(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 761 346 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
31.10.2007 Patentblatt 2007/44

(21) Anmeldenummer: **05700942.5**

(22) Anmeldetag: **14.01.2005**

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

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2005/000348

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2005/070575 (04.08.2005 Gazette 2005/31)

(54) **VERFAHREN ZUM ERHÖHEN DER PROZESSSTABILITÄT, INSBESONDERE DER ABSOLUTEN DICKENGENAUIGKEIT UND DER ANLAGENSICHERHEIT, BEIM WARMWALZEN VON STAHL- ODER NE-WERKSTOFFEN**

METHOD FOR INCREASING THE PROCESS STABILITY, PARTICULARLY THE ABSOLUTE THICKNESS PRECISION AND THE INSTALLATION SAFETY DURING THE HOT ROLLING OF STEEL OR NONFERROUS MATERIALS

PROCEDE POUR AUGMENTER LA STABILITE AU TRAITEMENT, NOTAMMENT LA PRECISION D'EPAISSEUR ABSOLUE ET LA SECURITE D'INSTALLATION, LORS DU LAMINAGE A CHAUD DE MATERIAUX EN ACIER OU EN METAL NON FERREUX

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **23.01.2004 DE 102004003514**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.03.2007 Patentblatt 2007/11

(73) Patentinhaber:
- **SMS Demag Aktiengesellschaft**
  40237 Düsseldorf (DE)
- **Ilsenburger Grobblech GmbH**
  38871 Ilsenburg (DE)
- **GMT-Gesellschaft für Metallurgische Technologie- und Softwareentwicklung mbH**
  13125 Berlin (DE)

(72) Erfinder:
- **LIXFELD, Peter**
  57271 Hilchenbach (DE)
- **SKODA-DOPP, Ulrich**
  47051 Duisburg (DE)
- **WEHAGE, Harald**
  38871 Ilsenburg (DE)
- **GRIMM, Wolfgang**
  38871 Ilsenburg (DE)
- **BOROWIKOW, Alexander**
  16230 Grüntal (DE)
- **BLEI, Holger**
  10405 Berlin (DE)

(74) Vertreter: **Klüppel, Walter et al**
Patentanwälte Hemmerich & Kollegen
Hammerstrasse 2
57072 Siegen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
- **AUZINGER D ET AL: "NEUE ENTWICKLUNGEN BEI PROZESSMODELLEN FUER WERMBREITBANDSTRASSEN" STAHL UND EISEN, VERLAG STAHLEISEN GMBH. DUSSELDORF, DE, Bd. 116, Nr. 7, 15. Juli 1996 (1996-07-15), Seiten 59-65,131, XP000629440 ISSN: 0340-4803**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 761 346 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erhöhen der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit, beim Warmwalzen von Stahl- oder NE-Werkstoffen mit kleinen Umformgraden oder kleinen Abnahmen unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze bei der Berechnung der Sollwalzkraft und der jeweiligen Anstellungsposition.

[0002] In einer Vorveröffentlichung "Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren" von A. Hensel und T. Spittel, Leipzig 1978, und in einer weiteren Vorveröffentlichung "Rationeller Energieeinsatz bei Umformprozessen" von T. Spittel und A. Hensel, Leipzig 1981, werden verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Sollwalzkraft beim Warmwalzen als Produkt aus Umformwiderstand und gedrückter Fläche beschrieben. Der Umformwiderstand selbst wird als Produkt aus der Fließspannung und einem Faktor zur Berücksichtigung der Walzspaltgeometrie und / oder von Reibungsverhältnissen bestimmt. Die am häufigsten verwendete Methode zur Ermittlung der Fließspannung ist deren Bestimmung über einen Ansatz mit Einflussfaktoren zur Berücksichtigung von Umform-Temperatur, Umformgrad und Umformgeschwindigkeit, die multiplikativ miteinander verbunden werden, bspw. in folgender Form:

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

worin bedeuten:

k_f :	Fließspannung
k_{f0} :	Grundwert der Fließspannung
T :	Umformtemperatur
φ :	Umformgrad
phip :	Umform-Geschwindigkeit
A_i, m_i :	thermodynamische Koeffizienten.

