

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 185 385 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
10.09.2003 Patentblatt 2003/37

(21) Anmeldenummer: **00949106.9**

(22) Anmeldetag: **15.06.2000**

(51) Int Cl.7: **B21B 37/32**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE00/01960

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 00/078475 (28.12.2000 Gazette 2000/52)

(54) **VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUR BEEINFLUSSUNG RELEVANTER GÜTEPARAMETER EINES WALZBANDES**

METHOD AND DEVICE FOR INFLUENCING RELEVANT QUALITY PARAMETERS OF A ROLLING
STRIP

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR INFLUER SUR DES PARAMETRES DE QUALITE PERTINENTS
D'UN FEUILLARD

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE DE FI GB IT

(30) Priorität: **17.06.1999 DE 19927755**
10.12.1999 DE 19959553

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.03.2002 Patentblatt 2002/11

(73) Patentinhaber: **SIEMENS**
AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **GRAMCKOW, Otto**
D-91080 Uttenreuth (DE)
• **SCHMIDT, Birger**
D-09636 Langenau (DE)
• **SCHUBERT, Markus**
D-47058 Duisburg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

DE-A- 19 618 995 **US-A- 5 235 835**
US-A- 6 014 881

- **DATABASE WPI Section Ch, Week 198036**
Derwent Publications Ltd., London, GB; Class
M21, AN 1980-63805C XP002028453 -& SU 710
705 A (CONTROL PROBLEMS), 25. Januar 1980
(1980-01-25)
- **GINZBURG V B ET AL: "APPLICATION OF**
COOLFLEX MODEL FOR ANALYSIS OF WORK
ROLL THERMAL CONDITIONS IN HOT STRIP
MILLS" IRON AND STEEL
ENGINEER,US,ASSOCIATION OF IRON AND
STEEL ENGINEERS. PITTSBURGH, Bd. 74, Nr.
11, 1. November 1997 (1997-11-01), Seiten 38-45,
XP000734453 ISSN: 0021-1559

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 1 185 385 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beeinflussung relevanter Güteparameter eines Walzbandes gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Einrichtung zur Beeinflussung relevanter Güteparameter eines Walzbandes gemäß Oberbegriff des Anspruchs 7; siehe DE-A-196 18 995.

[0002] Heißes Walzgut mit Temperaturen zwischen 800 - 1200 °C bewirkt eine spürbare Erwärmung der Arbeitswalzen und eine daraus resultierende Wärmeausdehnung. Das Ergebnis ist die sogenannte thermische Balligkeit der Arbeitswalzen, die unmittelbaren Einfluss auf Dicke, Dickenquerschnitt und Planheit des Bandes hat. Diese stellen wichtige Maße für die Güte des Walzprozesses dar. Die Geometrie des Bandquerschnitts wird dabei durch die Geometrie der Walzen in einem Walzengerüst, das heißt der Balligkeit der Walzen, beeinflusst. Es ist bekannt, die thermische Balligkeit durch entsprechende Stellglieder wie Anstellung, Biegekraft, u.a. zu kompensieren. Dieses Verfahren kommt z. B. bei sogenannten CVC- oder Taper-Walzen zum Tragen. Die Voreinstellung von CVC-Walzen kann jedoch nur im unbelasteten Zustand erfolgen. Sie dienen darum ausschließlich der Voreinstellung. Zudem ist dieses Verfahren äußerst aufwendig und kostenintensiv und führt zur Herabsetzung der Lebensdauer eines Walzgerüsts.

[0003] Reichen dabei die Stellreserven nicht aus, so kommt es zu Einbußen der Bandqualität.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, das es erlaubt, die Geometrie eines Walzbandes auf einfachere Weise zu beeinflussen. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zu schaffen, die es erlaubt, die Geometrie eines Walzbandes auf einfachere Weise zu beeinflussen.

[0005] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren nach Anspruch 1 bzw. durch eine Einrichtung gemäß Anspruch 7 gelöst.

[0006] Die Beeinflussung der relevanten Güteparameter eines Walzbandes, insbesondere des Profils oder der Planheit des Walzbandes, in einem Walzgerüst mit Walzen erfolgt durch Einstellung der Balligkeit der Walzen, d. h. der Oberflächengeometrie der Walzen in Walzenlängsrichtung, wobei die Einstellung der Balligkeit der Walzen durch eine einstellbare Kühlung der Walzen bzw. ihrer Oberfläche in Walzenlängsrichtung erfolgt, und wobei die Einstellung der Kühlung der Walzen mittels eines Reglers in Abhängigkeit eines Istwertes der Balligkeit und eines vorgegebenen Sollwertes der Balligkeit erfolgt.

[0007] Der Regelalgorithmus des Reglers ist bevorzugt ein Fuzzy Logic-Algorithmus.

[0008] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt eine vorausschauende Regelung mit Blick auf das nächste Walzband oder vorteilhafterweise auf die nächsten Bänder in Analogie zu dem in der DE 196 18 995 A1 und in der korrespondierenden US 5,855,131 A offenbarten Verfahren. Dies ist sehr vorteilhaft, da die thermische Balligkeit nur träge auf die Umgebung (Wasserkühlung) reagiert (Regelstrecke mit Verzögerung).

[0009] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Einstellung der thermischen Balligkeit derart, dass genügend Stellreserven anderer (verzögerungsfrei wirkender) Stellgrößen bezüglich Profil und Planheit verfügbar bleiben. Die zweckmäßigen Reglersollwerte liefert dabei eine zugehörige Stichplanvorausberechnung.

