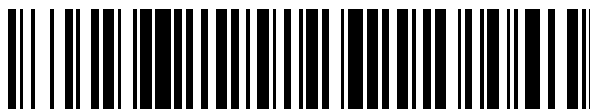


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 724 456**

51 Int. Cl.:

B21B 37/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.12.2013** **PCT/IB2013/002865**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2015** **WO15097488**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.12.2013** **E 13824153 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.02.2019** **EP 3086889**

54 Título: **Procedimiento de laminación en caliente, laminador en caliente y producto de programa informático para la implementación de tal procedimiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.09.2019

73 Titular/es:

ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU

72 Inventor/es:

MORETTO, CHRISTIAN;
PETHE, NICOLAS y
COUTURIER, ANDREY

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 724 456 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

Procedimiento de laminación en caliente, laminador en caliente y producto de programa informático para la implementación de tal procedimiento

5

[0001] La invención se refiere a la laminación en caliente de productos metalúrgicos. Más específicamente se refiere a un procedimiento para la regulación de, al menos, un parámetro del procedimiento de laminación en caliente.

[0002] El siguiente texto toma como ejemplo la laminación en caliente de bandas de acero, aunque la invención es aplicable a la laminación en caliente de otros productos metalúrgicos, particularmente del aluminio o sus aleaciones.

10

[0003] Habitualmente, las bandas de acero laminados en caliente se fabrican según el siguiente esquema:

- fundición continua de una plancha que tiene un espesor de 200 a 260 mm;
- 15 - recalentamiento de la plancha a una temperatura de aproximadamente 1100-1200 °C;
- paso de la plancha a través de un laminador desbastador que comprende una sola caja reversible o una pluralidad de cajas independientes (por ejemplo, cinco) dispuestas en una fila una tras otra, para obtener una banda que tiene un espesor de aproximadamente 30 a 50 mm;
- paso de la banda a través de un laminador de acabado que comprende una pluralidad de cajas (por ejemplo, seis o
- 20 siete) en las que la banda está presente de forma simultánea, para conferirle un espesor de aproximadamente 1,5 a 10 mm, seguido del enrollamiento de la banda.

[0004] La banda laminada en caliente obtenida de este modo, puede entonces recibir tratamientos térmicos o mecánicos que le aportarán sus propiedades definitivas, o puede someterse a una laminación en frío que reducirá

25

[0005] Durante la laminación en caliente de las bandas de acero, en cada caja de la línea de acabado, la banda de acero se somete a una secuencia térmica y mecánica bien definida (reducción, temperatura) que está influenciada por la fricción entre los rodillos de trabajo y la banda en el huelgo entre los rodillos. Esta secuencia tiene una gran

30

[0006] Por lo tanto, la capacidad de controlar y dirigir la fricción en el huelgo entre rodillos (cilindros) es de gran importancia. Un coeficiente de fricción demasiado alto conduce a un consumo excesivo de energía y a un rápido deterioro de los rodillos, así como a defectos superficiales en la banda. Por el contrario, un coeficiente de fricción

35

[0007] La regulación del coeficiente de fricción está garantizada, particularmente, por medio del proceso de lubricación.

40

[0008] Actualmente, la lubricación se realiza generalmente al nivel de cada caja del laminador mediante la inyección de una emulsión compuesta por agua y un líquido lubricante, convencionalmente aceite, en el cilindro al nivel del huelgo, véase, por ejemplo, el documento US-A-3605473.

45 **[0009]** La necesidad de contar con una lubricación eficaz es aún mayor con el laminado de los nuevos grados de acero THR (de muy alta resistencia, generalmente entre 450 y 900 MPa) o UHR (de ultra alta resistencia, generalmente superior a 900 MPa), y/o de los nuevos formatos, por ejemplo, espesores de banda inferiores a 3 mm. De hecho, estos aceros, tales como USIBOR®, o los aceros de fase dual, son naturalmente más duros y requieren la aplicación de una mayor fuerza de laminación, lo que reduce la capacidad del laminador. Estos aceros también pueden

50

[0010] Además, en los actuales procedimientos de laminación, para evitar el riesgo de no acoplamiento de la banda en el huelgo entre los cilindros como consecuencia debido a un coeficiente de fricción demasiado alto, la inyección de la emulsión lubricante se desactiva durante la laminación desde el comienzo de la banda. De la misma manera, para evitar que la siguiente banda no pueda acoplarse a causa de la presencia de la emulsión lubricante sobre los cilindros, la inyección de la emulsión lubricante se desactiva durante la laminación de la cola de la banda anterior. Estas dos porciones, que, por lo tanto, se laminan sin lubricante, deben eliminarse debido a que no tienen el espesor requerido, lo que representa una pérdida de varios metros de banda (de 5 a 10 metros de banda por caja) y,

60

[0011] A fin de garantizar una lubricación eficaz y, por consiguiente, para regular el coeficiente de fricción a modo de evitar los incidentes en la laminación, tal como deslizamiento o no acoplamiento de la banda se han propuesto numerosas soluciones.

65

[0012] El documento JP-A-2008264828 describe un procedimiento de laminación en caliente en el que los rodillos de trabajo están recubiertos con una capa de revestimiento que tiene una composición específica para garantizar un cierto valor del coeficiente de fricción.

5 **[0013]** El documento JP-A-2005146094 describe un procedimiento de laminación en caliente en el que se evita que la banda se deslice mediante el uso de un aceite lubricante que tiene una composición particular.

