



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 591 291 B1**

12

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

Veröffentlichungstag der Patentschrift: **08.11.95** Int. Cl.⁶: **B21B 37/28**

Anmeldenummer: **92912619.1**

Anmeldetag: **16.06.92**

Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP92/01364

Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 93/00181 (07.01.93 93/02)

**REGELUNG BEI DEM HERSTELLEN VON WARBAND MITTELS EINES MEHRGERÜSTIGEN
WARBANDWALZWERKS.**

Priorität: **28.06.91 EP 91110753**

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.04.94 Patentblatt 94/15

Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung:
08.11.95 Patentblatt 95/45

Benannte Vertragsstaaten:
AT BE DE FR GB IT

Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 173 045
EP-B- 0 121 148
DE-A- 2 736 234
DE-B- 2 106 848
US-A- 3 820 711

Patentinhaber: **SIEMENS AKTIENGESELL-
SCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
D-80333 München (DE)

Erfinder: **SÖRGEL, Günther**
Zaunkönigweg 8
D-8500 Nürnberg (DE)
Erfinder: **SCHMID, Friedemann**
Krähenhorst 21
D-8520 Erlangen (DE)

EP 0 591 291 B1

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).

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Regelung gemäß den Oberbegriffsmerkmalen des Patentanspruchs 1.

Eine derartige Regelung ist aus der DE-B-2 106 848 bekannt.

Bei Warmbandwalzwerken ist es das Bestreben, die geforderte Profilausbildung und Planheit der erzeugten Bänder durch eine kleine Zahl einfacher Walzgerüste ohne aufwendige mechanische Walzen-Stellglieder zu erreichen. Falls Walzen-Stellglieder unvermeidbar sind, sollen diese Stellglieder einfach und nur auf wenige Gerüste beschränkt sein. Insbesondere für Warmbreitbandstraßen, die nach diesen Kriterien ausgelegt sind, gab es bisher keine echte Möglichkeit, das Dickenprofil zu optimieren. Eine Stichplangestaltung anhand von Erfahrungswerten ist nach wie vor üblich. So wird bei der aus der DE-B-2 106 848 bekannten Regelung basierend auf der Erfahrung des Walzstraßenbedieners zunächst aus einer Serie von standardisiert vorgegebenen Verteilungen der Walzkräfte eine geeignete Walzkraftverteilung ausgewählt und anschließend im Rahmen einer Modellrechnung daraufhin überprüft, ob Grenzwerte für die Walzkräfte und kritische Ebenheitsindices, die ebenfalls von dem erfahrenen Bediener vorgegeben werden, überschritten werden.

Aus der EP-A-0 121 148 ist eine Profil- und Planheitsregelung für Warmband-Tandemstraßen bekannt, bei der das Bandprofil bei der kritischen Dicke, unterhalb derer keine wesentliche Umformung des Walzbandes in Richtung der Breite mehr erzielbar ist, als Grundlage einer aufwendigen Planheits- und Profilausbildungsregelung des Warmbandes verwendet wird. Eine gleichwirkende Regelung offenbart auch die DE-A-27 36 234. Walzstraßen mit den vorgenannten Regelungen benötigen eine Vielzahl von Dicken, Profil- und Planheitsmeßgeräten im Verlauf der Walzstraße sowie aufwendige Gerüstregelungen. Die Gesamtkosten einer derartig geregelten Warmband-, insbesondere Breitbandstraße, sind hoch. Sowohl die Meßgeräte als auch die Walzenstellglieder sind wartungsaufwendig und erhöhen den Betriebsaufwand beträchtlich.

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Regelung für das Herstellen von Warmband mittels eines mehrgerüstigen Warmbandwalzwerks, insbesondere eines Breitbandwalzwerks, anzugeben, die durch Modellberechnungen, insbesondere durch selbstadaptionfähige Modellberechnungen, mit einem Minimum an Aufwand zu toleranzgerechten Walzbändern führt. Insbesondere soll auch eine Modernisierung alter Walzstraßen mit der erfindungsgemäßen Regelung möglich sein, ohne daß hierzu die Walzstraßen umgebaut oder mit einer Vielzahl

von aufwendigen Meßgeräten und Stellelementen an den Walzgerüsten versehen werden müssen.