[0010] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden nachfolgend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen in Prinzipdarstellung:

FIG 1 eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung,

FIG 2 eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung,

FIG 3 eine erste Ausführungsform des in der Einrichtung gemäß FIG 1 eingesetzten Reglers,

FIG 4 eine zweite Ausführungsform des in der Einrichtung gemäß FIG 1 eingesetzten Reglers.

[0011] In FIG 1 bezeichnet das Bezugszeichen 2 eine Regelstrecke, d. h. eine Kühleinrichtung sowie die Walzen eines Walzgerüsts, bei dem die Kühlung der Walzen entsprechend einem Wert k eingestellt wird, der Ausgangsgröße eines Reglers 1 ist. Der Regler 1 berechnet die Größe k in Abhängigkeit der Differenz des Sollwertes $p_{\text{soll}}(z,t)$ und einem estimierten Wert $p_{\text{ist}}(z,t)$ der Balligkeit der Walzen. Der estimierte Wert $p_{\text{ist}}(z,t)$ der thermischen Balligkeit wird mittels eines Walzenmodells 3 in Abhängigkeit des Wertes k ermittelt. Die Werte $p_{\text{soll}}(z,t)$, $p_{\text{ist}}(z,t)$, $p(z,t)$ und k sind in der Regel keine Skalare, sondern Vektoren. Sie bezeichnen vorteilhafterweise in bezug auf $p_{\text{soll}}(z,t)$, $p_{\text{ist}}(z,t)$ und $p(z,t)$ eine Dickenverteilung und in bezug auf k eine Kühlmittelverteilung in Längsrichtung der Walzen. Dabei ist es von besonderem Vorteil, die Dickenverteilung und die Kühlmittelverteilung nicht durch einzelne Stützstellen, sondern durch Polynome und deren Parameter darzustellen. Dies veranschaulicht FIG 2.

[0012] Die vom Wert k abhängige Kühlmittelverteilung wird beispielsweise durch drei Parameter V_1 , V_2 und V_3 (Volumenströme des Kühlwassers) wiedergegeben, die die Ausgangsgrößen des Reglers 1 bilden und dem Walzenmodell 3 zugeführt werden. Im Walzenmodell 3 wird daraus die thermische Balligkeit c_T ermittelt. Aus der thermischen Balligkeit c_T wird anschließend durch Normierung in einer Normiereinheit 4 ein normierter Wert p_{norm} gebildet und der Approxi-

mationseinheit 5 zugeführt.

[0013] In der Approximationseinheit 5 wird ein approximierter Istwert $\underline{a}'$ der Balligkeit ermittelt, der einerseits anderen Anwendungen im System zugeführt und der andererseits auf einen dem Regler 1 vorgeschalteten Vergleich 6 zurückgeführt wird. In dem Vergleich 6 wird aus dem vorausberechneten approximierten Sollwert $\underline{a} = a_4 x^4 + a_2 x^2$ der Balligkeit und dem approximierten Istwert $\underline{a}'$ der thermischen Balligkeit die Abweichung e ermittelt, die dem Regler 1 als Eingangsgröße zugeführt wird. In dem in FIG 2 dargestellten Ausführungsbeispiel werden damit die approximierten Sollwerte $\underline{a}$ und $\underline{a}'$ auf die Koeffizienten für den x^2 - sowie x^4 -Anteil reduziert.

[0014] Der Reglersollwert umfasst neben den Sollparametern für das aktuelle Band auch immer noch die Sollparameter für das nächste Band bzw. für die nächsten Bänder.

[0015] Bei den in FIG 3 und 4 dargestellten Einrichtungen soll die Form der thermischen Balligkeit der Arbeitswalzen mit Hilfe gezielter Kühlstrategien beeinflusst werden. Es hat sich gezeigt, dass hierfür die thermische Ausdehnung in der Walzenmitte nicht relevant ist, da diese durch die Anstellung der Walzen kompensiert werden kann. Man definiert daher die auf die Walzenmitte bezogene thermische Balligkeit zu:

$$\bar{c}_T(z, t) = c_T(z, t) - c_T(0, t) \quad (1)$$

[0016] Dabei wird die axiale Position der Walzenmitte der Koordinate $z = 0$ zugeordnet.

[0017] Es wird nun eine Sollballigkeit $\bar{c}_T^*(z, t)$ vorgegeben. Dieses soll über die Breite des gewalzten Bandes L im Sinne eines beliebigen Gütekriteriums I durch die thermische Balligkeit $\bar{c}_T(z, t)$ optimal erreicht werden für alle Zeiten t . Dieses Gütekriterium kann z. B. der quadratische Güteindex sein:

$$I(t) = \frac{1}{2} \cdot \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \left(c_T^*(z, t) - \bar{c}_T(z, t) \right)^2 dz \quad (2)$$

[0018] Das Walzentemperaturmodell berechnet die thermische Ausdehnung der Walze in Abhängigkeit von ihrer axialen Position durch Lösung der dreidimensionalen Fourier'schen Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung der Randbedingungen an allen Oberflächen der Walze. Dabei wird die Annahme gemacht, dass die thermische Ausdehnung nahezu von der Umfangsrichtung unabhängig ist, da die Bereiche, in denen azimutale Einflüsse eine Rolle spielen, aufgrund der Walzenrotation nur in einer dünnen Schicht unter der Walzenoberfläche liegen. Diese Annahme kann durch dreidimensionale numerische Referenzrechnungen bestätigt werden.

$$c_T(\theta, z, t) \approx c_T(z, t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} c_T(\theta, z, t) d\theta \quad (3)$$

[0019] Die Randbedingungen an der Walzenoberfläche bei $r = R$ hängen im wesentlichen vom Wärmeeintrag durch den Walzspalt und durch die Verteilung des Kühlwassers an der Walzenoberfläche ab. Andere Einflüsse wie die Kühlwirkung der Luft werden hier vernachlässigt, können aber bei Bedarf mit in die Überlegung einbezogen werden.