[0014] Sin embargo, estas soluciones no permiten regular de forma continua el coeficiente de fricción durante la laminación. De hecho, el coeficiente de fricción depende, entre otras cosas, del tipo de material que constituye la
10 banda que se laminará, el estado de los cilindros de trabajo (rugosidad, deterioro, cascarilla, etc.), la velocidad de laminación y el porcentaje de reducción que debe alcanzarse. Además, la eficacia de la lubricación puede ser muy diferente entre el principio y el final de un ciclo de laminación, e incluso de un tren a otro y de una caja a otra en el mismo tren. Sin embargo, ninguna de las dos soluciones propuestas permite considerar las variaciones de estos parámetros durante el procedimiento.

15 **[0015]** El documento JPH-A-1156410 describe un procedimiento en el que la fuerza de agarre de los cilindros de laminación se mide por un sensor, y a continuación, la cantidad de aceite lubricante inyectado se ajusta de manera que la fuerza de laminación medida sea igual a un valor objetivo.

20 **[0016]** Esta solución pretende ajustar el coeficiente de fricción durante el procedimiento, pero no tiene en cuenta el conjunto de parámetros que dependen del coeficiente de fricción, lo que hace que sea menos eficaz. Además, esta solución implica riesgos significativos de inestabilidad durante el procedimiento de laminación, tales como variaciones de la velocidad o de la tracción, si se ha de aportar una gran cantidad de lubricante para obtener la fuerza necesaria.

25 **[0017]** Por consiguiente, el propósito de la invención es proporcionar un procedimiento de laminación en el que el coeficiente de fricción se regule de forma fiable y eficaz durante la producción para evitar percances en la laminación y para lograr un rendimiento óptimo. El propósito de la invención es también preferentemente proporcionar un procedimiento que reduzca la inestabilidad del procedimiento de laminación y que permita lubricar la banda en toda
30 su longitud.

[0018] A estos efectos, un primer objeto de la invención es un procedimiento de regulación según la reivindicación 1.

35 **[0019]** Este procedimiento de regulación también puede comprender las características en las reivindicaciones 2 a 7, consideradas individualmente o en combinación.

[0020] Un objeto adicional de la invención es un procedimiento de laminación según la reivindicación 8.

40 **[0021]** Este procedimiento de laminación también puede comprender las características en las reivindicaciones 9 a 13, consideradas individualmente o en combinación.

[0022] Un objeto adicional de la invención es un laminador en caliente según la reivindicación 14.

45 **[0023]** Este laminador también puede comprender las características de la reivindicación 15.

[0024] Un objeto adicional de la invención es un producto de programa informático según la reivindicación 16.

50 **[0025]** Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes tras la lectura de la siguiente descripción.

[0026] Para ilustrar la invención, se han realizado ensayos que se describirán a modo de ejemplos no limitativos, particularmente con referencia a las figuras que muestran:

- 55 - La figura 1 muestra un laminador de dos cajas equipadas de una realización de un dispositivo de regulación de acuerdo con la invención,
- La figura 2 muestra las diferentes variables usadas en una realización de un procedimiento de regulación según la invención
- La figura 3 muestra un esquema de regulación según una primera realización de la invención
- 60 - La figura 4 muestra un esquema de regulación según una segunda realización de la invención
- La figura 5 muestra el inicio de la inyección de aceite y el par motor en función del tiempo durante una prueba que usa

un procedimiento de regulación según la invención

- 65 - La figura 6 muestra el espesor de la banda laminada en la salida de la caja en función del tiempo durante una prueba

que usa un procedimiento de regulación según la invención.

[0027] La figura 1 muestra una banda metálica B en el transcurso de la laminación en un laminador que comprende dos cajas 1, 2 en las que la banda B está simultáneamente bajo la influencia, por ejemplo, de un laminador de acabado para la laminación en caliente de las bandas de acero. Los laminadores de este tipo generalmente comprenden 5, 6 o 7 cajas. Cada una de las cajas 1, 2 comprende convencionalmente dos rodillos de trabajo 1a, 1a' y 2a, 2a' y dos cilindros de respaldo 1b, 1b' y 2b, 2b'. Cada caja está activada por un par motor C₁, C₂ (no mostrados). La distancia entre los dos cilindros de trabajo, respectivamente 1a-1a' y 2a-2a' se denomina huelgo S (no mostrado) y se regula por medio de tornillos tensores 7.

[0028] La lubricación de los cilindros se asegura a nivel de cada una de las cajas por medio de un dispositivo de inyección 3, tal como, por ejemplo, boquillas pulverizadoras que permiten pulverizar una emulsión de aceite y agua.

[0029] Según una realización de la invención, un dispositivo de medición de velocidad 4 se dispone a la salida de la primera caja en la dirección de desplazamiento de la banda, este dispositivo 4 permite medir la velocidad de la banda a medida que sale de la caja v_{salida}. Este dispositivo puede ser, a modo de ejemplo, un dispositivo de medición óptica, tal como un velocímetro láser. Esta medición de velocidad permite calcular en tiempo real el deslizamiento hacia delante (FWS) a partir de la siguiente fórmula:

$$FWS = \frac{v_{salida} - v_{caja}}{v_{caja}} \quad (\text{Fórmula 1})$$

[0030] En la que:

- v_{salida} es la velocidad de la banda a la salida de la caja, por ejemplo, medida con la ayuda del dispositivo 4.
- v_{caja} es la velocidad lineal de los cilindros de trabajo calculada según la siguiente fórmula:

$$v_{caja} = \omega R \quad (\text{Fórmula 2})$$

donde R es el radio del cilindro de trabajo y ω es la velocidad angular de los cilindros de trabajo medida, por ejemplo, por un generador de impulsos

[0031] Las velocidades v_{salida} y v_{caja} pueden expresarse en cualquier unidad de velocidad, aunque ambas deben expresarse en esta misma unidad. Del mismo modo, la unidad en la que se expresa la velocidad angular ω debe ser similar a la unidad en la que se expresa la v_{caja}.

