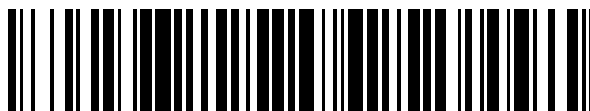


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 884**

51 Int. Cl.:

B21B 37/28 (2006.01)

B21B 37/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.08.2015 PCT/JP2015/072800**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.03.2016 WO16042948**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.08.2015 E 15842031 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3195945**

54 Título: **Método de control de laminación para una placa de metal, dispositivo de control de laminación y método para la fabricación de la placa de metal laminada**

30 Prioridad:

16.09.2014 JP 2014187290

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

18.03.2020

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo, JP**

72 Inventor/es:

**AKASHI, TOORU;
OGAWA, SHIGERU y
YAMADA, KENJI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 748 884 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 de control de laminación para una placa de metal, dispositivo de control de laminación y método para la fabricación de la placa de metal laminada

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un método de control de laminación para controlar el perfil de una banda de metal después de la laminación, un aparato de control de laminación que realiza el método de control de laminación y un método de fabricación para una banda de metal laminada.

Técnica anterior

- 10 Se han propuesto varios métodos como tecnología para predecir el perfil de una banda de metal, tal como una lámina o una placa, después de la laminación.

- 15 Por ejemplo, la solicitud de patente japonesa abierta a inspección por el público (JP - A) número 2008 - 112288 describe tecnología que mejora la precisión de predicción de una región de extrapolación para la que no existen datos verdaderos, y también corrige errores en un modelo de laminación. Específicamente, se utiliza una base de datos de resultados reales, en la que se almacenan las condiciones de fabricación de productos fabricados previamente asociadas con la información de resultados de fabricación, para calcular un grado de similitud entre las muestras respectivas en la base de datos de resultados reales y puntos requeridos (puntos objetivo de predicción), y para generar una fórmula de predicción para la proximidad de los puntos requeridos utilizando una regresión ponderada, que es ponderada por el grado de similitud. La precisión de predicción para la región de extrapolación es mejorada por medio de la fórmula de predicción.

- 20 El documento JP - A número 2005 - 153011 describe la tecnología que predice el perfil de una banda de metal al dividir la deformación unitaria de alargamiento (esfuerzo) que se distribuye en la dirección de la anchura de banda de una banda de metal durante el laminado por la deformación unitaria de alargamiento que se transforma geométricamente en un perfil de onda durante el pandeo, y la deformación unitaria de alargamiento todavía presente en la banda de metal después del pandeo.

- 25 Además, el documento JP - A número 2012 - 218010 describe la tecnología que predice el perfil de una banda de metal midiendo cantidades características del perfil de la banda de metal a la salida de un laminador, y también encuentra la deformación unitaria de alargamiento presente en la banda de metal durante la medición, y a continuación superpone la deformación unitaria de alargamiento en las cantidades de característica del perfil, y se mide esto como cantidades características verdaderas de perfil aplicadas por el laminador. Se debe hacer notar que las posiciones en una dirección de paso de la banda y una dirección de ancho de banda, y el desplazamiento de la dirección de altura, se miden a la salida del laminador como valores geométricos. Además, el perfil, la inclinación y la diferencia de deformación unitaria de alargamiento se encuentran como cantidades características del perfil.

Compendio de la invención

Problema técnico

- 35 Sin embargo, en el método que se describe en el documento JP - A número 2008 - 112288, no se tienen en cuenta fenómenos no lineales, tales como el pandeo de la banda de metal, y tales fenómenos no lineales no se pueden reflejar en la fórmula de predicción. Además, los errores de modelado se producen cuando no se tienen en cuenta los fenómenos no lineales, por lo que el perfil de la banda de metal después de la laminación no se puede predecir con precisión.
- 40 En las invenciones que se describen en los documentos JP - A números 2005 - 153011 y 2012 - 218010, se considera el pandeo de la banda de metal cuando se predice el perfil de la banda de metal, mejorando así la precisión de la predicción en comparación con los casos en los que no se tiene en cuenta el pandeo. Sin embargo, una cuidadosa investigación realizada por los inventores ha revelado que todavía hay margen de mejora para mejorar la precisión de la predicción, como se explica más abajo.
- 45 Teniendo en cuenta este punto, un objeto de la presente invención es predecir el perfil de una banda de metal después de la laminación con buena precisión, y proporcionar un control excelente del perfil de la banda de metal.

Solución al problema

- 50 Con el fin de lograr el objeto anterior, los inventores investigaron métodos para predecir el perfil de una banda de metal después de laminar y controlar el perfil de una banda de metal en base al perfil anticipado de la banda de metal. Los inventores llegaron a los descubrimientos que siguen.

Como se describe en el documento JP - A número 2005 - 153011, se conoce la tecnología en la que la deformación unitaria de alargamiento en la dirección de laminación distribuida en una dirección de ancho de banda de una banda de metal se divide en una deformación unitaria de alargamiento que se transforma geoméricamente en un perfil de onda de pandeo, y la deformación unitaria de alargamiento que todavía se encuentra presente en la banda de metal después del pandeo. Además, la invención que se describe en el documento JP - A número 2012 - 218010 amplía la invención que se describe en el documento JP - A número 2005 - 153011, y determina una distribución de deformación unitaria de alargamiento verdadera al encontrar la distribución de deformación unitaria de alargamiento que no se transforma en un perfil de onda y que todavía está presente en la banda de metal después del pandeo, y superponiendo esto en la distribución de deformación unitaria de alargamiento que se transforma en un perfil de onda de la banda de metal medida a la salida del laminador. El perfil de la banda de metal se controla utilizando un control de retroalimentación.

La presente invención se extiende más allá de las invenciones que se describen en los documentos JP - A números 2005 - 153011 y 2012 - 218010. Los inventores han descubierto que existe una correlación entre la distribución de las diferencias de carga de laminación y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en la dirección del ancho de banda de una banda de metal que sufre cambios debido al pandeo. Al establecer cuantitativamente esta correlación, los inventores han descubierto que es posible encontrar una distribución de la diferencia de deformación unitaria de alargamiento verdadera de la banda de metal. Es decir, fuera de la diferencia de deformación unitaria de alargamiento distribuida en la dirección del ancho de banda de la banda de metal, cuando la diferencia de deformación unitaria de alargamiento que se transforma en un perfil de onda para causar una deformación fuera de plano se transforma en un perfil de onda por el pandeo real de la banda de metal, la distribución de carga correspondiente a la diferencia de deformación unitaria de alargamiento se transforma adicionalmente en una diferencia de deformación unitaria de alargamiento presente en la banda de metal. Es decir, se descubrió que la verdadera diferencia de deformación unitaria de alargamiento de la banda de metal es mayor de lo que se pensaba hasta el momento. Predecir la diferencia de deformación unitaria de alargamiento verdadera de la banda de metal de esta manera permite controlar el perfil de la banda de metal con mayor precisión. El aspecto principal de la presente invención es como sigue.

Un primer aspecto de la presente invención proporciona un método de control de laminación que incluye: encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, que es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica en la que se una banda de metal pandeará, en base al grosor de banda de la banda de metal, un ancho de banda de la banda de metal, la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda de la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación en condiciones de laminación específicas, y que se encuentra en condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal; en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, encontrar una distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento sumando la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional ; y laminar la banda de metal sin cambiar las condiciones específicas de laminación en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional no excede la distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica, y laminar la banda de metal en condiciones de laminación establecidas en base a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica.

Un segundo aspecto de la presente invención proporciona el método de control de laminación del primer aspecto, que incluye además encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional.

Un tercer aspecto de la presente invención proporciona el método de control de laminación del primer aspecto o del segundo aspecto, en el que, al encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera, se encuentra una tensión convertida al convertir una diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica en la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida del laminador, y se encuentra la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera al agregar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento correspondiente a la tensión convertida a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional.

Un cuarto aspecto de la presente invención proporciona el método de control de laminación del tercer aspecto, en el que, cuando se encuentra la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera, un diferencial de segundo orden con respecto a la dirección de ancho de banda de una distribución de las diferencias

de carga de laminación en la dirección de ancho de banda de la banda de metal correspondiente a la tensión convertida se encuentra como una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento correspondiente a la tensión convertida.

5 Un quinto aspecto de la presente invención proporciona un método de control de laminación que incluye: en condiciones en las que la deformación fuera de plano de una banda de metal está restringida, encontrar una distribución de las diferencias de carga de laminación provisional, que es una distribución de las diferencias en la carga de laminación en la dirección del ancho de banda de la banda de metal durante la laminación bajo condiciones específicas de laminación, y encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda en la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación; encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, que es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica a la que la banda de metal se pandeará, en base a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, un grosor de banda de la banda de metal, un ancho de banda de la banda de metal, y la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador; en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, encontrar una distribución de las diferencias de carga de pandeo crítica, que es una distribución de las diferencias de carga de laminación correspondiente a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, a partir de una correlación entre la distribución de las diferencias de la carga de laminación provisional y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, encontrar una diferencia entre la distribución de las diferencias de carga de laminación provisional y la distribución de las diferencias de carga de pandeo crítica, y encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera agregando una distribución de las diferencias de la deformación unitaria correspondiente a la diferencia, a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional bajo el supuesto de que no hay cambio en la relación de corona en la banda de metal entre la salida y la entrada al laminador; y laminar la banda de metal sin cambiar las condiciones específicas de laminación en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional no excede la distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica, y laminar la banda de metal bajo condiciones de laminación que se establecen en función de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica.

Un sexto aspecto de la presente invención proporciona un método de control de laminación que incluye: bajo condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal, encontrar una distribución de las diferencias de carga de laminación provisional, que es una distribución de las diferencias en la carga de laminación en un dirección del ancho de banda de la banda de metal durante la laminación en condiciones específicas de laminación, y encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda de la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación; encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, que es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica a la que pandeará la banda de metal, en base a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, un grosor de banda de la banda de metal, un ancho de banda de la banda de metal, y la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador; en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, encontrar una distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano correspondiente a una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano, que es una diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, a partir de una correlación entre la distribución de las diferencias de carga de laminación provisional y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, derivando una nueva distribución de las diferencias de carga de laminación superponiendo la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano en la distribución de las diferencias de carga de laminación provisional, encontrar una nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en base a la nueva distribución de las diferencias de carga de laminación bajo el supuesto de que hay un cambio en una relación de corona de la banda de metal, y encontrar además una nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica basada en la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento, el grosor de la banda y el ancho de banda de la banda de metal, y la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida del laminador; encontrar una diferencia entre la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento y la nueva distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica, y encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera al agregar esta diferencia a la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento; y laminar la banda de metal sin cambiar las condiciones específicas de laminación en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de

pandeo crítica, y laminar la banda de metal en condiciones de laminación que se establecen en función de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica.

5 Un séptimo aspecto de la presente invención proporciona el método de control de laminación del sexto aspecto, en el que encontrar la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano se realiza varias veces tomando la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento como la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, y tomando la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica como la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica encontrada.

Un octavo aspecto de la presente invención proporciona el método de control de laminación del primer aspecto al séptimo aspecto, en el que la banda de metal sufre deformación fuera de plano en la entrada al laminador.

15 Un noveno aspecto de la presente invención proporciona el método de control de laminación de uno cualquiera del primer aspecto al octavo aspecto, que incluye además: emplear un medidor de perfil instalado a la salida del laminador para medir el perfil de la banda de metal después de la laminación; y corregir la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional en base a una diferencia entre una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera que se ha transformado en deformación fuera de plano encontrada a partir de un perfil medido de la banda de metal, y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento prevista para ser transformada en deformación fuera de plano.

20 Un décimo aspecto de la presente invención proporciona un controlador de laminación que incluye: una sección de computación que encuentra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, que es una distribución en una dirección de ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica en la que una banda de metal se pandeará, en base a un grosor de la banda de metal, un ancho de banda de la banda de metal, la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda de la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación en condiciones de laminación específicas, y que se encuentra en condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal, y la sección de computación, en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica, encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera agregando la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional; y una sección de control que controla las condiciones de laminación sin cambiar las condiciones de laminación específicas en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, y que controla las condiciones de laminación que se establecen en función de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica.

40 Un undécimo aspecto de la presente invención proporciona un método de fabricación para una banda de metal laminada, incluyendo el método de fabricación : encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica que es una distribución en una dirección de ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica en la que una banda de metal se pandeará, en base al grosor de banda de la banda de metal, el ancho de banda de la banda de metal, la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional, que es una distribución de las diferencias en la dirección de ancho de la banda de la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación en condiciones específicas de laminación que se encuentra en condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal; en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica, encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera sumando la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional ; y laminar la banda de metal sin cambiar las condiciones de laminación en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional no exceda la distribución de la diferencia de la deformación unitaria de pandeo crítica, y laminar la banda de metal en las condiciones de laminación establecidas en función de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera en la que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica.

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la presente invención, fuera de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en la dirección del ancho de banda de la banda de metal (es decir, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento del primer paso), la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano que se transforma en un perfil de onda y produce la deformación fuera de plano (es decir, la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento del primer paso y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica del segundo paso) se agrega a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento. Esto permite una predicción precisa y exacta de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento de la banda de metal. En consecuencia, establecer las condiciones de laminación en función de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera permite un excelente control del perfil de la banda de metal después de la laminación.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un dibujo que ilustra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\varepsilon(x)$ y una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ de una banda de acero en un caso en el que la banda de acero es laminada en condiciones en las que la deformación fuera de plano de la banda de acero está restringida.

La figura 2 es un dibujo que ilustra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$ y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\varepsilon_{sp}(x)$ configurando una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\varepsilon(x)$, y una distribución de las diferencias de carga de pandeo crítica $\Delta P_{cr}(x)$ y una distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ configurando una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$, en un caso en el que se lamina una banda de acero en condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de la banda de acero.

La figura 3 es un dibujo que ilustra un estado después de una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\varepsilon_{sp}(x)$ y una distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ han desaparecido en un caso en el que se permite la deformación fuera de plano de una banda de acero.

La figura 4 es un dibujo que ilustra una situación en la que el metal fluye hacia una región de carga reducida dentro de una mordaza de laminación y aumenta la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en una banda de acero.

La figura 5A es un diagrama explicativo que ilustra esquemáticamente una relación entre la diferencia de deformación unitaria de alargamiento y la carga de laminación en una banda de acero en una vista en planta, e ilustra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\varepsilon(x)$.

La figura 5B es un diagrama explicativo que ilustra esquemáticamente una relación entre la diferencia de deformación unitaria de alargamiento y la carga de laminación en una banda de acero en una vista en planta, e ilustra una distribución de la diferencia de deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$ y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\varepsilon_{sp}(x)$.

La figura 5C es un diagrama explicativo que ilustra esquemáticamente una relación entre la diferencia de deformación unitaria de alargamiento y la carga de laminación en una banda de acero en una vista en planta, e ilustra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\varepsilon'(x)$.

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de control de laminación de una banda de acero de una primera realización ilustrativa .

La figura 7 es un diagrama que ilustra una situación en la que una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\varepsilon(x)$ no excede una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$.