[0020] Man kann nun davon ausgehen, dass sich die Einflüsse der Wasserkühlung durch einen Wärmeübergang dritter Art und die Einflüsse des Walzspaltes durch einen Wärmeübergang zweiter Art modellieren lassen. Diese Verteilungen werden zu einer Gesamtverteilung überlagert:

$$\alpha(\theta, z, t) = \alpha_c(\theta, z, t) \quad (4)$$

$$q(\theta, z, t) = T_c \alpha_c(\theta, z, t) + q_g(\theta, z, t) \quad (5)$$

und in die Randbedingung an der Walzenoberfläche zur Berechnung der Temperaturverteilung eingesetzt:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r}(R, \theta, z, t) = q(\theta, z, t) - \alpha(\theta, z, t)T(R, \theta, z, t) \quad (6)$$

[0021] Die Wärmeströme über die Zapfen sollen hier ebenfalls nicht beachtet werden, da sie nur einen Langzeiteinfluss auf die thermische Verformung der Walze im Bandkontaktbereich und deshalb keine Wirkung auf die Güte einer Walzenballigkeitsregelung haben.

[0022] Die Verteilung des Wärmeübergangskoeffizienten des Wassers wird durch die Verteilung des spezifischen Volumenstroms des Kühlwassers an der Walzenoberfläche über eine im allgemeinen nichtlineare Kennlinie bestimmt.

$$\alpha_c(\theta, z, t) = F_\alpha(\dot{V}(\theta, z, t)) \quad (7)$$

[0023] Diese Kennlinie kann auch noch anderen Einflüssen wie der Oberflächentemperatur der Walze unterliegen und muss geeignet modelliert werden. Dabei muss die Verteilung des Volumenstroms mit Hilfe eines geeigneten Modells aus den geometrischen Anordnungen der Walze, Kühlbalken und Düsen im Walzgerüst und den N unabhängigen Versorgungsvolumenströmen in den einzelnen Kühlkreisläufen $\dot{V}_i(t)$ bestimmt werden:

$$\dot{V}(\theta, z, t) = F_V(\theta, z, \dot{V}_1(t), \dot{V}_2(t), \dots, \dot{V}_N(t)) \quad (8)$$

[0024] Der spezifische Wärmestrom aus dem Walzspalt $q_g(\theta, z, t)$ wird durch ein geeignetes Walzspaltmodell berechnet.

[0025] Plausibilitätsüberlegungen und Erfahrungswerte führen auf ein Regelwerk, welches den aktuellen thermischen Crown und die Oberflächentemperatur der Walze bewertet und daraus eine Entscheidung über die optimale Einstellung der Versorgungsdrücke $\dot{V}_i(t)$ ableitet. Dieses Regelwerk ist erfahrungsgemäß sehr komplex. Auch geht hier eine Vielzahl von Einzelstrategien ein.

[0026] Ein Fuzzy-Regler, dessen Wirkungsweise in in FIG 3 dargestellt ist, hat sich für ein derart komplexes Regelwerk als besonders geeignet erwiesen.

[0027] Eigenart des Fuzzy-Reglers ist, dass er an jede Problemstellung neu angepasst werden muss, sich nicht auf strategisch unterschiedliche Kühlkonzepte in gleicher Weise anwenden lässt und der Einstellaufwand mit steigender Anzahl von unabhängigen Kühlkreisläufen (größer 3) aufgrund der exponentiell ansteigenden Anzahl von Regeln wächst.

[0028] Alternativ kann deshalb unter den folgenden Annahmen der Regler als Energiebilanzregler ausgeführt sein:

- Die Volumenströme können aus dem aktuellen Arbeitspunkt schrittweise verstellt werden. Die Schrittweite kann dabei vorgegeben werden, sie beträgt aber maximal die Stellweite der Ventile im Abtastintervall.
- Der Wärmestrom fließt im Abtastintervall näherungsweise nur in radialer Richtung. Axiale Wärmeströme spielen hier eine vernachlässigbare Rolle.
- Die aktuelle thermische Ausdehnung der Walze und deren Oberflächentemperaturverteilung liegen entweder in Form von Messwerten oder in Form von berechneten Werten aus einem Beobachter vor. Die thermische Ausdehnung an einer axialen Position ist proportional zur mittleren Temperatur gemittelt in Umfangsrichtung und radialer Richtung an der axialen Position:

$$c_T(z, t) = \beta(\bar{T}(z, t) - T_0) \quad (9)$$

[0029] T_0 ist hier die Bezugstemperatur, β der Wärmeausdehnungskoeffizient. Diese Beziehung lässt sich unter Vernachlässigung mechanischer Spannungen zeigen.