[0032] También de acuerdo con una realización de la invención, un dispositivo de medición de fuerza 5 que permite medir en tiempo real la fuerza de agarre F de los cilindros de trabajo también se proporciona al nivel de cada caja. Estos dispositivos, que se conocen bien por un experto en la técnica, pueden ser, por ejemplo, extensímetros instalados en los soportes de la caja o en los tornillos tensores 7.

[0033] Los datos medidos de la fuerza de agarre F y la velocidad de la banda a la salida de la caja v_{salida} se transmiten a una unidad de procesamiento 6, que puede entonces, en función de estas mediciones y de otros parámetros registrados de antemano, enviar la configuración, por ejemplo, a las boquillas de inyección de emulsión lubricante 3 o al tornillo tensor 7.

[0034] Una unidad de procesamiento 6 que permite la implementación de una primera realización del procedimiento de regulación según la invención, se describe a continuación con referencia a la figura 3.

[0035] La velocidad de la banda a la salida de la caja v_{salida} y la velocidad angular de los cilindros de trabajo ω se miden en línea y sus valores se envían a una primera calculadora 8. Esta primera calculadora 8 comprende al menos una memoria interna en la que el valor del radio R de los cilindros de trabajo se almacena, lo que permite el cálculo de la velocidad lineal de los cilindros de trabajo v_{caja} y después el valor de la relación de deslizamiento hacia delante FWS según la fórmula 1.

[0036] El valor calculado FWS se transmite entonces a una segunda calculadora 9 que también recibe como datos de entrada el valor de la fuerza de agarre F medida en tiempo real por el sensor 5. Esta segunda calculadora comprende al menos una memoria interna en la que se almacenan los parámetros P₁. Estos parámetros P₁ dependen del modelo seleccionado para el cálculo del coeficiente de fricción μ_{real}.

[0037] Diferentes modelos simplificados pueden adaptarse para obtener el cálculo del coeficiente de fricción μ_{real} a partir de los valores de la relación de deslizamiento hacia delante FWS y de la fuerza de agarre F. Estos modelos son conocidos en líneas generales, pero no en su aplicación particular tal como se describe en la invención.

[0038] A modo de ejemplo, a continuación, se describirá el uso para los propósitos de la invención del modelo

Orowan, así como de otros modelos conocidos para un experto en la técnica, tal como el modelo de SIMS o Bland & Ford. Se describe la teoría general de cada uno de estos tres modelos, por ejemplo, en "The calculation of roll pressure in hot and cold flat rolling", E.Orowan, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, junio de 1943, vol.150, n.º 1 140-167 para el modelo de Orowan, "The calculation of roll force and torque in hot rolling mills", R.B. Sims, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, junio de 1954, vol.168, n.º1 191-200 para el modelo de Sims, "The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tensions", D.R. Bland et H. Ford, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, junio de 1948, vol.149, pág. 144, para el modelo de Bland & Ford.

[0039] Para calcular en tiempo real el coeficiente de fricción μ_{real} en tiempo real usando el modelo de Orowan, los parámetros P_1 son el espesor de entrada e_{entrada} y de salida e_{salida} de la banda, la tensión de entrada σ_{entrada} y de salida σ_{salida} de la banda, siendo estos parámetros, en el presente ejemplo, fijos al comienzo de la laminación, pero también pueden calcularse o medirse en tiempo real. Estos parámetros se ilustran en la figura 2.

[0040] A partir de estos datos, la segunda calculadora 9 también calcula el coeficiente de fricción μ_{real} , cuyos datos se transmiten a un procesador 10. El tiempo de cálculo de μ_{real} es inferior o igual a 100 ms y preferentemente inferior o igual a 50 ms.

[0041] Los datos de entrada del procesador 10 son μ_{real} un valor objetivo del coeficiente de fricción μ_{objetivo} determinado a partir de las gráficas o el modelado, en función del grado de acero de la banda laminada, el número de kilómetros de bandas laminadas en la instalación en cuestión, el desgaste de los rodillos, el tipo de aceite usado, etc., así como un parámetro α_0 . Este parámetro es el valor inicial del parámetro de procedimiento α que se usará para regular el coeficiente de fricción μ_{real} .

[0042] Este parámetro puede ser, a modo de ejemplo, el flujo de inyección Q_{aceite} del aceite lubricante. El valor inicial puede determinarse, por ejemplo, por medio de gráficas o por modelado.

[0043] El valor del coeficiente de fricción μ_{real} se compara entonces con el valor objetivo del coeficiente de fricción μ_{objetivo} . Si el valor absoluto de la diferencia entre estos dos valores $|\mu_{\text{objetivo}} - \mu_{\text{real}}|$ es superior a un valor predeterminado Δ , se calcula entonces un nuevo valor del parámetro α_n y se aplica de modo que el valor del coeficiente de fricción

calculado μ_{real} se lleve a un valor más cercano al valor objetivo μ_{objetivo} , cuyo propósito es evitar que la banda no se acople y evitar el deslizamiento si $\mu_{\text{real}} < \mu_{\text{objetivo}} + \Delta$ o el desgaste prematuro de los cilindros de trabajo y los defectos superficiales, en caso contrario. Por ejemplo, se podrá reducir o aumentar el flujo de inyección Q_{aceite} del aceite lubricante. Es preferible mantener el flujo de agua en la emulsión constante para consideraciones térmicas del enfriamiento del cilindro y del buen funcionamiento para garantizar que la emulsión inyectada cubra una gran parte del cilindro.

