



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 278 288**

51 Int. Cl.:
B21B 37/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04300199 .9**

86 Fecha de presentación : **08.04.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1466675**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **13.10.2004**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de regulación del espesor de un producto laminado.**

30 Prioridad: **11.04.2003 FR 03 04583**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.08.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.08.2007

73 Titular/es: **VAI CLECIM**
51, rue Sibert
42400 Saint-Chamond, FR

72 Inventor/es: **Abi-Karam, Michel**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 278 288 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 y dispositivo de regulación del espesor de un producto laminado.

5 La presente invención tiene por objeto un procedimiento de regulación del espesor final de un producto laminado, a la salida de una instalación de laminación en tándem, permitiendo en particular optimizar la productividad de dicha instalación al equilibrar las corrientes de los motores de accionamiento de las diferentes jaulas, a fin de permitir un incremento de la velocidad general de laminación sin riesgo de sobrecarga de uno u otro de los motores. La invención se refiere asimismo a un dispositivo de regulación que permite la aplicación de dicho procedimiento.

10 La invención está prevista especialmente para la laminación en frío de bandas metálicas, por ejemplo de acero, pero puede aplicarse de forma general a cualquier instalación que comprenda varias jaulas de laminación que funcionan en tándem para la reducción progresiva del espesor de un producto que se desliza sucesivamente entre los cilindros de trabajo de dichas jaulas.

15 Se sabe que un laminador comprende de forma general al menos dos cilindros de trabajo montados en el interior de una jaula de soporte y que definen un entrehierro de paso del producto a laminar, llevando la jaula unos medios de aplicación de un esfuerzo de apriete regulable entre los cilindros. El número de cilindros puede variar según el tipo de laminador, por ejemplo dúo, cuarto, sexto u otro.

20 Para determinar el avance del producto entre los cilindros, estos últimos son arrastrados en rotación alrededor de su eje por unos medios motores que aplican un par de accionamiento, sea directamente sobre los cilindros de trabajo, sea indirectamente sobre los cilindros de apoyo en un montaje cuarto o sobre unos cilindros intermedios en un montaje sexto.

25 Se conocen desde hace mucho tiempo unas instalaciones de laminación denominadas “en tándem” que comprenden al menos dos jaulas sucesivas que realizan cada una de ellas una parte de la reducción del espesor. Por tanto, a partir de un espesor bruto, el producto se somete en la primera jaula a una primera reducción de espesor y sale de ella a una velocidad determinada por la velocidad de rotación de los cilindros de trabajo. En la segunda jaula, se somete a una segunda reducción de espesor y sale a una velocidad superior para respetar la ley de conservación de las masas. Por tanto, los cilindros de trabajo de la segunda jaula deben ser arrastrados en rotación a una velocidad superior a la de los cilindros de la primera jaula, estando estas velocidades en relación inversa a las reducciones efectuadas en cada jaula.

30 Por otra parte, los pares de rotación aplicados sobre los cilindros de trabajo son regulados de forma que cada jaula intermedia ejerza un esfuerzo de tracción sobre la banda que sale de la jaula precedente.

35 Es necesario asegurar una regulación, por una parte, de la reducción de espesor efectuada en cada una de las jaulas a fin de obtener a la salida de la instalación un producto de un espesor constante con cierto grado de precisión y, por otra parte, mantener la banda perfectamente tensada en cada espacio denominado “interjaulas” entre dos jaulas sucesivas a fin de evitar que se alcancen unos niveles de tracción que correrían el riesgo de provocar una rotura de la banda.

Habitualmente, el control del espesor de la banda en el curso de su paso por las jaulas sucesivas de un laminador en tándem es asegurado por el control del flujo de masa, denominado también “mass flow”.

45 En un procedimiento de regulación conocido, utilizado habitualmente para obtener, a la salida de la instalación, una banda que tiene un espesor dado, se mantiene a un valor constante, por una parte, el espesor de la banda a la salida de la primera jaula y, por otra parte, la relación de velocidades entre la primera jaula y la última.

50 Las velocidades de las jaulas intermedias pueden deducirse de estas condiciones, ya que vienen impuestas por la ley de conservación de las masas de metal que atraviesan las jaulas del laminador y éstas están en relación inversa a las reducciones que se atribuyen a cada jaula de laminación.

55 La regulación del espesor a la salida de la primera jaula es asegurada generalmente en un laminador moderno, por unos medios de apriete que son controlados por un calibrador de espesor situado aguas abajo de esta jaula. Ciertos sistemas más perfeccionados comprenden también un calibrador de espesor aguas arriba de esta jaula. Dicho sistema de regulación del laminador en tándem, corrientemente denominado “automatic gage control” o AGC, se describe, por ejemplo, en el artículo “Dynamic Control of Tension, Thickness and Flatness for a Tandem Cold Mill” de Tirlochan S. Bilkhu, aparecido en la revista AISE Steel Technology, volumen 78, nº 10, Octubre de 2001, páginas 49-54.

60 Por otra parte, para asegurar la regulación de los esfuerzos de tracción en los espacios interjaulas, se actúa generalmente sobre los medios de apriete de las jaulas, ya que no es posible modificar la relación de las velocidades entre las jaulas sucesivas sin afectar al espesor de salida. Para esto se instala en cada espacio interjaulas, un dispositivo de medición de tracción, tal como un rodillo tensiómetro que actúa en regulación sobre el apriete de la jaula situada aguas abajo. Un calibrador de espesor, situado a la salida de la instalación de laminado controla el espesor final actuando sobre la velocidad de la última de las dos últimas jaulas del laminador en tándem. Dicho sistema de control de las tracciones interjaulas, denominado también “automatic tension control” (control de tensión automático) o ATC, se describe asimismo en el artículo de la revista AISE Steel Technology citado más arriba.

ES 2 278 288 T3

En cada jaula es necesario que la fuerza y el par de laminación aplicados, respectivamente, para una cierta reducción de espesor, por los medios de apriete y por los medios de accionamiento de los cilindros de trabajo, se adapten a las características del producto a laminar. Por tanto, para cada tipo de producto, es necesario elaborar un “esquema de laminación” que determine las reducciones sucesivas de espesor asignadas a cada jaula en función de las características geométricas y metalúrgicas del producto.

Sin embargo, no es posible solicitar a los operadores que establezcan de manera óptima y en cada instante, un esquema de laminación para cada producto que entra en la producción anual del laminador.

De forma conocida, para obtener un resultado de este tipo de manera automática, se puede utilizar un sistema de prerregulación de cálculo de los esquemas de laminación, que tenga en cuenta todas las características de la instalación tales como las potencias de los motores de accionamiento, las intensidades y las velocidades máximas de los motores, las fuerzas máximas posibles sobre las jaulas de laminación, etc. Este sistema de prerregulación debe tener en cuenta también las características geométricas y metalúrgicas del producto a laminar y la interfaz producto/laminador para establecer unos parámetros de laminación adaptados a cada formato y naturaleza de la banda que compone la producción anual del laminador. Estos parámetros son, en particular, el espesor de entrada y el espesor de salida, eventualmente la temperatura, la dureza o incluso la tensión de circulación y la variación de esta tensión a medida que se reduce el espesor, así como el coeficiente de rozamiento de la interfaz chapa/cilindro.

Este sistema de prerregulación puede presentarse en forma de tablas de entradas múltiples que proporcionen las regulaciones a presentar para cada jaula en función de los parámetros de entrada. En ciertos sistemas conocidos, los operadores introducen por adelantado las características de las bandas a laminar según el programa de producción previsto y basta entonces con validar estos datos a la llegada de la cabeza de la banda del producto considerado en la instalación de laminación.