[0030] Für alle möglichen Kombinationen der Volumenströme, die bei fester Schrittweite vom aktuellen Arbeitspunkt aus im nächsten Abtastintervall erreicht werden können, werden die dazugehörigen, erwarteten und auf das Band normierten Profile näherungsweise mit einem Energieansatz berechnet, welcher weiter unten beschrieben wird. Im Falle, dass die Volumenströme kontinuierlich jeweils in beide Richtungen geändert werden können, ergeben sich hier

3^N Kombinationen. Lassen sich die Kühlkreisläufe nur ein- oder ausschalten, dann ergeben sich 2^N Kombinationen.

[0031] Als Stellgröße für die Volumenströme wird diejenige Kombination genommen, welche die (quadratische) Fehlerfläche zwischen der erwarteten thermischen Balligkeit und der Sollballigkeit im nächsten Zeitschritt am stärksten minimiert. Dieses Verfahren entspricht einem Verfahren des steilsten Abstiegs nullter Ordnung, da hier keine Empfindlichkeiten berechnet werden müssen.

[0032] Unter Vernachlässigung der axialen Wärmeströme ergibt die Anwendung des Fourier'schen Grundgesetzes des molekularen Wärmetransports für die Änderung der thermischen Energie in einer sehr dünnen Scheibe der Walze an der Position:

$$\frac{dE(z)}{dt} = R \cdot dz \cdot \int_0^{2\pi} \tilde{q}(\theta, z, t) d\theta \quad (10)$$

[0033] Dies ist aber unter Ausnutzung der Randbedingung:

$$\frac{dE(z)}{dt} = R \cdot dz \cdot \left\{ T_C \int_0^{2\pi} \alpha_C(\theta, z, t) d\theta + \int_0^{2\pi} q_g(\theta, z, t) d\theta - \int_0^{2\pi} \alpha_C(\theta, z, t) T(R, \theta, z, t) d\theta \right\} \quad (11)$$

[0034] Die Integrale

$$\bar{\alpha}_C(z, t) = \int_0^{2\pi} \alpha_C(\theta, z, t) d\theta \quad (12)$$

$$\bar{q}_g(z, t) = \int_0^{2\pi} q_g(\theta, z, t) d\theta \quad (13)$$

$$\bar{q}_T(z, t) = \int_0^{2\pi} \alpha_C(\theta, z, t) T(R, \theta, z, t) d\theta \quad (14)$$

können bei den gegebenen Annahmen zumindest numerisch geeignet berechnet werden. Man findet so unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine Änderung der thermischen Energie gleichbedeutend einer Änderung der mittleren Temperatur und somit der thermischen Ausdehnung ist:

$$\frac{dE(z)}{dt} = R \cdot dz \cdot \{ T_C \cdot \bar{\alpha}_C(z, t) + \bar{q}_g(z, t) - \bar{q}_T(z, t) \} \quad (15)$$

$$\frac{dE(z)}{dt} = c_w \rho 2\pi R \cdot dz \cdot \frac{d\bar{T}(z)}{dt} \quad (16)$$

$$\frac{dE(z)}{dt} = c_w \rho 2\pi R \cdot dz \cdot \frac{1}{\beta} \frac{dc_T(z)}{dt} \quad (17)$$

5 **[0035]** Mit der Definition eines mittleren Wärmestroms über die Walzenoberfläche

$$\bar{q}(z, t) = T_c \bar{\alpha}_c(z, t) + \bar{q}_g(z, t) - \bar{q}_T(z, t) \quad (18)$$

10

findet man eine Differentialgleichung für die thermische Ausdehnung:

$$\frac{dc_T(z)}{dt} = \frac{\beta}{2\pi c_w \rho} \bar{q}(z, t) \quad (19)$$

20 **[0036]** Ersetzt man hier nun die Ableitung durch einen Differenzenquotienten, dann erhält man mit der Annahme einer kleinen Abtastzeit und geringer Änderung der Randbedingungen einen Schätzwert für die Änderung der thermischen Ausdehnung im nächsten Abtastzeitpunkt in Abhängigkeit von der eingestellten Kühlung:

$$\Delta c_T(z, t) \approx \frac{\Delta t \beta}{2\pi c_w \rho} \bar{q}(z, t) \quad (20)$$

30 **[0037]** Diese Änderung muss die Gegebenheiten für den Einsatz in der Regelung nur qualitativ richtig wiedergeben, da sie nur als Entscheidungsgrundlage für den zu wählenden Kühlarbeitspunkt dient.

[0038] Das Verfahren ist übertragbar auf andere Kühlkonzepte. Der Rechenaufwand steigt hier allerdings exponentiell mit der Anzahl der unabhängig voneinander schaltbaren Kühlkreisläufe. Statt der Berechnung der einzelnen Kombinationen ist auch der Abstieg nach den Empfindlichkeiten nach den einzelnen Volumenströmen denkbar. Dazu müsste ein Empfindlichkeitsmodell existieren, welches die Empfindlichkeit der Randbedingungen von den Änderungen der Volumenströme der einzelnen Kühlkreisläufe entweder direkt berechnet oder durch kleine Auslenkungen schätzt.

35 **[0039]** Wie aus der in FIG 4 dargestellten Wirkungsweise des Energiebilanzreglers ersichtlich ist, muss dieser nicht parametrisiert werden. Es genügt lediglich die Kenntnis der physikalischen Kenngrößen der Walze. Die Kenntnis der Oberflächentemperatur und der aktuellen thermischen Ausdehnung der Walze ist wie beim Fuzzy-Regler notwendig. Teilmodelle für die Berechnung der Wärmeströme aus dem Walzspalt und die Berechnung der Verteilung des Wärmeübergangskoeffizienten der Kühlung an der Walzenoberfläche sind notwendige Voraussetzung.

