



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 54 178 A1** 2004.06.03

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 54 178.7**  
 (22) Anmeldetag: **21.11.2002**  
 (43) Offenlegungstag: **03.06.2004**

(51) Int Cl.7: **B21B 38/00**  
**B21B 1/22**

(71) Anmelder:  
**ABB Patent GmbH, 68526 Ladenburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Feldmann, Frank, 67691 Hochspeyer, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

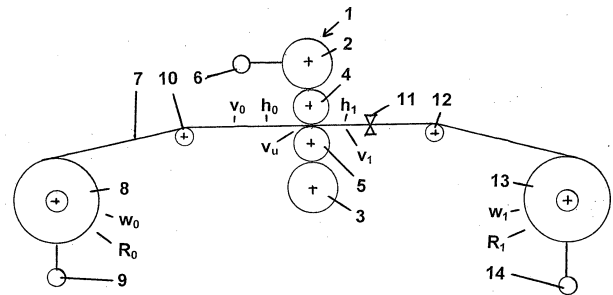
**DE 196 41 432 C2**  
**DE 42 43 045 C2**  
**DE 41 41 742 A1**  
**WO 01/41 947 A1**  
**JP 62-2 21 709 A**  
**JP 11-1 88 413 A**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ermittlung von Zustandsgrößen eines Walzprozesses**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Ermittlung von Zustandsgrößen eines in einem Walzwerk durchgeführten Walzprozesses vorgeschlagen, wobei ein Band (7) von einem Abwickler (8) abgewickelt, in mindestens einem Walzgerüst (1) behandelt und auf einen Aufwickler (13) aufgewickelt wird. Als Zustandsgrößen werden die Drehzahl des Abwicklers (8), die Drehzahl des Aufwicklers (13), die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen des Walzgerüsts (1) und die auslaufseitige Banddicke erfaßt. Aus der Massenbilanz, der Massenflußbilanz, der Bewegungsgleichung des Abwicklers (8), der Bewegungsgleichung des Aufwicklers (13), der auslaufseitigen Bandgeschwindigkeit, der Voreilung und der einlaufseitigen Bandgeschwindigkeit wird ein nichtlineares Gleichungssystem aufgestellt. Durch Lösung dieses Gleichungssystems werden die einlaufseitige Banddicke, der Radius des Abwicklers (8), der Radius des Aufwicklers (13), die einlaufseitige Bandgeschwindigkeit, die auslaufseitige Bandgeschwindigkeit und die Voreilung ermittelt und einer Anlagenautomation zugeleitet.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ermittlung von Zustandsgrößen eines Walzprozesses gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung kann bei der Behandlung eines Bandes (Metallbandes) in einem Walzwerk verwendet werden.

[0002] Beim Walzen von Metallband wird dieses unter Zug von einem Bund (Abwickler, einlaufseitige Haspel, Abhaspel) abgewickelt und über eine Umlenkrolle bzw. Meßrolle einem Walzgerüst oder mehreren Walzgerüsten zugeführt. Dort wird das Band plastisch zwischen zwei Walzen (Arbeitswalzen) verformt, wobei der notwendige Walzdruck durch entsprechendes "Zusammenfahren" (Zusammenpressen) dieser Walzen erzeugt wird. Anschließend wird das Band über eine Umlenkrolle geführt und auf einer auslaufseitigen Haspel wieder aufgewickelt.

[0003] Ziel des Walzprozesses ist es, ein Band mit (innerhalb enger Grenzen) vorgegebener auslaufseitiger Banddicke und Planheit zu produzieren. Die einlaufseitige Haspel, die auslaufseitige Haspel, die Walzen des Walzgerüsts und gegebenenfalls auch die Umlenkrollen werden dabei vorzugsweise derart angetrieben, daß der auf das Band wirkende Bandzug möglichst konstant bleibt. Als Zustandsgrößen stehen mindestens die Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  der Walzen (berechnet aus der Motordrehzahl des Walzmotors für den Antrieb einer Stützwalze), die Drehzahl  $w_0$  des Abwicklers, die Drehzahl  $w_1$  des Aufwicklers und die auslaufseitige Banddicke  $h_1$  zur Verfügung. Die Erfassung weiterer wichtiger Zustandsgrößen – wie einlaufseitige Banddicke  $h_0$ , aktueller Radius des Abwicklers  $R_0$ , aktueller Radius des Aufwicklers  $R_1$ , einlaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_0$ , auslaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_1$  – unterbleibt vielfach oder sie ist mit nicht akzeptablen Fehlern verbunden, so daß die bei Anlagenautomation wünschenswerte hohe Produktqualität hinsichtlich auslaufseitiger Banddicke und Bandplanheit nicht erzielt werden kann.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung von Zustandsgrößen eines Walzprozesses der eingangs genannten Art anzugeben, das einen sicheren Produktionsbetrieb innerhalb vorgegebener, eine hohe Produktqualität sicherstellender Produkttoleranzen gewährleistet.