Die Lösung der Aufgabe gelingt durch eine Regelung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Unter Benutzung einer, dem Walzwerker aus langjähriger Erfahrung prinzipiell vertrauten Rechentechnik, ist es so, vorteilhaft walzwerkstechnisch einfach, möglich, die geforderten Profil- und Planheitswerte weitestgehend nur durch Einflußnahme auf die Haupteinflußgröße des Walzprozesses, die Aufteilung der erforderlichen Summenwalzkraft auf die Einzelgerüste, zu erreichen. Überraschenderweise ist die passende Lastverteilung durch die Benutzung einer Formsteuerungsgeraden für das erforderliche Adaptionmodell erreichbar. Zusammen mit weiteren Maßnahmen, die mit der primären Maßnahme der Regelung durch passende Lastverteilung zusammenwirken, wird das geforderte Profil für Bänder mit unterschiedlichen Walztemperaturen, Profilausbildungen, Enddicken etc. erreicht. So kann die erfindungsgemäße Regel- und Rechentechnik den "Hardware"-Aufwand in der Walztechnik bei gleichzeitig höherer Flexibilität nicht unerheblich senken.

Da der überraschenderweise vorhandene, ausnutzungsfähige Toleranzbereich der Formsteuerungsgeraden unterhalb der kritischen Dicke, unter der sich eine relative Profilkonstanz ergibt, klein und oberhalb der kritischen Dicke größer ist, kann vorteilhaft von den physikalischen Gegebenheiten einer Walzstraße regel- und rechentechnisch Gebrauch gemacht werden, um eine Optimierung, und nicht nur eine Festlegung auf eine vorherbestimmte Gerade, zu erreichen.

Bei den in den Ansprüchen 2, 3 und 4 angegebenen Ausgestaltungen der Erfindung erhält man vorteilhaft einfach einen den physikalischen Gegebenheiten im Walzwerk angepaßten Optimierungsbereich für die Lastverteilungsberechnung in dem die Formsteuerungsgerade verschwenkt oder auf andere Weise geändert werden kann. Innerhalb des Toleranzbereichs führt der Optimierungsrechner eine schnelle Berechnung der Lastverteilungsmöglichkeiten für eine Walzung durch und kann die Frage klären, ob und bei welcher Lastverteilung das geforderte Profil bei Solldicke erreichbar ist oder ob Solldicke oder Profil für die gegebene Walzstraße so nicht erreichbar sind. Gegebenenfalls müssen, wenn die Berechnung auf dem Optimierungsrechner zeigt, daß Sollprofil oder Solldicke nicht erreichbar sind, die Randbedingungen geändert werden oder zusätzliche Stellglieder für die Walzgerüste vorgesehen und eingesetzt werden. Die Beeinflussung des Profils und der Enddicke durch Walzen-Stellglieder sind dem Walzwerker bekannt.

Wenn sich bei der Berechnung Betriebspunkte außerhalb des Profilrichters ergeben, erfolgt eine

Neuberechnung mit neuen Lastverteilungsannahmen, bis alle Betriebspunkte im Toleranzbereich liegen. Wenn die Optimierungsrechnung ergibt, daß zusätzlich zur Änderung der Lastverteilung auf die Einzelgerüste zur Einhaltung des Toleranzbereichs der Formsteuerungsgeraden zusätzliche Einflüsse auf den Walzprozeß wirken müssen, erfolgt dies vorteilhaft durch Beeinflussung der Walzenrückbiegung, der Walzenverschiebung und/oder -schrägung und/oder durch eine Beeinflussung der thermischen Balligkeit, etwa durch Kühlung oder auch durch hydraulische oder thermische Beeinflussung. Auch eine Walzenschliffänderung kann sich als Folge der Optimierungsrechnung im Zusammenhang mit dem Toleranzbereich ergeben. Dabei ist es vorteilhaft, die Walzenverschleißeinflüsse laufend auszugleichen.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels, anhand der Zeichnung und in Verbindung mit den Unteransprüchen. Im einzelnen zeigen:

- FIG 1 eine schematisiert dargestellte Walzstraße mit Angabe der Regelungsstruktur und der wichtigsten Einzelgrößen,
- FIG 2 die schematisiert dargestellten Arbeitswalzen eines Walzgerüsts und
- FIG 3 eine Darstellung der Formsteuerungsgeraden und ihres Toleranzbereichs.