40 **[0040]** Die in den Gleichungen (1) bis (20) verwendeten Formelzeichen sind in der nachfolgenden Übersicht aufgeführt:

Temperaturen

45

$T(r, \theta, z, t)$	Temperaturverteilung in der Walze
T_c	Kühlmitteltemperatur
$\bar{T}(z, t)$	radial und azimuthal gemittelte Temperatur
T_0	Bezugstemperatur für die thermische Ausdehnung
$E(z, t)$	Thermische Energie einer Scheibe an der Position

50

Randbedingungen

$\alpha(\theta, z, t)$	Wärmeübergangskoeffizient an der Walzenoberfläche
$\alpha_c(\theta, z, t)$	Wärmeübergangskoeffizient der Wasserkühlung an der Walzenoberfläche
$\bar{\alpha}_c(\theta, z, t)$	azimutal gemittelter Wärmeübergangskoeffizient des Wasserkühlung
$q(\theta, z, t)$	Gedachter Wärmestrom
$q_g(\theta, z, t)$	Wärmestrom Walzspalt

55

$\tilde{q}(\theta, z, t)$ effektiver Wärmestrom Walzenoberfläche
 $\bar{q}(\theta, z, t)$ Gedachter gemittelter Wärmestrom
 $\bar{q}_T(\theta, z, t)$ gemittelte Wärmestromrückkopplung Kühlung
 $\bar{q}_a(\theta, z, t)$ gemittelter Wärmestrom Walzspalt
 $\tilde{\bar{q}}(\theta, z, t)$ effektiver gemittelter Wärmestrom Walzenoberfläche

Volumenströme

$\dot{V}_i(t)$ Gesamtvolumenstrom des -ten Kühlwasserkreislaufs
 $\dot{v}(\theta, z, t)$ Spezifischer Volumenstrom an der Walzenoberfläche
 F_α Kennlinie zur Umrechnung des spez. Volumenstroms in eine Wärmeübergangsverteilung
 F_{vK} Berechnung des spezifischen Volumenstroms an der Walzenoberfläche aus den Gesamtvolumenströmen

Materialwerte

c_w Wärmekapazität
 λ Wärmeleitfähigkeit
 ρ Dichte
 β Wärmeausdehnungskoeffizient
 L Breite des Walzgutes

Thermische Ausdehnung

$c_T^*(z, t)$ Sollballigkeit
 $c_T(z, t)$ Thermische Ausdehnung entlang der Achse
 $\bar{c}_T(z, t)$ Thermische Ausdehnung entlang der Achse verschoben um den Mittencrown
 $\Delta c_T(z, t)$ Erwartete Änderung der thermischen Ausdehnung im nächsten Abtastschritt
 Δt Abtastzeit
 $I(t)$ Güteindex

Patentansprüche

1. Verfahren zur Beeinflussung relevanter Güteparameter eines Walzbandes, insbesondere des Profils oder der Planheit des Walzbandes, in einem Walzgerüst mit Walzen durch Einstellung der Balligkeit der Walzen, d. h. der Oberflächengeometrie der Walzen in Walzenlängsrichtung, wobei die Einstellung der Balligkeit der Walzen durch eine einstellbare Kühlung der Walzen bzw. ihrer Oberfläche in Walzenlängsrichtung erfolgt, wobei ein Walzenmodell verwendet wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einstellung der Kühlung der Walzen mittels eines Reglers in Abhängigkeit des Istwertes der Balligkeit und eines vorgegebenen Sollwertes der Balligkeit erfolgt, wobei der Istwert der Balligkeit mittels des Walzenmodells unter Zuhilfenahme eines Walzentemperaturmodells berechnet wird, wobei thermische Randbedingungen an allen Oberflächen einer Walze berücksichtigt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einstellung der Kühlung der Walzen mittels des Reglers in Abhängigkeit der Differenz des Istwertes der Balligkeit und dem vorgegebenen Sollwert der Balligkeit erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einstellung der Balligkeit der Walzen durch eine in Walzenlängsrichtung variierbare Kühlung der Walzen, z.B. durch eine variierbare Kühlmittelmenge bzw. -aufbringungsart, erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Walzenmodell ein analytisches Modell ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Walzenmodell ein, insbesondere selbstkonfigurierendes, neuronales Netz bzw. eine Kombination von analytischem Modell und neuronalem Netz ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Adaption des Walzenmodells oder von Teilen des Walzenmodells an das reale Prozessgeschehen, vorteilhafterweise on-line, insbesondere bei Verwendung eines neuronalen Netzes, durch on-line Lernen des neuronalen Netzes, erfolgt.
7. Einrichtung zur Beeinflussung relevanter Güteparameter eines Walzbandes, insbesondere des Profils oder der Planheit des Walzbandes, in einem Walzgerüst mit Walzen, wobei die Einrichtung eine einstellbare Kühleinrichtung zur Einstellung der Balligkeit der Walzen, d. h. der Oberflächengeometrie der Walzen in Walzenlängsrichtung, umfasst,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einrichtung einen Regler (1) zur Einstellung der Kühleinrichtung in Abhängigkeit eines Istwertes der Balligkeit und eines vorgegebenen Sollwertes der Balligkeit, eine Approximationseinheit (5) zur Ermittlung des Istwertes der Balligkeit sowie ein Walzenmodell (3) aufweist, wobei im Walzenmodell (3) der Istwert der Balligkeit unter Zuhilfenahme eines Walzentemperaturmodells berechnet wird, wobei thermische Randbedingungen an allen Oberflächen der Walze berücksichtigt werden.
8. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regler ein Fuzzy-Regler ist.
9. Einrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fuzzy-Regeln für den Fuzzy-Regler spezifisch anpassbar sind.
10. Einrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Regler ein Energiebilanzregler ist.
11. Einrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Energiebilanzregler die Volumenströme und deren Kombination vorgebbar ist.
12. Einrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellgröße für die Volumenströme die Fehlerfläche zwischen der thermischen Balligkeit und der Sollballigkeit minimiert.

