(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 298 994**

(51) Int. Cl.:
B21B 37/00 (2006.01)
B21B 37/16 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Número de solicitud europea: **05700942 .5**
(86) Fecha de presentación : **14.01.2005**
(87) Número de publicación de la solicitud: **1761346**
(87) Fecha de publicación de la solicitud: **14.03.2007**

(54) Título: **Procedimiento para elevar la estabilidad del proceso, particularmente la exactitud absoluta del espesor y la seguridad de la instalación, en caso de laminado en caliente de materiales de acero o no ferrosos.**

(30) Prioridad: **23.01.2004 DE 10 2004 003 514**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2008

(73) Titular/es: **SMS Demag Aktiengesellschaft**
Eduard-Schloemann-Strasse 4
40237 Düsseldorf, DE
Ilsenburger Grobblech GmbH y
GMT-Gesellschaft für Metallurgische Technologie- und Softwareentwicklung mbH

(72) Inventor/es: **Lixfeld, Peter;**
Skoda-Dopp, Ulrich;
Wehage, Harald;
Grimm, Wolfgang;
Borowikow, Alexander y
Blei, Holger

(74) Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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).

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para elevar la estabilidad del proceso, particularmente la exactitud absoluta del espesor y la seguridad de la instalación, en caso de laminado en caliente de materiales de acero o no ferrosos.

La presente invención hace referencia a un procedimiento para elevar la estabilidad del proceso, particularmente de la exactitud absoluta del espesor y de la seguridad de la instalación, durante el laminado en caliente de materiales de acero o no ferrosos con pequeños grados de transformación o pequeñas reducciones considerando el límite elástico en caliente durante el cómputo de la fuerza nominal de laminado y de la respectiva posición de ajuste.

En una publicación previa "demanda de fuerza y trabajo de procedimientos flexibles de conformado" de A. Hensel y T. Spittel, Leipzig 1978, y en otra publicación previa "empleo racional de la energía en procesos de transformado" de T. Spittel y A. Hensel, Leipzig 1981, se describen diversos procedimientos para la determinación de la fuerza nominal de laminado durante el laminado en caliente como producto de la resistencia a la transformación y de la superficie presionada. La propia resistencia a la transformación se determina como producto de la tensión de fluencia y un factor para la consideración de la geometría de la separación entre cilindros y/o de las relaciones de fricción. Los métodos empleados con más frecuencia para la determinación de la tensión de fluencia es su determinación a través de un modelo con factores influyentes para la consideración de la temperatura de transformación, grado de transformación y velocidad de transformación, relacionadas multiplicativamente, por ejemplo, en la siguiente forma:

$$(1)\quad k_f = k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot phi^{m2} \cdot A_3 \cdot phip^{m3}$$

donde:

k_f: tensión de fluencia

k_{f0}: valor base de la tensión de fluencia

T: temperatura de transformación

φ: grado de transformación

phip: velocidad de transformación

A_i, m_i: coeficientes termodinámicos.

Los coeficientes termodinámicos se determinaron para los diferentes grupos de materiales; la diferenciación de los materiales dentro de un grupo se lleva a cabo a través de los respectivos valores base de k_{f0}.

En el artículo ulterior "modelado de la influencia de la composición química y de las condiciones de transformación sobre la tensión de fluencia de aceros en el conformado en caliente" de M. Spittel y T. Spittel, Freiberg 1996, se propone adicionalmente determinar el valor base de la tensión de fluencia de un material en función de su análisis químico y los demás parámetros para la consideración de la temperatura, del grados de transformación y la velocidad de transformación correspondiente al grupo del material a utilizar. No obstante, sigue existiendo, en principio, el carácter multiplicativo del modelo conforme a la ecuación (1).

El inconveniente del modelo multiplicativo para la determinación de la tensión de fluencia consiste en que la función con grados de transformación decrecientes $\varphi < 0{,}04$ o reducciones tiende a una tensión de fluencia de cero MPa, es decir, la función tiene un paso por cero (mostrada en la Fig. 1 para el estado actual de la técnica). Esta teoría contradice, no obstante, las condiciones reales. En consecuencia, para pequeñas reducciones se determinan demasiado pocos valores de la tensión de fluencia y, por consiguiente, demasiado pocas fuerzas nominales de laminado. Este establecimiento de la distancia nominal entre rodillos mediante la regulación del espesor es dependiente de la fuerza de laminado y, por tanto, defectuoso. Los productos laminados en caliente presentan un mayor espesor real en comparación con el espesor final deseado.