[0003] Für unterschiedliche Materialgruppen wurden die thermodynamischen Koeffizienten ermittelt; die Unterscheidung der Materialien innerhalb einer Gruppe erfolgt über die jeweiligen k_{f0} -Grundwerte.

[0004] In dem weiteren Aufsatz "Modellierung des Einflusses der chemischen Zusammensetzung und der Umformbedingungen auf die Fließspannung von Stählen bei der Warmumformung" von M. Spittel und T. Spittel, Freiberg 1996, wird zusätzlich vorgeschlagen, den Grundwert der Fließspannung eines Materials in Abhängigkeit von dessen chemischer Analyse zu ermitteln und die übrigen Parameter zur Berücksichtigung der Temperatur, des Umformgrades und der Umformgeschwindigkeit entsprechend der Materialgruppe zu nutzen. Grundsätzlich jedoch bleibt der multiplikative Charakter des Ansatzes gemäß Gleichung (1) bestehen.

[0005] Der Nachteil des multiplikativen Ansatzes zur Ermittlung der Fließspannung besteht darin, dass die Funktion mit kleiner werdenden Umformgraden $\varphi < 0{,}04$ oder Abnahmen gegen eine Fließspannung von Null MPa strebt, d.h. die Funktion hat einen Nulldurchgang (in Fig. 1 zum Stand der Technik gezeigt). Diese Theorie widerspricht jedoch den tatsächlichen Gegebenheiten. Als Folge werden bei kleinen Abnahmen zu geringe Fließspannungswerte und somit zu geringe Sollwalzkräfte bestimmt. Die Setzung des Sollwalzspaltes durch die Dickenregelung ist walzkraftabhängig und somit fehlerbehaftet. Die warmgewalzten Produkte weisen eine größere Istdicke im Vergleich zur gewünschten Zieldicke auf.

[0006] Die fehlerbehaftete Sollwalzkraft-Berechnung bei kleinen Umformgraden bzw. Abnahmen stellt eine permanente Anlagengefährdung beim Walzen mit hohen Walzkräften und / oder Walzmomenten nahe den maximal zulässigen Anlagenparametern dar, wie sie bspw. beim Walzen mit abgesenkten Temperaturen oder aber auch bei hohen Temperaturen und Walzgutbreiten nahe der anlagentechnisch maximal möglichen Breite auftreten.

[0007] Die fehlerbehaftete Sollwalzkraft-Berechnung beeinträchtigt auch die Prozessstabilität insgesamt negativ, da nachgeschaltete Automations-Modelle und - regelungen wie bspw. Profil- und Planheitsmodelle bzw. -regelungen ihre Sollwerte mit Hilfe der Sollwalzkraft ermitteln.

[0008] Aus der WO 93 / 11 886 A1 ist ein Walzplan-Berechnungsverfahren zur Einstellung von Sollwalzkraft und Sollwalzspalt eines Walzgerüstes bekannt, das gerüstspezifische und / oder materialspezifische Walzkraft-Anpassungsglieder nutzt. Nachteilig sind gerüstspezifische Anpassungen bei der Sollwalzkraft-Berechnung für die Übertragbarkeit auf andere Anlagen.

[0009] Aus der WO 99 / 02 282 A1 geht ein bekanntes Verfahren hervor zur Steuerung bzw. Voreinstellung des Walzgerüstes in Abhängigkeit zumindest einer der Größen Walzkraft, Walzmoment und Voreilung, bei dem die Modellierung der Einflüsse mittels einer auf neuronalen Netzen basierenden Informationsverarbeitung oder mittels eines invertierten Walzmodells über Rückrechnung der Materialhärte im Stich mit Hilfe eines Regressionsmodells erfolgt. Solche

Fehler, wie sie bei der Sollwalzkraft-Berechnung nach dem multiplikativen Ansatz im Bereich kleiner Umformgrade oder Abnahmen entstehen, können vermieden werden. Nachteilig ist jedoch, dass zum Trainieren eines neuronalen Netzes bzw. für ein invertiertes Walzmodell erst Walzergebnisse vorliegen müssen. Eine Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens auf noch nicht gewalzte Materialien oder auf Anlagen mit anderen Parametern ist somit nicht ohne weiteres gewährleistet.