[0044] El tiempo que transcurre entre la medición de la velocidad de salida de la banda v_{salida} y la recepción de los ajustes α_n es inferior o igual a 500 ms, y preferentemente inferior o igual a 150 ms.

[0045] Esta serie de mediciones, cálculos y regulaciones también pueden repetirse hasta el final de la laminación de la banda en cuestión, y hasta el final del ciclo de trabajo de laminación.

[0046] La figura 4 muestra un esquema de regulación según una segunda realización de la invención.

[0047] La diferencia con la primera realización descrita anteriormente e ilustrada en la figura 3 es que los valores FWS y μ_{real} calculados por las calculadoras 8 y 9, respectivamente, se transmiten a un segundo procesador 11. Los datos de entrada de este segundo procesador son, por lo tanto, FWS, μ_{real} , así como un conjunto de parámetros P_2 . Estos parámetros P_2 dependen del modelo seleccionado para el cálculo del coeficiente de fricción μ_{real} .

[0048] Si se utiliza, como en la realización anterior, el modelo de Orowan, los parámetros P_2 son el espesor de entrada e_{entrada} y de salida e_{salida} de la banda, la tensión de entrada σ_{entrada} y de salida σ_{salida} de la banda, el radio R de los rodillos, siendo estos parámetros, en el presente ejemplo, fijos al comienzo de la laminación, pero también pueden calcularse o medirse en tiempo real. P_2 también incluye el módulo de deformación M de la caja de laminador en cuestión. Este módulo, que se expresa generalmente en t/mm, caracteriza la deformación elástica de la caja vinculada con la fuerza de laminación.

[0049] A partir de estos datos, el procesador calcula, por ejemplo, el valor de la fuerza de laminación F' que debe aplicarse para obtener el espesor e_{salida}

[0050] De hecho, el nuevo valor del parámetro α puede generar las modificaciones en otros parámetros y, por lo tanto, puede crear problemas como, por ejemplo, un menor espesor a la salida de la caja.

[0051] De hecho, si se modifica el flujo de aceite inyectado Q_{aceite} , el coeficiente de fricción μ_{real} se modifica,

por consiguiente, la fuerza F aplicada por el rodillo en la banda. Esto a su vez se traduce en una modificación del espesor e_{salida} de la banda a la salida de la caja, tal como se ilustra en la figura 5. Por lo tanto, es posible obtener espesores insatisfactorios a la salida de la caja. Si se produce este problema, entonces puede usarse el mismo modelo que el usado para calcular μ_{real} , pero en la dirección inversa. En este caso del modelo Orowan, los parámetros de espesor de entrada e_{entrada} , e_{salida} , de tensión σ_{entrada} , σ_{salida} , diámetro D , coeficiente de fricción objetivo μ_{objetivo} , y la relación de deslizamiento calculada FWS se ingresan para obtener de este modo la fuerza F' que se aplicará a la banda, y en consecuencia se modifica la variación necesaria del huelgo ΔS según la siguiente fórmula 3, y se corrigen entonces las posiciones del tornillo tensor 7 que definen el huelgo.

$$\Delta S \equiv \frac{F' - F}{M} \quad (\text{Fórmula 3})$$

10

En la que:

- F' es el valor de la fuerza de laminación calculada por el procesador 11.

- F es el valor de la fuerza laminación medida por el sensor 5.

15 - M es el módulo de deformación de la caja en cuestión.

[0052] Las unidades de estas tres variables deben ser similares entre sí y pueden estar, por ejemplo, en Newtons para las fuerzas F y F' , y N/mm para el módulo de deformación M .

20 **[0053]** Este mismo principio de cálculo por el modelo inverso puede usarse para controlar otros parámetros del procedimiento de laminación, tal como las tensiones aguas arriba y aguas abajo de la caja σ_{entrada} , σ_{salida} para evitar las alteraciones de la velocidad de la banda en la salida de la laminación.

[0054] Las unidades de procesamiento descritas anteriormente con referencia a las figuras 3 y 4 contienen diferentes elementos, tales como calculadoras o procesadores, pero también es posible contemplar que un mismo procesador permita llevar a cabo las diferentes operaciones de cálculo y consigna, o cualquier otra posible configuración que permita las etapas de cálculo y de consigna.

Ensayo

30

[0055] Un procedimiento de laminación en caliente según la invención se llevó a cabo con una banda de acero DWI (embutida, estirada y planchada), donde el aceite de lubricación usado era un aceite convencional comercialmente disponible.

35 **[0056]** Los resultados se ilustran en las figuras 5 y 6.

[0057] Como se ilustra en la figura 5, el flujo de inyección Q_{aceite} es cero durante la laminación del extremo delantero de la banda. Esa es una elección deliberada, debido a que esta prueba se dedica principalmente a la lubricación de la cola de la banda.

40

[0058] Por otra parte, puede observarse que el flujo de inyección de aceite Q_{aceite} se reguló hasta el final de la laminación de la banda, lo que significa que la cola de la banda también se laminó en presencia de lubricante, el cual no fue el caso en el estado de la técnica.