El cálculo defectuoso de la fuerza nominal de laminado para pequeños grados de transformación y/o reducciones representa un peligro permanente para las instalaciones durante el laminado con altas fuerzas de laminado y/o momentos de laminado cerca de los parámetros máximos permisibles de la instalación, tal y como surgen, por ejemplo, durante el laminado a temperaturas reducidas o también a altas temperaturas y anchos del material a laminar cerca del ancho técnico de la instalación máximo posible.

El cómputo defectuoso de la fuerza nominal de laminado afecta también a la estabilidad del proceso, en conjunto negativamente; ya que los modelos y regulaciones de automatización conectados aguas abajo, como por ejemplo, los modelos y/o regulaciones de perfil y de planeidad determinan sus valores nominales con ayuda de la fuerza nominal de laminado.

Gracias a la WO 93/11 886 A1 se conoce un procedimiento de cálculo del plan de laminado para el ajuste de la fuerza nominal de laminado y de la distancia nominal entre rodillos de un bastidor de la laminadora, que emplea miembros de ajuste de la fuerza de laminado específicos del bastidor y/o específicos del material. Resultan desfavorables los ajustes específicos del bastidor en el cómputo de la fuerza nominal de laminado para la transferibilidad a otras instalaciones.

De la WO 99/02 282 A1 se infiere un procedimiento conocido para el control y/o preajuste del bastidor de la laminadora en función de al menos una de las variables fuerza de laminado, momento de laminado y avance, en el que el modelado de las influencias se lleva a cabo por medio de un procesamiento de la información basado en redes neuronales o por medio de un modelo invertido de laminado a través de retrocálculo de la dureza del material en el paso con ayuda de un modelo de regresión. Estos errores, tal y como surgen durante el cómputo de la fuerza nominal de laminado acorde al modelo multiplicativo en el rango de grados de transformación o reducciones pequeños, se pueden evitar. No obstante, resulta desfavorable que para el desarrollo de una red neuronal y/o para un modelo invertido de laminado sólo tenga que haber resultados de laminado. Una aplicación del procedimiento propuesto a materiales aún no laminados o a instalaciones con otros parámetros no se garantiza, por consiguiente, tan fácilmente.

Es común al estado actual de la técnica, que el efecto de pequeños grados de transformación o pequeñas reducciones sobre la tensión de fluencia durante el laminado en caliente de materiales de acero y no ferrosos en el contexto de los procedimientos conocidos para la ejecución nominal sobre materiales aún no laminados o sobre instalaciones con otros parámetros, no se garantice por consiguiente tan fácilmente.

Es común al estado actual de la técnica, que el efecto de pequeños grados de transformación o pequeñas reducciones sobre la tensión de fluencia durante el laminado en caliente de materiales de acero y no ferrosos en el contexto de los procedimientos conocidos para el cómputo de la fuerza nominal de laminado y para la regulación del espesor no se tiene en cuenta correctamente o sólo insuficientemente o se limita la transferibilidad a otras instalaciones y existen, por tanto, riesgos para la estabilidad del proceso, particularmente de la exactitud absoluta del espesor y de la seguridad de la instalación.

La presente invención se basa en el objetivo de crear un procedimiento para el aumento de la estabilidad del proceso, particularmente de la exactitud absoluta del espesor y de la seguridad de la instalación durante el laminado en caliente de materiales de acero y no ferrosos, en los que la precisión de la tensión de fluencia y la fuerza nominal de laminado puede elevarse para pequeños grados de transformación o pequeñas reducciones.

El objetivo establecido se resuelve conforme a la invención por el hecho de que el límite elástico en caliente se determina en función de la temperatura de transformación y/o de la velocidad de transformación y se integra en la función de la tensión de fluencia para la determinación de la fuerza nominal de laminado a través de la ecuación

$$(2)\quad R_e = a + e^{b1 + b2 \cdot T} \cdot phip^{c}$$

determinándose un modelo multiplicativo de curva de fluencia en torno al límite elástico en caliente en función de la temperatura de transformación y de la velocidad de transformación conforme a la fórmula

$$(3)\quad k_{f,R} = a + e^{b1 \cdot b2 \cdot T} \cdot phip^{c} + k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m2} \cdot A_3 \cdot phip^{m3}$$

significando:

R_e: límite elástico en caliente

T: temperatura de transformación

phip: velocidad de transformación

a; b; c: coeficientes.