In FIG 1 sind mit 1 die Walzen der einzelnen Gerüste einer Walzstraße, mit 2 das gewalzte Band und mit 3 die Meßgeräte und Sensoren für die einzelnen Walzen 1 und ihre Antriebe sowie für andere Funktionsbausteine, z.B. für den Walzspalt etc., bezeichnet. Die Regler und Stellatoren für die Walzen sind mit 3a bezeichnet.

Die Meßwerte der Meßgeräte und Sensoren 3 werden einer Meßwertanpassung 4 aufgegeben, wonach sie in die statistische Meßwertsicherung 5 gelangen. Mit diesen Werten erfolgt die Stichplannachberechnung 6 sowie die Adaption der für die Stichplannachberechnung verwendeten Algorithmen in 7. Die Werte aus 7 werden in 9 in die Stichplanberechnung übernommen, die unter anderem die Walzkraft, das Walzmoment, insbesondere das Profil, aber auch die Anstellung festlegt. In die Stichplanberechnung gehen die in Teil 8 zusammengefaßten Daten der Walzstrategie ein, die sich insbesondere aus der Materialart, der Fertigdicke und dem Sollprofil sowie weiteren Bediener- und Rechnerdaten ergibt. Aus der Stichplanberechnung 9 ergeben sich die Sollwertvorgabewerte, die in 10 errechnet werden und den Einzelreglern und Stellatoren für die einzelnen Betriebspunktregler vorgegeben werden.

Die in FIG 1 dargestellten Funktionsblöcke sind vorteilhaft in einem Rechner zusammengefaßt, es

kann aber auch eine Verarbeitung in getrennten Rechnern oder getrennten Teilen eines Rechners erfolgen. Entsprechende Rechner, in denen auch die Rechengvorgänge für die Einzelregler ablaufen können, sind aus Veröffentlichungen, Prospekten, Handbüchern etc. des Anmelders bekannt. Ihre Programmierung sowie die Parametrierung der Einzelregler ergibt sich aus den Betriebshandbüchern.

In FIG 2 bezeichnet 11 eine untere Arbeitswalze, 12 eine obere Arbeitswalze und 13 das gewalzte Band. Die schematische Darstellung berücksichtigt nicht die der gezeigten Bandform entgegengesetzte Walzenbiegung durch den Einfluß der Walzkraft, gibt aber die prinzipiell ballige Ausführung (Bombierung) der Arbeitswalzen wieder. Das Band hat eine Randdicke D_R und eine Mitteldicke D_M , wobei die Randdicke z.B. (C_{40}) an der verwerteten Bandkante gemessen wird. Der Profilwert für die Rechnung ergibt sich nach der Beziehung

$$P = D_M - \frac{D_{RR} + D_{RL}}{2}.$$

Er wird normalerweise in μm angegeben. Die jeweilige spezielle Profilausbildung richtet sich nach den Anforderungen der nachgeschalteten Kaltwalzstraße bzw. nach den Anforderungen an das erzeugte Warmband.

In FIG 3 bezeichnet 14 die Formsteuerungsgerade mit der unteren Toleranzgrenze 15 und der oberen Toleranzgrenze 16. In den Punkten 17 und 18, die im Bereich der kritischen Dicke liegen, unterhalb derer der Materialfluß in Breitenrichtung nur noch sehr begrenzt stattfinden kann, ändert sich die Steigung der Grenzkurven 15 und 16. Der sich aus den Grenzkurven 15 und 16 ergebende Profilrichter hat im Bereich unter der kritischen Dicke den symmetrischen Toleranz-Grenzenwinkel β und oberhalb der kritischen Dicke den Toleranz-Grenzenwinkel α nach oben und $\frac{\alpha}{2}$ nach unten. Diese Vereinfachung ist rechentechnisch besonders günstig und dabei ausreichend genau.

Wie ersichtlich verläuft die Formsteuerungsgerade 14 in ihrer Verlängerung durch den Nullpunkt. Die Betriebspunkte können innerhalb der Toleranz-Grenzkurven 15 und 16 bewegt werden. Sollprofil und Enddicke legen die Formsteuerungsgerade 14 fest. Die Walzkraft ist die Haupteinflußgröße auf die Stichabnahme, die anderen walztechnischen Einflußgrößen treten demgegenüber zurück und stellen nur Hilfsgrößen dar. Eine Umverteilung der Walzkraft stellt also das wesentliche Stellglied für das erreichte Profil und die Dicke dar. Grundbedingung ist dabei die Einhaltung der Summenwalzkraft, d.h. der geforderten Gesamtabnahme.