Claims

1. Method for influencing relevant quality parameters of a rolled strip, in particular the profile or flatness of the rolled strip, in a roll stand with rolls by adjusting the roll crown i.e. the surface geometry of the rolls in the roll longitudinal direction, wherein the roll crown is adjusted by adjustable cooling of the rolls or of their surfaces in the roll longitudinal direction, wherein a roll model is used, **characterised in that** the cooling of the rolls is adjusted by means of a controller as a function of an actual value of the crown and a predefined nominal value of the crown, wherein the actual value of the crown is calculated by means of the roll model using a roll temperature model, wherein thermal boundary conditions on all surfaces of a roll are taken into account.
2. Method according to claim 1, **characterised in that** the cooling of the rolls is adjusted by means of the controller as a function of a difference between the actual value of the crown and the predefined nominal value of the crown.
3. Method according to claim 1 or 2, **characterised in that** the crown of the rolls is adjusted by variable cooling of the rolls in the roll longitudinal direction, e.g. by a variable coolant amount or application process.
4. Method according to claims 1 to 3, **characterised in that** the roll model is an analytical model.
5. Method according to claims 1 to 4, **characterised in that** the roll model is a neural network, in particular self-configuring, or a combination of an analytical model and a neural network.
6. Method according to claims 1 to 5, **characterised in that** the roll model or parts thereof is or are adapted to the

real process event, preferably on-line, in particular using a neural network, through on-line learning of the neural network.

7. Device for influencing relevant quality parameters of a rolled strip, in particular the profile or flatness of the rolled strip, in a roll stand with rolls, wherein the device comprises an adjustable cooling device to adjust the roll crown, i.e. the surface geometry of the rolls in the roll longitudinal direction, **characterised in that** the device has a controller (1) to adjust the cooling device as a function of an actual value of the crown and a predefined nominal value of the crown, an approximation unit (5) to determine the actual crown value and a roll model (3), wherein in the roll model (3) the actual crown value is calculated using a roll temperature model, wherein thermal boundary conditions on all surfaces of a roll are taken into account.
8. Device according to claim 7, **characterised in that** the controller is a fuzzy controller.
9. Device according to claim 8, **characterised in that** the fuzzy rules for the fuzzy controller are specifically adaptable.
10. Device according to claim 7, **characterised in that** the controller is an energy balance controller.
11. Device according to claim 10, **characterised in that** the volumetric flow rates and their combination can be predefined in the energy balance controller.
12. Device according to claim 11, **characterised in that** the controlled variable for the volumetric flow rates minimises the area of uncertainty between the thermal crown and the nominal crown.

Revendications

1. Procédé pour influencer des paramètres pertinents de qualité d'un feuillard laminé, notamment sur le profil ou la planéité du feuillard laminé, dans une cage de laminage ayant des cylindres en réglant le bombement des cylindres, c'est-à-dire la géométrie de surface des cylindres dans la direction longitudinale des cylindres, le réglage du bombement des cylindres s'effectuant par un refroidissement réglable des cylindres ou de leur surface dans la direction longitudinale des cylindres en utilisant un modèle de cylindre,
caractérisé
en ce que l'on effectue le réglage du refroidissement des cylindres au moyen d'un régulateur en fonction de la valeur réelle du bombement et d'une valeur de consigne prescrite du bombement, la valeur réelle du bombement étant calculée au moyen du modèle de cylindre, des conditions thermiques aux limites étant prises en compte sur toutes les surfaces d'un cylindre.
2. Procédé suivant la revendication 1,
caractérisé
en ce que l'on effectue le réglage du refroidissement des cylindres au moyen du régulateur en fonction de la différence de la valeur réelle du bombement et de la valeur de consigne prescrite du bombement.
3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2,
caractérisé
en ce que l'on effectue le réglage du bombement des cylindres par un refroidissement des cylindres qui peut varier dans la direction longitudinale des cylindres, par exemple par une quantité d'agent de refroidissement qui peut varier ou par un type de dépôt d'agent de refroidissement qui peut varier.
4. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 3,
caractérisé
en ce que le modèle de cylindre est un modèle analytique.
5. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 4,
caractérisé
en ce que le modèle de cylindre est un réseau neuronal, notamment à auto-configuration, ou une combinaison d'un modèle analytique et d'un réseau neuronal.
6. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 5,

caractérisé

en ce que l'on effectue une adaptation du modèle de cylindre ou de parties du modèle de cylindre à ce qui se passe réellement dans le processus, de préférence en ligne, notamment en utilisant un réseau neuronal par apprentissage en ligne du réseau neuronal.