La figura 8 es un diagrama que ilustra una situación en la que una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\varepsilon(x)$ excede a una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$.

La figura 9 es un diagrama que ilustra el concepto de una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\varepsilon'(x)$.

La figura 10 es un gráfico para explicar los efectos ventajosos de la primera realización ilustrativa .

La figura 11 es un gráfico para explicar los efectos ventajosos de la primera realización ilustrativa .

La figura 12 es un diagrama de flujo que ilustra un método de control de laminación de una banda de acero de una segunda realización ilustrativa .

5 La figura 13 es un diagrama que ilustra una correlación entre una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon(x)$.

La figura 14 es un diagrama de flujo que ilustra un método de control de la laminación de una banda de acero de una tercera realización ilustrativa .

La figura 15 es un diagrama que ilustra una nueva distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_2(x)$.

10 La figura 16 es un gráfico para explicar los efectos ventajosos de la tercera realización ilustrativa .

La figura 17 es un diagrama que ilustra esquemáticamente una línea de laminación provista de un laminador, un controlador de laminación y un medidor de perfil.

La figura 18 es un diagrama de flujo que ilustra un flujo de procesamiento ejecutado por un controlador de laminación de acuerdo con una realización ilustrativa de la presente invención.

15 La figura 19A es un diagrama modelo para una función de desviación.

La figura 19B es un diagrama modelo para una función de desviación.

Descripción de realizaciones

20 A continuación se explican las realizaciones ilustrativas de la presente invención, con referencia a los dibujos. En la presente memoria descriptiva y en los dibujos, a los elementos de configuración que tienen sustancialmente la misma función se les asignan los mismos números de referencia, y se omite la explicación duplicada. Se hace notar que en la presente realización ilustrativa, se da una explicación con respecto a un caso en el que se emplea una banda de acero como una banda de metal. La siguiente explicación trata sobre la distribución de la deformación unitaria y la carga en una mordaza de laminación de la banda de acero.

Principios de la ocurrencia de deformación unitaria de alargamiento de una banda de acero

25 En primer lugar, se explican los principios de la ocurrencia de deformación unitaria de alargamiento en una dirección de laminación (referida en lo que sigue como "deformación unitaria de alargamiento") cuando una banda de acero laminada padece (cuando se produce una deformación fuera de plano en la banda de acero), con referencia desde la figura 1 a la figura 4, y desde la figura 5A a la figura 5C. La figura 5A a la figura 5C corresponden a desde la figura 1 a la figura 4, y son diagramas explicativos que ilustran esquemáticamente las relaciones entre la diferencia de deformación unitaria de alargamiento y la diferencia de carga de laminación en una banda de acero en una vista en planta. Se debe hacer notar que en la siguiente explicación, se da una explicación con respecto a una onda central que se produce en la banda de acero. La onda central se refiere a la deformación fuera de plano en un perfil de onda que se produce en una porción central de la banda de acero en la dirección del ancho de banda, y también se conoce como estiramiento central. Aquí, la explicación trata de los parámetros respectivos que actúan sobre la banda de acero solo a nivel conceptual. Los detalles relacionados con los métodos para calcular los parámetros respectivos, por ejemplo, seguirán más adelante en una realización ilustrativa de un método de control de laminación de una banda de acero.

40 Como se ilustra en la figura 1, se lamina una banda de acero H usando un laminador 10 que incluye un par de rodillos. La dirección Y en la figura 1 indica la dirección de laminación de la banda de acero H, y la banda de acero H se transporta y se lamina en la dirección Y desde un lado de dirección negativa hacia un lado de dirección positiva. La dirección X en la figura 1 indica la dirección del ancho de banda de la banda de acero H. La figura 1 ilustra la mitad de la banda de acero H en la dirección del ancho de banda, es decir, desde un centro H_c a un borde H_e en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H.

45 La figura 1 ilustra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon(x)$ en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H en una mordaza de laminación, y una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ que actúa en una dirección vertical de la banda de acero H (dirección Z) a través de la dirección del ancho de banda, en un caso en el que la banda de acero H se lamina bajo una condición en la que se restringe la deformación fuera de plano de la banda de acero H (es decir, una condición en la que no se permite la deformación de la banda de acero H fuera de plano). La distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon(x)$ es una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en una posición x de la dirección del ancho de banda con respecto a la deformación unitaria de alargamiento en el centro de direc-

ción del ancho de banda H_c de la banda de acero H. De manera similar, la distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ es una distribución de las diferencias de carga de laminación en una posición de la dirección del ancho de banda x en relación con la carga de laminación en el centro de dirección del ancho de banda H_c de la banda de acero H. Además, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon(x)$ y la distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ tienen una correspondencia 1: 1 en la dirección del ancho de banda. En la figura 1, puesto que la deformación fuera de plano de la banda de acero H está restringida, se genera esfuerzo de compresión en la dirección de laminación inmediatamente después de la mordaza de laminación en la salida (ver las flechas grandes en la figura 1). Una relación entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon(x)$ y la distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ que se ilustra en la figura 1, se ilustra esquemáticamente en la figura 5A.

Como se ilustra en la figura 2, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon(x)$ se divide en una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$ que todavía está presente en la banda de acero H después del pandeo (referida en lo que sigue como la distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$), y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$ que se transforma en deformación fuera de plano en forma de onda después del pandeo (referida en lo que sigue como la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$). De estos, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$ es una distribución de las diferencias de deformación unitaria del límite en el que la banda de acero H pandeará si la diferencia de deformación unitaria se incrementase adicionalmente. En otras palabras, la distribución de la diferencia de deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$ es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en la deformación unitaria crítica a la cual la banda de acero H pandeará. De manera similar, la distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ se divide en una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_{cr}(x)$ (referida en lo que sigue como la distribución de las diferencias de carga de pandeo crítica $\Delta P_{cr}(x)$) que tiene una correspondencia 1: 1 en la dirección del ancho de banda con la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$, y una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_{sp}(x)$ (referida en lo que sigue como la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$) que tiene una correspondencia 1: 1 en la dirección del ancho de banda con la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$. Se hace notar que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$, la distribución de las diferencias de carga de pandeo crítica $\Delta P_{cr}(x)$, y la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ que se ilustran en la figura 2, se ilustran esquemáticamente en la figura 5B.

A continuación, cuando se permite la deformación fuera de plano de la banda de acero H, como se ilustra en la figura 3, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$ se transforma en deformación fuera de plano y desaparece. Además, el esfuerzo de compresión que se ilustra por las flechas grandes en la figura 1 disminuye, y la tensión aparente que actúa en la dirección de laminación de la banda de acero H aumenta (ver la flecha grande en la figura 3). Cuando esto ocurre, la carga de laminación que coincide con esta tensión, es decir, la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ correspondiente a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$, desaparece. Cuando la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ desaparece, como se ilustra en la figura 4, el metal fluye en la dirección del ancho de banda hacia una región de carga reducida, es decir, desde el borde H_e hacia el centro H_c de la banda de acero H (ver la flecha grande en la figura 4). Como resultado, debido al principio de volumen constante, la deformación unitaria de alargamiento en el centro H_c de la banda de acero H aumenta de acuerdo con la cantidad de metal que fluye a lo largo de la dirección del ancho de banda. Es decir, se produce un aumento en la diferencia de la deformación unitaria de alargamiento correspondiente a la desaparición de la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ (ver la flecha más delgada en la figura 4). En consecuencia, como se ilustra en la figura 5C, se puede obtener una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta \varepsilon'(x)$ de la banda de acero H añadiendo una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_n(x)$ que ha aumentado correspondiente a la desaparición de la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ (a esto se le denomina en lo que sigue como la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_n(x)$) a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon(x)$ cuando se restringe la deformación fuera de plano de la banda de acero H, que se ilustra en la figura 1. La distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_n(x)$ es una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento que surge como resultado del pandeo de la banda de acero H, y es una distribución de las diferencias de deformación unitaria no observada en los casos en los que la deformación fuera de plano de la banda de acero H está restringida ya que no se produce el pandeo. Se hace notar que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$ y la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_n(x)$ son ambas distribuciones de diferencia de deformación unitaria de alargamiento correspondientes a la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$, y son distribuciones equivalentes una a la otra. Sin embargo, por conveniencia, se les conoce por diferentes términos.

Como se ha descrito más arriba, como resultado de una investigación cuidadosa por parte del inventor sobre la distribución de las diferencias de carga de laminación y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H que sufre cambios como resultado del pandeo, se ha encontrado que cuando la deformación fuera de plano de la banda de acero H está restringida, existe una correlación entre la distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon(x)$ que se ilustra en la figura 5A, y también hay correlación entre las distribuciones de diferencia de carga de laminación $\Delta P_{cr}(x)$, $\Delta P_{sp}(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, $\Delta \epsilon_{sp}(x)$ que se ilustra en la figura 5B. En base a esto, se ha encontrado que cuando se permite la deformación fuera de plano de la banda de acero H, hay correlaciones entre la distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_{cr}(x)$ y las distribuciones de diferencia de deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, $\Delta \epsilon_{sp}(x)$, $\Delta \epsilon_n(x)$ que se ilustran en la figura 5C, y estas correlaciones se han establecido cuantitativamente. Además, también se ha encontrado que la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon'(x)$ que se ilustra en la figura 5C aumenta más que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon(x)$ obtenida en condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano, como se ilustra en la figura 5A y en la figura 5B, en una cantidad correspondiente a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \epsilon_n(x)$, lo que lleva a la derivación de la Ecuación 1 que sigue. Se hace notar que las distribuciones de diferencia de deformación unitaria de alargamiento que se describen en el documento JP - A números 2005 - 153011 y 2012 - 218010 son iguales a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon(x)$ que se ilustra en la figura 5B. La distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon'(x)$ derivada usando el método representado por la Ecuación (1) en la presente invención está más cerca de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento reales que las distribuciones de diferencia de deformación unitaria de alargamiento derivadas usando los métodos conocidos.

$$\Delta \epsilon'(x) = \Delta \epsilon(x) + \Delta \epsilon_n(x) \quad \dots (1)$$

Primera realización ilustrativa

A continuación, sigue la explicación con respecto a una primera realización ilustrativa de un método para controlar el perfil de la banda de acero H después de la laminación, en base a los descubrimientos que se han descrito más arriba. La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método de control de laminación para la banda de acero H en la primera realización ilustrativa .

En primer lugar, en condiciones en las que la deformación fuera de plano de la banda de acero H está restringida, se encuentra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H durante la laminación en condiciones específicas de laminación (paso S10 en la figura 6). La distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ se puede calcular utilizando un método conocido, tal como un Método de Elementos Finitos (FEM), un método de tablas, modelado físico o una fórmula de regresión a partir de la experimentación o el cálculo. El paso S10 es tecnología conocida.

El modelado utilizado para predecir el perfil laminación en el paso S10 ya está en uso. Las fórmulas de predicción de la corona de bandas que son necesarias durante las operaciones reales se encuentran respectivamente para laminadores individuales utilizando métodos estadísticos, basados en resultados calculados utilizando métodos de análisis numérico. Por ejemplo, como se describe en el Documento 1 más abajo, existe un método que emplea una fórmula de predicción de corona de bandas para la salida de un laminador general para derivar una corona de bandas separando los factores que dependen solo de las condiciones de deformación elástica del laminador de los factores que dependen de las condiciones de deformación plástica del material laminado.

Documento 1: Shigeru Ogawa, Hiromi Matsumoto, Shuichi Hamazu, Toshio Kikuma: Plasticity and Technology (Revista de la Sociedad Japonesa de Tecnología de la Plasticidad), vol. 25, núm. 286 (noviembre 1984), 1034 - 1041.

La utilización de este método permite encontrar la corona de banda a la entrada y la corona de banda a la salida del laminador. Además, es posible encontrar una diferencia de deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon$ multiplicando un coeficiente de cambio de forma ξ encontrado por medio de experimentación separada, por un cambio de la relación de corona $(Ch/h - CH/H)$. Es decir, la diferencia de deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon$ se puede expresar usando la Ecuación (2) que sigue.

$$\Delta \epsilon = \xi \cdot (Ch/h - CH/H) \quad \dots (2)$$

en la que CH es la corona en la entrada al laminador, H es el grosor de la banda en la entrada al laminador, Ch es la corona a la salida del laminador, y h es el grosor de la banda a la salida del laminador. En el paso S10, la distribu-

ción de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ se puede encontrar en base a la Ecuación (2).

A continuación, se encuentra que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$ en la dirección de ancho de banda de la banda de acero H está basada en la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ que se encuentra en el paso S10, el grosor de banda y el ancho de banda de la banda de acero H, y la tensión que actúa sobre la banda de acero H a la salida del laminador (paso S11 en la figura 6). Específicamente, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, que es la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento crítica en la dirección del ancho de banda a la que pandeará la banda de acero H, se calcula por medio de FEM o análisis de pandeo de banda plana empleando la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$, el grosor de banda y el ancho de banda de la banda de acero H, y la tensión que actúa sobre la banda de acero H.

Se hace notar que el análisis de pandeo de la banda plana se realiza, por ejemplo, empleando una modelación de pandeo formulada utilizando una distribución de esfuerzo residual triangular conocida (distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica) que se describe en la Revista de la Sociedad Japonesa de Tecnología de la Plasticidad: Plasticidad y Tecnología, vol. 28, núm. 312 (enero 1987), págs. 58 - 66 (que se denominará en lo que sigue como Documento 2) o, alternativamente, siguiendo el método que se describe en el documento JP - A número 2005 - 153011 utilizando una distribución a la que se llegó por discretización de una manera elegida. En particular, el método que se describe en el documento JP - A número 2005 - 153011 está formulado para permitir el análisis incluso utilizando una distribución de esfuerzo resultante del esfuerzo residual distribuido de una manera elegida en la dirección del ancho, y para permitir el análisis de pandeo incluso para el esfuerzo residual discretizado en cada posición en la dirección del ancho de banda.

Además, el modelado de pandeo que emplea, por ejemplo, el método que se describe en los documentos recopilados de la 63 Conferencia Conjunta Japonesa para la Tecnología de la Plasticidad (noviembre de 2012: Akaishi, Yasuzawa y Ogawa) (que se denominará en lo que sigue como Documento 3) permite calcular una deformación unitaria de pandeo crítica (esfuerzo) introduciendo el grosor de la banda, el ancho de la banda y la tensión, y una deformación unitaria residual (o esfuerzo residual) que tiene una distribución en la dirección del ancho de banda y es uniforme en la dirección de laminación.

El documento JP - A número 2005 - 153011 y el Documento 3 explican los métodos para encontrar la deformación unitaria de pandeo y los modos de pandeo por medio del análisis de pandeo y el uso de los resultados de los mismos para hacer predicciones de planitud para la deformación fuera de plano después del pandeo, y para estimar la deformación unitaria residual después de la deformación fuera de plano. A continuación, se explican los métodos que se describen en el documento JP - A número 2005 - 153011 y en el documento 3.

Los métodos hacen los siguientes supuestos.