[0010] Dem geschilderten Stand der Technik ist gemeinsam, dass die Wirkung kleiner Umformgrade oder kleiner Abnahmen auf die Fließspannung beim Warmwalzen von Stahl und NE-Werkstoffen im Rahmen der bekannten Verfahren zur Sollfahrens auf noch nicht gewalzte Materialien oder auf Anlagen mit anderen Parametern ist somit nicht ohne weiteres gewährleistet.

[0011] Dem geschilderten Stand der Technik ist gemeinsam, dass die Wirkung kleiner Umformgrade oder kleiner Abnahmen auf die Fließspannung beim Warmwalzen von Stahl und NE-Werkstoffen im Rahmen der bekannten Verfahren zur Sollwalzkraft-Berechnung und zur Dickenregelung nicht korrekt oder nur unzureichend berücksichtigt wird oder die Übertragbarkeit auf andere Anlagen eingeschränkt ist und somit Risiken für die Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit bestehen.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Erhöhung der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit beim Warmwalzen von Stahl- und NE-Werkstoffen zu schaffen, bei dem die Genauigkeit der Fließspannung und der Sollwalzkraft bei kleinen Umformgraden oder kleinen Abnahmen gesteigert werden kann.

[0013] Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Warmstreckgrenze in Abhängigkeit von Umformtemperatur und / oder Umformgeschwindigkeit ermittelt und in die Funktion der Fließspannung für die Bestimmung der Sollwalzkraft über die Beziehung

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

integriert wird, indem ein multiplikativer Fließkurvenansatz um die Warmstreckgrenze in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit gemäß der Formel

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

bestimmt wird, wobei bedeuten:

R_e :	Warmstreckgrenze
T :	Umform-Temperatur
phip :	Umform-Geschwindigkeit
a; *b; c*:	Koeffizienten

[0014] Aufgrund der erfindungsgemäßen Berücksichtigung der Warmstreckgrenze in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit erzielt das Verfahren selbst zu kleinsten Umformgraden hin korrekte Werte. Startwert ist die jeweilige Warmstreckgrenze des zu walzenden Materials in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit

[0015] Der Vorteil bei der Nutzung eines neuen Ansatzes zur Berechnung der Fließspannung liegt darin, die Warmstreckgrenzen für die zu walzenden Materialien aus Messdaten von Walzungen mit Umformgraden kleiner als einem materialspezifischen Grenzumformgrad zu ermitteln, indem die Fließspannungen der betreffenden Stiche in Abhängigkeit von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit aus gemessenen Walzkräften rückgerechnet und einer Warmstreckgrenze gleichgesetzt werden, wenn sie den aus Warmzugversuchen gemessenen Warmstreckgrenzen gleichen. Die gefundene Abhängigkeit der Warmstreckgrenze von Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit stellt den Startpunkt der approximierten Warmfließkurve dar.

[0016] Nach der weiteren Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Fließspannung in die herkömmliche Walzkraftgleichung zur Ermittlung der Sollwalzkraft für die Dickenregelung und auch für Rechen-Modelle und Regelungsverfahren gemäß folgender Gleichung

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

bestimmt wird, wobei bedeuten:

R_w : Walzenradius
h_0 : Dicke vor dem Stich
h_1 : Dicke nach dem Stich

[0017] In Ausgestaltung der Erfindung ist ferner vorgesehen, dass aufgrund der Sollwalzkraft ein Materialmodul unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze in Abhängigkeit der Umformtemperatur und Umformgeschwindigkeit für Umformgrade kleiner einem materialspezifischen Grenzumformgrad berechnet wird, gemäß der Formel

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

worin bedeuten:

C_M : Materialmodul
F_w : Sollwalzkraft
F_m : gemessene Walzkraft
dh_1 : Änderung der Auslaufdicke

[0018] Die Erfindung ist sodann dahingehend ausgestaltet, dass die herkömmliche Gaugemeter-Gleichung in eine Form

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

erweitert wird, wobei bedeuten:

ds_{AGC} : Änderung der Walzspalteinstellung
C_M : Materialmodul
C_G : Walzgerüstmodul
dh_1 : Änderung der Auslaufdicke
F_w : Sollwalzkraft
F_m : gemessene Walzkraft
S : Anstellung des Walzspaltes
S_{soll} : Sollanstellung des Walzspaltes

