;
WESTENDORP, ALBERT, EDGAR;
VAN DOK, RICHARD, ALEXANDER y
VAN EIJK, KOERT

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 927 557 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

Método para producir una tira de acero que contiene silicio de alta resistencia con excelente calidad superficial y dicha tira de acero producida por el mismo

Campo de la invención

- 5 Esta invención se relaciona con un método para producir una tira de acero de alta resistencia que contiene silicio con una excelente calidad superficial del producto laminado en caliente.

Antecedentes de la invención

- 10 Las tiras laminadas en caliente de aceros que contienen niveles elevados de silicio en combinación o no con otros elementos a menudo tienen una calidad superficial deficiente después del laminado en caliente. La deficiente calidad superficial está relacionada con la presencia de Si, que forma incrustaciones de óxido frágiles que, después de fracturarse en la mordida del rodillo, se laminan en la superficie del acero durante el proceso de laminado de acabado. Según el rendimiento de la operación de desincrustación en el laminador de tira caliente, un nivel de umbral típico de silicio para que se produzcan estos problemas en la superficie es del 0.10 % en peso.

- 15 Los aceros con las composiciones mencionadas se moldean en un lingote, luego se recalientan a temperaturas en un intervalo de 1200 a 1300 ° C y luego se desincrustan, se laminan en bruto para formar una barra de transferencia, se desincrustan nuevamente y se laminan hasta el espesor final. Luego, la barra se enfría en una mesa de salida y se enrolla. El producto obtenido puede ser ya de alta resistencia y acabado con un recubrimiento galvanizado por inmersión en caliente; o además decapado, laminado en frío, recocido y opcionalmente recubierto, por ejemplo, por galvanización en caliente.

- 20 Convencionalmente, los problemas de la superficie se evitan limitando el contenido de silicio a un nivel bajo por debajo del 0.15 % en peso. El documento CN102764760 divulga un método para fabricar una placa de acero laminado en caliente de alta calidad superficial con un contenido de silicio inferior al 0.15 % en peso. El documento US2015/0243418-A1 divulga un método de producción de acero con silicio laminado en caliente en donde el proceso de calentamiento y el proceso de laminado en bruto se cambian para que la rata de aparición de defectos en los bordes durante la producción del acero con silicio laminado en caliente pueda reducirse, y el acero con silicio laminado en caliente con buena calidad superficial se puede producir. En el documento US5235840 se divulga un sistema para procesar barras de acero en un laminador en caliente de barras que incluye un aparato y un método para minimizar el crecimiento de óxido en las barras de acero y reducir el desgaste de los rodillos de trabajo en el laminador de acabado. Para reducir la acumulación de óxido en los rodillos, las barras de acero se rocían con refrigerante en lugares seleccionados en todo el tren acabador y la temperatura de la superficie de las barras se controla para que esté dentro de un intervalo de temperatura que minimice el crecimiento de óxido. En consecuencia, se reduce el desgaste de los rodillos de trabajo debido al contacto abrasivo con las barras de acero. El documento JPH11156407 proporciona un método para fabricar una lámina de acero laminada en caliente de alto contenido de Si excelente en calidad superficial con menos defectos de incrustación roja adaptando el método de desincrustación. El documento más relevante US 2010/218911 A1 divulga un método para producir barras de acero laminadas en caliente a partir de lingotes gruesos o delgados colados continuamente que comprenden Si de 0.23 % en peso y 1.43 % en peso de Mn, el método comprende calentar o recalentar el lingote hasta una temperatura de recalentamiento de al menos 1100 ° C en un horno de recalentamiento u homogeneización, opcionalmente, laminación en caliente del lingote a una barra de transferencia en un tren desbastador que consta de una o más cajas de laminación en bruto, transferencia de la barra de transferencia a un laminado de acabado en tándem que consta de una pluralidad de cajas de laminación del tren acabador, desincrustación de la barra de transferencia en un desincrustador, y laminación de la barra de transferencia desincrustada en dicha pluralidad de cajas de laminación del tren acabador hasta una barra laminada en caliente que tiene un espesor final de menos de aproximadamente 8.0 mm.

- 45 El problema con estas metodologías convencionales es que el contenido de silicio debe mantenerse bajo o que, debido al espesor variable del óxido que se ha formado, la rugosidad de la superficie del acero es desigual después de la eliminación del óxido y sigue siendo desigual después del laminado en frío y el recocido.

Objetivos de la invención

- 50 Es un objetivo de la presente invención proporcionar un método para producir un acero de alta resistencia laminado en caliente que contenga Si entre 0.10 % en peso y 3.00 % en peso con una excelente superficie uniforme en aspecto y rugosidad.

También es un objetivo de la presente invención proporcionar un método para producir un acero de alta resistencia laminado en frío que contenga Si entre 0.10 % en peso y 3.00 % en peso con una excelente superficie uniforme en aspecto y rugosidad.

- 55 También es un objetivo de la presente invención proporcionar un método para producir un acero de alta resistencia recubierto que contiene 0.10 % en peso y 3.00 % en peso de Si con una excelente superficie uniforme en aspecto y rugosidad.

Descripción de la invención

Se alcanzan uno o más objetivos con un método para producir barras de acero laminadas en caliente a partir de lingotes gruesos o delgados colados continuamente que comprenden Si entre 0.10 y 3.00 % en peso y al menos 0.8 % en peso de Mn que comprende calentar o recalentar el lingote hasta una temperatura de recalentamiento de al menos 1100 ° C en un horno de recalentamiento u homogeneización, opcionalmente, laminación en caliente del lingote a una barra de transferencia en un tren desbastador que consiste en una o más cajas de laminación en bruto, transferencia de la barra de transferencia a un laminador de acabado en tándem que consta de una pluralidad de cajas de laminación del tren de acabado, desincrustado de la barra de transferencia en un desincrustador, y laminación de la barra de transferencia desincrustada en dicha pluralidad de cajas de laminación del tren acabador hasta una barra laminada en caliente que tiene un espesor final en donde la temperatura de la barra a la salida de la última caja en la T de laminación del tren de acabado está determinada por $T (^{\circ} C) > 41.823 \ln(\% \text{ en peso de Si}) + 980.4$ y el tiempo entre el desincrustador y la primera caja de laminación del tren acabador $td-F1$ está determinado por $td-F1 (s) < -0.603 \ln(\% \text{ en peso de Si}) + 4.8731$.