- (a) que una banda de metal es una banda delgada y plana y que la deformación unitaria plástica residual en la dirección del ancho de banda se distribuye uniformemente en la dirección de laminación y en la dirección del grosor.
- (b) cuando se considera la tensión unitaria, incluso si el esfuerzo residual generado como resultado de la deformación unitaria plástica se distribuye, la integración en la dirección del ancho de banda coincide con la tensión unitaria.
- (c) que la deformación unitaria plástica debe considerar la deformación unitaria en la dirección de laminación, y otros componentes pueden ser ignorados.

Estos métodos emplean un método de energía con el fin de resolver un problema de pandeo de una banda plana con deformación unitaria plástica en línea con los supuestos anteriores. El método de energía empleado en el análisis de pandeo se determina por medio de un estándar de determinación de Trefftz. Además, los contenidos del Documento 2 se utilizan para las relaciones necesarias y la lógica básica con respecto al esfuerzo, la deformación unitaria, el desplazamiento, la energía de deformación unitaria, la energía potencial y otros similares. A continuación, se dan consideraciones adicionales para predecir la forma de pandeo usando estos métodos en los casos en los que se genera deformación unitaria plástica no uniforme en la dirección del ancho de banda. Se hace notar que en el sistema de coordenadas empleado, el eje x es la dirección de laminación, el eje y es la dirección del ancho de banda, y el eje z es la dirección del grosor de la banda.

- (a) la dirección del ancho de banda y el eje se divide en elementos, y la deformación unitaria residual para evaluar la forma pandeada se asigna de una manera elegida a cada elemento i como deformación unitaria plástica $\epsilon_x^*(i)$.

- (b) para considerar la falta de uniformidad en la deformación unitaria plástica en la dirección del ancho de banda, una función de desviación emplea un elemento de viga que tiene dos puntos nodales tales como la parte A en la figura 19A y la figura 19B, y una cantidad de desviación en la dirección del ancho de banda se expresa por medio de la función tridimensional de la Ecuación (3).

$$5 \quad w(y) = a_1 + a_2y + a_3y^2 + a_4y^3 \quad \dots (3)$$

Además, puesto que el desplazamiento en la dirección de laminación generalmente tiene una forma de onda sinusoidal periódica, se utiliza una función de onda sinusoidal como multiplicador para dar la Ecuación (4).

$$w(x, y) = w(y) \cdot \sin(\pi x/L) \quad \dots (4)$$

en la que L es un paso de medio ciclo (la mitad de la longitud de onda) de la onda sinusoidal.

- 10 El análisis que utiliza estos métodos incluye la discretización de la deformación unitaria plástica y las funciones de desplazamiento en los elementos respectivos como se ha descrito más arriba, realizando una operación variante de δ ($\delta^2\pi$) en la segunda variante $\delta^2\pi$ de la energía potencial total basada en la Ecuación de gobierno en el Documento 2, y encontrar una respuesta que satisfaga $F = 0$ para la siguiente Ecuación (5), es decir, encontrar el esfuerzo de pandeo y un modo de pandeo como respuesta para un problema particular.

$$15 \quad \begin{aligned} F &= \delta(\delta^2\pi) \\ &= 2\iint_R [\delta w_{1,x} \{H\sigma_f + EH(\varepsilon_m^* - \varepsilon_x^*)\}] w_{1,x} dx dy \\ &+ 2D\iint_R [\delta w_{1,xx} w_{1,xx} + \delta w_{1,yy} w_{1,yy} \\ &+ v(\delta w_{1,xx} w_{1,yy} + \delta w_{1,yy} w_{1,xx}) + 2(1 - v) \delta w_{1,xy} w_{1,xy}] dx dy \dots (5) \end{aligned}$$

- en la que el sufijo 1 es un pequeño incremento en el desplazamiento después del pandeo, ε_x^* es la deformación unitaria plástica, ε_m^* es un valor promedio de ε_x^* en la dirección del ancho de banda, H es el grosor de la banda, σ_f es el esfuerzo por unidad de tensión, E es el módulo de Young, v es la relación de Poisson y $D = EH^3/12 (1 - v^2)$ Como resultado, esto permite que se pueda encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$.

- 20 A continuación, se realiza una determinación respecto a si la banda de acero H pandeará o no (paso S12 en la figura 6). Específicamente, se realiza una determinación respecto a si la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\varepsilon(x)$ se encuentra o no en el paso S10 y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S11 satisface la siguiente Ecuación (6).

$$25 \quad \Delta\varepsilon(x) > \Delta\varepsilon_{cr}(x) \quad \dots (6)$$

- Como se ilustra en la figura 7, si la Ecuación (6) no se satisface en el paso S12, y se determina que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\varepsilon(x)$ encontrada en el paso S10 no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S11, entonces se presume que la banda de acero H no pandeará y será plana. En tales casos, el perfil de la banda de acero H se controla haciendo laminar la banda de acero H con las condiciones de laminación tal como están, sin cambios (paso S13 en la figura 6). Se hace notar que la figura 7 es un diagrama que ilustra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en la dirección del ancho de banda, de manera similar a las figuras desde la figura 1 a la figura 4, y desde la figura 5A a la figura 5C, tomando la deformación unitaria de alargamiento en el centro de dirección del ancho de banda H_c de la banda de acero H como 0. Por consiguiente, cuando se ilustra como en la figura 7, la deformación unitaria de alargamiento en los bordes H_e de la banda de acero son valores negativos. De manera similar, también se aplica en la figura 8.

- 30 Sin embargo, como se ilustra en la figura 8, si la Ecuación (6) se cumple en el paso S12, y se determina que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\varepsilon(x)$ encontrada en el paso S10 excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S11, se presume que la banda de acero H pandeará. En tales casos, la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\varepsilon(x)$ encontrada en el paso S10 y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\varepsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S11 es encontrada. Esta diferencia es la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta\varepsilon_n(x)$ que se ilustra en la figura 5C ($\Delta\varepsilon_n(x) = \Delta\varepsilon(x) - \Delta\varepsilon_{cr}(x)$). A continuación, como se ilustra en la figura 9, la Ecuación (1) se usa para encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\varepsilon'(x)$ al agregar la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta\varepsilon_n(x)$ a la distribución de

las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ encontrada en el paso S10 (paso S14 en la figura 6).

5 A continuación, el perfil de la banda de acero H se controla estableciendo condiciones de laminación basadas en la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\epsilon'(x)$ encontrada en el paso S14, y laminando la banda de acero H (paso S15 en la figura 6). Específicamente, las condiciones de laminación se establecen de modo que, por ejemplo, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\epsilon'(x)$ se hace igual o menor que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$. En consecuencia, la banda de acero H no pandeo y queda plana después de laminar. Las condiciones de laminación incluyen, por ejemplo, la carga de laminación y el momento de flexión del rodillo que controla la deflexión de los rodillos. Se hace notar que las condiciones de laminación se pueden establecer de una manera elegida, y la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ se puede determinar utilizando el presente algoritmo para controlar el perfil de la banda de acero H después de la laminación, de acuerdo con lo que sea necesario.

15 De acuerdo con la primera realización ilustrativa, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\epsilon'(x)$ de la banda de acero H se encuentra agregando la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta\epsilon_n(x)$ encontrada en el paso S14 a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ encontrada en el paso S10. Al encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento de esta manera, la precisión de predicción de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento se puede aumentar en comparación con lo que ocurre hasta el momento. En consecuencia, el establecimiento de las condiciones de laminación en función de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\epsilon'(x)$ permite un excelente control del perfil de la banda de acero H después de la laminación.

25 La figura 10 y la figura 11 son gráficos que explican los efectos ventajosos de la primera realización ilustrativa. Los ejes horizontales en la figura 10 y la figura 11 indican la distancia desde el centro de la banda de acero, y los ejes verticales indican la diferencia de deformación unitaria de alargamiento en la dirección de laminación de la banda de acero. Se hace notar que las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en la figura 10 y la figura 11 son valores relativos al centro de la banda de acero (tomando este como cero). El modelo asimétrico de arriba hacia abajo en la figura 10 y en la figura 11 es un modelo FEM para laminar en condiciones en las que se permite la deformación fuera de plano de la banda de acero H, y las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento encontradas usando este modelo de laminación son diferencias de la deformación unitaria de alargamiento reales. Por el contrario, el modelo simétrico de arriba hacia abajo en la figura 10 es un modelo FEM para laminar en condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de la banda de acero H. El nuevo modelo en la figura 11 es un modelo de laminación de la primera realización ilustrativa, y es un modelo que refleja la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ que se ha descrito más arriba. Se realizaron simulaciones de laminación de bandas de acero utilizando cada modelo.

40 Como se ilustra en la figura 10, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento encontrada usando un modelo simétrico de arriba hacia abajo conocido difiere de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento encontrada usando el modelo asimétrico de arriba hacia abajo. Por el contrario, como se ilustra en la figura 11, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento encontrada usando el nuevo modelo de la primera realización ilustrativa es casi la misma que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento encontrada usando el modelo asimétrico de arriba hacia abajo. Por lo tanto, se puede ver que la primera realización ilustrativa permite predecir la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento de la banda de acero de una manera más precisa y acertada que hasta ahora.

45 Investigaciones adicionales por parte de los inventores revelaron que cuando el perfil de la banda de acero se controlaba usando el método que se describe en la primera realización ilustrativa, el rendimiento debido al perfil se mejoraba en un 1% en comparación con lo que se conseguía hasta ahora.

50 Se hace notar que en la primera realización ilustrativa, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\epsilon'(x)$ se puede encontrar en base a las fluctuaciones de tensión causadas por el pandeo a la salida del laminador. Específicamente, en el paso S14, la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo encontrada $\Delta\epsilon_n(x)$ se convierte en una tensión que actúa sobre la banda de acero H. Un cambio $\Delta P_n(x)$ en la distribución de las diferencias de carga de laminación en la dirección del ancho de banda que surge debido a las fluctuaciones de tensión a la salida del laminador, y a continuación, como en la Ecuación (7) que sigue, se toma un diferencial de segundo orden de $\Delta P_n(x)$ con respecto a la dirección del ancho de banda x para encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon_n'(x)$. A continuación, como en la Ecuación (8) que sigue, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon_n'(x)$ encontrada con la Ecuación (7) se agrega a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ encontrada en el paso S10 para encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\epsilon'(x)$.

$$\Delta \varepsilon_n'(x) = d^2 \Delta P_n(x) / dx^2 \quad \dots (7)$$

$$\Delta \varepsilon'(x) = \Delta \varepsilon(x) + \Delta \varepsilon_n'(x) \quad \dots (8)$$

De esta manera, se encuentran inicialmente las tensiones convertidas al convertir la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_n(x)$ en tensión, y a continuación se encuentra la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_n'(x)$ correspondiente a las tensiones convertidas, de modo que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento encontrada $\Delta \varepsilon_n'(x)$ se aproxima más a la realidad. Además, al encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_n'(x)$, se toma un diferencial de segundo orden del cambio $\Delta P_n(x)$ en la distribución de las diferencias de carga de laminación, acercándose así a la realidad. De este modo, se puede predecir con mayor precisión la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon'(x)$ de la banda de acero H.

Se hace notar que en la presente realización ilustrativa, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ se encuentra en el paso S10. Sin embargo, el paso S10 se puede omitir en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ ya es conocida, o en casos en los que se puede emplear un valor encontrado previamente. En tales casos, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional conocida $\Delta \varepsilon(x)$ se emplea en el paso S11 para encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$.

Segunda realización ilustrativa

A continuación, se proporciona una explicación con respecto a una segunda realización ilustrativa de un método para controlar el perfil de la banda de acero H después de la laminación. La figura 12 es un diagrama de flujo que ilustra un método de control de laminación de la banda de acero H en la segunda realización ilustrativa.

En primer lugar, bajo condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de la banda de acero H, se encuentran una distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ en la dirección del ancho de banda, y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ en la dirección del ancho de banda de acero H durante la laminación en condiciones específicas de laminación (paso S20 en la figura 12). De manera similar al paso S10, la distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ se pueden calcular usando un método conocido, tal como un FEM, un método de tabla, modelado físico o una fórmula de regresión a partir de experimentación o cálculo.

A continuación, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$ en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H se basa en la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ que se encuentra en el paso S20, el grosor de banda y el ancho de banda de la banda de acero H, y la tensión que actúa sobre la banda de acero H a la salida del laminador (paso S21 en la figura 12). El paso S21 se realiza utilizando un método similar al paso S11 anterior.

A continuación, se determina si la banda de acero H pandeará o no (paso S22 en la figura 12). El paso S22 se realiza utilizando un método similar al paso S12 anterior.

En el paso S22, en los casos en los que se determina que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ encontrada en el paso S20 no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S21, entonces se presume que la banda de acero H no pandeará. En tales casos, el perfil de la banda de acero H se controla dejando las condiciones de laminación como están, sin cambios, y laminando la banda de acero H (paso S23 en la figura 12).

Sin embargo, en los casos en los que en el paso S22 se determina que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ encontrada en el paso S20 excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S21, se presume que la banda de acero H pandeará. En tales casos, la correlación entre la distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ encontrada en el paso S20 se encuentran como se ilustra en la figura 13. En base a esta correlación, se encuentra la distribución crítica de las diferencias de carga de pandeo $\Delta P_{cr}(x)$ que corresponde a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S21. A continuación, se encuentra la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$, que es la diferencia entre la distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ encontrada en el paso S20 y la distribución crítica de las diferencias de carga de pandeo $\Delta P_{cr}(x)$ encontrada en el paso S24, ($\Delta P_{sp}(x) = \Delta P(x) - \Delta P_{cr}(x)$). Además, suponiendo que no hay cambio en la relación de corona en la banda de metal entre la salida y la entrada al laminador, un método conocido como un FEM, un método de losa, modelado físico o una fórmula de regresión a partir de la experimentación o el cálculo es empleado para encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$ de la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$.

Se hace notar que la correlación entre la distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ encontrada en el paso S20 se puede emplear al encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$ de la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$. Entonces, la distribución verdadera de las diferencias de deformación por elongación $\Delta \varepsilon'(x)$ se encuentra sumando la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp}(x)$ a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ encontrada en el paso S20, como en la Ecuación (9) a continuación (paso S24 en la figura 12).

$$\Delta \varepsilon'(x) = \Delta \varepsilon(x) + \Delta \varepsilon_{sp}(x) \quad \dots (9)$$

A continuación, el perfil de la banda de acero H se controla estableciendo condiciones de laminación basadas en la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon'(x)$ encontrada en el paso S24, y laminando la banda de acero H (paso S25 en la figura 12). El paso S25 se realiza utilizando un método similar al paso S15 anterior.

La segunda realización ilustrativa es un ejemplo modificado de la primera realización ilustrativa que se ha descrito más arriba. El método para calcular el aumento en la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento a partir de la distribución provisional de las diferencias de la deformación unitaria de elongación $\Delta \varepsilon(x)$ difiere entre la primera realización ilustrativa y la segunda realización ilustrativa. En el paso S14 de la primera realización ilustrativa, el aumento en la diferencia de deformación unitaria se encuentra a partir de la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr}(x)$. Sin embargo, en el paso S24 de la segunda realización ilustrativa, el aumento en la diferencia de deformación unitaria se encuentra a partir de la diferencia entre la distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ y la distribución crítica de las diferencias de carga de pandeo $\Delta P_{cr}(x)$. Por consiguiente, la segunda realización ilustrativa puede disfrutar de efectos ventajosos similares a la primera realización ilustrativa. Es decir, la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon'(x)$ de la banda de acero H puede predecirse con mayor precisión y exactitud que hasta ahora. Además, establecer las condiciones de laminación en función de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon'(x)$ permite un excelente control del perfil de la banda de acero H después de la laminación.