[0005] Diese Aufgabe wird in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffes erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

[0006] Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß ein Einbau zusätzlicher Sensoren zur Erfassung von für die Anlagenautomation wichtiger Zustandsgrößen, wie einlaufseitige Banddicke, aktueller Radius des Abwicklers, aktueller Radius des Aufwicklers, einlaufseitige Bandgeschwindigkeit und auslaufseitige Bandgeschwindigkeit entbehrlich ist. Insbesondere bei älteren Anlagen

oder bei Anlagen mit eingeschränktem Platzbedarf ist dies von großem Vorteil.

[0007] Des weiteren ergeben sich beträchtliche Kostenvorteile. Es entfallen dabei nicht nur die Kosten für die ansonsten erforderlichen Sensoren zur Erfassung der einlaufseitigen Banddicke, des Radius des Abwicklers, des Radius des Aufwicklers und zur Erfassung von einlaufseitiger und auslaufseitiger Bandgeschwindigkeit, sondern auch die Kosten der Instandhaltung dieser Sensoren und die Kosten der benötigten Zusatzeinrichtungen für den Betrieb dieser Sensoren, wie z. B. Schutzvorrichtungen, Öl-Entfernungseinrichtungen und Emulsion-Entfernungseinrichtungen. Zudem entfallen auch jegliche Probleme, die mit direkten Meßmethoden oftmals verbunden sind, wie Probleme bei Vibrationen und sichtbaren Unplanheiten des Bandes. Es ergibt sich die Möglichkeit, ältere Anlagen (Walzwerke) nachzurüsten und anschließend derart zu regeln, daß sich eine wesentliche Verbesserung der erzielten Produktqualität hinsichtlich der auslaufseitigen Banddicke und Bandplanheit einstellt.

[0008] Weitere Vorteile sind aus der nachstehenden Beschreibung ersichtlich.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

[0010] Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert. Es zeigen:

[0011] **Fig. 1** ein Walzgerüst mit Bandwickelvorrichtungen und Erfassungseinrichtungen für wichtige Meßwerte (Prozeßsignale),

[0012] **Fig. 2** ein Walzgerüst mit zusätzlichen Sensoren.

[0013] In **Fig. 1** ist ein Walzgerüst mit Bandwickelvorrichtungen und Erfassungseinrichtungen (Sensoren) für wichtige Meßwerte (Prozeßsignale, Größen, Informationen) dargestellt. Es ist ein allgemein bekanntes Walzgerüst **1** mit oberer Stützwalze **2**, unterer Stützwalze **3**, oberer Arbeitswalze **4** und unterer Arbeitswalze **5** gezeigt. Eine Drehzahlerfassungseinrichtung **6** erfaßt die Drehzahl des die Stützwalze **2** antreibenden Walzmotors (alternativ können auch die Arbeitswalzen angetrieben werden). Aus der Drehzahl des Walzmotors läßt sich unter Berücksichtigung der bekannten Durchmesser der Stützwalze **2** und Arbeitswalze **4** die Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  der Walzen ermitteln.

[0014] Ein Band **7** durchläuft den zwischen den Arbeitswalzen **4**, **5** gebildeten Walzspalt. Dieses Band **7** wird von einem Abwickler (Abhaspel, einlaufseitige Haspel, Bund) **8** abgewickelt. Eine Drehzahlerfassungseinrichtung **9** dient zur Erfassung der Drehzahl  $w_0$  (Bunddrehzahl) des Abwicklers **8**. Das Band **7** gelangt über eine einlaufseitige Umlenkrolle **10** (Meßrolle) zum Walzgerüst **1**. Der Radius (Bundradius)  $R_0$  des Abwicklers **8**, die einlaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_0$  sowie die einlaufseitige Banddicke (Einlaufbanddicke)  $h_0$  werden nicht gemessen.

[0015] Das Band **7** verläßt das Walzgerüst **1** und ge-

langt über eine auslaufseitige Banddicken-Erfassungseinrichtung **11** zur Erfassung der auslaufseitigen Banddicke  $h_1$  und eine auslaufseitige Umlenkrolle **12** (Meßrolle) zu einem Aufwickler (Aufhaspel, auslaufseitige Haspel) **13**. Eine Drehzahlerfassungseinrichtung **14** dient zur Erfassung der Drehzahl  $w_1$  (Bunddrehzahl) des Aufwicklers **13**. Der Radius (Bundradius)  $R_1$  des Aufwicklers **16** und die auslaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_1$  werden nicht gemessen.