Unterhalb der kritischen Dicke wirkt das erreichte Bandprofil direkt auf die Bandplanheit bei

der Weiterverarbeitung, so daß auch diese durch Banddicke und Bandprofil mit nur geringen Einflußmöglichkeiten vorgegeben ist.

Patentansprüche

1. Regelung bei dem Herstellen von Warmband mittels eines mehrgerüstigen Warmbandwalzwerks, das ein übergeordnetes Prozeßleitsystem, dem ein Stichplan mit den Anfangs- und Endabmessungen, mit Materialdaten und Walztemperaturen vorgegeben wird und ein Führungssystem zur Sollwertführung untergeordneter, entkoppelter Einzelregler für die variablen Funktionsgrößen der einzelnen Walzgerüste, z.B. Walzeneinstellung, Drehzahl, Drehmoment aufweist, wobei durch einen Rechenvorgang über Modellgleichungen unter konvergierender Parameteranpassung an die tatsächlichen Parameter die Sollwerte der Einzelregler derart bestimmt werden, daß sich eine vorherbestimmbare Betriebspunkt-Regelung ergibt und wobei eine Profilsteuerung und -regelung durch Änderung der Lastverteilung auf die Einzelgerüste erfolgt,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Profilsteuerung und -regelung ausgehend von einer Formsteuerungsgeraden (14), die im Profil-Dicken-Diagramm durch den Nullpunkt und das Sollprofil und die Enddicke des Warmbandes (2,13) festgelegt ist, die Betriebspunkte der Einzelgerüste in der Weise bestimmt werden, daß sie in einem vorbestimmten Toleranzbereich der Formsteuerungsgeraden (14) liegen, wobei der Toleranzbereich unterhalb der kritischen Dicke, unterhalb derer der Materialfluß im Warmband (2, 13) in Breitenrichtung nur begrenzt stattfinden kann, klein und oberhalb der kritischen Dicke groß ist.
2. Regelung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Grenzen (15, 16) des Toleranzbereichs unterhalb der kritischen Dicke in einem kleinen Abweichungswinkel (β) und oberhalb der kritischen Dicke in einem größeren Abweichungswinkel (α) zur Formsteuerungsgeraden (14) verlaufen.
3. Regelung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Grenzen (15, 16) des Toleranzbereichs unterhalb der kritischen Dicke symmetrisch und oberhalb der kritischen Dicke unsymmetrisch zur Formsteuerungsgeraden (14) verlaufen.

4. Regelung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß oberhalb der kritischen Dicke das Verhältnis der Abweichungen der Grenzen (15, 16) von der Formsteuerungsgeraden (14) nach oben und unten 2:1 beträgt.
5. Regelung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Sollprofil neu berechnet wird, wenn sich Betriebspunkte außerhalb des Toleranzbereichs ergeben.
6. Regelung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß zusätzlich zur Änderung der Lastverteilung auf die Einzelgerüste zur Einhaltung des Toleranzbereichs der Formsteuerungsgeraden (14) eine Beeinflussung der Walzenrückbiegung erfolgt.
7. Regelung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß zusätzlich zur Änderung der Lastverteilung auf die Einzelgerüste zur Einhaltung des Toleranzbereichs der Formsteuerungsgeraden (14) eine Beeinflussung der Walzenverschiebung und/oder -schränkung erfolgt.
8. Regelung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß zusätzlich zur Änderung der Lastverteilung auf die Einzelgerüste zur Einhaltung des Toleranzbereichs der Formsteuerungsgeraden (14) eine Walzenschliffänderung und/oder eine Beeinflussung der thermischen Balligkeitsänderung erfolgt.

Claims

1. Control system in the manufacture of hot strip by means of a multiple-stand hot-strip rolling mill, which has a higher-level process control system, with which there are specified a sampling plan with the initial and final dimensions, with material data and rolling temperatures, and a guidance system for the setpoint guidance of lower-level, decoupled individual controllers for the variable function factors of the individual roll stands, for example roll adjustment, rotational speed, torque, with a computational process using model equations with convergent parameter adjustment to the actual parameters being used to determine the set-

points of the individual controllers in such a way that a working-point control which can be determined in advance is obtained and section control and regulation take place by changing the load distribution on the individual stands, characterized in that for the section control and regulation proceeding from a shape control line (14) which is fixed in the section thickness diagram by the zero point and the specified section and the end thickness of the hot strip (2, 13), the working points of the individual stands are determined in such a way that they lie in a predetermined tolerance range of the shape control line (14), whereby the tolerance range below the critical thickness, below which the material flow in the hot strip (2, 13) in the transverse direction can only take place to a limited extent, is small and above the critical thickness is larger.