Tercera realización ilustrativa

A continuación se proporciona la explicación con respecto a una tercera realización ilustrativa de un método para controlar el perfil de la banda de acero H después de la laminación. La figura 14 es un diagrama de flujo que ilustra un método de control de laminación de la banda de acero H en la tercera realización ilustrativa.

En la tercera realización ilustrativa, los pasos S30 a S33 en el diagrama de flujo que se ilustra en la figura 14 son similares a los pasos respectivos S20 a S23 de la segunda realización ilustrativa. Se hace notar que los pasos S30 a S34 se realizan repetidamente, como se describe a continuación, por lo que, para facilitar la explicación, se incluye el número de veces de repetición como un sufijo de cada parámetro. Por ejemplo, cuando se realiza el paso S30 por primera vez, se encuentran una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_1(x)$ y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_1(x)$, y cuando se realiza el paso S31 por primera vez, se encuentra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr1}(x)$.

En el paso S34 se realiza el proceso en casos en los que, en el paso S32, se determina que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon_1(x)$ encontrada en el paso S30 excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr1}(x)$ encontrada en el paso S31, y que la banda de acero H pandeará. En tales casos, se encuentra la correlación entre la distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_1(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon_1(x)$ encontrada en el paso S30, como se ilustra en la figura 13. Además, se encuentra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp1}(x)$, que es la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \varepsilon_1(x)$ encontrada en el paso S30 y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr1}(x)$ encontrada en el paso S31, ($\Delta \varepsilon_{sp1}(x) = \Delta \varepsilon_1(x) - \Delta \varepsilon_{cr1}(x)$). En base a la correlación anterior, se encuentra una distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp1}(x)$ correspondiente a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \varepsilon_{sp1}(x)$. A continuación, como se ilustra en la figura 15, la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp1}(x)$ se superpone a la distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_1(x)$ encontrada en el paso S30 para calcular una nueva distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_2(x)$ (paso S34 en la figura 14). Es decir, la nueva distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_2(x)$ puede expresarse por medio de la Ecuación (10) que se indica a continuación.

$$\Delta P_2(x) = \Delta P_1(x) + \Delta P_{sp1}(x) \quad \dots (10)$$

Se hace notar que cuando se produce el pandeo, la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp1}(x)$ desaparece, y así en la práctica, para encontrar $\Delta P_2(x)$, el procesamiento se realiza para restar $\Delta P_{sp1}(x)$ de $\Delta P_1(x)$.

5 En la tercera realización ilustrativa, se supone que hay un cambio en la relación de corona de la banda de metal entre la salida y la entrada al laminador. Es decir, cuando hay una fluctuación en la carga de laminación que actúa sobre la banda de acero H, se supone que la desviación de los rodillos del laminador 10 fluctúa debido a la fluctuación en la carga de laminación y la deformación unitaria de alargamiento de la banda de acero H también fluctúa. Además, se agrega una carga de laminación promedio a la nueva distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_2(x)$ que se encontró en el paso S34 para encontrar una nueva distribución de las diferencias de carga de laminación, y el procesamiento vuelve al paso S30 y se calcula una nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_2(x)$ en función de la nueva distribución de las diferencias de carga de laminación. A continuación, en el paso S31, una nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{cr2}(x)$ se encuentra en base a la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_2(x)$, el grosor y el ancho de banda de la banda de acero H, y la tensión que actúa sobre la banda de acero H a la salida del laminador. A continuación, después de pasar por el paso S32, se calcula nuevamente una nueva distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_3(x)$ en el paso S34. Se hace notar que la correlación entre la distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P_1(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_1(x)$ empleada en la primera ocasión en el paso S34 puede encontrarse como la correlación entre la distribución de las diferencias de carga de laminación y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento, y esta correlación puede emplearse repetidamente desde la segunda ocasión en adelante.

Los pasos S30 a S34 se realizan M veces (M es un número entero positivo) para calcular finalmente una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_M(x)$ y una nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{crM}(x)$. Una distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_{nM}(x)$, que es la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_M(x)$ y la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \varepsilon_{crM}(x)$, se encuentra entonces ($\Delta \varepsilon_{nM}(x) = \Delta \varepsilon_M(x) - \Delta \varepsilon_{crM}(x)$). A continuación, la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon'(x)$ se encuentra agregando la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_{nM}(x)$ a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon_M(x)$, como en la Ecuación (11) a continuación (paso S35 en la figura 14).

$$\Delta \varepsilon'(x) = \Delta \varepsilon_M(x) + \Delta \varepsilon_{nM}(x) \quad \dots (11)$$

A continuación, el perfil de la banda de acero H se controla estableciendo condiciones de laminación basadas en la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon'(x)$ encontrada en el paso S35, y laminando la banda de acero H (paso S36 en la figura 14). El paso S36 se realiza usando un método similar al paso S25 anterior.

En la tercera realización ilustrativa, los pasos S30 a S34 se realizan repetidamente, bajo el supuesto de que hay un cambio en la relación de corona de la banda de metal entre la salida y la entrada al laminador. Esto permite que mejore la precisión de la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_{nM}(x)$, y permite que la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \varepsilon'(x)$ de la banda de acero H se anticipe con una precisión aún mayor.

La figura 16 es un gráfico para explicar los efectos ventajosos de la tercera realización ilustrativa. En la figura 16, el eje horizontal indica el número de repeticiones M de los pasos S30 a S34, y el eje vertical indica la relación de precisión al predecir el perfil de la banda de acero. La "relación de precisión" aquí se refiere a una relación entre la inclinación de la banda de acero obtenida por simulación y la inclinación de una banda de acero realmente fabricada (inclinación calculada / inclinación verdadera). Se hace notar que "inclinación" es un índice que indica la extensión del estiramiento central, el estiramiento del borde y similares, y es un valor que expresa la proporción de la altura de una onda con el paso de la onda como un porcentaje. Se puede ver en la figura 16 que la relación de precisión de la predicción del perfil mejora a medida que aumenta el número de repeticiones M.

Se hace notar que el número de repeticiones M se puede establecer cómo se desee, y, por ejemplo, se puede establecer un número predeterminado de repeticiones, o alternativamente, el procesamiento se puede repetir hasta que la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta \varepsilon_M(x)$ converja.

Otras realizaciones ilustrativas

La primera realización ilustrativa, la segunda realización ilustrativa y la tercera realización ilustrativa que se han descrito más arriba se implementan usando la línea de laminación 1 que se ilustra en la figura 17. La línea de laminación 1 incluye el laminador 10 que se ha descrito más arriba y un controlador de laminación 20 que controla el laminador 10. El controlador de laminación 20 incluye una sección de computación 21 y una sección de control 22.

- La sección de computación 21 realiza el cálculo de los pasos S10 a S14 de la primera realización ilustrativa, los pasos S20 a S24 de la segunda realización ilustrativa, y los pasos S30 a S35 de la tercera realización ilustrativa. La sección de control 22 establece las condiciones de laminación en función de los resultados de cálculo de la sección de computación 21, concretamente en función de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$. Estas condiciones de laminación se envían al laminador 10, y el laminador 10 es controlado con el fin de controlar el perfil de la banda de acero H después de la laminación.
- La figura 18 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de un flujo de procesamiento ejecutado por el controlador de laminación 20.
- En el paso S101, la sección de computación 21 recibe la entrada de las condiciones de laminación provisionales establecidas para el controlador de laminación 20.
- En el paso S102, la sección de computación 21 encuentra la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H durante la laminación en base a la entrada recibida de las condiciones de laminación.
- En el paso S103, la sección de computación 21 encuentra la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$ en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H en base a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ encontrada en el paso S102, el grosor de banda y el ancho de banda de la banda de acero H, y la tensión que actúa sobre la banda de acero H a la salida del laminador.
- En el paso S104, la sección de computación 21 realiza la determinación de pandeo. Específicamente, la sección de computación 21 determina si la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ que se encuentra en el paso S102 y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$ que se encuentra en el paso S103 satisfacen la Ecuación (6). En los casos en los que la sección de computación 21 determina que se ha satisfecho la Ecuación (6) (en los casos en los que se presume que se producirá pandeo), el procesamiento realiza la transición al paso S106, y en los casos en los que la sección de computación 21 determina que no se ha satisfecho la Ecuación (6) (en los casos en los que se presume que no se producirá pandeo), el procesamiento realiza la transición al paso S105.
- En el paso S105, la sección de computación 21 notifica a la sección de control 22 que no hay necesidad de cambiar las condiciones provisionales de laminación de entrada que se recibieron en el paso S101.
- En el paso S106, la sección de computación 21 encuentra la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ encontrada en el paso S102 y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$ encontrada en el paso S103 como la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta\epsilon_n(x)$ ($\Delta\epsilon_n(x) = \Delta\epsilon(x) - \Delta\epsilon_{cr}(x)$). La sección de computación 21 a continuación usa la Ecuación (1) para encontrar la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ al agregar la distribución de las diferencias de deformación unitaria de intensificación de pandeo $\Delta\epsilon_n(x)$ a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$. La sección de computación 21 a continuación suministra la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$, derivada como se describe más arriba, a la sección de control.
- En el paso S107, la sección de control 22 deriva nuevas condiciones de laminación basadas en la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$. Por ejemplo, la sección de control 22 deriva nuevas condiciones de laminación de tal manera que la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ se vuelve igual o menor que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$. Se hace notar que las nuevas condiciones de laminación pueden ser derivadas por la sección de computación 21.
- En el paso S108, en los casos en los que la sección de control 22 ha recibido notificación de la sección de computación 21 de que no hay necesidad de cambiar las condiciones de laminación, la sección de control 22 envía las condiciones de laminación originales al laminador 10 y controla el laminador 10, controlando de ese modo el perfil de la banda de acero H después de la laminación. Sin embargo, en los casos en los que la sección de control 22 ha derivado nuevas condiciones de laminación en el paso S107, la sección de control 22 envía las nuevas condiciones de laminación al laminador 10 y controla el laminador 10, controlando así el perfil de la banda de acero H después de la laminación.
- En el paso S109, la sección de control 22 determina si finalizar o no la laminación. La sección de control 22 devuelve el procesamiento al paso S101 en los casos en los que la sección de control 22 ha determinado no finalizar la laminación, y finaliza la rutina actual en los casos en los que la sección de control 22 ha determinado finalizar la laminación.

Se hace notar que en el flujo de procesamiento del controlador de laminación 20 que se ilustra en la figura 18, se ha dado una explicación con respecto a un ejemplo correspondiente al método de control de laminación de acuerdo con la figura 6 (la primera realización ilustrativa). Sin embargo, el controlador de laminación 20 puede configurarse para ejecutar el procesamiento correspondiente al método de control de laminación de acuerdo con la figura 12 (la segunda realización ilustrativa) o la figura 14 (la tercera realización ilustrativa).

Se puede instalar un medidor de perfil 30 a la salida del laminador 10 en la línea de laminación 1. El medidor de perfil 30 mide el perfil de la banda de acero H después de la laminación. El perfil de la banda de acero H es medido por las posiciones en la dirección de laminación y las posiciones en la dirección del ancho de banda de la banda de acero H, y el desplazamiento de altura en estas posiciones. Los resultados de medición del medidor de perfil 30 se envían al controlador de laminación 20. En la sección de computación 21 del controlador de laminación 20, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\epsilon_{sp}(x)$ se corrige en función de los resultados de las mediciones del medidor de perfil 30, acompañando a la cual también se corrige la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadero $\Delta\epsilon'(x)$. La corrección de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadero $\Delta\epsilon'(x)$ se realiza usando el método que se describe en el documento JP - A número 2012 - 218010. Es decir, en primer lugar, una distribución real de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\epsilon_{sp}(x)$ se encuentra en base a los resultados de medición del medidor de perfil 30. La distribución real de la diferencia de deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\epsilon_{sp}(x)$ y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\epsilon_{sp}(x)$ anticipada usando una realización ilustrativa que se ha descrito más arriba se comparan una a la otra, y una diferencia (error) E entre ellas se toma como el error modelo. En base al error E, se realiza el aprendizaje y se corrige la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ (distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$) encontrada en los pasos S10, S20 o S30. Específicamente, el error E se agrega a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ (distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$) encontrada en el paso S10, S20 o S30, y a continuación se realiza el procesamiento posterior respectivo para encontrar la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$. A continuación, la sección de control 22 corrige las condiciones de laminación basándose en el resultado corregido de la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta\epsilon'(x)$ por la sección de computación 21 de modo que el perfil de la banda de acero H alcanzará un perfil objetivo. De esta manera, las condiciones de laminación se controlan por medio de retroalimentación en función de los resultados de medición del medidor de perfil 30. Los inventores descubrieron en sus investigaciones que la realización de dicho control de retroalimentación mejora el rendimiento debido al perfilamiento un 0,5% adicional.

La presente invención también se puede aplicar en casos en los que la banda de acero H sufre deformación fuera de plano al entrar en el laminador 10. Los inventores descubrieron en sus investigaciones que en los casos en los que la banda de acero H sufre tal deformación fuera de plano al entrar al laminador, la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento de la banda de acero H después de la laminación aumenta en comparación con los casos en los que la banda de acero H no sufre deformación fuera de plano al entrar al laminador. En otras palabras, la precisión de predicción del perfil de la banda de acero se hace todavía peor cuando se usan métodos conocidos. Por el contrario, en la presente invención, puesto que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento correspondiente a la cantidad de deformación fuera de plano en la entrada al laminador puede incluirse en la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta\epsilon_{sp}(x)$, no hay ningún efecto sobre la predicción de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ de la banda de acero H. Esto permite que el perfil de la banda de acero H se controle adecuadamente incluso cuando la banda de acero H sufre deformación fuera de plano en la entrada al laminador.

Se hace notar que en las realizaciones ilustrativas que se han descrito más arriba, la presente invención se ha explicado usando un ejemplo en el que se genera una onda central en la banda de acero. Sin embargo, la presente invención también puede aplicarse en casos en los que se generan ondas de borde o cuartos de onda.

Se ha dado una explicación con respecto a las realizaciones ilustrativas preferidas de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos. Sin embargo, la presente invención no se limita a estos ejemplos. Para una persona experta en la materia, sería claro que se pueden realizar diversas modificaciones o ajustes dentro del alcance de los conceptos enumerados en el alcance de las reivindicaciones, y una persona experta en la materia comprenderá que estos obviamente caerían dentro del alcance técnico de la presente invención.

Aplicabilidad industrial

La presente invención es útil en casos en los que se predice el perfil de una banda de metal, por ejemplo, una lámina o una placa, después de la laminación, y el perfil de la banda de metal se controla en función de los resultados de la predicción.

Se hace referencia a la Solicitud de Patente Japonesa número 2014 - 187290, presentada el 16 de septiembre de 2014.