En el contexto de esta invención, la desincrustadora en la que se desincrusta la barra de transferencia antes del laminado final es la última unidad de desincrustación antes del tren de acabado. En los laminadores de tira caliente convencionales, pero también en algunos laminadores directos y de fundición de lingotes delgados, se instalan unidades de desincrustación adicionales, por ejemplo, para desincrustar los lingotes recalentados antes del laminado en bruto del lingote. Sin embargo, estas unidades adicionales no desincrustan la barra de transferencia, sino (por ejemplo) el lingote grueso recalentado. Solo en el caso de un tren de colada de lingote delgado y laminación directa que comprenda solo un tren de acabado de cajas múltiples y ningún tren desbastador, como la planta de CSP, la unidad de desincrustación para desincrustar el lingote recalentado es también la última unidad de desincrustación antes del tren de acabado.

Los aceros con un contenido de Si superior al 0.10 % producen incrustaciones de óxido que son ricas en oxígeno, por lo tanto, mayores proporciones de los óxidos de hierro superiores magnetita (Fe_3O_4) y hematita (Fe_2O_3) están presentes en la incrustación de óxido en comparación con un acero convencional de baja aleación y bajo contenido de carbono (LC-LA). En un acero LC-LA convencional, la presencia de estos óxidos superiores se controla manteniendo baja la temperatura de la superficie durante el laminado de acabado. Esta temperatura superficial baja se logra mediante el uso de actuadores de enfriamiento durante la laminación, es decir, enfriamiento entre cajas y enfriamiento superficial (enfriadores). Estos actuadores de enfriamiento se controlan automáticamente buscando una temperatura de salida de acabado y se utilizan para controlar la temperatura de la barra durante el laminado en caliente o para proteger los rodillos de trabajo del aumento repentino de temperatura cuando entran en contacto con la barra caliente.

El uso de actuadores de enfriamiento es efectivo para controlar la superficie de los aceros LC-LA y es una práctica común en todos los trenes de laminación en caliente. Sin embargo, la formación de proporciones más altas de óxidos superiores en los aceros que contienen más de 0.10 % en peso de Si no se puede evitar bajando las temperaturas durante el laminado de acabado. Los inventores descubrieron mediante experimentos sobre el crecimiento de óxido que los óxidos quebradizos siempre se formarán en estos aceros que contienen más de 0.10 % en peso de Si y, por lo tanto, una temperatura más baja de la superficie solo aumentará la fragilidad de la capa de óxido total.

El límite de plasticidad de la capa de óxido depende del espesor real de los óxidos frágiles disponibles, que son proporcionales y dependen de la composición del acero. La figura 1 muestra un dibujo esquemático de la transición aproximada de dúctil a frágil al reducir la temperatura. La incrustación de óxido es dúctil a alta temperatura. Si esto se combina con una incrustación delgada, entonces la capa de hematita no actúa como iniciador de grietas. Tan pronto como la temperatura sea de aproximadamente por debajo de 920 ° C, la magnetita (Fe_3O_4) ya no es capaz de acomodar el alargamiento y puede romperse, por lo tanto, por debajo de 920 ° C en esta región de temperatura, el espesor de la capa de magnetita domina el modo de fractura. Cuando toda la incrustación de óxido está por debajo del límite de ductilidad para todos los óxidos (es decir, aproximadamente por debajo de 600 ° C), el óxido ya se romperá bajo una carga muy pequeña. La hematita (Fe_2O_3) es frágil para el intervalo práctico completo de temperaturas de laminación en caliente.

El método de acuerdo con la invención se basa en promover la presencia de magnetita dúctil y wüstita (FeO) y evitar la hematita. Los inventores han desarrollado un método para determinar el límite de plasticidad con base en el espesor del óxido que ingresa a cada caja en el tren acabador y la temperatura de la superficie. Esto se logra iniciando el proceso de laminado de acabado inmediatamente después de desincrustar la barra de transferencia a alta velocidad (v) y una temperatura superficial alta de la barra de transferencia (T), preferiblemente sin el uso de actuadores de enfriamiento en el tren de acabado. Estas medidas aseguran que la temperatura se mantenga lo suficientemente alta durante el laminado de acabado para asegurar que el óxido sea lo suficientemente dúctil.

El método de acuerdo con la invención asegura que la calidad de la superficie no sólo sea excelente, sino también uniforme. Esto significa que, si la barra laminada en caliente se decapa y se lamina en frío posteriormente, la superficie permanece excelente y uniforme, y esto afecta positivamente la calidad de la superficie del producto recubierto después de proporcionar el producto acabado con un recubrimiento metálico.

La línea límite de la Figura 3 se calculó en función de los resultados de la calidad de la superficie. Estos resultados se obtienen del sistema de inspección de superficies ubicado después de la última caja en el tren acabador. Los triángulos representan ubicaciones de muestreo en una barra que tiene una calidad superficial deficiente después del laminado en caliente, los círculos representan una calidad superficial buena después del laminado en caliente. El eje X corresponde a la temperatura superficial calculada de la barra en la entrada de la mordida del rodillo y el eje Y es el espesor equivalente calculado de la incrustación de óxido en la mordida del rodillo correspondiente. El cálculo de la temperatura superficial se obtuvo de nuestro propio simulador fuera de línea del tren acabador, que tiene en cuenta las pérdidas de calor por convección y radiación utilizando los parámetros de la bobina industrial. El espesor de la incrustación de óxido equivalente se calcula mediante una formulación de crecimiento paralineal (Bolt, P.H. (2004). Understanding the properties of oxide scales on hot rolled steel strip. Steel Research International, 75(6), 399-404):

$$dM/dt = k_p/(M+\alpha), \text{ con } \alpha = K_p/k_L$$

M: Espesor de la capa de óxido (expresado como masa de oxígeno por unidad de área) [kg m⁻²]

t: tiempo [s]

k_p Coeficiente de rata de oxidación parabólica [kg²m⁻⁴s⁻¹]

k_L Constante de rata lineal en la etapa de oxidación inicial [kg m⁻²s⁻¹]

Las constantes k_p y k_L son dependientes de la temperatura siguiendo una forma de Arrhenius:

$$k = k_0 \exp(-Q/RT)$$

k₀ = constante de rata de reacción independiente de la temperatura [misma unidad]

Q = energía de activación [J/mol]

R = Constante de gas [8.314 J/mol K]

T = temperatura [K]

Los valores de k₀ y Q para cada mecanismo (es decir, lineal y parabólico) se basan en resultados de experimentos de termobalanza para aceros LC-LA en aire con una humedad > 20 %, en un intervalo entre 700 ° C y 1000 ° C. El conjunto de constantes utilizadas para el cálculo del espesor de incrustación de óxido equivalente fueron:

$$k_{L0} = 0.367 \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$$

$$Q_L = 45000 \text{ J/mol}$$

$$k_{P0} = 323 \text{ kg}^2\text{m}^{-4}\text{s}^{-1}$$

$$Q_P = 159700 \text{ J/mol}$$

En el mismo simulador fuera de línea para el tren acabador, la temperatura de la superficie y los tiempos de laminación se utilizan para el cálculo del óxido que ingresa a cada caja, como se muestra en los ejes y de la Figura 3. Se supone que la deformación de la incrustación es proporcional a la deformación aplicada por cada juego de rodillos, y luego continúa el crecimiento del óxido. En la figura 2 se representan todas las cajas, por lo que se representan tantos puntos como cajas en el tren acabador por cada posición de cada bobina estudiada, que en el ejemplo de la figura 2 es un tren acabador de siete cajas.