2. Control system according to claim 1, characterized in that the limits (15, 16) of the tolerance range below the critical thickness extend at a small deviation angle (β) and above the critical thickness at a larger deviation angle (α) to the shape control line (14).

3. Control system according to claim 2, characterized in that the limits (15, 16) of the tolerance range below the critical thickness extend symmetrically, and above the critical thickness asymmetrically, to the shape control line (14).

4. Control system according to claim 3, characterized in that above the critical thickness the ratio of the deviations of the limits (15, 16) from the shape control line (14) to the top and bottom amounts to 2:1.

5. Control system according to one of the preceding claims, characterized in that the specified section is calculated anew if working points result outside the tolerance range.

6. Control system according to one of the preceding claims, characterized in that in addition to changing the load distribution on the individual stands to maintain the tolerance range of the shape control line (14), influence is exerted on the roll re-deflection.

7. Control system according to one of the preceding claims, characterized in that in addition to changing the load distribution on the individual stands to maintain the tolerance range of the shape control line (14), influence is exerted on the roll displacement and/or roll transposi-

tion.

8. Control system according to one of the preceding claims, characterized in that in addition to changing the load distribution on the individual stands to maintain the tolerance range of the shape control line (14), a change in the roll microsection and/or an influence on the thermal change in convexity takes place.

Revendications

1. Régulation de la fabrication de feuillards laminés à chaud au moyen d'un laminoir à chaud à cages multiples, lequel comporte un système de contrôle de processus prioritaire, auquel on impose un plan de passe comportant les dimensions initiales et finales, des données de matières et des températures de laminage, et un système de conduite de valeurs de consigne de régulateurs individuels autonomes secondaires pour les grandeurs de fonctionnement des différentes cages de laminoir, par exemple réglage des cylindres, vitesse de rotation, couple, les valeurs de consigne des régulateurs individuels étant déterminées par une opération de calcul utilisant des équations modèles par adaptation convergente des paramètres aux paramètres effectifs, de manière à obtenir une régulation des points de fonctionnement prédéfinissable et une commande et régulation des profilés étant effectuées par modification de la répartition de charges sur les cages individuelles, caractérisée en ce qu'en vue de la commande et de la régulation des profilés à partir d'une droite de commande de profilés (14), laquelle est définie dans le diagramme profilé/épaisseur par le point zéro et le profilé de consigne et l'épaisseur finale du feuillard laminé à chaud (2, 13), les points de fonctionnement sont déterminés de façon telle qu'ils se situent dans une plage de tolérance prédéterminée de la droite de commande de profilés (14), la plage de tolérance étant petite au-dessous de l'épaisseur critique, au-dessous de laquelle le flux de matière dans le feuillard laminé à chaud (2, 13) dans le sens de la largeur ne peut s'effectuer que de façon limitée, et étant plus grande au-dessus de l'épaisseur critique.

2. Régulation selon la revendication 1, caractérisée en ce que les limites (15, 16) de la plage de tolérance au-dessous de l'épaisseur critique forment avec la droite de commande de profilés (14) un angle de déviation (β) qui est petit, et au-dessus de l'épaisseur critique un angle de déviation (α) qui est plus grand.

3. Régulation selon la revendication 2, caractérisée en ce que les limites (15, 16) de la plage de tolérance au-dessous de l'épaisseur critique ont une allure symétrique et au-dessus de l'épaisseur critique une allure asymétrique par rapport à la droite de commande de profilés (14). 5
4. Régulation selon la revendication 3, caractérisée en ce qu'au-dessus de l'épaisseur critique le rapport déviation des limites (15, 16)/droite de commande de profilés (14) est de 2 : 1 vers le haut et vers le bas. 10
5. Régulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on recalcule le profilé de consigne, lorsqu'apparaissent des points de fonctionnement en dehors de la plage de tolérance. 15
6. Régulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'en plus de la modification de répartition de charges sur les cages individuelles en vue du respect de la plage de tolérance de la droite de commande de profilés (14), la rétroflexion des cylindres est influencée. 20 25
7. Régulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'en plus de la modification de répartition de charges sur les cages individuelles en vue du respect de la plage de tolérance de la droite de commande de profilés (14), le décalage et/ou l'entrelacement des cylindres est influencé. 30 35
8. Régulation selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce qu'en plus de la modification de répartition de charges sur les cages individuelles en vue du respect de la plage de tolérance de la droite de commande de profilés (14), une modification de la rectification des cylindres et/ou un changement du bombé thermique est effectué. 40 45