REIVINDICACIONES

1. Un método de control de laminación que comprende:

5 encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, que es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica a la que pandeará una banda de metal, en base al grosor de la banda de metal, el ancho de banda de la banda de metal, la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador, y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda de la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación en condiciones específicas de laminación y que se encuentra bajo condiciones en las cuales se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal;

15 en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, encontrar una distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ agregando la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ y la distribución crítica de las diferencias de deformación unitaria de pandeo $\Delta\epsilon_{cr}(x)$ a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$; y

20 laminar la banda de metal sin cambiar las condiciones específicas de laminación en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, y laminar la banda de metal en condiciones de laminación establecidas en función de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ excede la distribución de diferencia de deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$.

- 25 2. El método de control de laminación de la reivindicación 1, que comprende además encontrar la distribución de las diferencias de la deformación unitaria provisional $\Delta\epsilon(x)$.

- 30 3. El método de control de laminación de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que, al encontrar la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$, se encuentra una tensión convertida al convertir una diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ y la distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$ en la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida del laminador, y la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ se encuentra agregando una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento correspondiente a la tensión convertida a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$.

- 35 4. El método de control de laminación de la reivindicación 3, en el que, cuando se encuentra la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$, un diferencial de segundo orden con respecto a la dirección del ancho de banda de una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ en la dirección del ancho de banda de la banda de metal correspondiente a la tensión convertida se encuentra como una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento correspondiente a la tensión convertida.

- 40 5. Un método de control de laminación que comprende:

45 bajo condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal, encontrar una distribución provisional de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$, que es una distribución de las diferencias en la carga de laminación en una dirección de ancho de banda de la banda de metal durante la laminación bajo condiciones específicas de laminación, y encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$, que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda en la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación;

50 encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, que es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica a la que la banda de metal pandeará, en base a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$, un grosor de la banda de la banda de metal, un ancho de banda de la banda de metal, y la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador;

55 en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, encontrar

una distribución de las diferencias de carga de pandeo crítica $\Delta P_{cr}(x)$, que es una distribución de las diferencias de carga de laminación $\Delta P(x)$ correspondiente a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, a partir de una correlación entre la distribución de las diferencias de carga de laminación provisional $\Delta P(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$,

5 encontrar una diferencia entre la distribución de las diferencias de carga de laminación provisional $\Delta P(x)$ y la distribución diferencia de carga de pandeo crítica $\Delta P_{cr}(x)$, y encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadera $\Delta \epsilon'(x)$ agregando una distribución de las diferencias de deformación unitaria, correspondiente a la diferencia, a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ bajo el supuesto de que no hay cambio de relación de corona en la banda de metal entre la salida y la entrada al laminador; y

10 laminar la banda de metal sin cambiar las condiciones específicas de laminación en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, y laminar la banda de metal en condiciones de laminación que se establecen en función de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon'(x)$ en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \epsilon_{cr}(x)$.

6. Un método de control de laminación que comprende:

20 bajo condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal, encontrar una distribución de las diferencias de carga de laminación provisional $\Delta P(x)$, que es una distribución de las diferencias en la carga de laminación en una dirección de ancho de banda de la banda de metal durante la laminación bajo condiciones específicas de laminación, y encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$, que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda en la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación;

25 encontrar una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, que es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica a la que la banda de metal pandeará, en base a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$, un grosor de la banda de la banda de metal, un ancho de banda de la banda de metal, y la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador;

30 en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, encontrar una distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ correspondiente a una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de deformación fuera de plano $\Delta \epsilon_{sp}(x)$, que es una diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, a partir de una correlación entre la distribución de las diferencias de carga de laminación provisional $\Delta P(x)$ y la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$, derivando una nueva distribución de las diferencias de carga de laminación superponiendo la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ en la distribución de las diferencias de carga de laminación provisional $\Delta P(x)$, encontrar una nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento en base a la nueva distribución de las diferencias de carga de laminación bajo el supuesto de que hay un cambio en una relación de corona de la banda de metal, y encontrar además una nueva distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica en base a la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento, el grosor de la banda y el ancho de banda de la banda de metal, y la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida del laminador;

35 encontrar una diferencia entre la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento y la nueva distribución de diferencia de deformación unitaria de pandeo crítica, y encontrar una distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon'(x)$ agregando esta diferencia a la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento; y

40 laminar la banda de metal sin cambiar las condiciones específicas de laminación en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta \epsilon(x)$ no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta \epsilon_{cr}(x)$, y laminar la banda de metal en condiciones de laminación que se establecen en función de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta \epsilon'(x)$ en los casos en los que la distribución de las diferencias

55

de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$.

- 5 7. El método de control de laminación de la reivindicación 6, en el que encontrar la distribución de las diferencias de carga de deformación fuera de plano $\Delta P_{sp}(x)$ se realiza una pluralidad de veces tomando la nueva distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$, y tomando la nueva distribución de las diferencias por deformación unitaria de pandeo crítica como la distribución de las diferencias por deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$.
- 10 8. El método de control de laminación de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la banda de metal sufre deformación fuera de plano en la entrada al laminador.
9. El método de control de laminación de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además:
 emplear un medidor de perfil instalado a la salida del laminador para medir el perfil de la banda de metal después de la laminación; y
 15 corregir la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ en base a una diferencia entre una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento verdadero que se ha transformado en deformación fuera de plano encontrada a partir de un perfil medido de la banda de metal, y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento prevista para transformarse en deformación fuera de plano.
- 20 10. Un controlador de laminación que comprende:
 una sección de computación que encuentra una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, que es una distribución en la dirección del ancho de banda de las diferencias en una deformación unitaria crítica a la que pandeará una banda de metal, basada en el grosor de la banda de metal, el ancho de banda de la banda de metal, la tensión que actúa sobre la banda de metal a la salida de un laminador, y una distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$
 25 que es una distribución de las diferencias en la dirección del ancho de banda de la deformación unitaria de alargamiento a lo largo de una dirección de laminación de la banda de metal durante la laminación en condiciones de laminación específicas, y que se encuentra en condiciones en las que se restringe la deformación fuera de plano de una banda de metal, y la sección de computación, en casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, encontrar una distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ agregando la diferencia entre la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ y la distribución de las diferencias de deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$ a la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$; y
 30 una sección de control que controla las condiciones de laminación sin cambiar las condiciones específicas de laminación, en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ no excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$, y que controla las condiciones de laminación que se establecen en función de la distribución verdadera de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento $\Delta\epsilon'(x)$ en los casos en los que la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de alargamiento provisional $\Delta\epsilon(x)$ excede la distribución de las diferencias de la deformación unitaria de pandeo crítica $\Delta\epsilon_{cr}(x)$.
 35
 40
11. Un método de fabricación para una banda de metal laminada, haciendo uso el método de fabricación del método de control de laminación de acuerdo con la reivindicación 1.