La opción de laminación en caliente del lingote a una barra de transferencia en un tren desbastador que consiste en una o más cajas de laminación en bruto se relaciona con las diferencias en la configuración de las instalaciones de producción de barras en caliente disponibles. El laminador de tiras en caliente convencional generalmente consta de uno o más hornos de recalentamiento para recalentar lingotes gruesos con un espesor de entre aproximadamente 150 y 350 mm a una temperatura alta. Estas y las siguientes dimensiones en relación con las instalaciones de producción de tiras en caliente son indicativas y no pretenden ser limitativas. Los lingotes recalentados se desincrustan posteriormente por primera vez para eliminar la incrustación del horno y se procesan en un tren desbastador que comprende uno o más cajas de laminación y se reduce su espesor a unos 35 a 40 mm. El lingote laminado en bruto ahora se conoce generalmente como barra de transferencia. Esta barra de transferencia se lamina hasta su espesor final laminado en caliente en un laminador de acabado de cajas múltiples. Antes de este laminado final, el lingote se vuelve a desincrustar para eliminar la incrustación que se formó en la barra de transferencia en el período entre el desbaste y el tiempo de retraso antes del laminado final. Después de terminar el laminado, la barra se enfría a la temperatura de enrollado en la mesa de salida y se enrolla. Un ejemplo de tal instalación es el HSM#2 de Tata Steel en IJmuiden.

Como segunda alternativa existe la opción de colar un lingote delgado en una planta de fundición y laminación directa de lingote delgado en donde el tren de laminación consiste en un tren desbastador, que comprende uno o más cajas

de laminación y un tren acabador de múltiples cajas. El lingote fundido delgado tiene un espesor inferior a 150 mm, generalmente en el intervalo de 35 a 80 mm. Esta barra se alimenta directamente desde la colada a un horno de homogeneización y se (re)calienta u homogeneiza a alta temperatura. Estos lingotes planos finos son posteriormente desincrustados por primera vez para eliminar la incrustación de horno y procesados en un tren desbastador que comprende una o varias cajas de laminación y de espesor reducido. El lingote laminado en bruto ahora podría denominarse barra de transferencia, pero es mucho más delgado que el del laminador de tira caliente convencional. Esta barra de transferencia se lamina hasta su espesor final laminado en caliente en un tren acabador de cajas múltiples. Antes de este laminado final, el lingote se vuelve a desincrustar para eliminar la incrustación que se formó en la barra de transferencia en el período entre el desbaste y el tiempo de retraso antes del laminado final. Después de terminar de laminar, la barra se enfría a la temperatura de enrollado en la mesa de salida y se enrolla. Un ejemplo de tal instalación es la instalación de colada de lingotes delgados y laminación directa de Tata Steel en IJmuiden.

Como tercera alternativa, existe la opción de colar un lingote delgado en una planta de fundición y laminación directa de lingote delgado en donde el tren de laminación consiste únicamente en un tren acabador de cajas múltiples. En esta alternativa, los lingotes planos delgados se desincrustan para eliminar la incrustación del horno y se procesan inmediatamente hasta su espesor final laminado en caliente en el tren acabador de cajas múltiples. En el contexto de esta invención, el lingote de colada fino desincrustado es la barra de transferencia. En este caso, el desincrustador después del horno de homogeneización puede ser la única desincrustación entre el (re)calentamiento y el laminado final. Después del laminado final, la barra se enfría a la temperatura de enrollado en la mesa de salida y se enrolla. Un ejemplo de una instalación de este tipo es la planta de colada de lingote delgado CSP y laminado directo de thyssenkrupp Steel en Duisburg.

En una realización de la invención, la barra de acero tiene una composición que comprende (en %)

C: 0.010-0.50	P: ≤ 0.100	Nb: ≤ 0.30
Mn: 0.80-6.00	S: ≤ 0.050	V: ≤ 0.50
N: 0.001-0.030	B: ≤ 0.0100	Ca: ≤ 0.050
Si: 0.10-3.00	O: ≤ 0.008	Ni ≤ 2.0
Cr: ≤ 4.00	Ti: ≤ 0.30	Cu ≤ 2.0
Al: ≤ 3.00	Mo: ≤ 1.00	W ≤ 0.50

el resto es hierro e impurezas inevitables.

Estos aceros permiten muy buenas propiedades mecánicas después de un proceso de conformado en caliente, mientras que durante el conformado en caliente por encima de Ac1 o Ac3 son muy conformables. Se observa que uno o más de los elementos opcionales también pueden estar ausentes, es decir, la cantidad del elemento es 0 % en peso o el elemento está presente como una impureza inevitable.

En una realización preferida, la barra de acero tiene una composición que comprende (en %)

C: 0.040-0.25	P: ≤ 0.020	Nb: ≤ 0.30
Mn: 0.80-3.00	S: ≤ 0.005	V: ≤ 0.50
N: ≤ 0.0120	B: ≤ 0.0050	Ca: ≤ 0.050
Si: $\leq 0.10-2.00$	O: ≤ 0.008	Ni ≤ 0.050
Cr: ≤ 1.00	Ti: ≤ 0.30	Cu ≤ 0.050
Al: ≤ 1.50	Mo: ≤ 0.50	W ≤ 0.020

el resto es hierro e impurezas inevitables. Los grados típicos de acero de alta resistencia se dan en la tabla A.

En una realización preferida, la barra de acero tiene una composición que comprende (en %)

C: 0.10-0.25	P: ≤ 0.020	Nb: ≤ 0.30
Mn: 1.40-2.40	S: ≤ 0.005	V: ≤ 0.50
N: ≤ 0.0100	B: ≤ 0.0050	Ca: ≤ 0.050
Si: $\leq 0.10-0.40$	O: ≤ 0.008	Ni ≤ 0.050
Cr: ≤ 1.00	Ti: ≤ 0.30	Cu ≤ 0.050
Al: ≤ 1.50	Mo: ≤ 0.50	W ≤ 0.020

el resto es hierro e impurezas inevitables.

Dado que el contenido de silicio es el principal factor que contribuye a la composición química en el método de acuerdo con la invención, los intervalos de los otros elementos son intercambiables y pueden considerarse de manera independiente a la luz del problema que resuelve esta invención. Claramente, los otros elementos afectan otras propiedades, como las propiedades mecánicas, pero desde el punto de vista de la calidad de la superficie son características independientes.