50

55

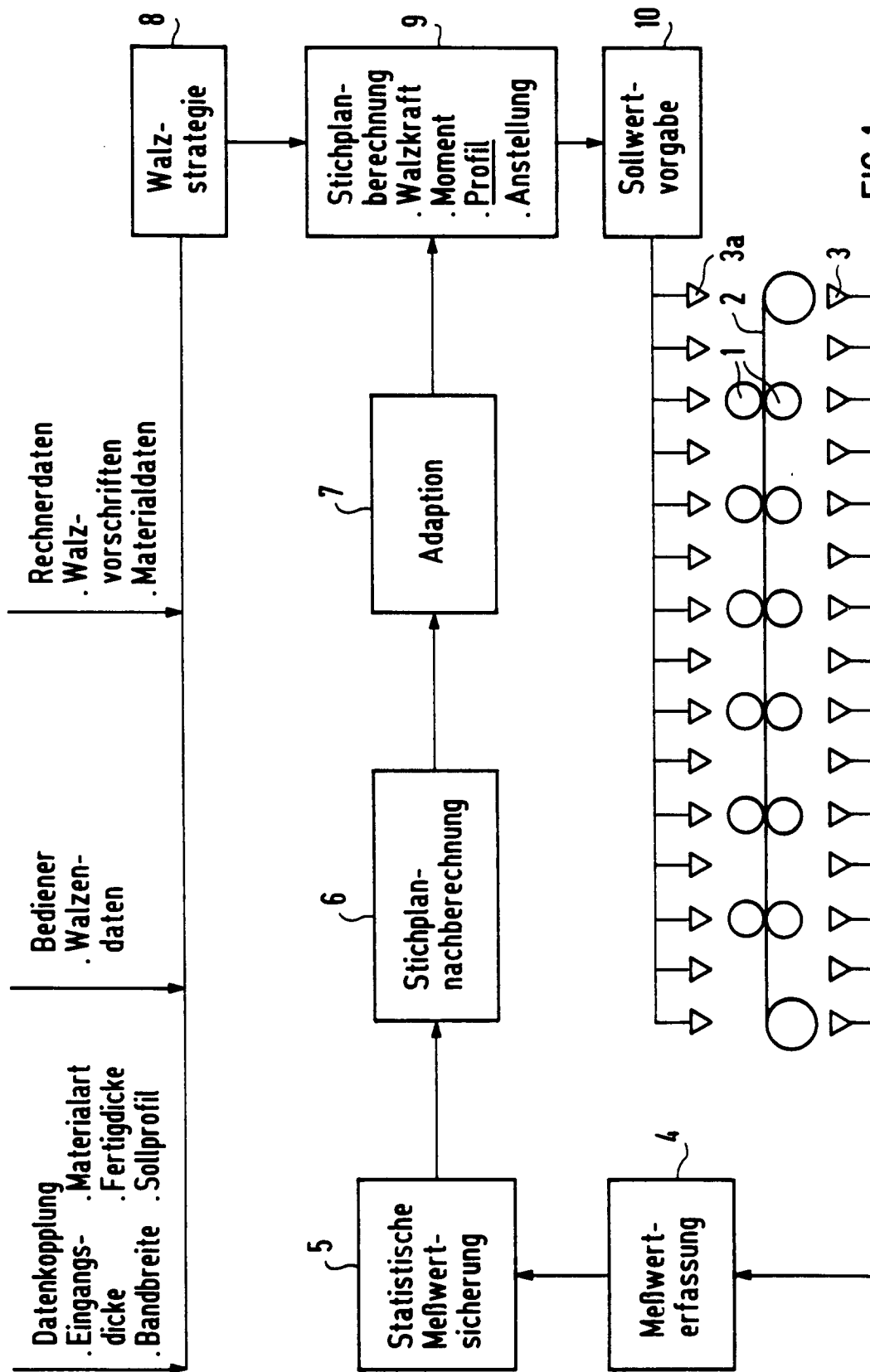


FIG 1