- 5
7. Dispositif pour influencer sur des paramètres pertinents de qualité d'un feuillard laminé, notamment sur le profil ou la planéité du feuillard laminé, dans une cage de laminage ayant des cylindres, le dispositif comprenant un dispositif réglable de refroidissement pour régler le bombement des cylindres, c'est-à-dire la géométrie de surface des cylindres dans la direction longitudinale des cylindres,

caractérisé

10

en ce que le dispositif comporte un régulateur (1) de réglage du dispositif de refroidissement en fonction d'une valeur réelle du bombement et d'une valeur de consigne prescrite du bombement, une unité (5) d'approximation destinée à déterminer la valeur réelle du bombement ainsi qu'un modèle (3) de cylindre, la valeur réelle du bombement étant calculée dans le modèle (3) de cylindre en s'aidant d'un modèle de température du cylindre, des conditions thermiques aux limites étant prises en compte sur toutes les surfaces du cylindre.

- 15
8. Dispositif suivant la revendication 7, **caractérisé en ce que** le régulateur est un régulateur en logique floue.
- 20
9. Dispositif suivant la revendication 8, **caractérisé en ce que** les règles de logique floue peuvent être adaptées spécifiquement au régulateur en logique floue.
10. Dispositif suivant la revendication 7, **caractérisé en ce que** le régulateur est un régulateur de bilan énergétique.
- 25
11. Dispositif suivant la revendication 10, **caractérisé en ce que** pour le régulateur de bilan énergétique les courants en volume et leur combinaison peuvent être prescrits.
- 30
12. Dispositif suivant la revendication 11, **caractérisé en ce que** les grandeurs de réglage des courants en volume minimisent l'erreur de surface entre le bombement thermique et le bombement de consigne.