[0019] Dadurch wird nun auch das Materialfließverhalten bei kleinen Umformgraden oder Abnahmen richtig abgebildet.
[0020] Auf der Grundlage der Gaugemetergleichung und berechneter Sollwalzkraft wird die Anstellposition der elektromechanischen und / oder der hydraulischen Anstellung zur Gewährleistung der Auslaufdicke des Walzgutes ermittelt.
[0021] In der Zeichnung sind Diagramme für die Fließspannung in Abhängigkeit des Umformgrades nach dem Stand der Technik und gemäß der Erfindung gezeigt und werden nachstehend näher erläutert.
[0022] Es zeigen:

Fig. 1 schematisch den Verlauf der Fließspannung k_f, über dem Umformgrad φ beim herkömmlichen multiplikativen Ansatz (Stand der Technik) und

Fig. 2 schematisch den Verlauf der Fließspannung $k_{f,R}$ über dem Umformgrad φ gemäß der Erfindung, wobei unterhalb des Grenzumfanggrades φ_G der multiplikative Ansatz um die Warmstreckgrenze additiv erweitert ist.

[0023] Der Nachteil des multiplikativen Ansatzes zur Ermittlung der Fließspannung (Fig. 1) besteht darin, dass die Funktion zu kleinen Umformgraden $\varphi < 0{,}04$ oder kleinen Abnahmen hin gegen eine Fließspannung k_f von Null MPa strebt, d.h. die Funktion hat einen Nulldurchgang, wie gezeichnet.

[0024] Die erfindungsgemäße Berücksichtigung (Fig. 2) der Warmstreckgrenze R_e in Abhängigkeit von Umformtemperatur T und Umformgeschwindigkeit *phip* erzielt das erfindungsgemäße Verfahren selbst zu kleinsten Umformgraden φ hin korrekte Werte. Startwert ist die jeweilige Warmstreckgrenze R_e des zu walzenden Materials in Abhängigkeit von Umformtemperatur T und Umformgeschwindigkeit *phip.*

Bezugszeichenliste

[0025]

A_i	thermodynamische Koeffizienten
a_i b_i, c	Koeffizienten
B	Walzgutbreite
C_G	Gerüstmodul
C_M	Materialmodul
dh_1	Änderung der Auslaufdicke
ds_{AGC}	Änderung der Walzspalteinstellung
F_m	gemessene Walzkraft
F_w	Sollwalzkraft
h_0	Dicke vor dem Stich
h_1	Dicke nach dem Stich
k_f	Fließspannung
k_{f0}	Grundwert der Fließspannung
$k_{f,R}$	Fließspannung, unter Berücksichtigung der Streckgrenze
m_i	thermodynamische Koeffizienten
φ	Umformgrad
φ_G	Grenzumformgrad
phip	Umformgeschwindigkeit
Q_p	Funktion zur Berücksichtigung von Walzspaltgeometrie und Reibungsverhältnissen
R_e	Warmstreckgrenze
R_w	Walzenradius
S	Anstellung des Walzspaltes
S_{soll}	Sollanstellung des Walzspaltes
T	Umformtemperatur

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erhöhen der Prozessstabilität, insbesondere der absoluten Dickengenauigkeit und der Anlagensicherheit, beim Warmwalzen von Stahl- oder NE-Werkstoffen, mit kleinen Umformgraden (φ) oder kleinen Abnahmen unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze (R_e) bei der Berechnung der Sollwalzkraft (F_w) und der jeweiligen Anstellungsposition (s),
dadurch gekennzeichnet,
dass die Warmstreckgrenze (R_e) in Abhängigkeit von Umformtemperatur (T) und / oder Umformgeschwindigkeit (*phip*) ermittelt und in die Funktion der Fließspannung ($k_{f,R}$) für die Bestimmung der Sollwalzkraft (F_w) über die Beziehung

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

integriert wird, indem ein multiplikativer Fließkurvenansatz um die Warmstreckgrenze (R_e) in Abhängigkeit von Umformtemperatur (T) und Umformgeschwindigkeit *(phip)* gemäß der Formel