FIG.1

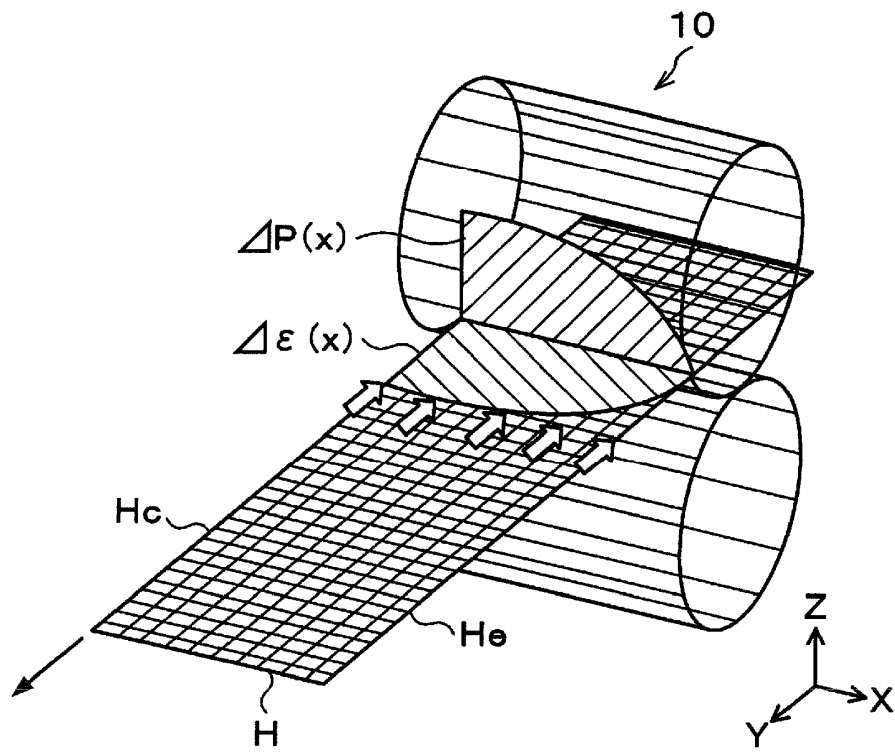


FIG.2

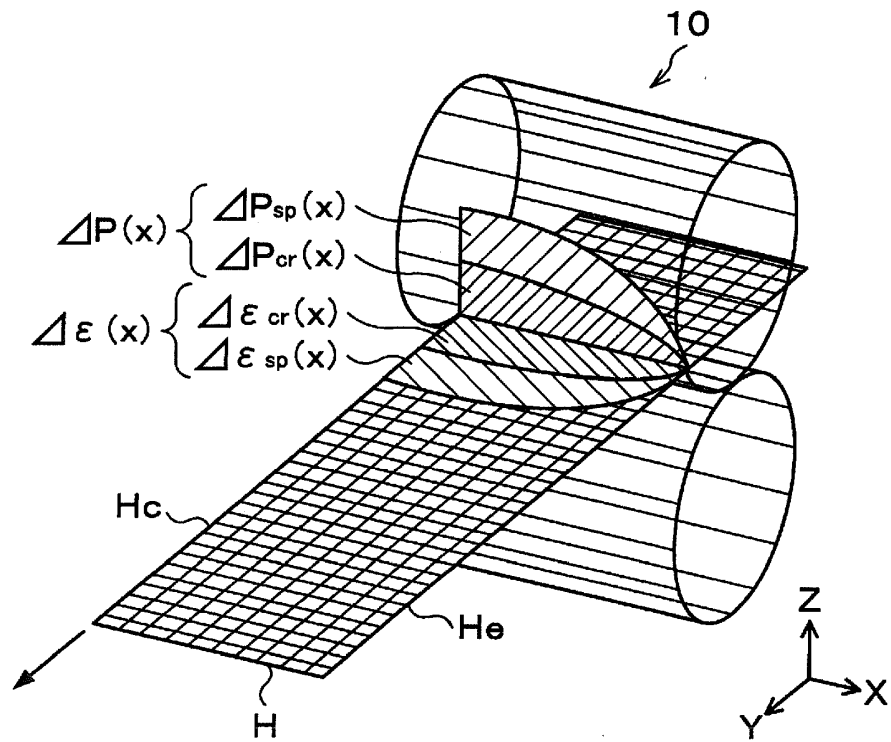


FIG.3

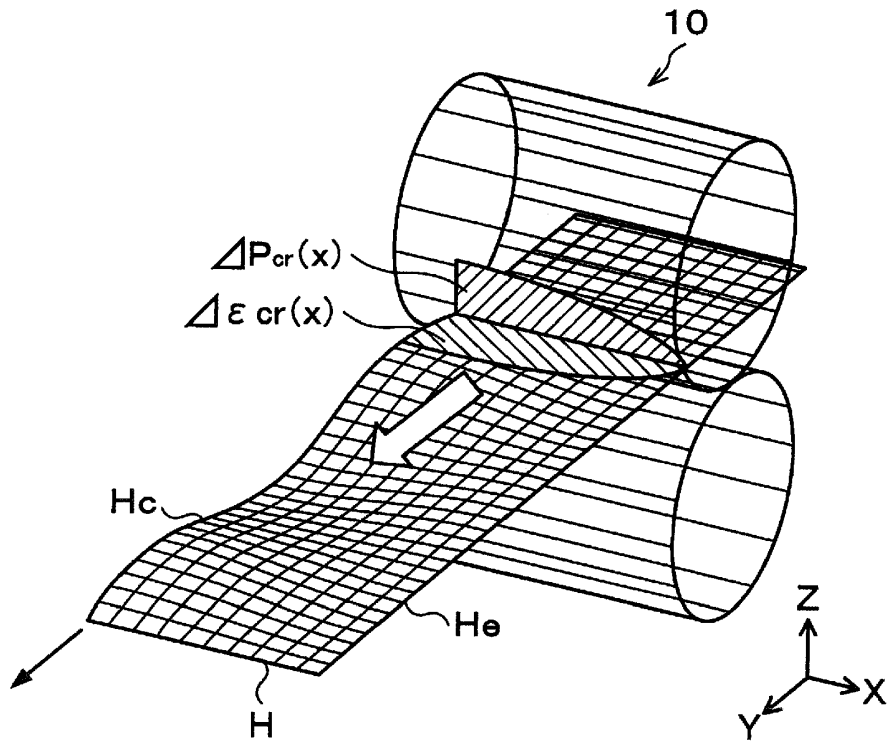


FIG.4

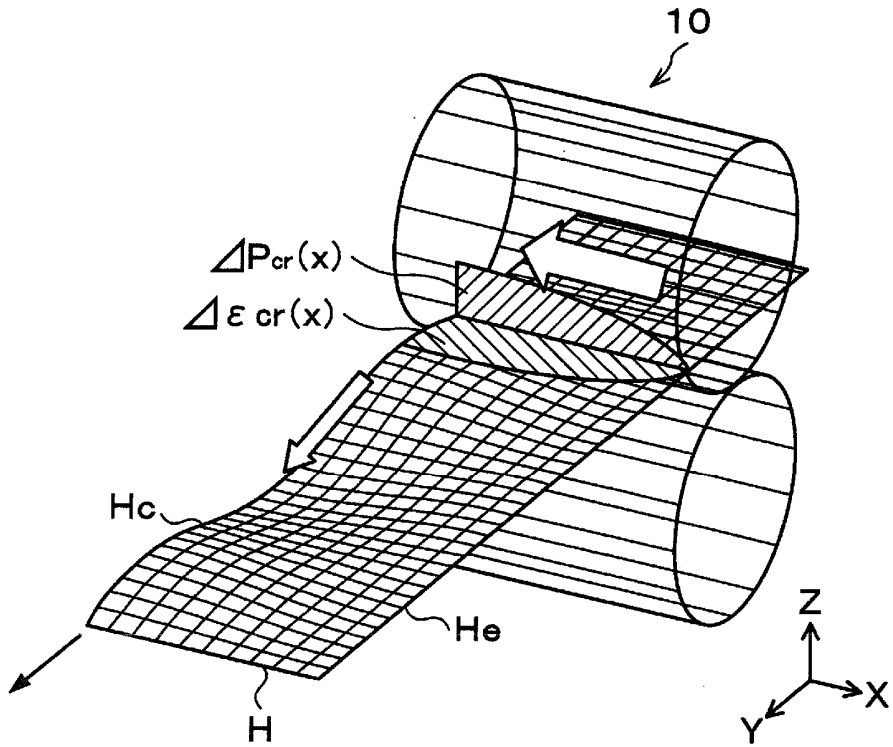


FIG.5A

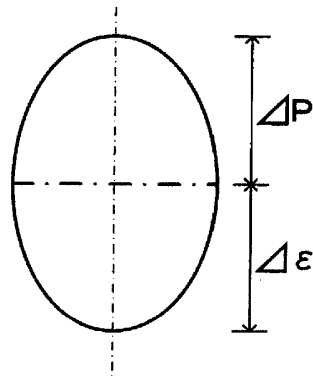


FIG.5B

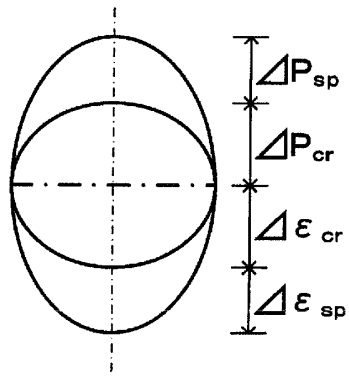


FIG.5C

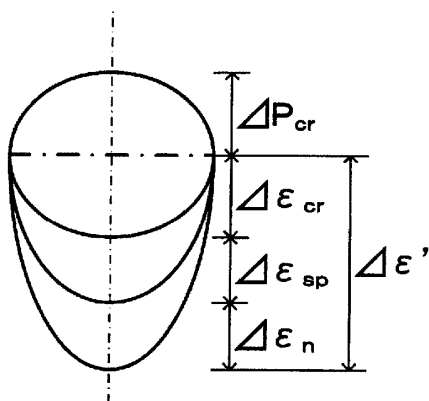


FIG.6

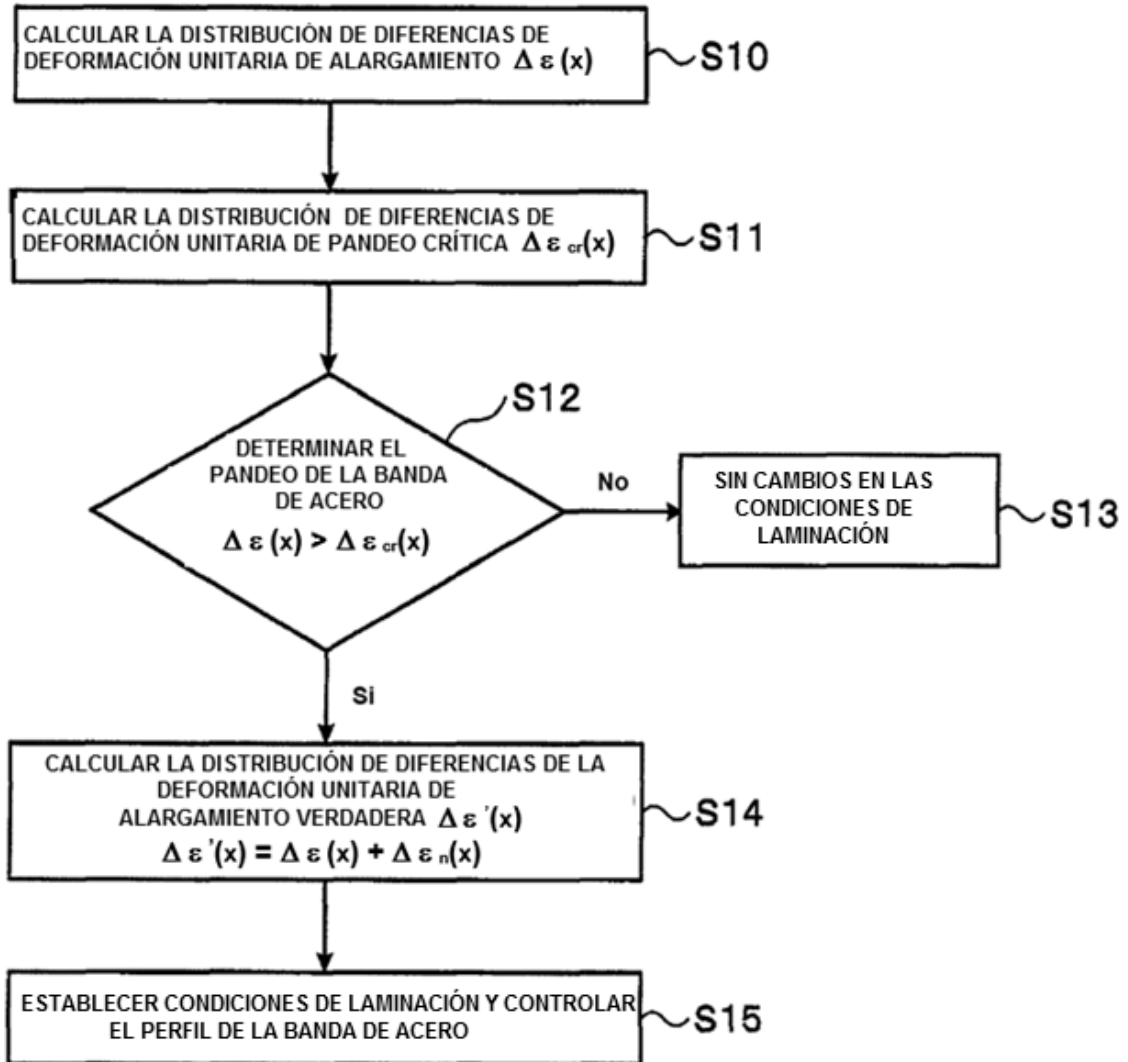


FIG.7

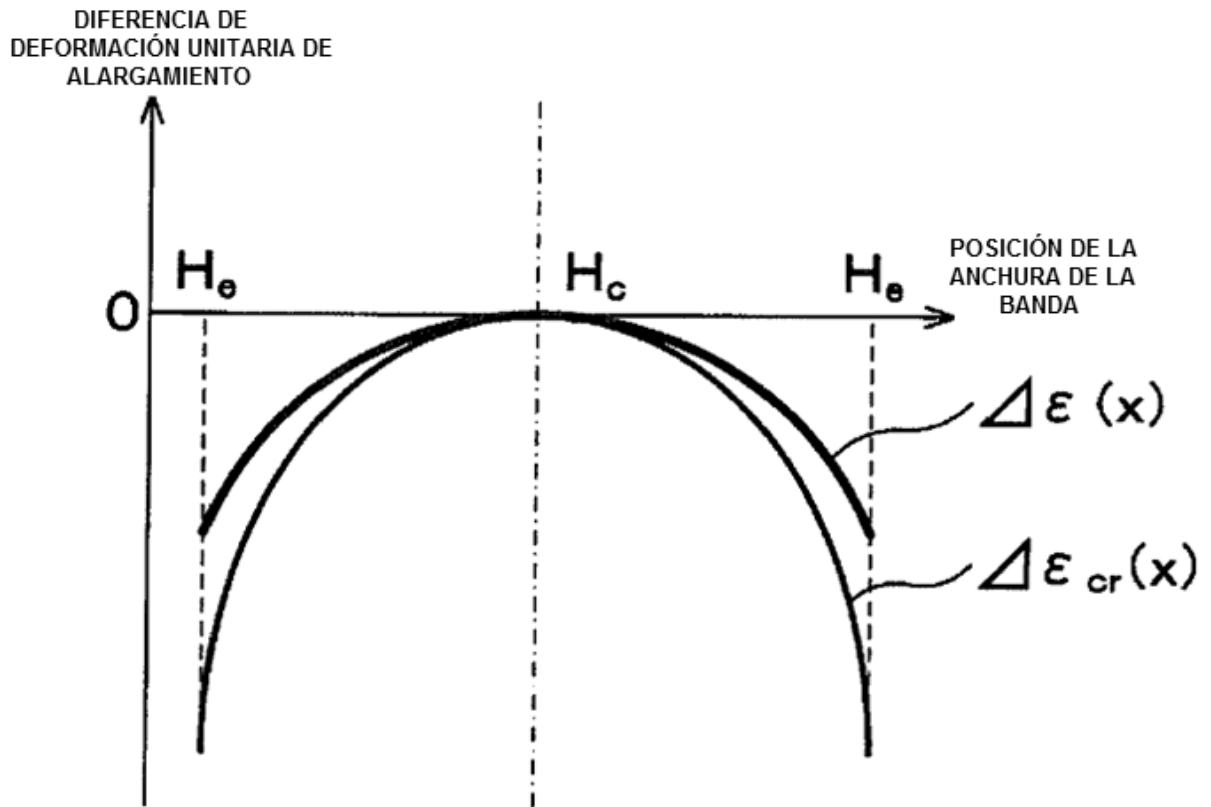


FIG.8

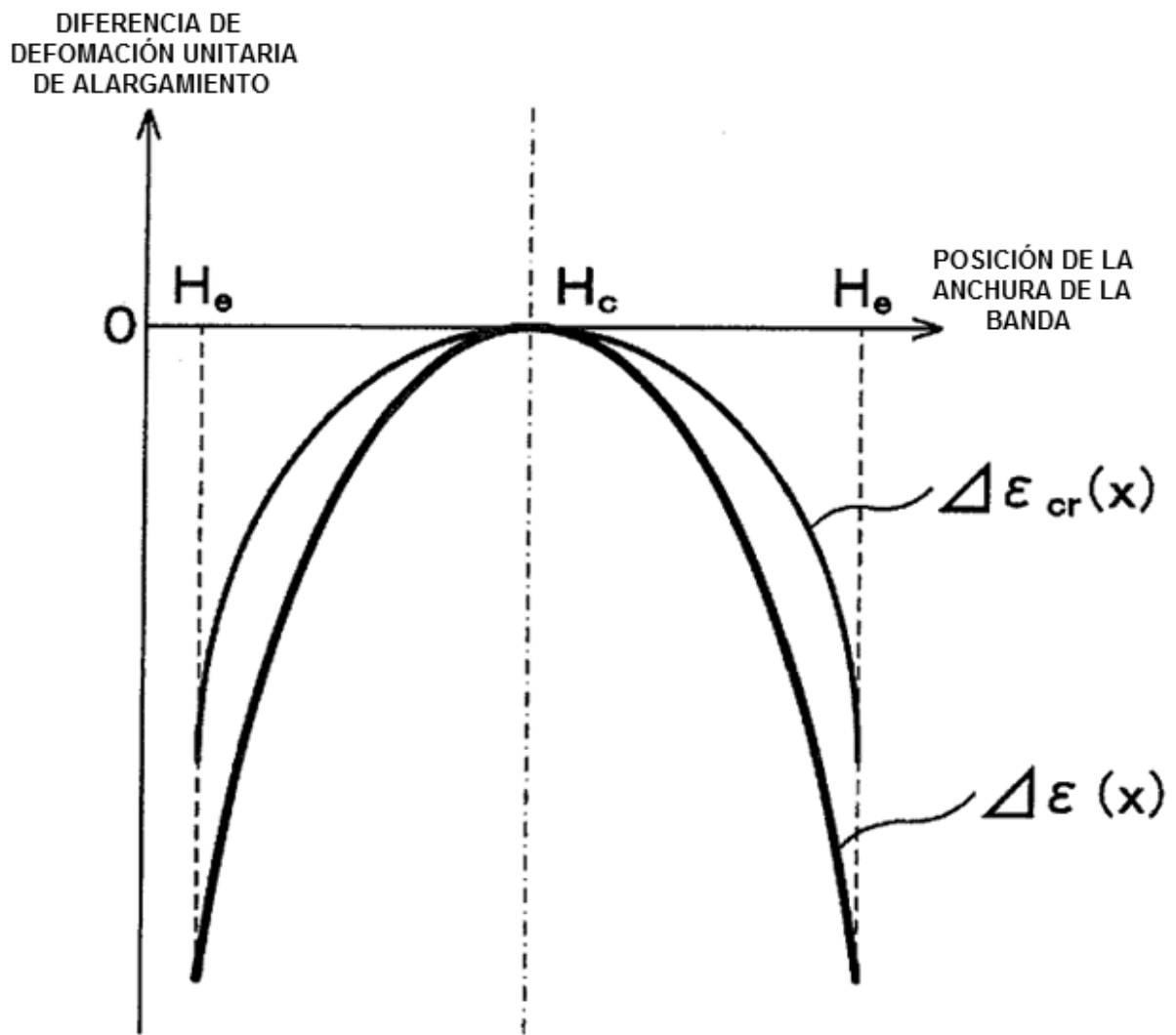
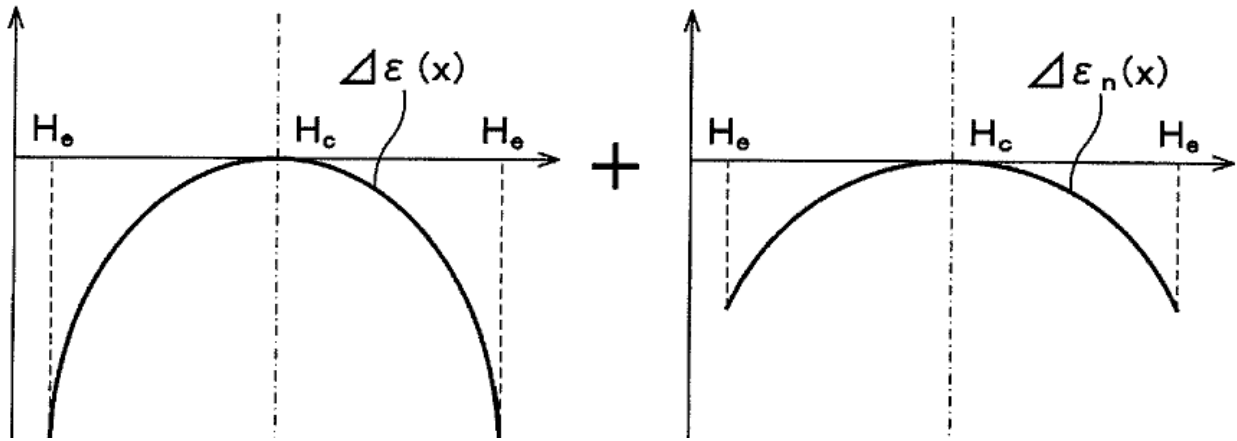