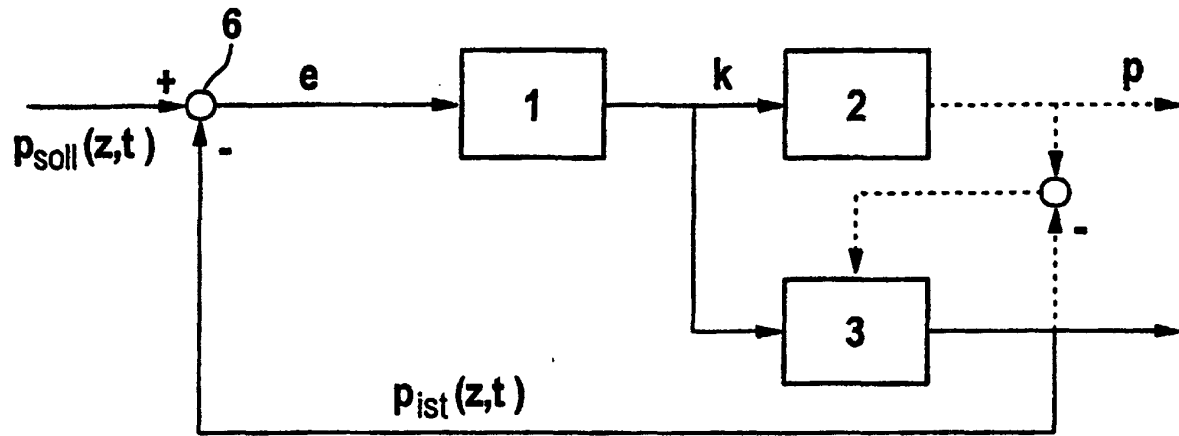


FIG 1

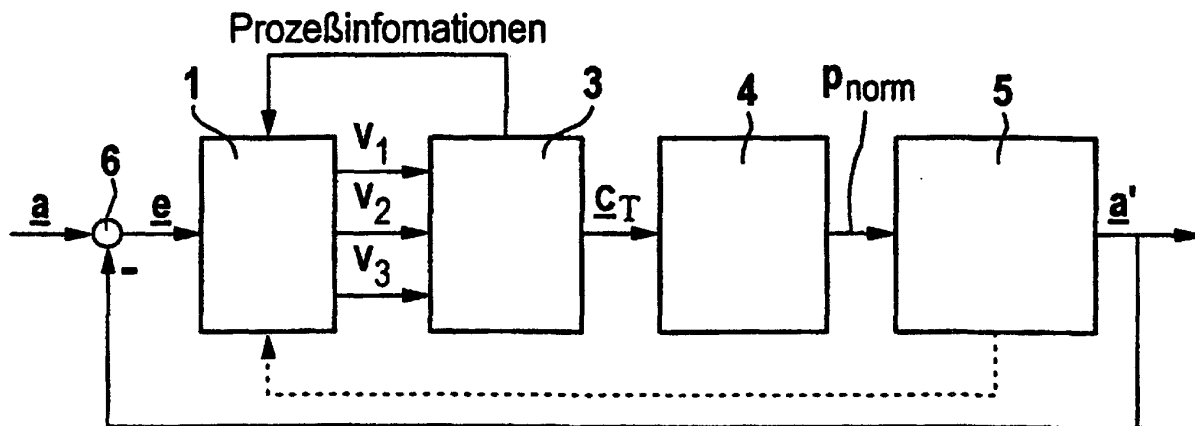


FIG 2

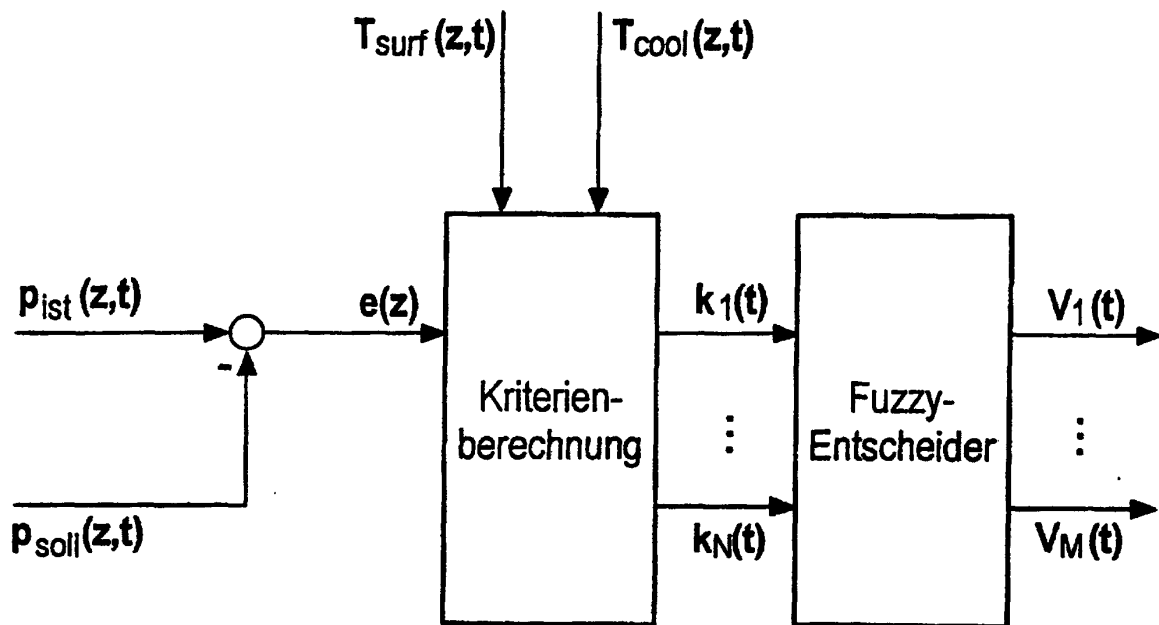


FIG 3

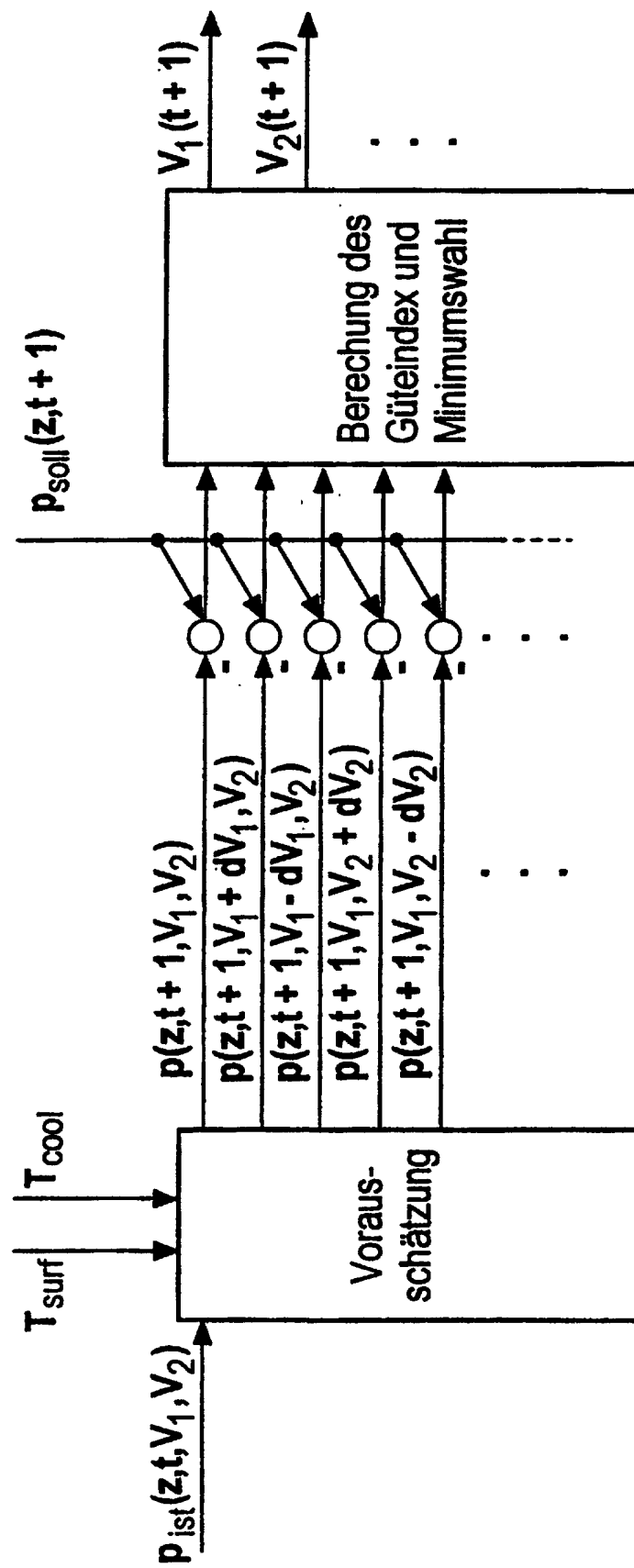


FIG 4