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

bestimmt wird, wobei bedeuten:

R_e : Warmstreckgrenze
T : Umformtemperatur
$phip$: Umformgeschwindigkeit
a_i; b_i; c : Koeffizienten

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Fließspannung ($k_{f,R}$) in die herkömmliche Walzkraftgleichung zur Ermittlung der Sollwalzkraft (F_w) für die Dickenregelung und auch für Rechen-Modelle und Regelungsverfahren gemäß folgender Gleichung

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

bestimmt wird, wobei bedeuten:

F_w : Sollwalzkraft
Q_p : Funktion zur Berücksichtigung von Walzspaltgeometrie und Reibungsverhältnissen
$k_{f,R}$: Fließspannung, unter Berücksichtigung der Streckgrenze
B : Walzgutbreite
R_w : Walzenradius
h_0 : Dicke vor dem Stich
h_1 : Dicke nach dem Stich

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass aufgrund der Sollwalzkraft (F_w) ein Materialmodul (C_M) unter Berücksichtigung der Warmstreckgrenze (R_e) in Abhängigkeit der Umformtemperatur (T) und Umformgeschwindigkeit ($phip$) für Umformgrade kleiner einem materialspezifischen Grenzumformgrad (φG) berechnet wird, gemäß der Formel

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

worin bedeuten:

C_M : Materialmodul
F_w : Sollwalzkraft
F_m : gemessene Walzkraft
dh_1 : Änderung der Auslaufdicke

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die herkömmliche Gaugemeter-Gleichung in eine Form

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

erweitert wird, wobei bedeuten:

dS_{AGC} : Änderung der Walzspalteinstellung
C_M : Materialmodul
C_G : Walzgerüstmodul
dh_1 : Änderung der Auslaufdicke
F_w : Sollwalzkraft
F_m : gemessene Walzkraft
s : Anstellung des Walzspaltes
s_{soll} : Sollanstellung des Walzspaltes

Claims

1. Method of increasing the process stability, particularly the absolute thickness accuracy and the plant safety, in hot rolling of steel materials or NE materials, with small degrees of reshaping (φ) or small reductions with consideration of the high-temperature limit of elasticity (R_e) in the calculation of the target rolling force (F_w) and the respective adjustment position (s), **characterised in that** the high-temperature limit of elasticity (R_e) is determined in dependence on reshaping temperature (T) and/or reshaping speed ($phip$) and is integrated in the function of the flow stress ($k_{f,R}$) for the determination of the target rolling force (F_w) by way of the equation

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

in that a multiplicative flow curve formulation about the high-temperature limit of elasticity (R_e) is determined in dependence on reshaping temperature (T) and reshaping speed ($phip$) according to the formula

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

wherein:

R_e : high-temperature limit of elasticity
T : reshaping temperature
$phip$: reshaping speed
$a,;b_j;c$: coefficients

2. Method according to claim 1, **characterised in that** the flow stress ($k_{f,R}$) in the conventional rolling force equation for determination of the target rolling force (F_w) for the thickness regulation and also for computing models and regulating methods is determined according to the following equation

$$(4) \qquad F_W = Q_p \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_W \cdot (h_0 - h_1))^{1/2}$$

wherein:

F_w : target rolling force
Q_p : function for consideration of rolling gap geometry and friction relationships
$k_{f,R}$: flow stress, with consideration of limit of elasticity
B : rolling stock width
R_w : roll radius
h_0 : thickness prior to the pass
h_1 : thickness after the pass

3. Method according to one of claims 1 and 2, **characterised in that** on the basis of the target rolling force (F_w) a material modulus (C_M) is calculated with consideration of the high-temperature limit of elasticity (R_e) in dependence on the reshaping temperature (T) and reshaping speed ($phip$) for degrees of reshaping less than a material-specific limit degree of reshaping (φG), according to the formula

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

wherein:

C_M : material modulus
F_w : target rolling force
F_m : measured rolling force
dh_1 : change in exit thickness

4. Method according to claim 3, **characterised in that** the conventional gauge-meter equation is expanded to a form

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

wherein:

dS_{AGC} : change in rolling gap setting
C_M : material modulus
C_G : roll stand modulus
dh_1 : change in exit thickness
F_w : target rolling force
F_m : measured rolling force
s : adjustment of the rolling gap
s_{soll} : target adjustment of the rolling gap