Debido a la consideración, conforme a la presente invención, del límite elástico en caliente en función de la temperatura de transformación y la velocidad de transformación, el propio procedimiento obtiene los valores correctos para los más pequeños grados de transformación. El valor inicial es el respectivo límite elástico en caliente del material a laminar en función de la temperatura de transformación y de la velocidad de transformación.

La ventaja en el empleo de un nuevo modelo para el cómputo de la tensión de fluencia se encuentra en determinar los límites elásticos en caliente para los materiales a laminar a partir de los datos medidos de laminaciones con grados de transformación menores que un grado límite de transformación específico del material, retrocalculando las tensiones de fluencia de los pasos en cuestión en función de la temperatura de transformación y la velocidad de transformación a partir de las fuerzas de laminado medidas e igualándolas a un límite elástico en caliente, si igualan los límites elásticos

en caliente medidos a partir de ensayos en el tren en caliente. La dependencia encontrada del límite elástico en caliente respecto de la temperatura de transformación y la velocidad de transformación representa el punto inicial de la curva aproximada de fluencia en caliente.

Acorde a la presente invención ulterior se propone que la tensión de fluencia se determina en la ecuación convencional de la fuerza de laminado para la determinación de la fuerza nominal de laminado para la regulación del espesor y también para modelos de cálculo y procedimientos de regulación conforme a la siguiente ecuación

$$(4) \qquad F_w = Q_p \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_w \cdot (h_o - h_1))^{1/2}$$

significando:

R_w: radio del cilindro

h_0: espesor antes del paso

h_1: espesor tras el paso.

En la ordenación de la invención se prevé adicionalmente, que, debido a la fuerza nominal de laminado, se calcula un módulo de material considerando el límite elástico en caliente en función de la temperatura de transformación y de la velocidad de transformación para grados de transformación menores que un grado límite de transformación específico del material, conforme a la Fórmula

$$(5) \qquad C_M = (F_W - F_m) / dh_1$$

donde significan:

C_M: módulo de material

F_w: fuerza nominal de laminado

F_m: fuerza medida de laminado

dh_1: variación del espesor de salida.

La presente invención se acondiciona entonces partiendo de que la ecuación convencional de calibrado se extiende en una forma

$$(6) \qquad ds_{AGC} = (1 + C_M / C_G)\, dh_1 = (1 + C_M / C_G) \cdot ((F_W - F_m) / C_G + s - s_{soll})$$

significando:

ds_{AGC}: variación del ajuste de la separación entre cilindros

C_M: módulo de material

C_G: módulo de bastidor de la laminadora

dh_1: variación del espesor de salida

F_w: fuerza nominal de laminado

F_m: fuerza medida de laminado

S: ajuste de la separación entre cilindros

S_{soll}: ajuste nominal de la separación entre cilindros.

De este modo se representa ahora también correctamente el comportamiento de fluencia del material con pequeños grados de transformación o reducciones.

La posición de ajuste del ajuste electromecánico y/o del ajuste hidráulico para la garantía del espesor de salida del material a laminar se determina en base a la ecuación de calibrado y la fuerza nominal de laminado calculada.

En el diseño se muestran los diagramas para la tensión de fluencia en función del grado de transformación acorde al estado actual de la técnica y conforme a la invención y se describen posteriormente más a fondo.

Muestran:

Fig. 1 esquemáticamente, la evolución de la tensión de fluencia k_f, a través del grado de transformación φ en el modelo multiplicativo convencional (estado actual de la técnica) y

Fig. 2 esquemáticamente, la evolución de la tensión de fluencia $k_{f,R}$ a través del grado de transformación φ conforme a la invención, extendiéndose el modelo multiplicativo adicionalmente por debajo del grado límite de transformación φ_G en torno al límite elástico en caliente.

El inconveniente del modelo multiplicativo para la determinación de la tensión de fluencia (Fig. 1) consiste en que la función tiende a pequeños grados de transformación $\varphi < 0{,}04$ o pequeñas reducciones frente a una tensión de fluencia k_f de cero MPa, es decir, la función tiene un paso por cero, tal y como se dibuja.

En consideración conforme a la invención (Fig. 2) del límite elástico en caliente R_e en función de la temperatura de transformación T y la velocidad de transformación *phip*, el propio procedimiento conforme a la invención obtiene valores correctos para los más pequeños grados de transformación φ. El valor inicial es el respectivo límite elástico en caliente R_e del material a laminar en función de la temperatura de transformación T y la velocidad de transformación *phip*.