45 **[0059]** La figura 6 muestra el espesor de la banda a la salida de caja e_{salida} en función del tiempo de laminación. Se observará que hay una disminución en este espesor e_{salida} después de 10 segundos; esta disminución corresponde a lo que se ha explicado anteriormente. La modificación del flujo de aceite inyectado Q_{aceite} da como resultado en una modificación de la fuerza aplicada F , y en este caso en una importante reducción del espesor e_{salida} de la banda a medida que sale de la caja. Debido a la regulación ilustrada en la figura 4, se calcula una nueva fuerza de agarre F' y el huelgo S se modifica como consecuencia de obtener un espesor de salida e_{salida} según las expectativas del cliente. El aumento y el mantenimiento del espesor e_{salida} se muestran en esta figura 6.

50

[0060] Ni el deslizamiento, ni el acoplamiento incorrecto de la siguiente banda se produjeron durante este ensayo, lo que significa que el coeficiente de fricción se reguló de forma fiable y eficaz. Además, fue posible laminar la cola de la banda en presencia de lubricante sin ningún efecto sobre la laminación de la siguiente banda.

55

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para regular al menos uno de los parámetros (α) de un procedimiento de laminación en caliente de un semiproducto metálico en al menos una caja de laminador que comprende al menos dos cilindros de trabajo, comprendiendo el procedimiento de regulación las siguientes etapas:
 - calcular una relación de deslizamiento hacia delante (FWS) usando la siguiente ecuación:

$$FWS = \frac{|v_{salida} - v_{caja}|}{v_{caja}}$$
 donde v_{salida} es la velocidad del semiproducto a la salida de dicha caja y v_{caja} es la velocidad lineal de los cilindros de trabajo;
 - calcular una estimación de un coeficiente de fricción (μ_{real}) en función de un valor medido de la fuerza de agarre (F) de dichos cilindros de trabajo en la caja y de la relación de deslizamiento hacia delante (FWS) previamente calculada; y
 - regular al menos uno de los parámetros (α) a partir de la estimación calculada del coeficiente de fricción (μ_{real}).
2. Procedimiento de regulación según la reivindicación 1, en el que:
 - durante la etapa de cálculo de la estimación del coeficiente de fricción (μ_{real}), un valor objetivo del coeficiente de fricción ($\mu_{objetivo}$) es predeterminado, y el coeficiente de fricción (μ_{real}) se calcula en tiempo real;
 - durante la etapa de regulación, si $|\mu_{objetivo} - \mu_{real}|$ es superior a un valor predeterminado (Δ), el parámetro de proceso correspondiente (α) se ajusta de modo que $|\mu_{objetivo} - \mu_{real}| \leq$ se vuelva inferior o igual al valor predeterminado (Δ).
3. Procedimiento de laminación según la reivindicación 1 o 2, en el que antes de calcular la relación de deslizamiento hacia delante (FWS), se mide la velocidad (v_{salida}) del semiproducto a la salida de la caja, y el tiempo entre dicha medición de (v_{salida}) y el cálculo del coeficiente de fricción (μ_{real}) es inferior o igual a 100 ms.
4. Procedimiento de laminación según la reivindicación 3, en el que el tiempo entre la medición de v_{salida} y el cálculo de μ_{real} es inferior o igual a 50 ms.
5. Procedimiento de laminación según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo entre la medición de v_{salida} y la regulación de al menos uno de los parámetros del procedimiento de laminación en caliente (α) es inferior o igual a 500 ms.
6. Procedimiento de regulación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa de corrección, posterior a la etapa de regulación de al menos uno de los parámetros α del procedimiento, que consiste en regular la fuerza de agarre F en función de los valores de relación de deslizamiento hacia delante (FWS) y el coeficiente de fricción (μ_{real}) calculados.
7. Procedimiento de regulación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa de corrección, posterior a la etapa de regular al menos uno de los parámetros α del procedimiento, que consiste en regular las tensiones de entrada ($\sigma_{entrada}$) y de salida (σ_{salida}) de la banda en función de los valores calculados de la relación de deslizamiento hacia delante (FWS) y el coeficiente de fricción (μ_{real}).
8. Procedimiento de laminación en caliente de un semiproducto metálico en al menos una caja de laminación que comprende al menos dos cilindros de trabajo en los que al menos uno de los parámetros α del procedimiento se regula mediante un procedimiento de regulación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
9. Procedimiento de laminación según la reivindicación 8, en el que se inyecta una emulsión lubricante compuesta por aceite y agua en el huelgo de los cilindros de trabajo, y en el que al menos uno de los parámetros del procedimiento α es el flujo de inyección de dicho aceite (Q_{aceite}).
10. Procedimiento de laminación según una de las reivindicaciones 8 o 9, en el que el semiproducto metálico laminado es una banda de aluminio.
11. Procedimiento de laminación según una de las reivindicaciones 8 o 9, en el que el semiproducto metálico

laminado es una banda de acero.

12. Procedimiento de laminación según la reivindicación 11, en el que la banda de acero laminada es una banda de acero de muy alta resistencia o de ultra alta resistencia.

5

13. Procedimiento de laminación según la reivindicación 11 o 12, en el que la banda de acero se laminó hasta un espesor al final de la laminación inferior o igual a 3 mm.

14. Laminador en caliente que comprende medios para la implementación del procedimiento de laminación según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11.

10

15. Laminador en caliente según la reivindicación 14, en el que la velocidad del semiproducto v_{salida} a la salida de la caja se mide con la ayuda de un velocímetro láser.