Sin embargo, pueden utilizarse también unos sistemas de prerregulación más perfeccionados que comprenden un modelo matemático que calcula un esquema de reducción para cada banda que entra en el laminador en tándem. Dicho modelo establece entonces unos valores de reducción posibles para las jaulas y puede realizar ciertas optimizaciones a fin de escoger el esquema de laminación correspondiente a la mejor distribución de la potencia. Los modelos más perfeccionados tienen también la posibilidad de reajustarse registrando frecuentemente los valores reales de los parámetros de laminación, tales como las fuerzas de laminación, los pares aplicados por los motores y sus velocidades.

Por otra parte, es necesario tener la posibilidad de hacer que varíe la velocidad general de instalación de laminación a fin de acelerar o ralentizar el producto a la salida de la instalación. Ahora bien, la ley de conservación de masas únicamente permite regular las velocidades una con respecto a otra en valor relativo. Por tanto, en un procedimiento conocido se actúa sobre la velocidad de una de las jaulas, denominada jaula pivote, y la velocidad de las otras jaulas es administrada por un sistema de control a fin de conservar las relaciones de velocidad correspondientes a la distribución de la tasa de reducción entre las diferentes jaulas.

En la práctica, los medios de accionamiento en rotación de los cilindros son unos motores eléctricos que tienen una velocidad de base a la cual proporcionan su par nominal. Por tanto, en la concepción del tren de laminador se tiene en cuenta una reducción del espesor medio para cada jaula. Dado que, en general, los motores están contruidos para tener la misma velocidad de base, se instalan muy frecuentemente entre el motor y la jaula un reductor de velocidad cuya relación de reducción es diferente para cada jaula a fin de obtener la misma velocidad sobre el árbol de gran velocidad del reductor.

Esta concepción general del laminador en tándem con un escalonamiento de las velocidades sobre el árbol de gran velocidad, que determina la velocidad de rotación de los cilindros de laminación, de la primera jaula a la última, se denomina corrientemente “cono de velocidad”.

No obstante, en la realidad de la producción, la tasa de reducción exacta a aplicar a cada jaula para obtener sobre el producto la reducción de espesor deseada, no coincide exactamente con el escalonamiento de las velocidades de los motores. Resulta de ello que todos los motores no se encuentran sobre el mismo punto de funcionamiento. Por tanto, si se quiere aumentar la velocidad general de laminación, ciertos motores alcanzarán su límite de intensidad antes que otros e impedirán así que se produzca a la velocidad óptima de la instalación.

Por consiguiente, en numerosos casos, no puede alcanzarse la velocidad máxima posible y la productividad de la instalación de laminación no corresponde a su capacidad teórica.

Los sistemas de prerregulación utilizados actualmente no permiten resolver este problema. En efecto, ciertos parámetros de laminación importantes, tales como el coeficiente de rozamiento entre la banda y los cilindros de laminación, que depende de los estados de la superficie y de la lubricación, únicamente son accesibles a los modelos de regulación por un cálculo muy indirecto a partir de las medidas de intensidad, de fuerza y de velocidad. Cuando se procede a un cambio de los cilindros de trabajo, cambiarán el diámetro y el estado de la superficie de los cilindros, así como el equilibrio térmico del laminador. Aunque se utilice un modelo matemático, éste no podrá encontrar muy rápidamente la buena regulación de las reducciones por jaula que permitan obtener la velocidad máxima de la instalación y, por tanto, el óptimo de su productividad.

ES 2 278 288 T3

La invención tiene por objeto resolver dicho problema y, en particular, optimizar la productividad de la instalación gracias a un procedimiento que permite mejorar la eficacia del dispositivo de regulación sin complicación excesiva de éste. En efecto, el procedimiento según la invención puede ponerse en práctica con unos medios simples y relativamente poco onerosos que se agregan simplemente a los medios de regulación utilizados habitualmente.

Por tanto, la invención se refiere de una forma general a un procedimiento de regulación del espesor final de un producto laminado a la salida de una instalación de laminación en tándem asociada a un sistema general de control de las diferentes jaulas que determina un aumento progresivo de la velocidad de rotación de los cilindros en función de la variación progresiva de espesor de una jaula a la siguiente, y a un sistema de regulación de la reducción del espesor y de la tensión del producto dentro de cada espacio entre dos jaulas sucesivas.

De acuerdo con la invención, el sistema de regulación realiza, en tiempo real, un equilibrado dinámico, entre las diferentes jaulas, de los pares aplicados en cada jaula sobre los cilindros de trabajo sin perturbación sustancial del espesor final del producto a la salida de la instalación.

De forma particularmente ventajosa, el sistema de regulación ordena una variación de la velocidad de laminación en al menos una de las jaulas y, en consecuencia, modifica la distribución de la reducción de espesor y el escalonamiento de las velocidades entre las diferentes jaulas a fin de distribuir, de forma sustancialmente igual sobre el conjunto de los medios motores, el esfuerzo a aplicar para el arrastre del producto a una velocidad dada a la salida de la instalación, manteniendo el espesor final en un valor determinado.

Como es habitual, la reducción global del espesor a efectuar entre la entrada y la salida de la instalación es distribuida según un esquema de laminación por un sistema de prerregulación.

Según otra característica preferida, se detecta en cada instante la carga impuesta, en cada jaula, a los medios de accionamiento en rotación de los cilindros de trabajo para obtener la velocidad fijada por el esquema de laminación y se disminuye la reducción del espesor asignada a la jaula más cargada a fin de realizar un equilibrado dinámico de las cargas aplicadas sobre las diferentes jaulas.

En un primer modo de realización, para disminuir la reducción de espesor asignada a la jaula más cargada, se disminuye la velocidad de rotación de los cilindros de dicha jaula con respecto a la velocidad fijada por el esquema de laminación.

Sin embargo, dicha disminución de la velocidad de la jaula más cargada determina una disminución automática de la velocidad de la jaula siguiente que puede engendrar un defecto de espesor a la salida de la instalación durante un periodo transitorio de avance del producto en el espacio interjaulas. Según otra característica particularmente ventajosa, este defecto de espesor potencial se compensa por anticipado ordenando una variación en sentido inverso de la velocidad de todas las jaulas situadas aguas arriba de dicha jaula más cargada, susceptible de disminuir la reducción de espesor efectuada en dichas jaulas aguas arriba, a fin de realizar una transferencia de carga sobre las jaulas situadas aguas abajo de dicha jaula más cargada.

En otro modo de realización, para disminuir la reducción de espesor a realizar en la jaula más cargada, se aumenta la velocidad de laminación en la jaula precedente situada inmediatamente aguas arriba, a fin de disminuir el espesor del producto antes de su llegada a la jaula más cargada. Dicho aumento de velocidad en la jaula precedente determina un aumento correspondiente de velocidad en la jaula más cargada que podría engendrar un defecto de espesor a la salida de la instalación durante un periodo transitorio. Según la invención, este defecto de espesor potencial se compensa por anticipado ordenando un aumento de la velocidad de laminación en las jaulas situadas todavía aguas arriba de dicha jaula precedente, a fin de realizar una transferencia de cargas sobre el conjunto de las jaulas situadas aguas arriba de la jaula más cargada, aumentando la reducción de espesor efectuada en cada una de éstas.