Lista de símbolos de referencia

A_i	coeficientes termodinámicos
a_i, b_i, c	coeficientes
B	ancho del material a laminar
C_G	módulo del bastidor
C_M	módulo de material
dh_1	variación del espesor de salida
ds_{AGC}	variación del ajuste de la separación entre cilindros
F_m	fuerza medida de laminado
F_w	fuerza nominal de laminado
h_0	espesor antes del paso
h_1	espesor tras el paso
k_f	tensión de fluencia
k_{f0}	valor base de la tensión de fluencia
$k_{f,R}$	tensión de fluencia, considerando el límite elástico
m_i	coeficientes termodinámicos
φ	grado de transformación
φ_G	grado límite de transformación
phip	velocidad de transformación
Q_p	función para la consideración de la geometría de la separación entre cilindros y de las relaciones de fricción
R_e	límite elástico en caliente

	R_w	radio del cilindro
	S	ajuste de la separación entre cilindros
5	S_{soll}	ajuste nominal de la separación entre cilindros
	T	temperatura de transformación.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de aumento de la estabilidad del proceso, particularmente de la exactitud absoluta del espesor y de la seguridad de la instalación, durante el laminado en caliente de materiales de acero o no ferrosos, con pequeños grados de transformación (φ) o pequeñas reducciones considerando el límite elástico en caliente (R_e) en el cómputo de la fuerza nominal de laminado (F_w) y de la respectiva posición de ajuste (s), **caracterizado** porque el límite elástico en caliente (R_e) se determina en función de la temperatura de transformación (T) y/o de la velocidad de transformación (*phip*) y se integra en la función de la tensión de fluencia ($k_{f,R}$) para la determinación de la fuerza nominal de laminado (F_w) a través de la ecuación

$$(2) \quad R_e = a + e^{b1 + b2 \cdot T} \cdot phip^{c}$$

en la que un modelo multiplicativo de curva de fluencia en torno al límite elástico en caliente (R_e) se determina en función de temperatura de transformación (T) y de la velocidad de transformación (*phip*) conforme a la Fórmula

$$(3) \quad k_{f;R} = a + e^{b1 \cdot b2 \cdot T} \cdot phip^{c} + k_{f0} \cdot A_1 \cdot e^{m1 \cdot T} \cdot A_2 \cdot \varphi^{m2} \cdot A_3 \cdot phip^{m3}$$

significando:

R_e: límite elástico en caliente

T: temperatura de transformación

phip: velocidad de transformación

a; bi; c: coeficientes.

2. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque la tensión de fluencia ($k_{f,R}$) en la ecuación convencional de la fuerza de laminado para la determinación de la fuerza nominal de laminado (F_w) para la regulación del espesor y también para modelos de cálculo y procedimientos de regulación se determina conforme a la siguiente ecuación

$$(4) \quad F_w = Q_p \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_w \cdot (h_o - h_1))^{1/2}$$

significando:

F_w: fuerza nominal de laminado

Q_p: función para la consideración de la geometría de la separación entre cilindros y relaciones de fricción

$k_{f,R}$: tensión de fluencia, considerando el límite elástico

B: ancho del material a laminar

R_w: radio del cilindro

h_0: espesor antes del paso

h_1: espesor tras el paso.

3. Procedimiento según al menos una de las Reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado** porque, debido a la fuerza nominal de laminado (F_w), un módulo de material (CM) se calcula considerando el límite elástico en caliente (R_e) en función de la temperatura de transformación (T) y de la velocidad de transformación (*phip*) para grados de transformación menores que un grado límite de transformación específico del material (φG), conforme a la Fórmula

$$(5) \quad C_M = (F_W - F_m) / dh_1,$$

donde significan:

C_M: módulo de material

F_w: fuerza nominal de laminado

F_m: fuerza medida de laminado

dh_1: variación del espesor de salida.

4. Procedimiento acorde a la Reivindicación 3, **caracterizado** porque la ecuación convencional de calibrado se expande en una forma

$$(6) \quad dS_{AGC} = (1 + C_M / C_G)\, dh_1 = (1 + C_M / C_G) \cdot ((F_W - F_m) / C_G + s - s_{soll})$$

significando:

dS_{AGC}: variación del ajuste de la separación entre cilindros

C_M: módulo de material

C_G: módulo del bastidor de la laminadora

dh_1: variación del espesor de salida

F_w: fuerza nominal de laminado

F_m: fuerza medida de laminado

s: ajuste de la separación entre cilindros

s_{soll}: ajuste nominal de la separación entre cilindros.