FIG.9



DIFERENCIA DE
DEFOMACIÓN UNITARIA
DE ALARGAMIENTO

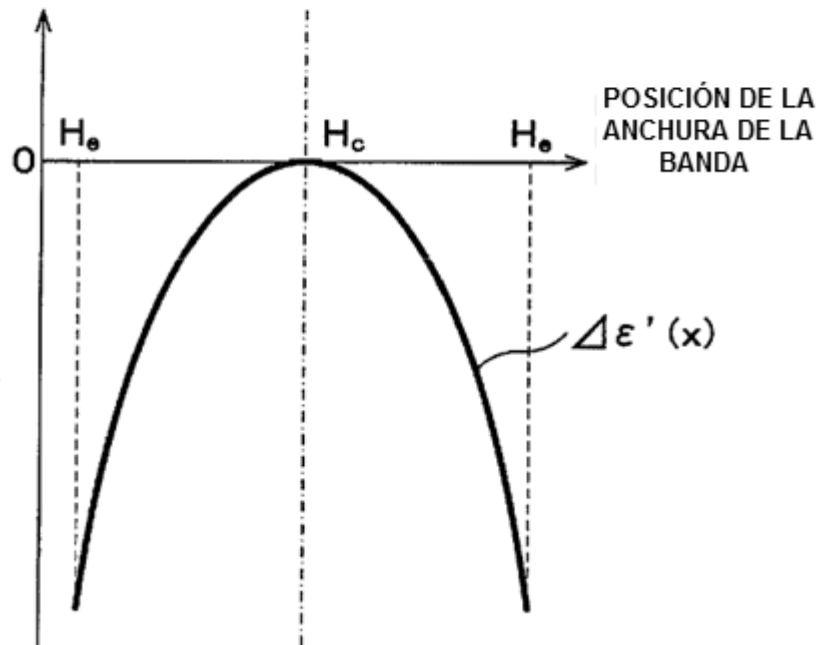


FIG.10

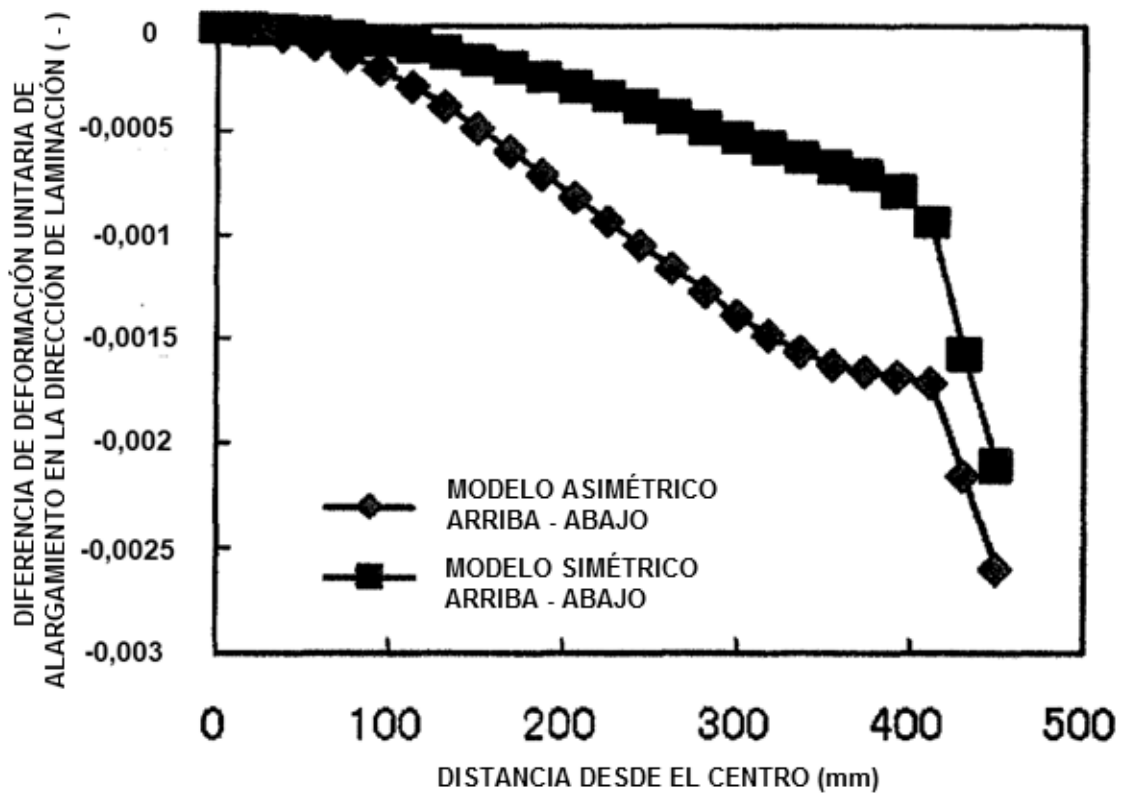


FIG.11

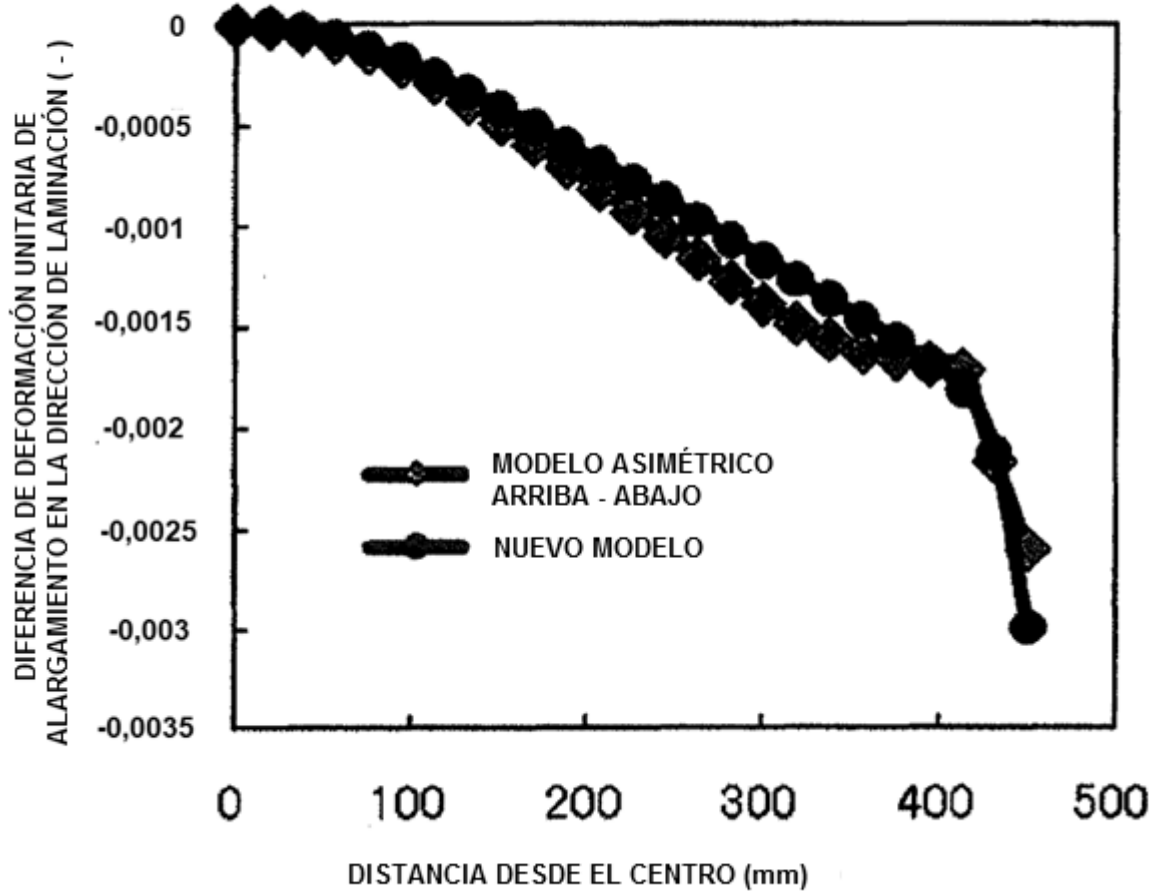


FIG.12

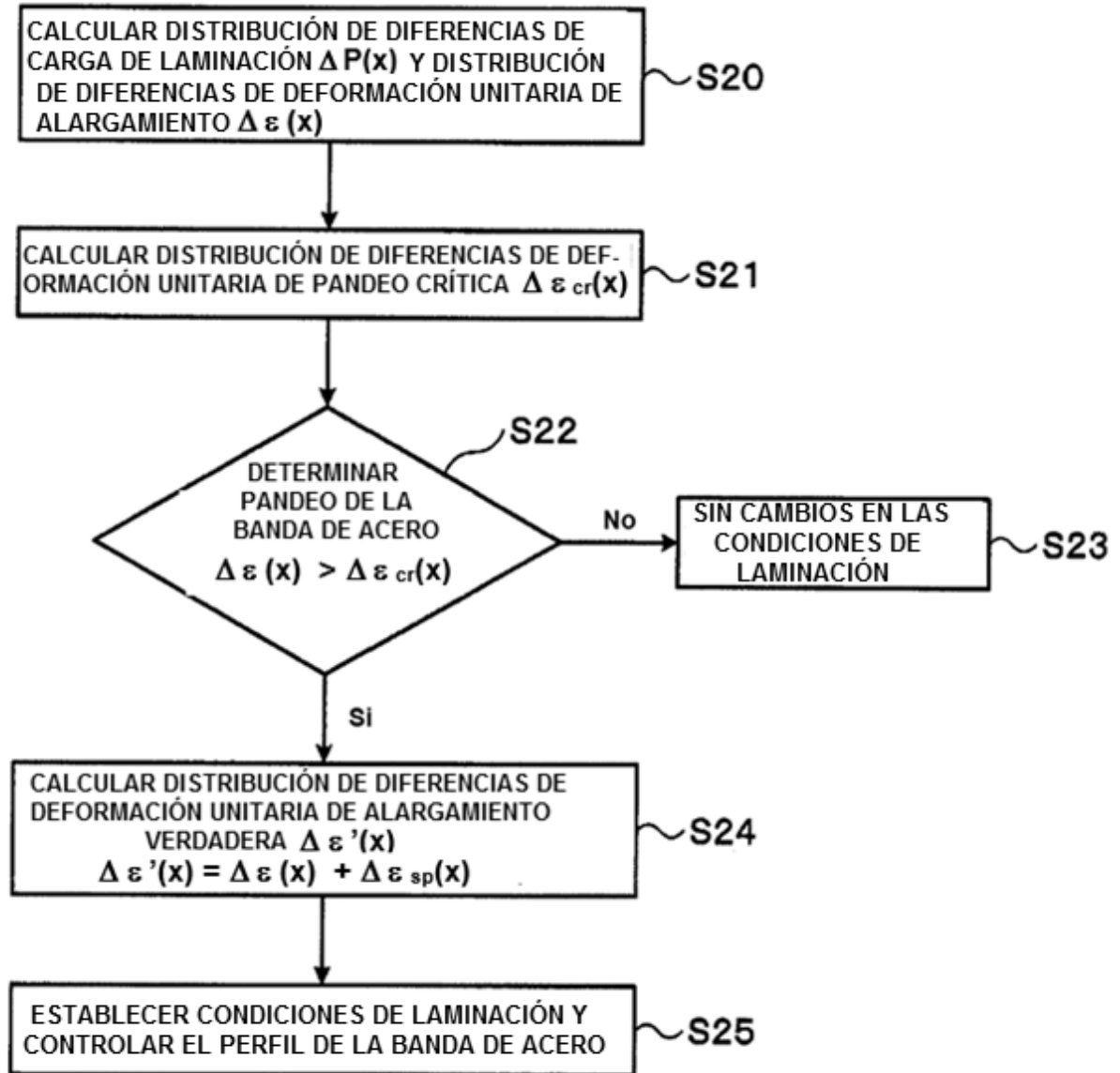


FIG.13

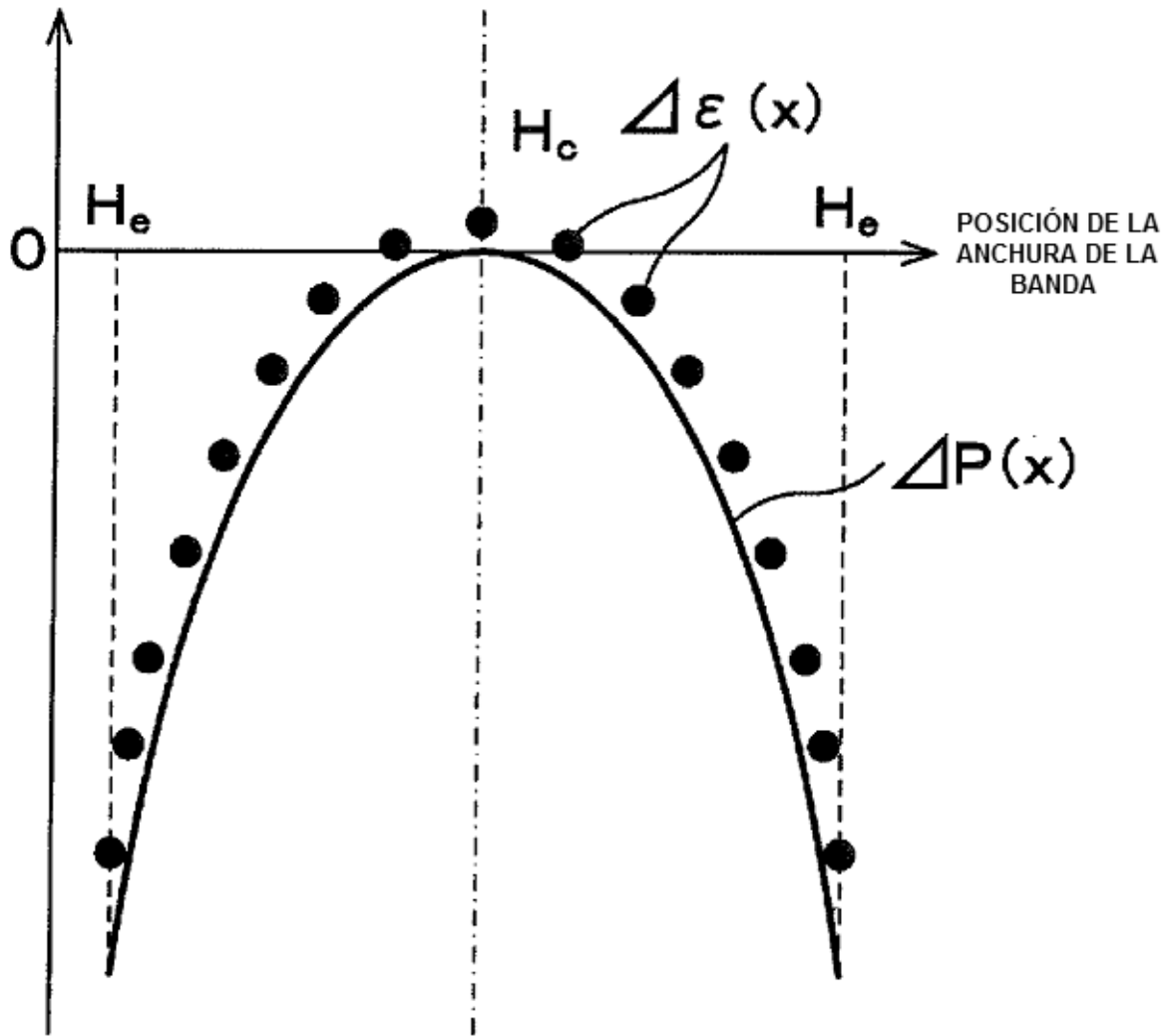


FIG.14