Revendications

1. Procédé pour augmenter la stabilité au traitement, en particulier la précision d'épaisseur absolue et la sécurité d'installation, lors du laminage à chaud de matériaux en acier ou en métal non ferreux, avec des petits taux de déformation (φ) ou des petites diminutions en prenant en compte la limite élastique à chaud (R_e) lors du calcul de la force de consigne de laminage (F_w) et la position d'approche respective (s), **caractérisé en ce que** la limite élastique à chaud (R_e) est déterminée en fonction de la température de déformation (T) et/ou de la vitesse de déformation (phip) et est intégrée dans la fonction de la tension au fluage ($k_{f,R}$) pour la définition de la force de consigne de laminage (F_w) par la relation

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

en définissant un modèle multiplicatif de courbe de fluage autour de la limite élastique à chaud (Re) en fonction de la température de déformation (T) et de la vitesse de déformation (phip) selon la formule

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

dans laquelle signifient :

R_e: limite élastique à chaud
T : température de déformation
phip : vitesse de déformation
a ; b_i; c coefficients.

2. Procédé selon la revendication 1,
caractérisé en ce que
la tension au fluage ($k_{f,R}$) dans l'équation habituelle de force de laminage pour déterminer la force de consigne de laminage (F_w) en vue de la régulation d'épaisseur et également en vue de la modélisation du calcul et de procédés de régulation, est définie selon l'équation suivante :

$$(4)\ F_w = Q_p \cdot k_{f,R} \cdot B \cdot (R_w \cdot (h_0 - h_1))^{1/2}$$

dans laquelle signifient :

F_w : force de consigne de laminage
Q_p : fonction pour prendre en compte la géométrie d'emprise et des relations de friction
$k_{f,R}$: tension au fluage, en prenant en compte la limite élastique
B : largeur du matériau à laminer
R_w : rayon de cylindre
h_0 : épaisseur avant la passe
h_1 : épaisseur après la passe

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2,
caractérisé en ce que
en se basant sur la force de consigne de laminage (F_w), on calcule un module de matériau (C_M) en prenant en compte la limite élastique à chaud (R_e) en fonction de la température de déformation (T) et de la vitesse de déformation (phip) pour des taux de déformation inférieurs à un taux de déformation limite (φG) spécifique au matériau, selon la formule

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

dans laquelle signifient :

C_M : module de matériau
F_w : force de consigne de laminage
F_m : force de laminage mesurée
dh_1 : modification de l'épaisseur de sortie.

4. Procédé selon la revendication 3,
caractérisé en ce que
l'équation de jauge habituelle est étendue en une forme

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

dans laquelle signifient :

ds_{AGC} : modification du réglage de l'emprise
C_M : module de matériau
C_G: module de cage de laminoir
dh_1 : modification de l'épaisseur de sortie
F_w : force de consigne de laminage
F_m : force de laminage mesurée
s : approche de l'emprise
$s_{consigne}$: approche de consigne de l'emprise