Según otra característica particularmente ventajosa de la invención, se realiza un seguimiento permanente de la variación de espesor del producto en el curso de su avance de la primera a la última jaula de la instalación, a fin de ordenar una variación de la velocidad de ciertas jaulas susceptibles de compensar un defecto de espesor potencial durante un periodo transitorio correspondiente al tiempo necesario para el avance, entre dos jaulas sucesivas, de la variación de espesor resultante de una variación de la velocidad de la jaula aguas arriba, a fin de mantener constante en cada instante el espesor del producto a la salida de la última jaula de la instalación.

Por otra parte, es posible combinar variaciones de velocidad sobre los dos conjuntos de jaulas situados, respectivamente, aguas arriba y aguas abajo de la jaula más cargada, produciendo una transferencia de carga hacia ciertas jaulas de dichos conjuntos aguas arriba y aguas abajo según la carga detectada, a fin de que se equilibren todas las jaulas de la instalación, manteniendo a la vez constante el espesor final del producto a la salida de ésta.

Dicho procedimiento, después de la realización del equilibrado dinámico de las cargas aplicadas sobre todas las jaulas, permite aumentar la velocidad de laminación en una de las jaulas que sirve de jaula pivote, haciendo entonces el sistema de regulación que varíen en consecuencia las velocidades de las otras jaulas, a fin de que aumente la velocidad del producto a la salida de la instalación sin perturbación del espesor final y manteniendo el equilibrado dinámico entre todas las jaulas.

ES 2 278 288 T3

En la práctica, dicho aumento de la velocidad general de la instalación representa una ganancia que puede alcanzar hasta el 15% de la velocidad máxima obtenida sin equilibrado dinámico de los pares aplicados.

5 Como se ha indicado anteriormente, los medios de accionamiento de los cilindros son generalmente unos motores eléctricos. En este caso, el sistema de regulación según la invención permite realizar un equilibrado dinámico de las corrientes sin sobrepasar la intensidad nominal en cada motor.

10 La invención se refiere asimismo a un dispositivo de regulación perfeccionado para la puesta en práctica del procedimiento y que comprende, a este efecto, un circuito en bucle cerrado de equilibrado dinámico, entre las diferentes jaulas, de los pares aplicados por los medios motores de cada jaula para la obtención del espesor final deseado y el mantenimiento de éste en un valor sustancialmente constante.

15 Al estar asociado el dispositivo de regulación de forma clásica a un sistema de prerregulación de la reducción de espesor asignada a cada jaula y de la velocidad de laminación correspondiente, el circuito de equilibrado dinámico según la invención comprende unos medios de corrección, en cada jaula, de la consigna de velocidad determinada por el sistema de prerregulación, a fin de que se modifique la distribución de la reducción de espesor entre las diferentes jaulas.

20 En un modo de realización preferido, el circuito de equilibrado dinámico comprende un módulo de control de los transitorios que actúan en bucle cerrado sobre los medios de accionamiento de los cilindros, a fin de que se proporcione por anticipado una corrección suplementaria a la consigna de velocidad durante un periodo transitorio de avance del producto entre una jaula cuya consigna de velocidad ha sido corregida y la jaula siguiente.

25 Preferentemente, este módulo de control de los transitorios está asociado a un dispositivo de seguimiento permanente de la variación de espesor del producto en el curso de su deslizamiento entre la entrada y la salida de la instalación, que determina los instantes del principio y del fin del periodo transitorio durante el cual se aporta una corrección suplementaria a la consigna de velocidad de al menos una de las jaulas.

30 Otras características ventajosas se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción siguiente de un modo de realización particular de la invención, dado a título de ejemplo y representado en los dibujos adjuntos.

La figura 1 representa esquemáticamente una instalación de laminación en tándem equipada con un sistema de regulación de espesor y de tracción según la técnica anterior.

35 La figura 2 representa esquemáticamente una instalación de laminación en tándem equipada con un sistema de regulación de espesor y de tracción según la invención.

40 La figura 3 ilustra esquemáticamente la distribución de las corrientes de los motores de una instalación de laminación en tándem según la técnica anterior.

En la figura 1 se ha representado esquemáticamente el conjunto de una instalación de laminación en tándem que comprende cinco jaulas de laminador referenciadas de 1 a 5. Dicha instalación prevista, por ejemplo para la laminación en frío de chapas, funciona en continuo y está asociada a un dispositivo de tracción de entrada.

45 Cada jaula de laminador, por ejemplo de tipo cuarto, comprende dos cilindros de trabajo T, T' que definen un entrehierro de paso del producto a laminar B y que se apoyan sobre dos cilindros de mantenimiento S, S' entre los cuales se aplica un esfuerzo de laminación mediante unos medios de apriete, tales como unos gatos hidráulicos 11, 21, 31, 41, 51.

50 Un medio de accionamiento en rotación, tal como un motor eléctrico 12, 22, 32, 42, 52 aplica directa o indirectamente un par de laminación sobre al menos uno de los cilindros de trabajo T, T'. La fuerza y el par de laminación son funciones de la naturaleza del producto a laminar, así como de la reducción de espesor a realizar en cada jaula.

55 Habitualmente, como se ha indicado, el espesor del producto se mantiene constante a la salida de la jaula 1. A este efecto, por ejemplo, se puede instalar a la salida de esta jaula un calibrador de espesor 13 que asegurará esta función actuando sobre el órgano de apriete hidráulico 11. Se puede mejorar también esta regulación midiendo el espesor bruto h_0 de la banda B a la entrada de la instalación con ayuda de otro calibrador de espesor 13' instalado a la entrada de la jaula 1 y que actúa asimismo sobre el órgano de apriete hidráulico 11 de ésta.

60 De forma conocida, un esquema de laminación establecido de antemano permite distribuir, en función de las características del producto a laminar y de las posibilidades de la instalación, la reducción del espesor entre las diferentes jaulas y el escalonamiento de las velocidades resultante de ello a fin de respetar la ley de conservación de masas.

65 Si se denomina h_i el espesor de la banda a la salida de una jaula de rango i y V_i la velocidad de salida del producto, que corresponde a la velocidad de accionamiento de los cilindros de la misma jaula, esta ley se escribe, en régimen permanente de la forma siguiente:

$$h_1 V_1 = h_2 V_2; h_2 V_2 = h_3 V_3; h_3 V_3 = h_4 V_4; h_4 V_4 = h_5 V_5 \quad (1)$$

ES 2 278 288 T3

en la que h_1 es el espesor a la salida de la jaula 1, V_1 , la velocidad del motor 12 de la misma jaula, y así sucesivamente hasta la jaula 5.

Por otra parte, un sistema de regulación permite, a partir de las indicaciones dadas por unos tensiómetros 15, 25, 35, 45 instalados a la salida respectivamente de las jaulas 1, 2, 3, 4, actuar sobre los medios de apriete hidráulico, respectivamente 21, 31, 41, 51, de las jaulas siguientes 2, 3, 4, 5 a fin de corregir la reducción de espesor y, por consiguiente, el par aplicado para que se mantenga una tracción constante en cada espacio 10, 20, 30, 40 entre dos jaulas sucesivas, sin modificar la relación entre las velocidades de accionamiento de los cilindros respectivos.

Así, en el modo de regulación más corriente de un laminador en tándem, el tensiómetro 15 instalado a la salida de la jaula 1 actúa sobre el órgano de apriete hidráulico 21 de la jaula 2, el tensiómetro 25 instalado a la salida de la jaula 2 actúa sobre el órgano de apriete hidráulico 31 de la jaula 3, y así sucesivamente. Por tanto, se asegura que en cada instante la velocidad de la banda a la entrada de una jaula sea igual a la velocidad de la banda a la salida de la jaula precedente.

Para asegurar el flujo de metal, el sistema de prerregulación determina según el esquema de laminación la reducción de espesor a efectuar en cada jaula y la velocidad del motor correspondiente que permiten satisfacer la ecuación (1).