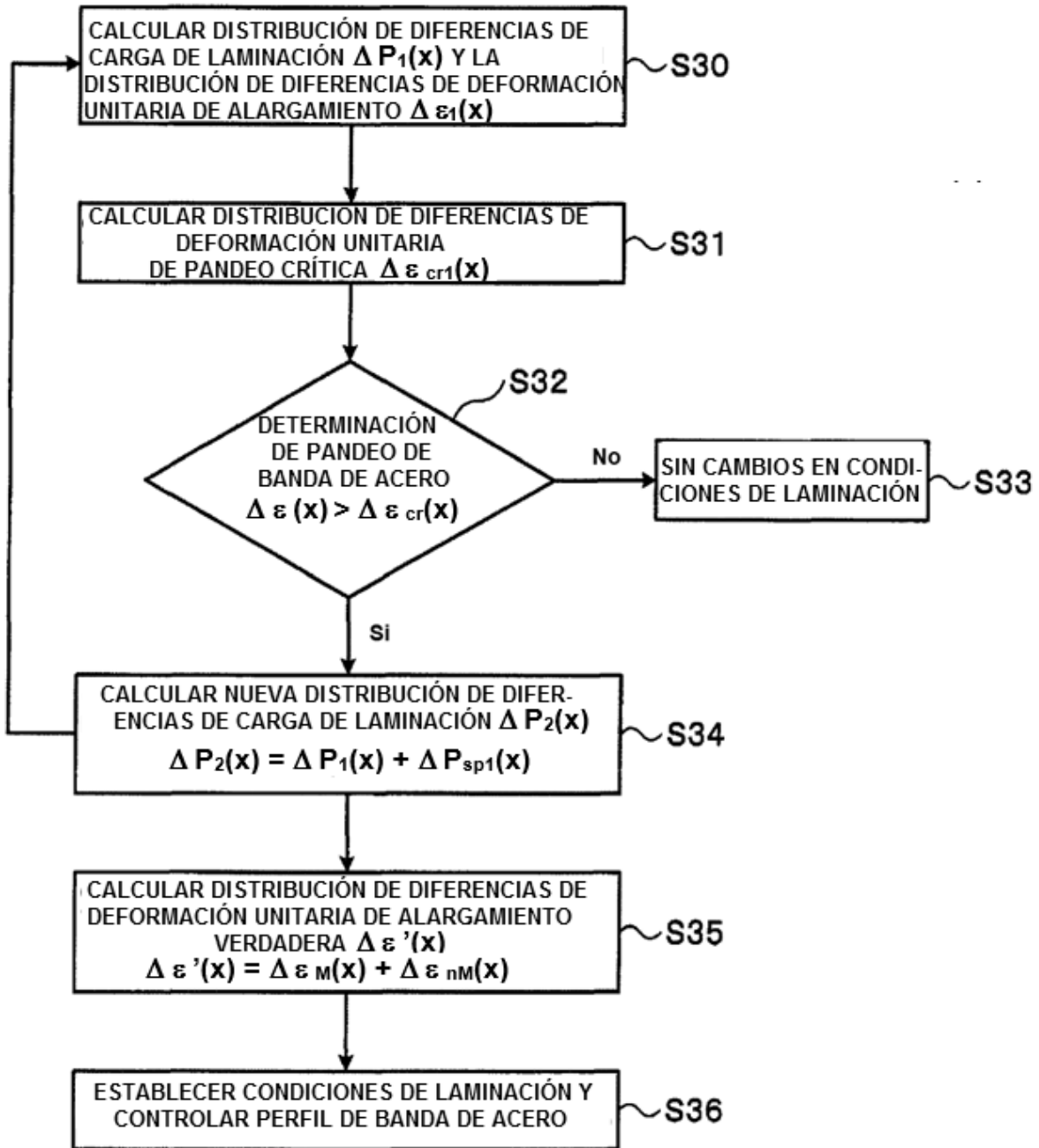


FIG.15

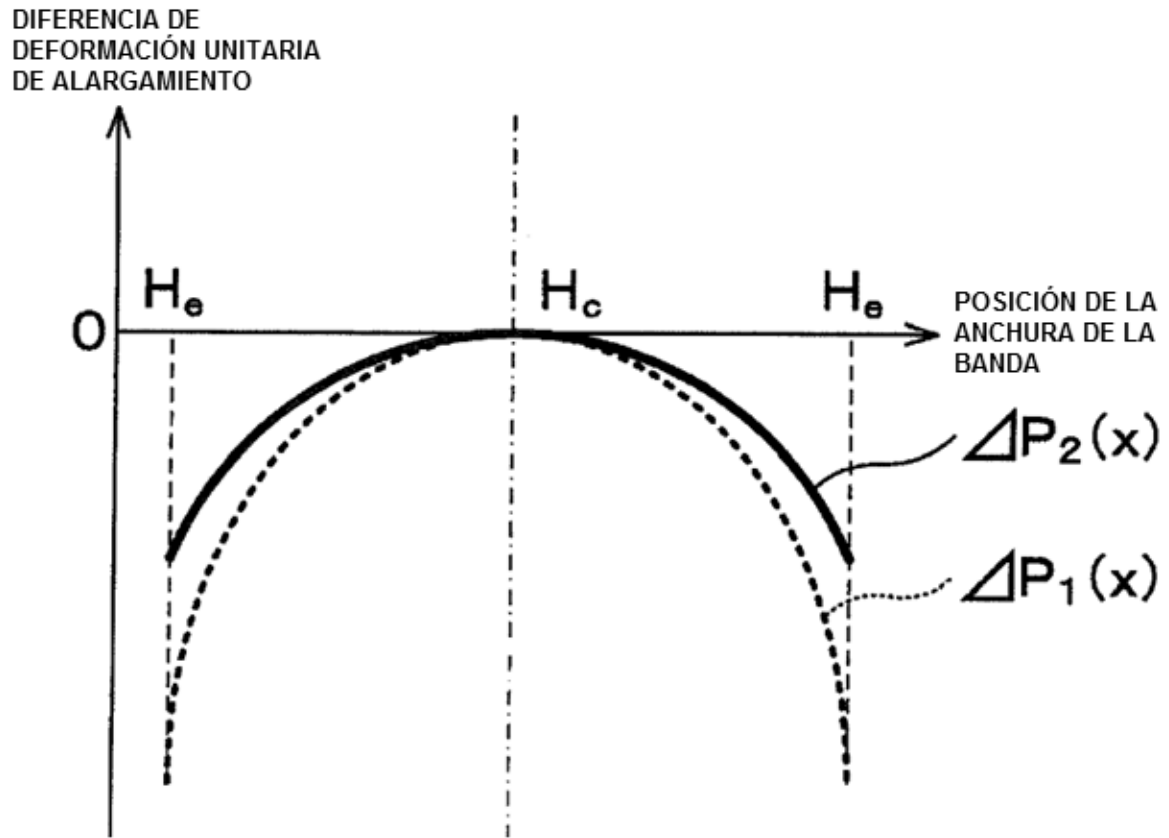


FIG.16

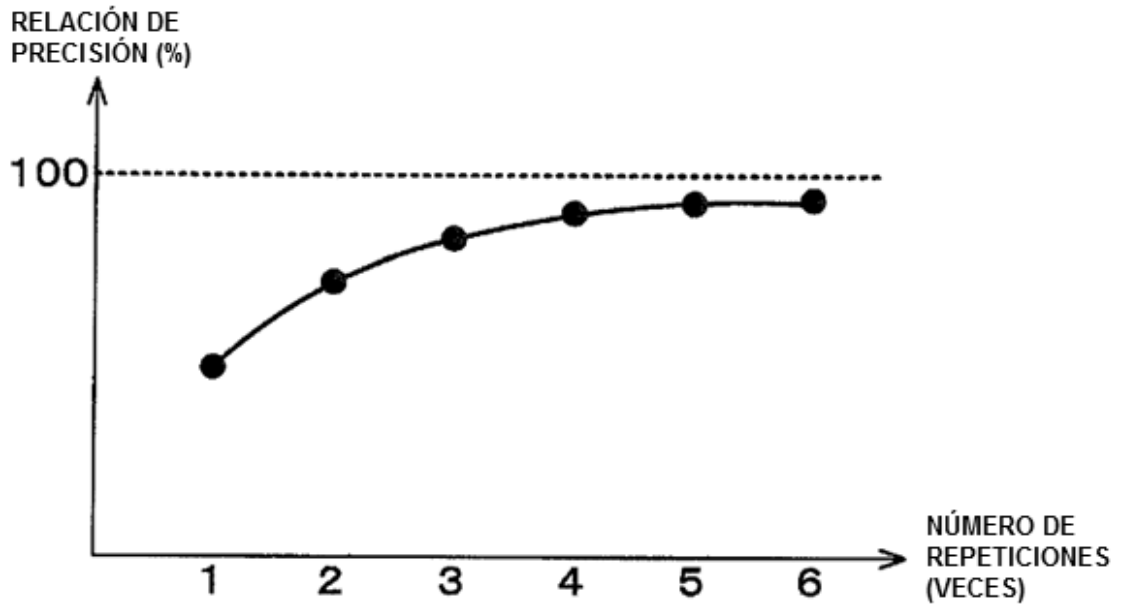


FIG.17

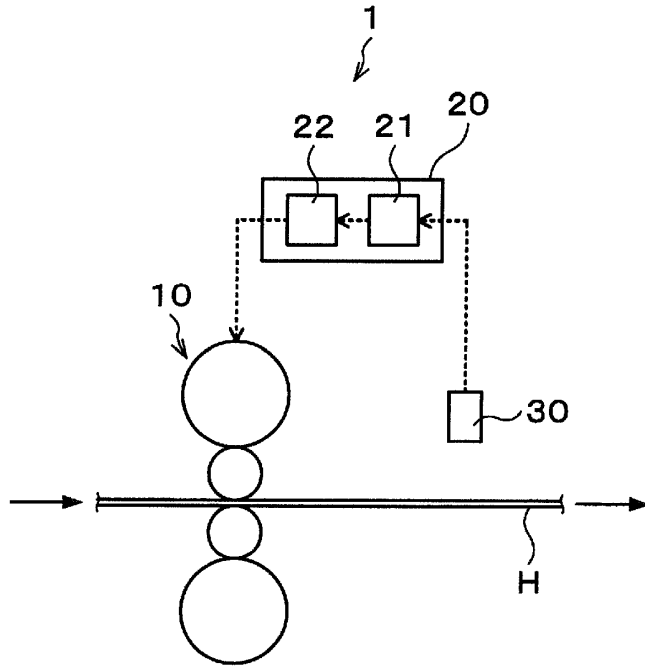


FIG.18

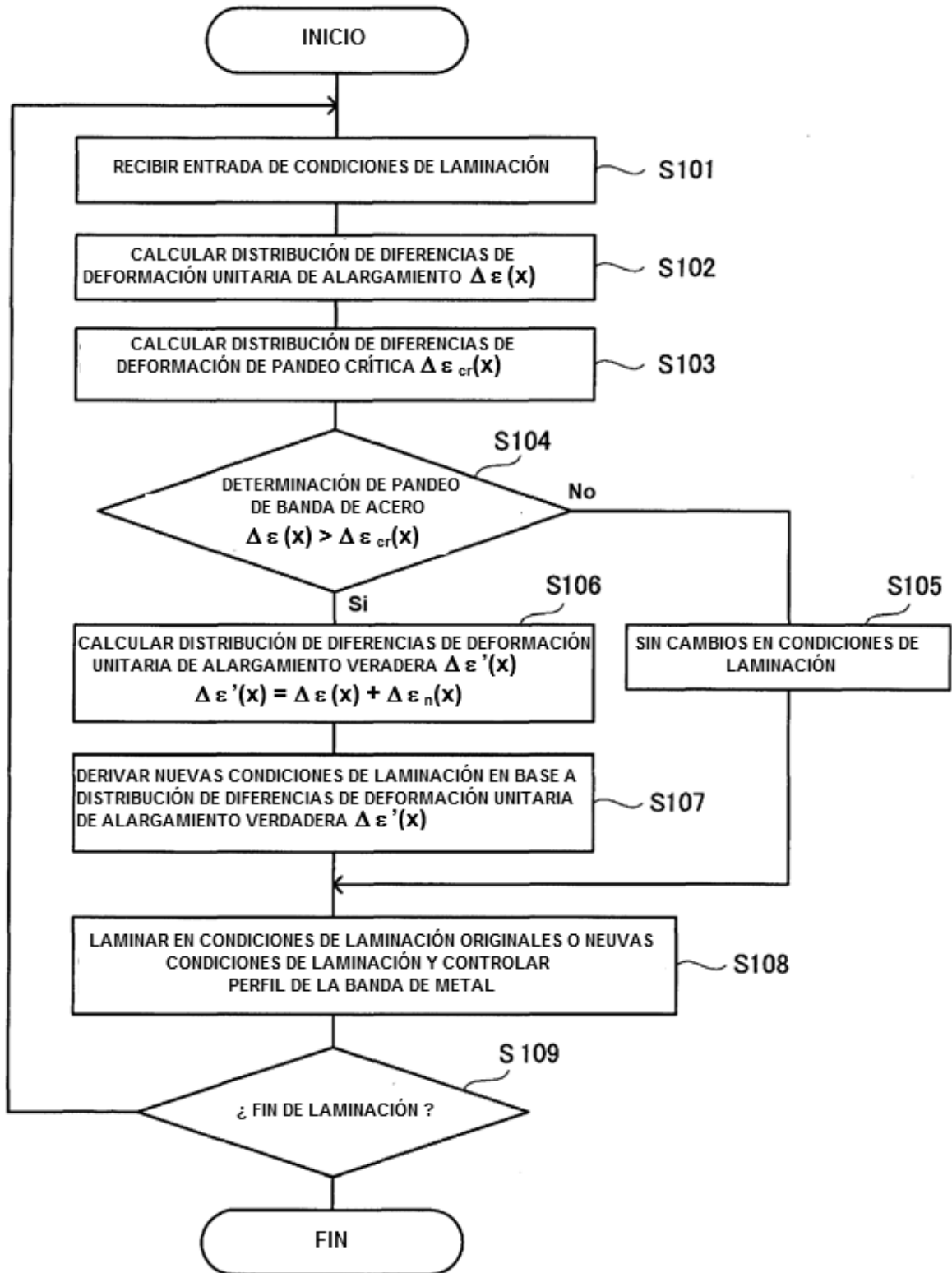


FIG.19A

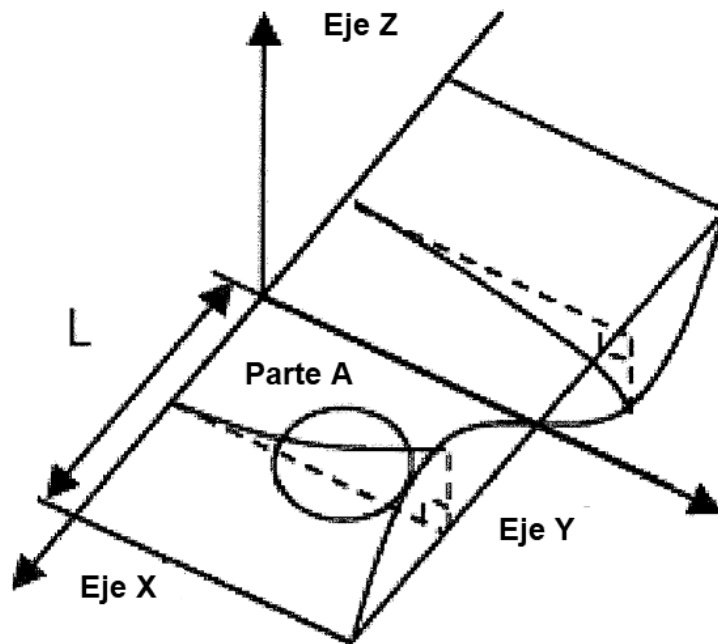


FIG.19B