15 16. Producto de programa informático que comprende instrucciones de software que, cuando se implementan mediante un ordenador, implementan el procedimiento de regulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

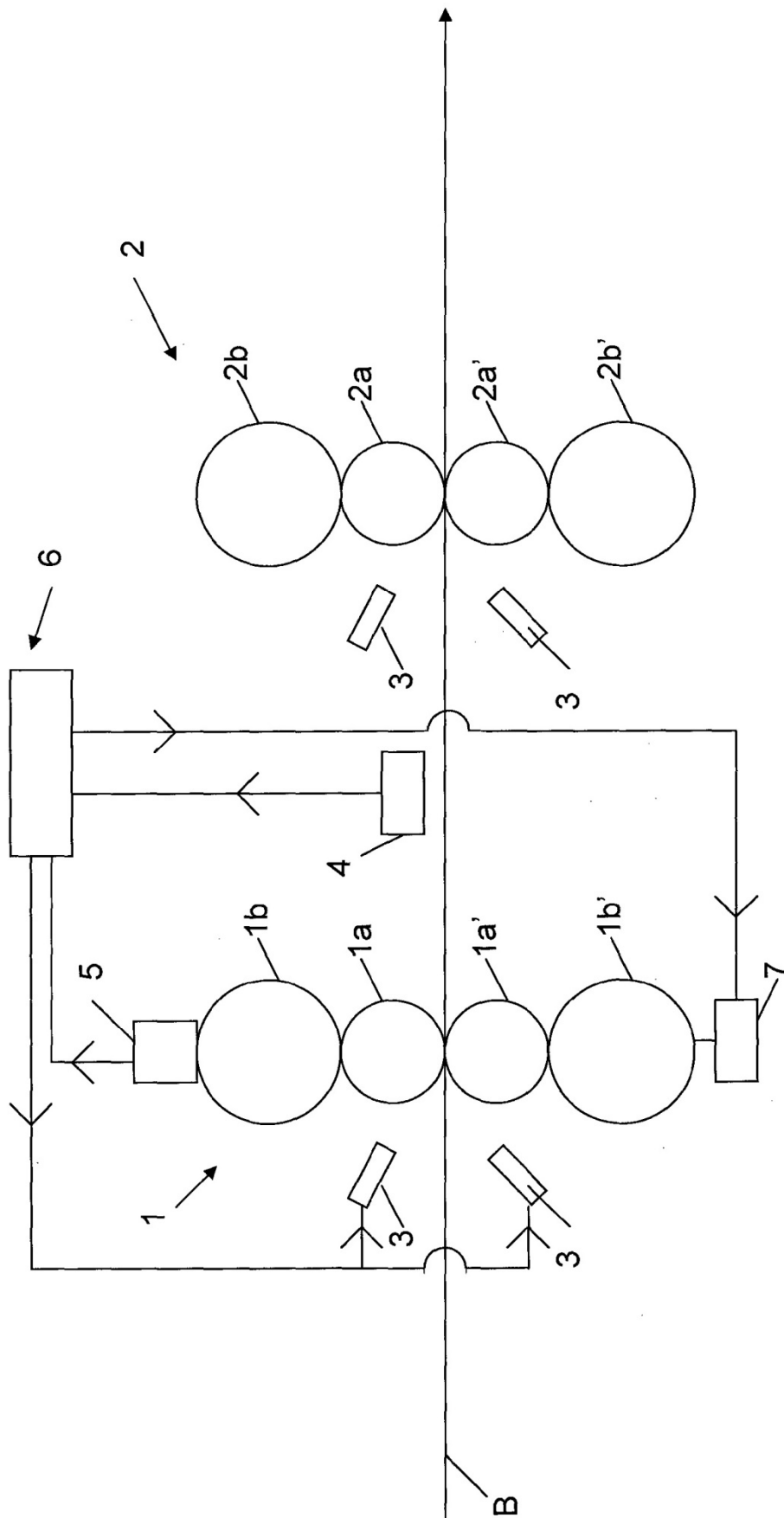


Figura 1

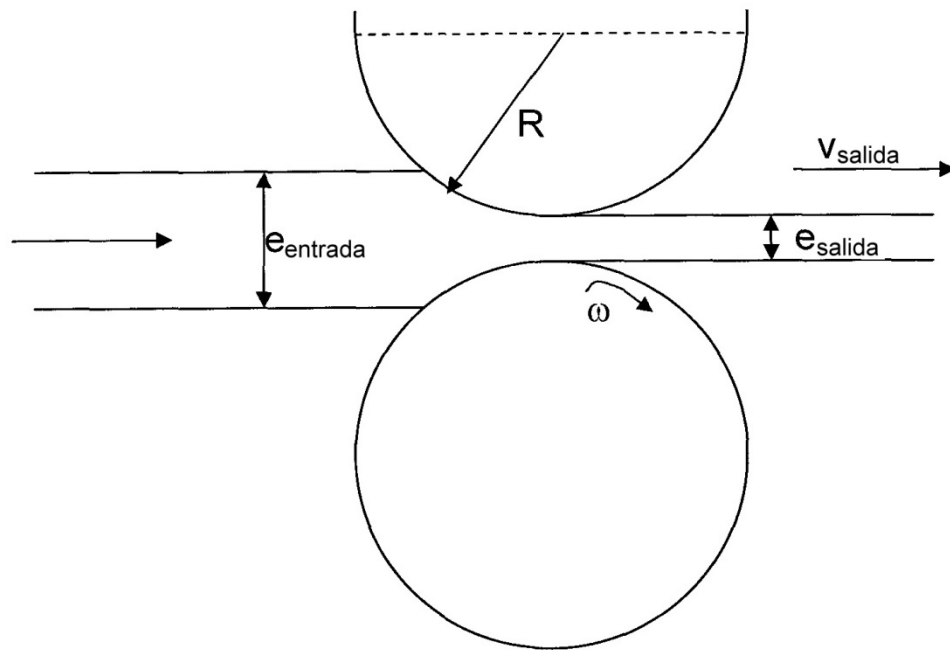


Figura 2

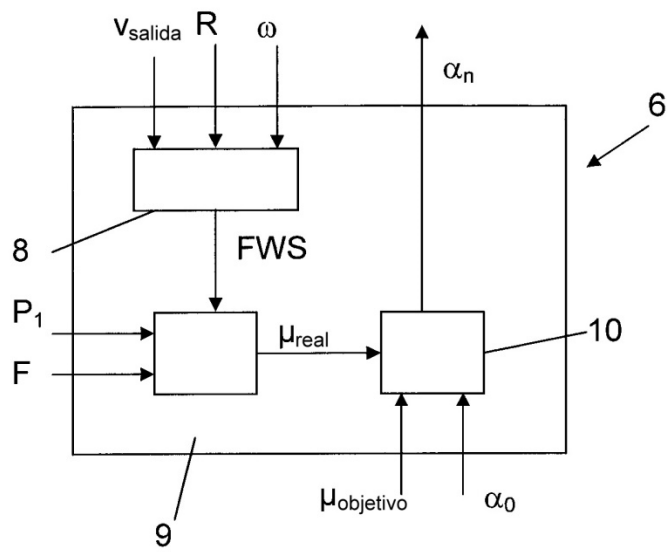