Si se denomina h_i^* la consigna de espesor a la salida de la jaula de rango i y V_i^* la velocidad del motor, que depende de la velocidad general de laminación y de la relación de velocidades a respetar, resulta:

$$h_1^*V_1^* = h_2^*V_2^*; h_2^*V_2^* = h_3^*V_3^*; h_3^*V_3^* = h_4^*V_4^*; h_4^*V_4^* = h_5^*V_5^* \quad (2)$$

Dado que el espesor de salida de la jaula 1 se mantiene constante, se puede escribir:

$$h_5^* = h_4^*V_4^*/V_5^* = h_3^*V_4^*/V_5^* \cdot V_3^*/V_4^* \text{ etc.} = h_1^*V_1^*/V_5^*, \text{ o sea:}$$

$$h_5^* = h_1^*V_1^*/V_5^* \quad (3)$$

Así, en el modo de regulación más corriente de un laminador en tándem, el tensiómetro 15 instalado en el espacio interjaulas 10 a la salida de la jaula 1 actúa sobre el órgano de apriete hidráulico 21 de la jaula 2, el tensiómetro 25 instalado en el espacio 20 a la salida de la jaula 2 actúa sobre el órgano de apriete hidráulico 31 de la jaula 3, y así sucesivamente. Gracias a esta regulación de tracción, la velocidad de la banda a la entrada de una jaula se mantiene en cada instante igual a la velocidad de la banda a la salida de la jaula precedente.

Por consiguiente, como muestra la figura 1, si el espesor h_1 a la salida de la jaula 1 y la velocidad V_1 del motor 11 se mantienen constantes, la regulación del espesor puede asegurarse de forma clásica por medio de un calibrador de espesor 53 situado a la salida 50 de la última jaula 5 y actuando sobre la velocidad V_5 del motor 52 o, a veces, del motor 42 de la jaula 4.

Como se ha indicado más arriba, todas las reducciones intermedias son fijadas por un sistema de prerregulación que determina las consignas de espesores intermedios h_i^* de cada jaula de las que depende el par de rotación a aplicar por cada uno de los medios motores 12, 22, 32, 42, 52.

Dicho sistema de prerregulación, no representado en la figura, puede estar constituido simplemente por tablas de prerregulación que indican los espesores intermedios para cada jaula, pero puede utilizar también un modelo matemático capaz de calcular los espesores intermedios h_i^* en función de las características del producto a laminar, a partir de bases de datos actualizadas periódicamente por medidas efectuadas en el laminador.

Es necesario también que se pueda variar y regular el ritmo general de la instalación de laminación a fin de que se acelere o se ralentice el conjunto del tándem. No obstante, la ecuación (2) únicamente permite regular las velocidades en valor relativo una con respecto a otra. De forma conocida, el sistema de prerregulación determina todas las consignas de espesores h_i^* en función de las características del producto a laminar y de la potencia disponible en las jaulas de laminador con un cierto grado de optimización que depende de las prestaciones del modelo matemático utilizado.

Sin embargo, la referencia de velocidad de una jaula del laminador, denominada asimismo jaula pivote, se deja libre y accesible al operador, que la puede modificar a fin de controlar la velocidad del conjunto de las jaulas para acelerar o ralentizar el conjunto de la instalación.

La parte del sistema de control de un laminador en tándem que gestiona el conjunto de las velocidades alrededor de la de una jaula tomada como pivote y permite controlar las rampas de aceleración y de ralentización es denominada corrientemente "velocidad principal".

En un laminador de 5 jaulas se puede utilizar la jaula 3 como jaula pivote. Las velocidades de las otras jaulas se calculan entonces según las ecuaciones (2) y, suponiendo V_3 disponible para la regulación general de velocidad, resulta:

ES 2 278 288 T3

$$V_4^* = h_3^*/h_4^* \cdot V_3^*; V_5^* = h_4^*/h_5^* \cdot V_4^* = h_4^*/h_5^* \cdot h_3^*/h_4^* \cdot V_3^* = h_3^*/h_5^* \cdot V_3^* \quad (4)$$

Y asimismo:

$$V_2^* = h_3^*/h_2^* \cdot V_3^* \text{ y } V_1^* = h_2^*/h_1^* \cdot V_2^* = h_3^*/h_2^* \cdot h_2^*/h_1^* \cdot V_3^*$$

o sea:

$$V_2^* = h_3^*/h_2^* \cdot V_3^* \text{ y } V_1^* = h_3^*/h_1^* \cdot V_3^* \quad (5)$$

Así, todas las velocidades de las jaulas se determinan en función de la de la jaula pivote, proporcionando las ecuaciones (4) las velocidades de las situadas aguas abajo de la jaula pivote y proporcionando las ecuaciones (5) las velocidades de las situadas aguas arriba de la jaula pivote, en el sentido del deslizamiento del producto.

Un control final del espesor es asegurado por el calibrador 53 instalado a la salida de la jaula 5, a fin de corregir los errores residuales modificando la velocidad de la última jaula de la instalación de laminación o las de las dos últimas jaulas.

Dichas prácticas son bien conocidas y proporcionan excelentes resultados en términos de calidad y de regularidad sobre la tolerancia del espesor obtenido, pero no resuelven el problema del equilibrado de las corrientes de los motores de las jaulas debido a la imprecisión sobre el conocimiento exacto de los puntos de funcionamiento de los motores y de los valores reales de los parámetros que definen el rozamiento chapa/cilindro.

Es así como se encuentra frecuentemente la situación ilustrada por la figura 3.

Si se mide la carga impuesta, en cada jaula, a los medios motores 11, 21, 51, por ejemplo la intensidad de la corriente en el caso de motores eléctricos, aparece que una de las jaulas, por ejemplo la jaula 3, está saturada de corriente, mientras que existe una reserva de potencia en las jaulas situadas aguas arriba y aguas abajo. Sin embargo, no es posible acelerar la instalación de laminación, ya que esto exigiría todavía más corriente para el motor de la jaula 3. Por tanto, no es posible utilizar toda la potencia disponible y la productividad de toda la instalación está así limitada.

La invención permite resolver este problema realizando en cada instante un equilibrado dinámico, entre todas las jaulas, de los pares a aplicar por los motores.

Por convenio, en lo sucesivo, se denominará h_i^* el espesor de la banda a la salida de la jaula i correspondiente al valor de consigna de la tasa de reducción asignada a la jaula i por el sistema de prerregulación y h_i el valor del espesor real de salida de la jaula i .

La idea de la invención es disminuir en tiempo real la tasa de reducción de la jaula demasiado cargada modificando las velocidades de las jaulas a fin de que se cambien todos los valores h_i^* con un dispositivo que actúa en bucle cerrado, sin perturbar el mantenimiento en un valor constante del espesor de salida h_5 . Si se considera el ejemplo dado por la figura 3, es posible disminuir la reducción de la jaula 3, aumentando el espesor de salida h_3^* . Por tanto, para mantener constante el espesor final h_5 a la salida 50 de la instalación, es necesario solicitar más reducción a la jaula 4, pero precisamente ésta tiene la potencia disponible. Por tanto, resulta de ello un equilibrado de las corrientes por una transferencia de potencia en las jaulas situadas aguas abajo de la jaula sobrecargada.

Para conseguir este objetivo, las ecuaciones de la regulación de "mass flow" muestran que es necesario disminuir V_3^* .