En una realización, el aspecto de la superficie de la barra de acero laminada en caliente es uniforme a lo largo de la anchura y la longitud de la barra. El principio del método se basa en una medición de la línea central como se describe, pero como la intención es que las condiciones de procesamiento sean lo más homogéneas posible en el ancho y el largo de la barra la realización preferida debe garantizar la uniformidad de la apariencia de la superficie sobre el ancho y el largo de la barra.

En una realización, la barra de transferencia se desincrusta inmediatamente antes de entrar en la primera caja de laminación del tren acabador. Esto asegura que la superficie de la barra de transferencia esté libre de óxido al comienzo del laminado de acabado. Para evitar aún más la formación de óxido que se pega, es preferible que el lingote grueso o delgado colado se desincruste inmediatamente antes de entrar en la primera caja de laminación del tren desbastador.

Como se usa aquí, una tira laminada en caliente generalmente se refiere a un producto de acero, generalmente suministrado como un producto enrollado. El espesor de la barra puede oscilar entre 1 y 25 mm, según el proveedor y el tipo de aplicación del acero. Las barras se pueden cortar en segmentos más pequeños, como láminas. Preferiblemente, el grosor de la barra en el método de acuerdo con la invención es inferior a aproximadamente 8.0 mm, inferior a 7.0 mm, inferior a 6.0 mm o inferior a 5.0 mm. Preferiblemente, la barra o lámina de acero producida de acuerdo con el método inventado tiene un espesor de 4.0 mm como máximo.

La barra de acero se puede utilizar en su estado laminado en caliente, o como barra decapada y aceitada, pero en muchos casos la barra de acero estará protegida contra la corrosión mediante la aplicación de una capa de recubrimiento. En una realización, la tira laminada en caliente se proporciona con un recubrimiento metálico mediante recubrimiento por inmersión en caliente o mediante galvanoplastia o con un recubrimiento mediante deposición física de vapor. En la mayoría de los casos, la barra laminada en caliente se decapa antes de la aplicación de la incrustación laminada en caliente de recubrimiento de la superficie de la barra. El recubrimiento que se aplica por deposición física de vapor suele ser un recubrimiento metálico, pero también puede ser un recubrimiento no metálico.

En una realización, la tira laminada en caliente producida de acuerdo con la invención se lamina en frío posteriormente a una tira laminada en frío. En la mayoría de los casos, la tira laminada en caliente se decapa antes de aplicar el laminado en frío para eliminar la incrustación laminada en caliente de la superficie de la barra. En muchos casos, la tira laminada en caliente se lamina en frío hasta una tira laminada en frío y posteriormente se recoce para producir una tira recocida que tiene una microestructura recristalizada o recuperada. En una realización, la tira laminada en frío y subsiguientemente recocida se proporciona posteriormente con un recubrimiento metálico mediante recubrimiento por inmersión en caliente, mediante galvanoplastia o con un recubrimiento mediante deposición física de vapor. El recubrimiento que se aplica por deposición física de vapor suele ser un recubrimiento metálico, pero también puede ser un recubrimiento no metálico.

En una realización preferible, el recubrimiento metálico se selecciona del grupo de recubrimientos que comprenden o consisten en (Zn, Zn-Al, Zn-Mg-Al, Al-Si, Sn, Cr, Ni).

El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la barra de acero laminado en caliente, después de enfriarse a temperatura ambiente y antes del laminado en frío opcional, se decapa para eliminar los óxidos presentes después del laminado en caliente y el enfriamiento de la barra desde la superficie para obtener una superficie uniforme y libre de óxido sin incrustaciones residuales.

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención también se realiza en una tira laminada en caliente producida de acuerdo con el método de acuerdo con la invención o en una barra de acero laminada en frío producida de acuerdo con el método de acuerdo con la invención.

Ejemplos

Tabla A - Grados típicos de acero de alta resistencia (% en peso)

Acero	C	Si	Mn	Cr	Al	Ti	B	N	V
A	0.09	0.25	1.6	0.5	0.03	0.02	0.0005	0.005	0.03
B	0.12	0.25	1.82	0.6	0.03	0.02	0.0005	0.005	0.03

Acero	C	Si	Mn	Cr	Al	Ti	B	N	V
C	0.15	0.1	2.1	0.1	0.7	0.02	0.002	0.005	0.03
D	0.15	0.4	2.1	0.5	0.6	0.02	0.002	0.005	0.03
E	0.16	0.1	2.4	0.5	0.03	0.04	0.0005	0.005	0.03
F	0.22	1.8	2.1	0.1	0.03	0.04	0.0005	0.005	0.03

En la Figura 3 se presentan los resultados de los ensayos industriales. Se han laminado aceros que tienen un contenido de silicio de entre 0.10 y 0.40 % en peso y se han investigado las superficies resultantes laminadas en caliente. Los inventores encontraron que todos los valores por encima de la línea dieron como resultado la presencia de incrustación de óxido frágil, y los valores por debajo de la línea dieron como resultado incrustación de óxido dúctil. Con base en estas mediciones, se podrían derivar las ecuaciones (1) y (2), y se podrían producir barras de acero exitosas con un contenido de silicio entre 0.10 y 3.00 % en peso junto con un contenido de manganeso de al menos 1.40 % en peso con una excelente calidad superficial. Cualquier desviación de los tiempos entre el desincrustador del tren acabador y la primera caja del tren (F1) por encima del tiempo máximo calculado (t_{d-F1}) o por debajo de la temperatura mínima de entrada a la superficie (T) resultó en un deterioro de la calidad de la superficie.

A partir de los datos dentro de la región dúctil de la Figura 3, se pueden encontrar los valores límite para una buena calidad de superficie. Tres variables principales definen el procedimiento para evitar la fractura de óxido: contenido de Si en el acero (Si, % en peso), tiempo entre el desincrustador y la primera caja del tren acabador (t_{d-F1} , s) y la temperatura promedio a lo largo de la bobina a la salida del tren acabador (T, ° C). El tiempo y la temperatura se miden sobre la línea central del molino y, por lo tanto, de la barra. La temperatura a lo ancho debe ser preferiblemente lo más homogénea posible y preferiblemente similar al valor de la línea central. De esta forma se maximiza la posibilidad de que los bordes y el centro de la barra tengan una buena calidad de superficie.

Una barra producida como tal que satisfaga las dos condiciones siguientes tendrá una buena superficie en los lugares donde se cumplan estas condiciones:

$$T (^{\circ} \text{C}) > 41.823 \ln(\% \text{ en peso Si}) + 980.4 \quad (1)$$

$$T_{d-F1} (\text{s}) < -0.603 \ln(\% \text{ en peso Si}) + 4.8731 \quad (2)$$

El intervalo de Si está entre 0.10 % en peso y 3.00 % en peso. Siempre que se cumplan estas condiciones, se puede esperar una buena calidad superficial.