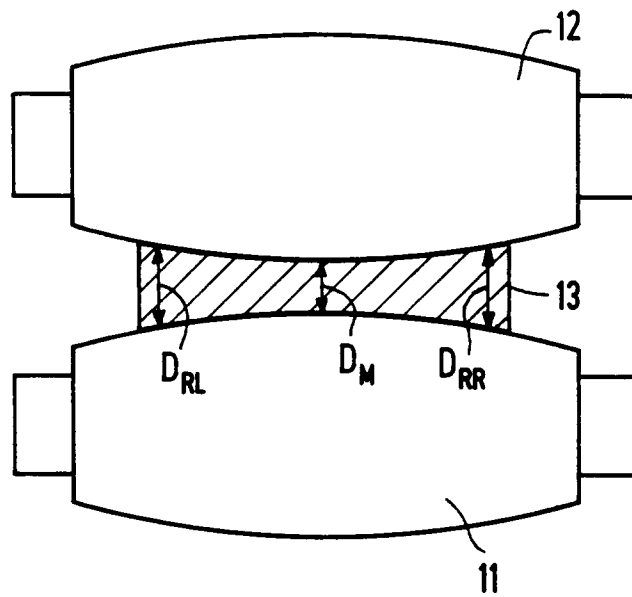


FIG 2

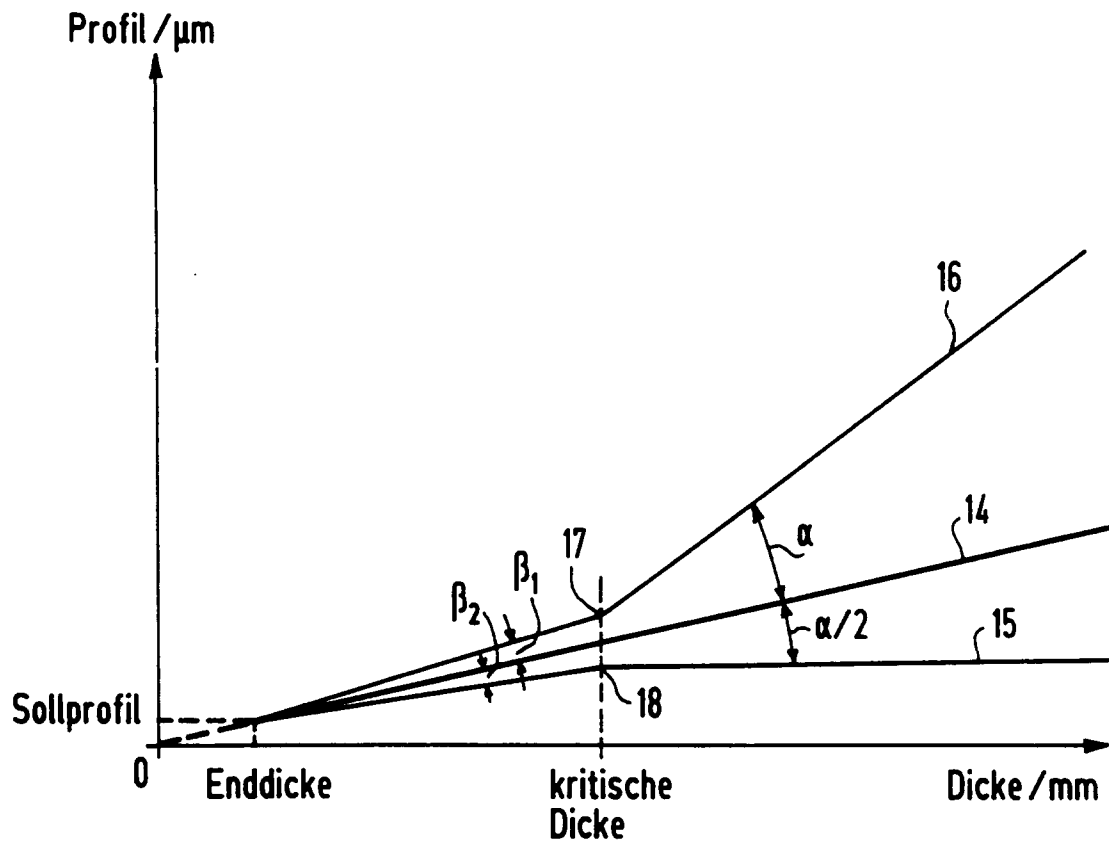


FIG 3