En efecto, como se ha indicado más arriba, el espesor h_1 se mantiene constante actuando sobre los medios de apriete 11 de la jaula. Si las consignas de velocidad V_1^* y V_2^* se mantienen constantes, o en una relación constante, dado que:

$$h_1^* V_1^* = h_2^* V_2^*$$

h_2 es también un espesor constante.

Por otro lado, dado que $h_2^* V_2^* = h_3^* V_3^*$, si se disminuye V_3^* , aumentará el espesor h_3 a la salida de la jaula 3, puesto que el producto de los dos es constante.

Por tanto, una disminución de la consigna de velocidad de la jaula 3 provoca un aumento del espesor de salida h_3 y, por consiguiente, una disminución del par a aplicar por el motor 13, lo que permite conseguir el efecto buscado.

Esto es verdad en régimen permanente, es decir, después del tiempo de transferencia necesario para el nuevo espesor que sale de la jaula 3 para alcanzar la jaula 4. Pero en el intervalo de tiempo, si la acción sobre las velocidades se limita a lo que se ha descrito, se generará un defecto transitorio del espesor. En efecto, en cuanto cambia la velocidad de la jaula 3, la regulación de tracción entre las jaulas 3 y 4 actuará para mantener la igualdad de las velocidades en

ES 2 278 288 T3

el espacio interjaulas 13. Como el espesor en la entrada de la jaula 4 no ha cambiado todavía, debido a la distancia necesaria de transferencia, la ley de “mass flow” cambiará el espesor h_0 de salida de la jaula 4 y, por consiguiente, el espesor h_5 a la salida de la jaula 5.

5 Ahora bien, no sería aceptable que el sistema de equilibrado de las corrientes genere unas longitudes fuera de la tolerancia de espesor correspondiente a las distancias entre jaulas, cada vez que sea necesario cambiar las velocidades de las jaulas para el equilibrado de las corrientes, es decir, permanentemente, puesto que se trata de un sistema de regulación en tiempo real que actúa en bucle cerrado.

10 Según otra característica particularmente ventajosa de la invención, este defecto potencial de espesor puede compensarse por anticipado creándolo de antemano mediante un cambio de velocidad simultáneo de las jaulas 1 y 2 en el ejemplo elegido.

15 En efecto, si se aumentan simultáneamente las velocidades de las jaulas 1 y 2, manteniéndose constante h_1 por la regulación de la jaula 1, h_2 será también constante. Como la velocidad de la jaula 3 no ha cambiado todavía, aumentará el espesor de salida h_3 , lo que es el objetivo buscado. Durante un periodo transitorio, con la ayuda de un dispositivo de seguimiento en tiempo real del avance del producto en la instalación, se espera que el sobreespesor h_3 alcance la jaula 4 para bajar la velocidad de la jaula 3 y, simultáneamente, reponer a sus velocidades iniciales las jaulas 1 y 2 con ayuda de dispositivos que actúan en bucle cerrado.

20 Así, en cuanto cambia simultáneamente la velocidad de las jaulas 1 y 2, el espesor h_3 ha aumentado y, cuando se baja simultáneamente la velocidad de la jaula 3 reponiendo a su valor inicial las velocidades de las jaulas 1 y 2, se conserva el valor aumentado de h_3 y el flujo h_3V_3 es constante a la entrada de la jaula 4. Por tanto, el espesor h_4 y el espesor de salida h_5 se mantienen constantes.

25 Es posible así evitar una sobrecarga de la jaula 3 modificando su tasa de reducción por una disminución de su velocidad y transfiriendo la potencia a las jaulas situadas aguas abajo. Además, el defecto potencial de espesor resultante de esta variación instantánea de la velocidad puede compensarse por anticipado a fin de que el espesor de salida h_5 se mantenga constante gracias al procedimiento de la invención, que permite ordenar en tiempo real y durante el intervalo transitorio unas variaciones instantáneas del espesor por medio de una modificación temporal en sentido inverso de las velocidades de las jaulas situadas aguas arriba de la jaula sobrecargada.

30 No obstante, en una variante de la invención y siempre en el caso ilustrado por la figura 3, se puede también disminuir la tasa de reducción de la jaula 3 disminuyendo el espesor de entrada en esta jaula, es decir, el espesor de salida h_2 de la jaula 2.

35 Las ecuaciones (2) muestran que puede obtenerse este resultado aumentando la velocidad de la jaula 2. En efecto, dado que el espesor h_1 a la salida de la jaula 1 se mantiene constante por la regulación de la jaula 1, un aumento de la velocidad de la jaula 2 se traducirá en una disminución del espesor h_2 , lo que es el objetivo buscado. Este aumento de la tasa de reducción de espesor en la jaula 2 conlleva un aumento de la potencia consumida por el motor 12. Por tanto, se produce una transferencia de potencia a las jaulas situadas aguas arriba de la jaula más cargada.

40 Pero de la misma forma que anteriormente, parece que esta acción sobre la jaula 2 tiene el riesgo de engendrar un defecto potencial de espesor durante el periodo transitorio. En efecto, el cambio de velocidad de la jaula 2, antes de que el nuevo espesor llegue a la jaula 3, se traducirá en un cambio del espesor en la salida de la jaula 3, debido a la regulación de la tracción en el espacio interjaulas 20. Esto seguirá repercutiendo hasta el espesor de salida mediante las regulaciones de tracción en los espacios interjaulas. No son aceptables dichas perturbaciones, ya que conducirían a degradar las prestaciones globales de la regulación del espesor en el conjunto de la instalación.

45 Por tanto, es necesario compensar la acción realizada sobre la jaula 2 en el periodo transitorio. Según la invención, este defecto potencial se compensará por anticipado, durante el periodo transitorio, ordenando una variación de la velocidad de la jaula 1. En efecto, el espesor h_1 es constante gracias a la regulación de la jaula 1 y, por otro lado, la regulación de “mass flow” da:

$$55 \quad h_1 * V_1 * = h_2 * V_2 * \quad (2)$$

60 Por tanto, una disminución de la consigna de velocidad $V_1 *$ inducirá una disminución del espesor h_2 , lo que es el objetivo buscado. A continuación, cuando el espesor disminuido h_2 alcanza la jaula 3, el dispositivo de seguimiento del espesor, que trabaja en tiempo real y en bucle cerrado, permite aumentar al mismo tiempo las velocidades de las jaulas 1 y 2 para obtener el efecto buscado sin provocar una variación del espesor h_5 a la salida de la instalación de laminación.

65 Por tanto, de forma general, en esta variante de la invención, se evita una sobrecarga en una jaula aumentando la velocidad de la jaula precedente y, para compensar el defecto potencial de espesor así engendrado, se ordena un aumento de la velocidad de la jaula o las jaulas situadas todavía aguas arriba.

ES 2 278 288 T3

La invención permite así realizar una transferencia de potencia de la jaula sobrecargada al conjunto de las jaulas situadas aguas arriba, manteniendo a la vez constante el espesor de salida.

5 No obstante, en la práctica, no sería fácil aislar un caso particular como el de la figura 3 y distinguir dos formas diferentes de disminuir una sobrecarga detectada en una jaula. El procedimiento de la invención, que funciona en tiempo real y se aplica a una instalación conocida en bucle cerrado, permite reequilibrar en cada instante las corrientes de los motores de accionamiento de las jaulas combinando los efectos de un equilibrado sobre las jaulas aguas arriba con los de un equilibrado sobre las jaulas aguas abajo, y esto para todas las jaulas simultáneamente. Así, se tendrán permanentemente unas corrientes equilibradas en todos los motores de accionamiento de las jaulas del laminador y, durante la laminación de un producto determinado, según el esquema de laminación determinado por el sistema de prerregulación, si queda la potencia disponible en los motores, se podrá aumentar la velocidad general de la instalación y aumentar en el mismo valor su productividad.