Cuando se grafica en un gráfico xy, como en la Figura 4, la temperatura de la tira a la salida de la última caja en el laminado del tren acabador (T) debe estar por encima de la línea representada por la ecuación (1) Y el tiempo entre el desincrustado y la entrada en la primera caja del tren acabador (t_{d-F1}) debe estar por debajo de la línea definida por la ecuación (2).

Cabe señalar que la temperatura de la barra a la salida del tren acabador y, por lo tanto, la temperatura promedio a lo largo de la bobina a la salida del tren acabador es una consecuencia directa de la temperatura de entrada, y la velocidad de entrada y cualquier enfriamiento durante y entre las cajas. Variables como el espesor final de la barra y el programa de reducción en las distintas cajas de laminación del tren acabador se utilizan como entrada para determinar el tiempo entre el desincrustador y F1 y la temperatura de entrada para llegar a la temperatura de salida deseada.

También se debe tener en cuenta que la decisión de si una superficie es buena o mala es algo arbitraria. La Figura 4 da un ejemplo de buena (imagen superior) y mala calidad (imagen inferior). El acero era un acero 0.14 % de C; 2.1 % de Mn; 0.2 % de Si; 0.25 % de Cr. El acero de la imagen superior se produjo bajo las condiciones prescritas por las ecuaciones (1) y (2), y el acero de la imagen inferior no. La diferencia en la calidad de la superficie es llamativa. La calidad de la superficie del acero en la imagen superior es perfectamente adecuada para un procesamiento posterior, mientras que la calidad de la superficie del acero en la imagen inferior es tal que la reparación de la superficie durante el procesamiento posterior es prácticamente imposible. Es muy probable que el acero de la imagen inferior sea rechazado o degradado.

Breve descripción de los dibujos

Figura 1. Esquema de la transición entre el comportamiento dúctil y frágil por tipo de óxido de hierro (Adaptado de Hidaka, Y., Anraku, T. y Otsuka, N. Tensile deformation of iron oxides at 600-1250 C. Oxid. Met. 58, 469-485 (2002)).

5 La Figura 2 muestra un dibujo esquemático del principio detrás de la invención. En el dibujo se muestran dos barras con los datos T-d para cada una de las 7 cajas del tren acabador, así como la línea que separa las buenas condiciones de las malas (T= temperatura superficial a la entrada de mordida del rodillo, d= espesor de óxido antes de mordida de rodillo). Se espera que la tira que tiene todas las cajas por debajo de la línea tenga una buena superficie, mientras que las que están por encima de la línea no la tendrán. Los números en el dibujo representan las cajas.

La figura 3 muestra datos industriales de aceros que tienen un contenido de silicio de entre 0.10 y 0.40 % en peso en función de un espesor de incrustación de óxido equivalente calculado (d_{calc}) que ingresa a cada caja del tren acabador y temperatura superficial calculada (T). Los triángulos representan mala superficie, los círculos representan buena superficie.

10 La figura 4 muestra una representación gráfica de las ecuaciones (1) y (2) en función del contenido de silicio del acero.

La figura 5 muestra la calidad superficial de un acero producido de acuerdo con la invención (imagen superior) y del mismo acero no producido de acuerdo con la invención (imagen inferior).

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir tiras de acero laminadas en caliente a partir de lingotes gruesos o delgados colados continuamente que comprenden Si entre 0.10 y 3.00 % en peso y al menos 0.80 % en peso de Mn, comprendiendo el método calentar o recalentar el lingote hasta una temperatura de recalentamiento de al menos 1100 ° C en un horno de recalentamiento u homogeneización, opcionalmente, laminación en caliente del lingote a una barra de transferencia en un tren desbastador que consiste en una o más cajas de laminación en bruto, transferencia del lingote o barra de transferencia a un tren acabador en tándem que consta de una pluralidad de cajas de laminación del tren acabador, desincrustación del lingote o barra de transferencia en un desincrustador, y laminado del lingote o barra de transferencia desincrustado en dicha pluralidad de caja de laminación del tren acabador hasta una tira laminada en caliente que tiene un espesor final de menos de aproximadamente 8.0 mm, en donde la temperatura de la tira a la salida de la última caja en el tren de laminación de acabado T está determinada por $T (^{\circ} \text{C}) > 41.823 \ln(\% \text{ en peso de Si}) + 980.4$ y el tiempo entre el desincrustador y la primera caja de laminación del tren acabador t_{d-F1} está determinada por $t_{d-F1} (\text{s}) < -0.603 \ln(\% \text{ en peso de Si}) + 4.8731$.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo el método el laminado en caliente del lingote a una barra de transferencia en un tren desbastador que consta de uno o más cajas de laminación en bruto.
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde la lámina de acero tiene una composición que comprende (en % en peso)
- | | | |
|-----------------------|------------------|------------------|
| C: 0.040-0.25 | P: ≤ 0.020 | Nb: ≤ 0.30 |
| Mn: 0.80-3.00 | S: ≤ 0.005 | V: ≤ 0.50 |
| N: ≤ 0.0120 | B: ≤ 0.0050 | Ca: ≤ 0.050 |
| Si: ≤ 0.10 -2.00 | O: ≤ 0.008 | Ni ≤ 0.050 |
| Cr: ≤ 1.00 | Ti: ≤ 0.30 | Cu ≤ 0.050 |
| Al: ≤ 1.50 | Mo: ≤ 0.50 | W ≤ 0.020 |
- el resto es hierro e impurezas inevitables.
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aspecto de la superficie de la barra de acero laminado en caliente es uniforme a lo largo de la anchura y la longitud de la barra.
5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la barra de transferencia o lingote se desincrusta inmediatamente antes de entrar en la primera caja de laminación del tren acabador.
6. El método de acuerdo con la reivindicación 2 o una de las reivindicaciones 3-5 cuando dependiendo de la reivindicación 2, en donde el lingote grueso o delgado fundido se desincrusta inmediatamente antes de entrar en la primera caja de laminación del tren desbastador.
7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el grosor final de la tira laminada en caliente es como máximo de 4.0 mm.
8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la tira laminada en caliente se proporciona con un recubrimiento metálico mediante recubrimiento por inmersión en caliente o mediante galvanoplastia o con un recubrimiento mediante deposición física de vapor.
9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la tira laminada en caliente se lamina en frío a una tira laminada en frío.
10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la tira laminada en caliente se lamina en frío a una tira laminada en frío y posteriormente se recoce para producir una tira recocida que tiene una microestructura recristalizada o recuperada.
11. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la tira laminada en caliente se lamina en frío a una tira laminada en frío y, posteriormente, el recocido produce una tira recocida que tiene una microestructura recristalizada o recuperada que posteriormente se proporciona con un recubrimiento metálico por recubrimiento por inmersión en caliente, por galvanoplastia o por deposición física de vapor.
12. El método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde la tira laminada en frío y opcionalmente recocida se proporciona con un recubrimiento metálico mediante galvanoplastia.
13. El método de acuerdo con la reivindicación 8 u 11, en donde el recubrimiento se selecciona del grupo de recubrimientos que consta de (Zn, Zn-Al, Zn-Mg-Al, Al-Si).

14. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el recubrimiento se selecciona del grupo de recubrimientos que consta de (Zn, Zn-Al, Zn-Mg-Al, Al-Si, Sn).

5 15. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la lámina de acero laminada en caliente, después de enfriarse a temperatura ambiente y antes del laminado en frío opcional, se decapa para eliminar los óxidos de la superficie y obtener una superficie uniforme y libre de óxido sin incrustación residual.

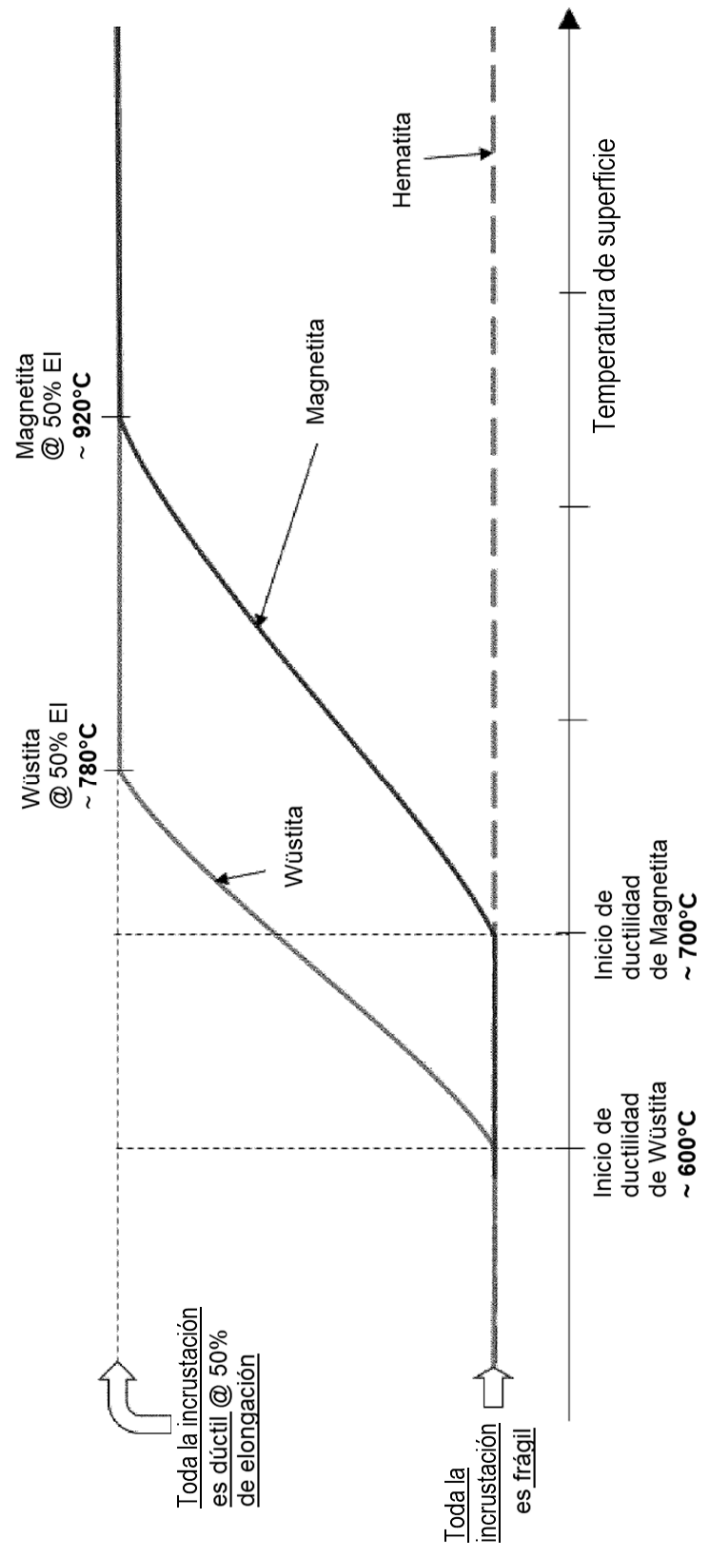


FIGURA 1

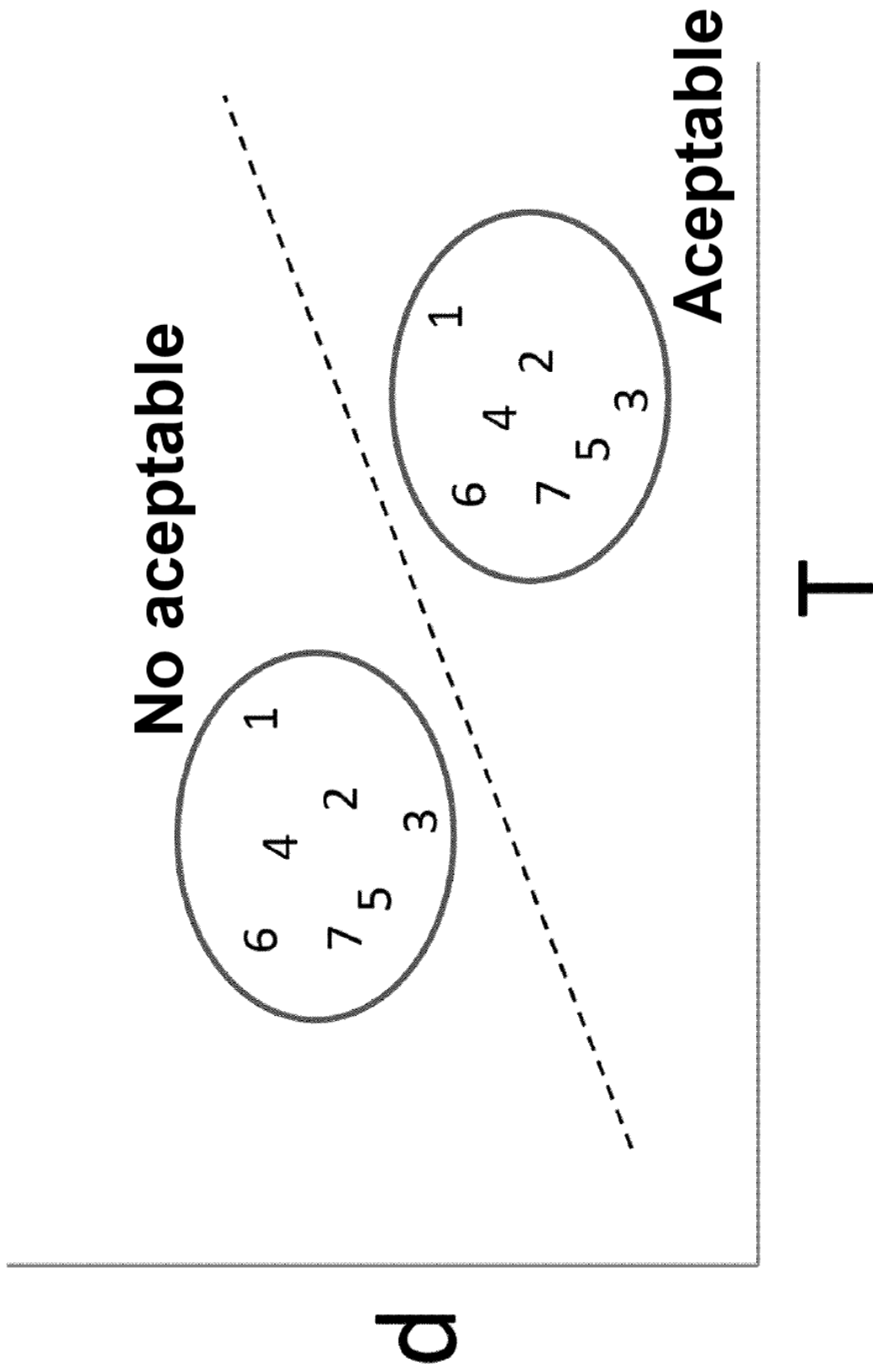


FIGURA 2

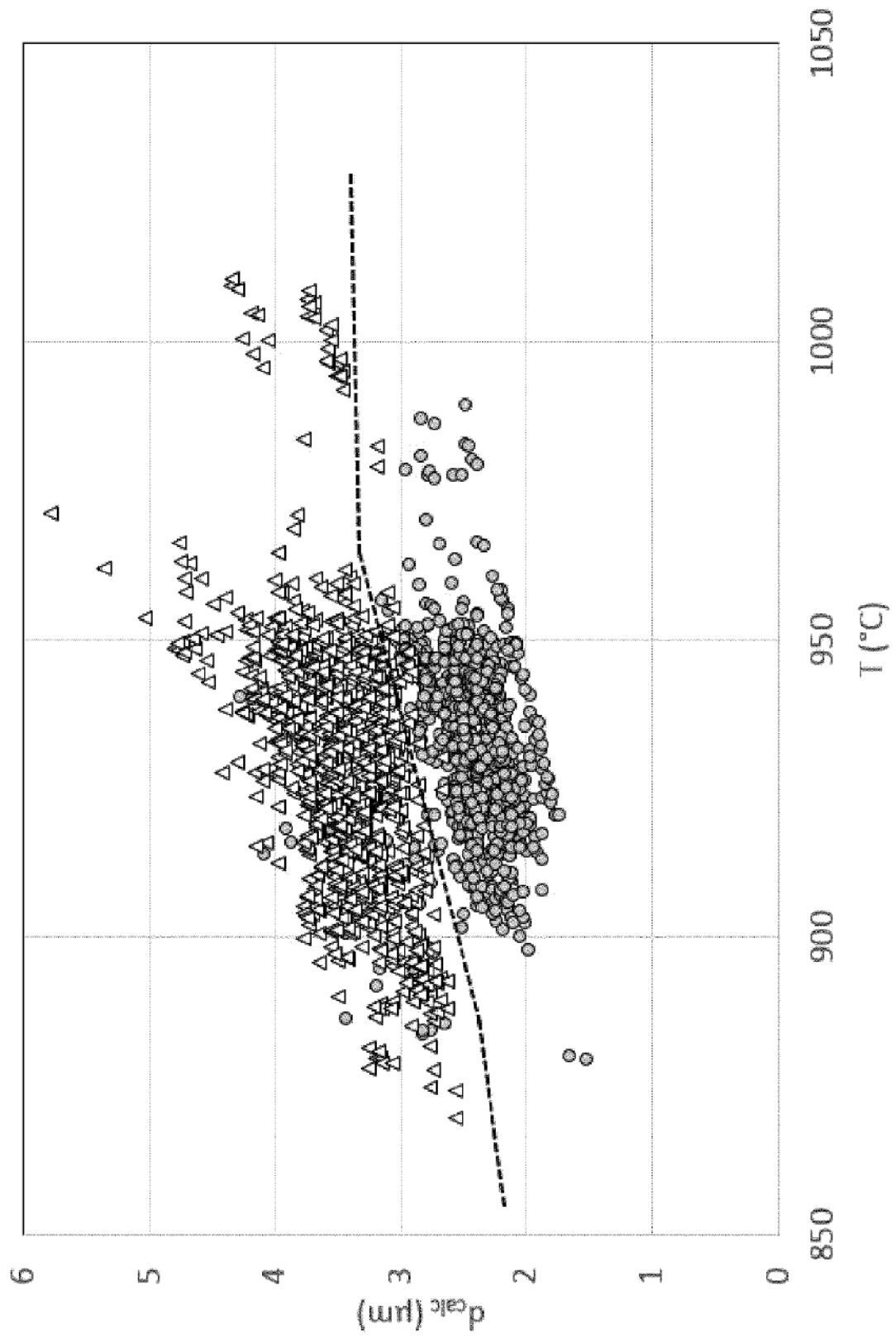


FIGURA 3

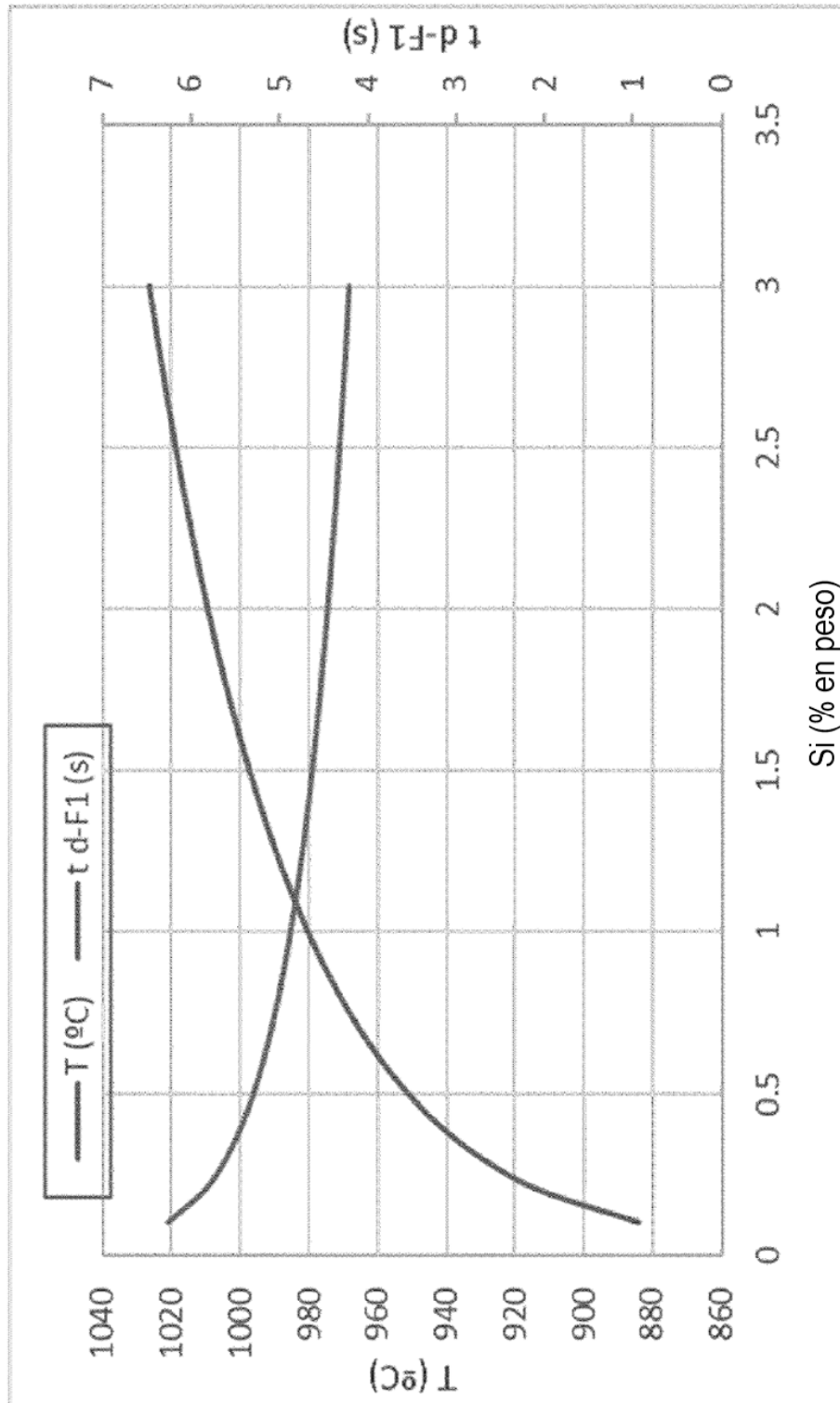


FIGURA 4

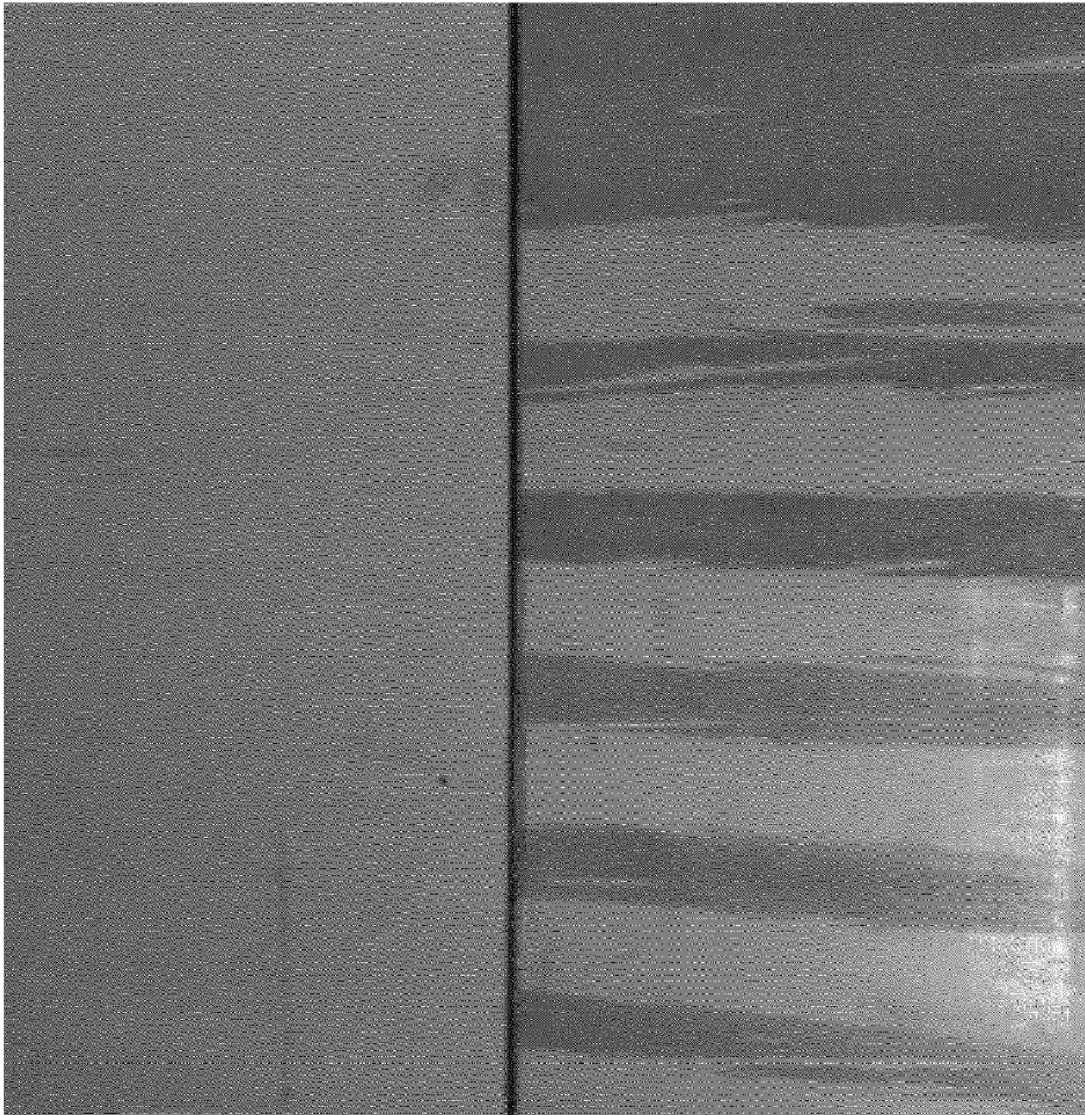


FIGURA 5