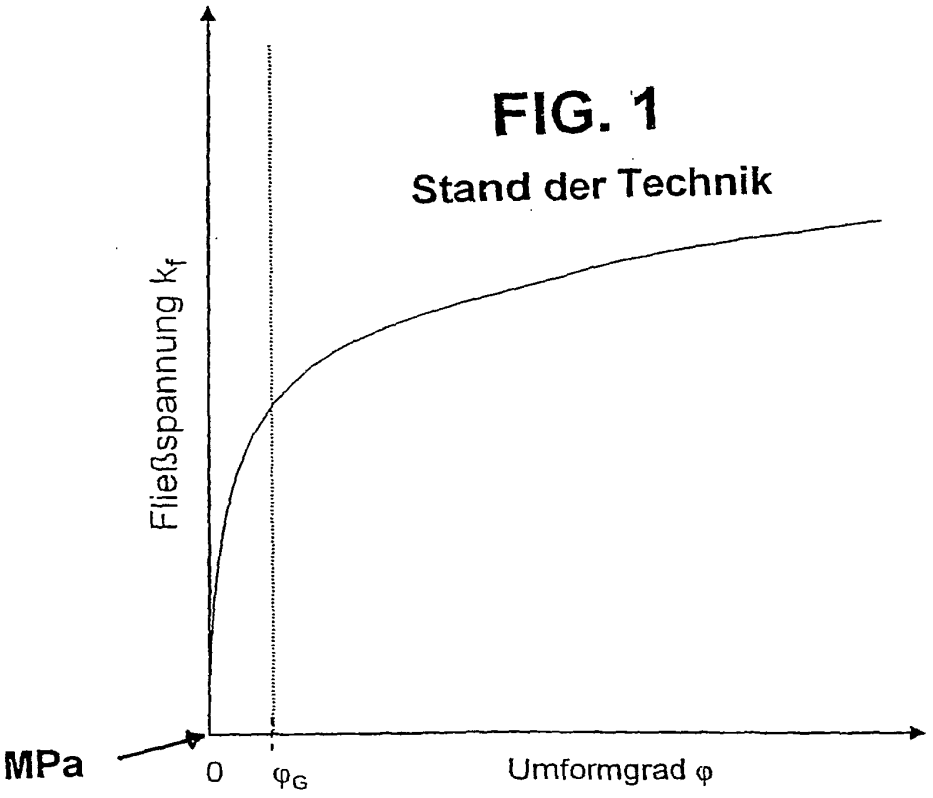


FIG. 1

Stand der Technik

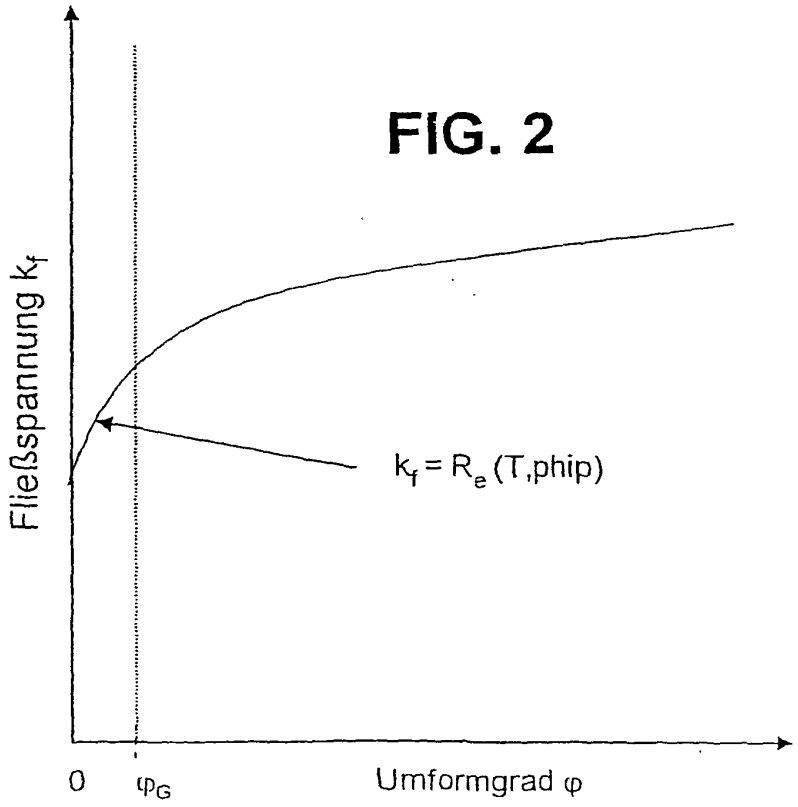


FIG. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 9311886 A1 **[0008]**
- WO 9902282 A1 **[0009]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **A. HENSEL ; T. SPITTEL.** Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungsverfahren. *Leipzig,* 1978 **[0002]**
- **T. SPITTEL ; A. HENSEL.** Rationeller Energieeinsatz bei Umformprozessen. *Leipzig,* 1981 **[0002]**
- **M. SPITTEL ; T. SPITTEL.** Modellierung des Einflusses der chemischen Zusammensetzung und der Umformbedingungen auf die Fließspannung von Stählen bei der Warmumformung. *Freiberg,* 1996 **[0004]**