15 La invención se refiere asimismo a un dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento representado a título de ejemplo en la figura 2. Esta representación es puramente esquemática, ya que dicha instalación puede recurrir no sólo a las tecnologías clásicas de los circuitos electrónicos que utilizan los circuitos elementales de comparadores, amplificadores, controlados que comprenden a su vez unos reglajes de ganancias de acción proporcional, integral y diferencial, sino también a las tecnologías más recientes de control numérico a base de ordenadores y microprocesadores, puesto que permiten actuar en bucle cerrado con unos tiempos de respuesta suficientemente cortos para ejecutar una acción en tiempo real, en comparación con otros tiempos de respuesta de otras partes de la instalación de laminación.

En una instalación según la invención se encuentra un nivel 6 de equilibrado dinámico de las corrientes en bucle cerrado y un nivel 7 de control de los transitorios que se puede denominar “tramo de espesor”.

25 El nivel 6 de equilibrado dinámico comprende una medida de las corrientes consumadas por los motores de las jaulas con ayuda de transformadores de intensidad 16, 26, 36, 46, 56.

30 El sistema de equilibrado dinámico 6 contiene también unos circuitos de comparación capaces de seleccionar en cada instante la jaula más cargada, así como la función de transferencia y las ganancias necesarias para la conversión de las diferencias de carga en una variación de las consignas de espesor, que serán las nuevas referencias de espesor h_i^* de las jaulas que conducen, en régimen permanente, al equilibrio de las corrientes.

35 El circuito 6 generará las variaciones necesarias para el control de los espesores interjaulas, con ayuda de controladores de regulación de ganancia proporcional, integral y diferencial, a fin de que se reduzca la tasa de reducción de las jaulas más cargadas de la manera descrita en el procedimiento de la invención.

El tramo de espesor 7 comprende los circuitos necesarios para la transformación de las variaciones de los espesores interjaulas en consignas de velocidad de los motores de accionamiento, así como los de la gestión de los transitorios y, en particular, el sistema de seguimiento del avance de la banda B en la instalación de laminación.

40 Teniendo en cuenta el seguimiento del producto y las variaciones de las consignas elaboradas por el circuito de equilibrado dinámico 6, el control de los transitorios 7 elaborará las variaciones transitorias y anticipativas de velocidad de las jaulas que permitirán realizar el equilibrado de las corrientes sin provocar una variación, incluso transitoria, del espesor de salida. El conjunto de estos circuitos actúa en tiempo real, en regulación y en bucle cerrado entre la medida de las diferencias de las corrientes de los motores, tomadas de alguna manera como señal de error a la entrada del bucle, y las variaciones de consignas de las velocidades de los motores de accionamiento, que constituyen sus señales de salida.

50 Dicho dispositivo, según la invención, de equilibrado de las corrientes de los motores de accionamiento, que funcionan en tiempo real y en bucle cerrado, puede adaptarse a cualquier dispositivo de regulación del espesor de salida y forma parte integrante de éste.

55 Evidentemente, la invención no está limitada al modo de realización que acaba de ser descrito a título de simple ejemplo y puede aplicarse a cualquier conjunto de jaulas de laminación que funcionen en tándem y que comprendan al menos dos jaulas sucesivas.

Por otra parte, la invención no se limita a la laminación en frío y puede aplicarse también a un laminador en tándem en caliente como por ejemplo el tren acabador de un tren de bandas en caliente.

60 El sistema de regulación AGC que se ha descrito sucintamente puede ser de cualquier tipo que permita un control del espesor final del producto laminado. En efecto, debido a que la invención se basa en el respeto de la ley de “mass flow”, sería posible imaginar variantes en el funcionamiento de la regulación del espesor.

65 Asimismo, la puesta en práctica puede realizarse de diferentes formas sin apartares por ello del marco de la invención, en particular según un modo de tratamiento digital y vectorial bastante reciente, habitualmente denominado “regulación multivariable”.

Los signos de referencia insertados después de las características técnicas mencionadas en las reivindicaciones, tienen por único objetivo facilitar la comprensión de estas últimas y no limitan en modo alguno su alcance.

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento de regulación del espesor final de un producto laminado (B) a la salida de una instalación de laminador que comprende al menos dos jaulas de laminación (1-5) que funcionan en tándem y que determinan cada una de ellas una parte de la reducción global de espesor a realizar, mediante el paso del producto entre dos cilindros de trabajo (T, T'), estando cada jaula asociada a unos medios (11-51) de aplicación de un esfuerzo regulable de apriete entre los cilindros de trabajo y a unos medios motores (12-52) de aplicación, sobre los cilindros de trabajo, de un par de arrastre en rotación a una velocidad regulable, estando la instalación asociada a un sistema general de control de las velocidades de las diferentes jaulas que determina un aumento progresivo de la velocidad de rotación de los cilindros en función de la variación progresiva de espesor de una jaula a la siguiente, y a un dispositivo de regulación de la reducción de espesor y de la tensión del producto (B) en cada espacio (10, 20, 30, 40) entre dos jaulas sucesivas, **caracterizado** porque el dispositivo de regulación realiza en tiempo real un equilibrado dinámico, entre las diferentes jaulas (1-5), de los pares aplicados en cada jaula sobre los cilindros de trabajo (T, T'), sin perturbación sustancial del espesor final h_5 del producto (B) a la salida de la instalación.

20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el dispositivo de regulación ordena una variación de la velocidad de laminación en al menos una de las jaulas (3) y modifica en consecuencia la distribución de la reducción de espesor y el escalonamiento de las velocidades entre las diferentes jaulas (1-5) a fin de distribuir de forma sustancialmente igual sobre el conjunto de los medios motores (12-52) el esfuerzo a aplicar para el arrastre del producto (3) a una velocidad dada a la salida de la instalación con mantenimiento del espesor final h_5 en un valor determinado.

25 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que la reducción global de espesor (h_0-h_5) a efectuar entre la entrada y la salida de la instalación es distribuida, según un esquema de laminación, por un sistema de prerregulación que determina la reducción del espesor a efectuar por cada jaula (1-5) y el escalonamiento correlativo de las velocidades (V1-V5) de rotación de los cilindros de trabajo, **caracterizado** porque se detecta en cada instante la carga impuesta, en cada jaula (1-5), a los medios (12-52) de accionamiento en rotación de los cilindros de trabajo para la obtención de la velocidad fijada por el esquema de laminación y porque se disminuye la reducción de espesor asignada a la jaula más cargada (3) a fin de realizar un equilibrado dinámico de las cargas aplicadas sobre las diferentes jaulas.

30 4. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado** porque, para disminuir la reducción de espesor asignada a la jaula más cargada, se disminuye la velocidad de rotación de los cilindros de dicha jaula con respecto a la velocidad fijada por el esquema de laminado.

35 5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la disminución de la velocidad de la jaula (3) más cargada determina una disminución automática de la velocidad de la jaula siguiente (4) que puede engendrar un defecto de espesor a la salida de la instalación durante un período transitorio de avance del producto en el espacio interjaulas, **caracterizado** porque este defecto de espesor potencial es compensado por anticipado ordenando una variación en sentido inverso de la velocidad de todas las jaulas (1, 2) situadas aguas arriba de dicha jaula más cargada (3), susceptible de disminuir la reducción de espesor efectuada en dichas jaulas aguas arriba (1, 2), a fin de realizar una transferencia de la carga a las jaulas (4, 5) situadas aguas abajo de dicha jaula (3) más cargada.