Figura 3

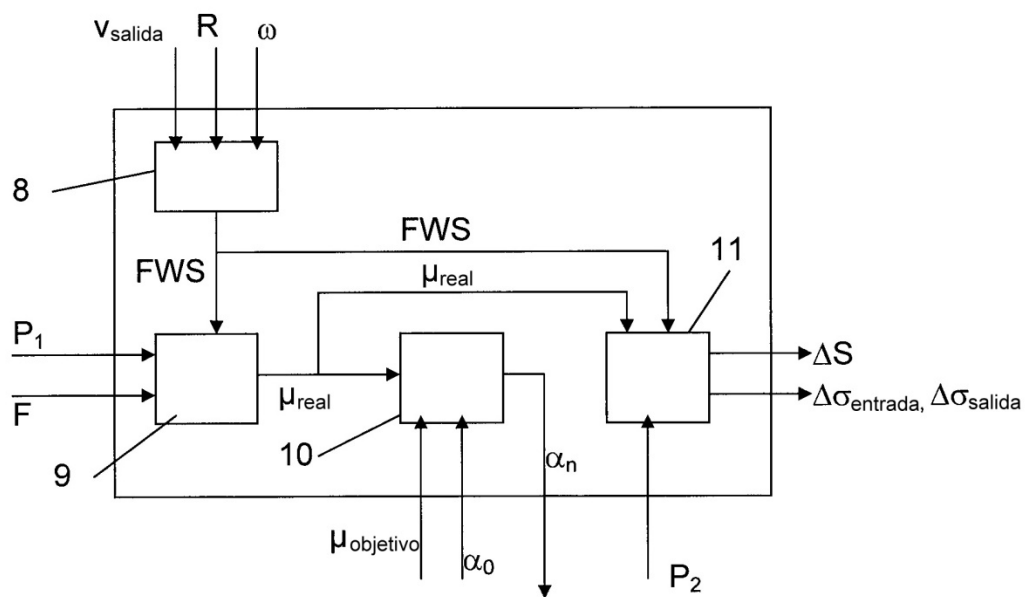


Figura 4

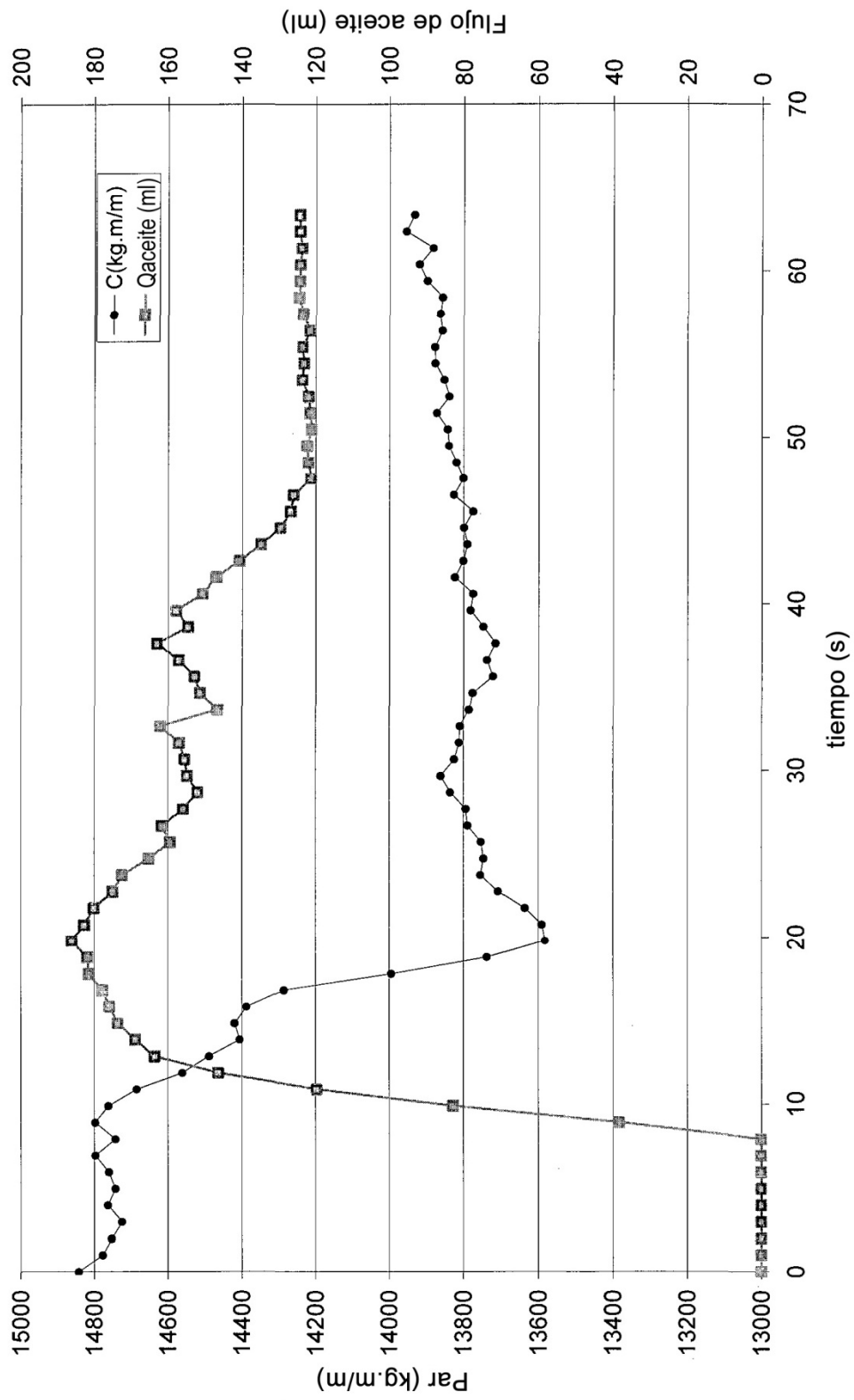


Figura 5

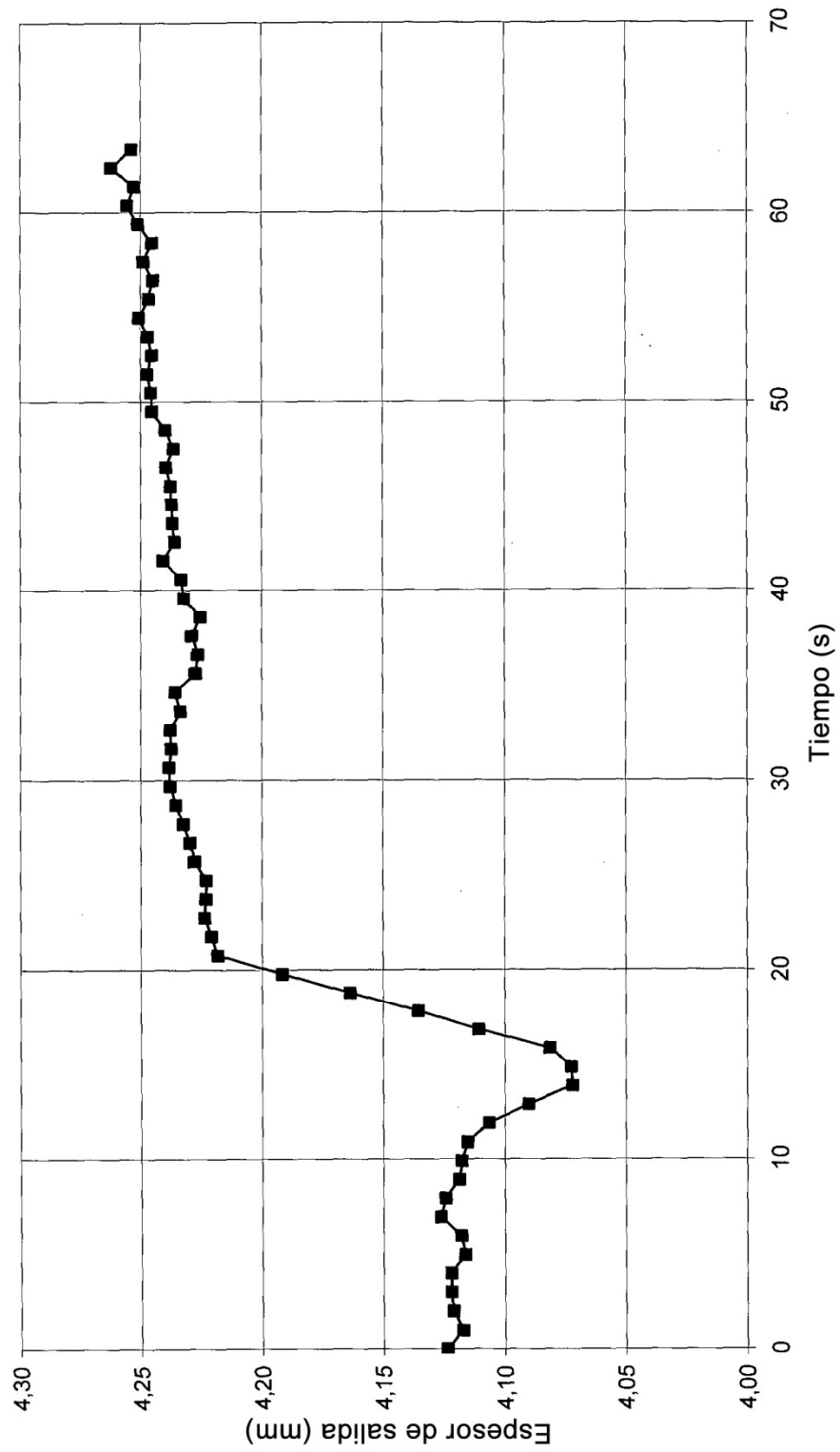


Figura 6