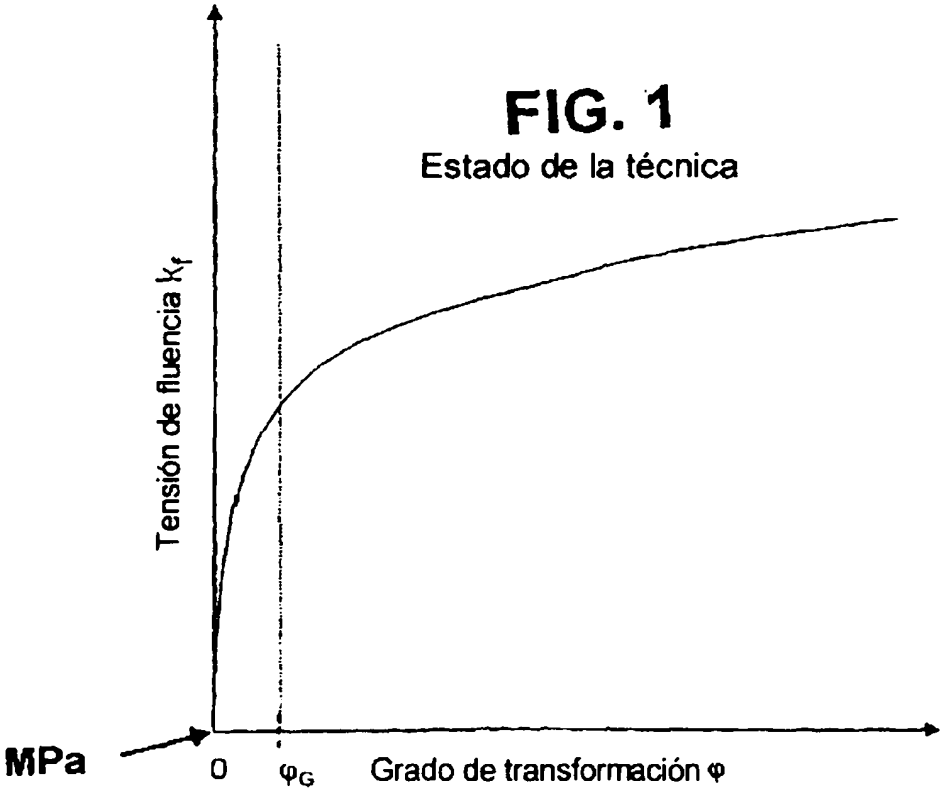


FIG. 1
Estado de la técnica

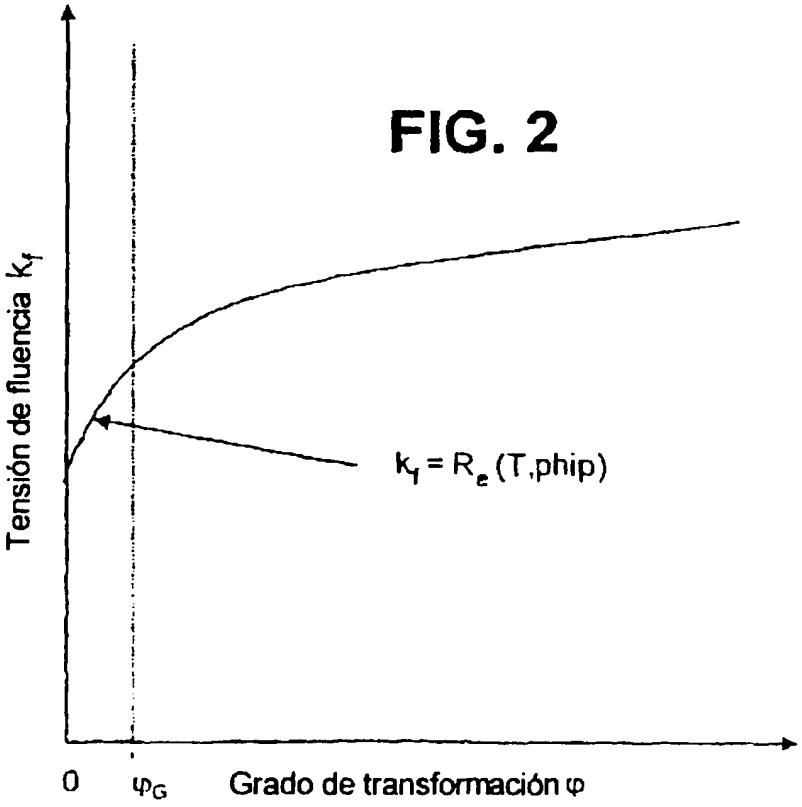


FIG. 2