40 6. Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado** porque, para disminuir la reducción de espesor a realizar por la jaula más cargada (3), se aumenta la velocidad de laminación en la jaula precedente (2) situada inmediatamente aguas arriba, a fin de disminuir el espesor del producto (B) antes de su llegada a la jaula más cargada (3).

45 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el aumento de la velocidad en la jaula precedente (2) determina un aumento automático de velocidad en la jaula más cargada (3) que puede engendrar un defecto de espesor a la salida de la instalación durante un período transitorio de avance del producto de la jaula precedente (2) a la jaula más cargada (3), **caracterizado** porque este defecto de espesor potencial es compensado por anticipado ordenando un aumento de la velocidad de laminación en al menos una jaula (1) situada aún aguas arriba de dicha jaula precedente (2) a fin de que se realice una transferencia de carga al conjunto de las jaulas (1, 2) situadas aguas arriba de la jaula más cargada (3), aumentando la reducción de espesor efectuada en cada una de éstas.

50 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 y 7, **caracterizado** porque se realiza un seguimiento permanente de la variación de espesor del producto en el curso de su avance de la primera (1) a la última jaula (5) de la instalación, a fin de ordenar una variación de velocidad de ciertas jaulas susceptible de compensar un defecto de espesor potencial durante un período transitorio correspondiente al tiempo necesario para el avance entre dos jaulas sucesivas, respectivamente aguas arriba y aguas abajo de la variación de espesor resultante de una variación de velocidad de la jaula aguas arriba, a fin de que se mantenga constante en cada instante el espesor (h_5) del producto a la salida de la última jaula (5) de la instalación.

55 9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado** porque, después de la detección de la jaula (3) más cargada, se combinan variaciones de velocidad sobre los dos conjuntos de jaulas situadas respectivamente aguas arriba (1, 2) y aguas abajo (4, 5) de la jaula más cargada (3) produciendo una transferencia de carga hacia ciertas jaulas de dichos conjuntos aguas arriba (1, 2) y aguas abajo (4, 5) según la carga detectada, a fin de que se equilibren las cargas

ES 2 278 288 T3

sobre todas las jaulas (1-5) de la instalación, manteniendo a la vez constante el espesor final (h_5) del producto (B) a la salida de ésta.

5 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, después de la realización del equilibrado dinámico de las cargas aplicadas sobre todas las jaulas (1-5), se aumenta la velocidad de laminación en una de las jaulas y el sistema de regulación hace variar en consecuencia las velocidades de las otras jaulas a fin de que se aumente la velocidad del producto (B) a la salida de la instalación sin perturbación del espesor final y manteniendo el equilibrado dinámico entre todas las jaulas.

10 11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado** porque el aumento de la velocidad general de la instalación representa una ganancia que puede alcanzar hasta el 15% de la velocidad máxima obtenida sin el equilibrado dinámico de los pares aplicados.

15 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de accionamiento de los cilindros son motores eléctricos (12, 22, 32, 42, 52), **caracterizado** porque el sistema de regulación realiza un equilibrado dinámico de las corrientes sin sobrepasar una intensidad nominal en cada motor.

20 13. Dispositivo de regulación del espesor final (h_5) de un producto laminado (B) en una instalación de laminación en tándem que comprende al menos dos jaulas de laminación (1, 5) separadas una de otra y que determinan cada una de ellas una parte de la reducción de espesor, comprendiendo cada jaula al menos dos cilindros de trabajo (T, T') que definen un entrehierro de paso del producto (B), unos medios (11-51) de aplicación de un esfuerzo regulable de apriete entre dichos cilindros de trabajo y unos medios motores (12-52) de arrastre en rotación de dichos cilindros a una velocidad regulable, estando la instalación asociada a un sistema general de control de las velocidades de las diferentes jaulas que determina un aumento progresivo de la velocidad de rotación de los cilindros en función de la
25 variación progresiva de espesor de una jaula (i) a la siguiente (i+1), y a un dispositivo de regulación de la reducción de espesor y de la tensión del producto en cada espacio (10-50) entre dos jaulas sucesivas (1-5),

30 **caracterizado** porque el dispositivo de regulación comprende un circuito (6, 7) en bucle cerrado de equilibrado dinámico, entre las diferentes jaulas (1-5), unos pares aplicados por los medios motores (12-52) de cada jaula para la obtención del espesor final deseado (h_5) y el mantenimiento de éste en un valor sustancialmente constante.

35 14. Dispositivo según la reivindicación 13, de regulación del espesor final (h_5) del producto laminado (B) a la salida de una instalación de laminación en la cual el sistema general de control de las velocidades está asociado a un sistema de prerregulación de la reducción de espesor asignada a cada jaula, que determina, para cada jaula (1-5), una consigna de velocidad ($V_1^*-V_5^*$) a aplicar a los medios motores (12-52) para realizar un aumento progresivo de la velocidad correspondiente a la variación de espesor de una jaula a la siguiente, **caracterizado** porque el circuito (6, 7) de equilibrado dinámico comprende unos medios de corrección, en cada jaula, de la consigna de velocidad ($V_1^*-V_5^*$) determinada por el sistema de prerregulación a fin de que se modifique la distribución de la reducción de espesor entre las diferentes jaulas (1-5).

40 15. Dispositivo de regulación según la reivindicación 14, **caracterizado** porque el circuito de equilibrado dinámico comprende un módulo (7) de control de los transitorios que actúa en bucle cerrado sobre los medios (12-52) de arrastre de los cilindros a fin de que se aporte por anticipado una corrección suplementaria a la consigna de velocidad (V_i^*) durante un periodo transitorio de avance del producto (B) entre una jaula (i) cuya consigna de velocidad (V_3^*) ha sido
45 corregida y la jaula siguiente (i+1).

50 16. Dispositivo de regulación según la reivindicación 15, **caracterizado** porque el módulo (7) de control de los transitorios está asociado a unos medios de seguimiento permanente de la variación de espesor del producto (B) en el curso de su deslizamiento entre la entrada y la salida de la instalación, que determinan los instantes del inicio y del fin del periodo transitorio durante el cual se aporta una corrección suplementaria a la consigna de velocidad (V_i^*) de al menos una de las jaulas (i).

55 17. Dispositivo de regulación según la reivindicación 16, **caracterizado** porque el circuito (6) de equilibrado dinámico de las corrientes de los motores y el módulo (7) de control de los transitorios están concebidos con una etapa final de salida para el control de las variaciones de las velocidades que comprende un regulador de control proporcional, integral y diferencial.

60 18. Instalación de laminación que comprende al menos dos jaulas (1-5) que funcionan en tándem, equipadas con unos medios de apriete regulables (11-51) de los cilindros de laminado y unos medios eléctricos (12-52) de arrastre en rotación de dichos cilindros de laminación, y que comprende unos medios de regulación del espesor de salida del producto (B) y de las tracciones entre las jaulas, un sistema de prerregulación de la tasa de reducción de espesor de cada jaula y un sistema general de control de las velocidades del conjunto de las jaulas (1-5) de laminación, **caracterizada** porque comprende un dispositivo (6, 7), según una de las reivindicaciones 13 a 17, de regulación del espesor final del producto laminado por el equilibrado de las corrientes de los motores de accionamiento de las jaulas.

65 19. Instalación de laminación según la reivindicación 18, **caracterizada** porque el dispositivo de regulación del espesor final (6, 7) comprende unos medios de corrección de la consigna de velocidad ($V_1^*-V_5^*$) de al menos uno de los motores de accionamiento (12-52) establecida por el sistema de prerregulación.

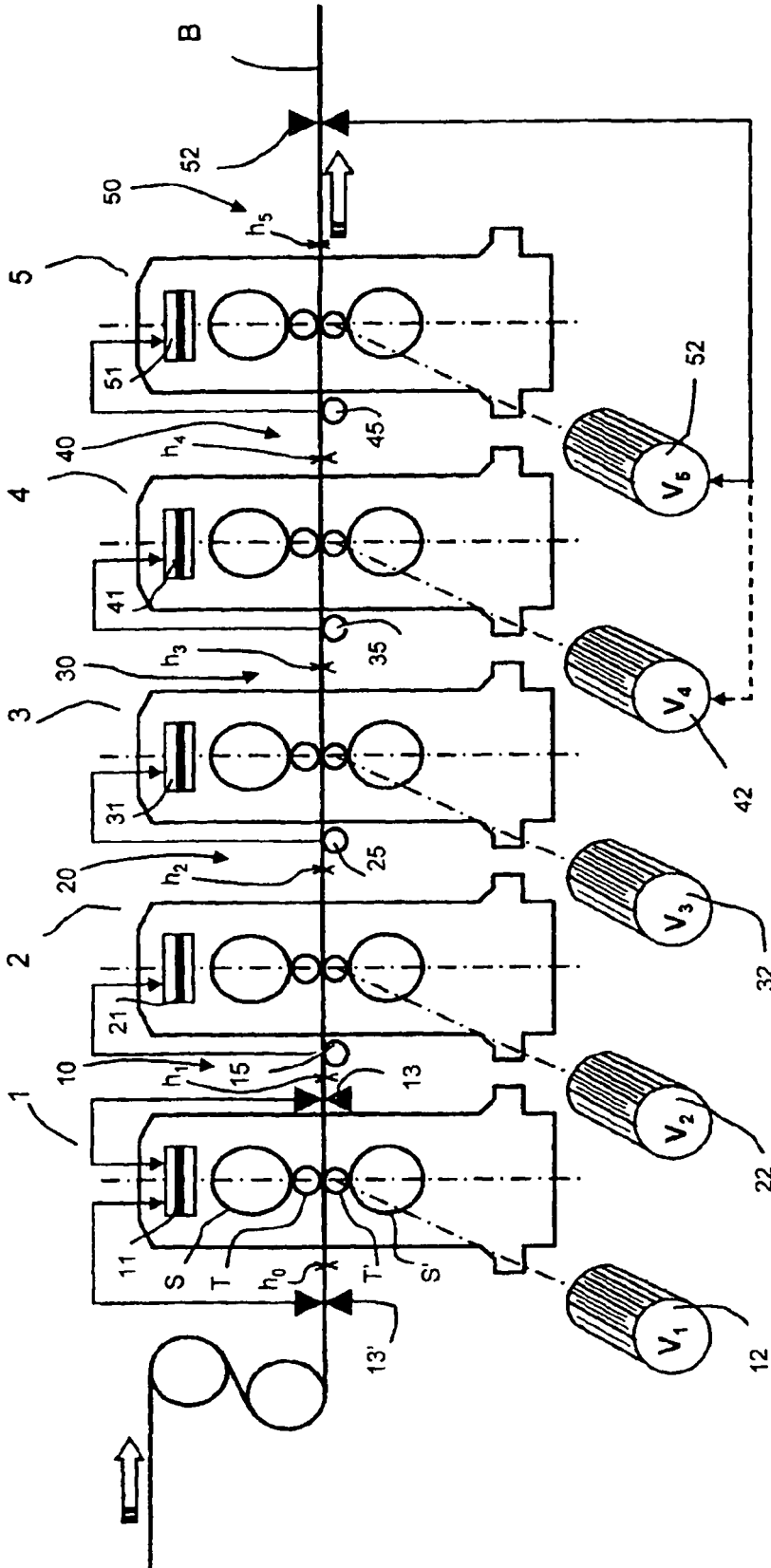


FIGURA 1

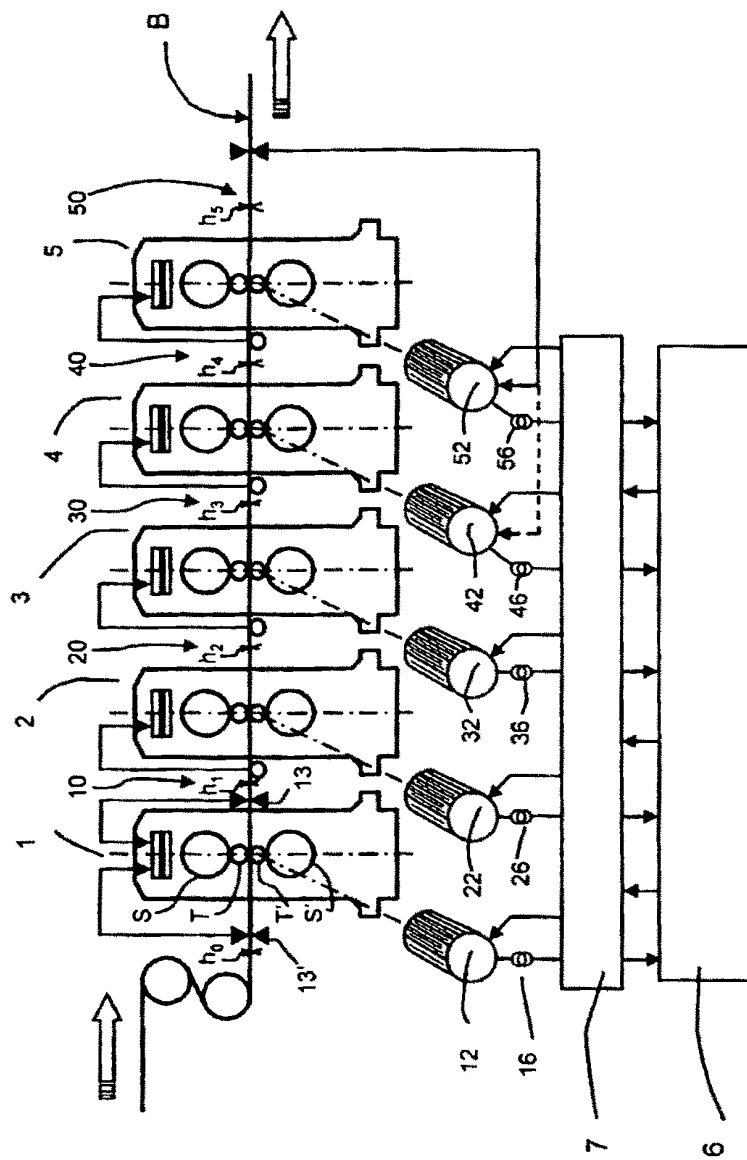


FIGURA 2

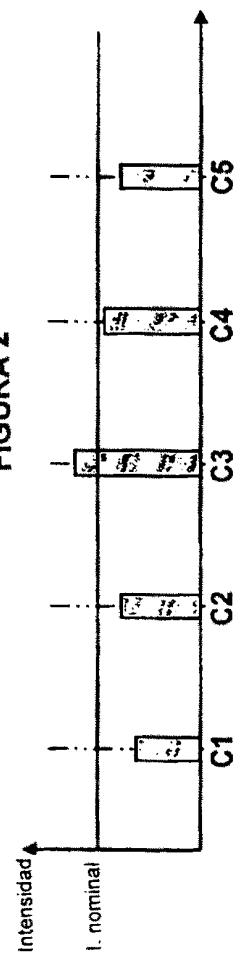


FIGURA 3