[0016] Für die Massenbilanz des betrachteten Walzprozesses gilt:

$$R_0^2 + R_1^2 - C = 0 \quad (1)$$

wobei  $C$  = unbekannte Konstante (Bundkonstante).

[0017] Für die Massenflußbilanz des Walzprozesses gilt:

$$v_1 \cdot h_1 = v_0 \cdot h_0 \quad (2)$$

[0018] Wie zu erkennen ist, ermöglicht die Massenflußbilanz eine verzögerungsfreie Berechnung (Schätzung) der auslaufseitigen Banddicke  $h_0$  aus  $h_1$ ,  $v_0$  und  $v_1$ , was vorteilhaft für eine schnelle Banddicken-Regelung einer Anlagenautomation verwendet werden kann.

[0019] Für die Bewegungsgleichung des Abwicklers **8** gilt während des Walzprozesses:

$$\dot{R}_0 = -\frac{h_0 \cdot w_0}{2\pi} \quad (3)$$

wobei  $\dot{R}_0$  = Änderung des Radius des Abwicklers **8** pro Zeit.

[0020] Für die Bewegungsgleichung des Aufwicklers **13** gilt während des Walzprozesses:

$$\dot{R}_1 = \frac{h_1 \cdot w_1}{2\pi} \quad (4)$$

wobei  $\dot{R}_1$  = Änderung des Radius des Aufwicklers **13** pro Zeit.

[0021] Für die auslaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_1$  gilt während des Walzprozesses:

$$v_1 = (1 + f)v_u = R_1 \cdot w_1 \quad (5)$$

mit der unbekanntem bzw. nicht gemessenen Voreilung

$$f = \left(\frac{v_1}{v_0}\right) - 1 \quad (6)$$

und der Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  der Walzen.

[0022] Für die einlaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_0$  gilt während des Walzprozesses:

$$v_0 = R_0 \cdot w_0 \quad (7)$$

[0023] Für die Änderung der einlaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_0$  pro Zeit gilt während des Walzprozesses:

zesses:

$$\dot{v}_0 = R_0 \cdot \dot{w}_0 + \dot{R}_0 \cdot w_0 \quad (8)$$

[0024] Für die Änderung der auslaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_1$  pro Zeit gilt während des Walzprozesses:

$$\dot{v}_1 = R_1 \cdot \dot{w}_1 + \dot{R}_1 \cdot w_1 = (1 + f)\dot{v}_u + f\dot{v}_u \quad (9)$$

wobei

$w_0$  = Änderung der Drehzahl des Abwicklers **8** pro Zeit

$w_1$  = Änderung der Drehzahl des Aufwicklers **13** pro Zeit

$v_u$  = Änderung der Umfangsgeschwindigkeit der Walzen pro Zeit

$f$  = Änderung der Voreilung pro Zeit

[0025] Mit den vorstehend angeführten Gleichungen wird ein nichtlineares Gleichungssystem aufgestellt. Dieses nichtlineare Gleichungssystem verknüpft die für den Walzprozeß bekannten (gemessenen) Größen

– Drehzahl  $w_0$  des Abwicklers **7**

– Drehzahl  $w_1$  des Aufwicklers **16**

– Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  der Walzen

– auslaufseitige Banddicke  $h_1$

– und deren zeitlichen Änderungen  $w_0$ ,  $w_1$ ,  $w_u$

mit den für den Walzprozeß unbekanntem (nicht gemessenen) Größen

– einlaufseitige Banddicke  $h_0$

– Radius  $R_0$  (Bundradius) des Abwicklers **8**

– Radius  $R_1$  (Bundradius) des Aufwicklers **13**

– Voreilung  $f = (v_1/v_0) - 1$

– Konstante  $C$

– und deren zeitlichen Änderungen  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $f$ ,  $v_0$ ,  $v_1$

[0026] Die einlaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_0$  und die auslaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_1$  können jeweils aus den Drehzahlen von Abwickler **8** und Aufwickler **13** und den Bundradien von Abwickler **8** und Aufwickler **13** gemäß den Gleichungen (7) bzw. (5) berechnet werden.

[0027] Die vorstehend in den Gleichungen angeführten interessierenden zeitlichen Ableitungen können mit einem reduzierten Störgrößenbeobachter oder durch Differenzierung und geeigneter Filterung der Größen berechnet werden.

[0028] Durch direkte Auflösung des nichtlinearen Gleichungssystems (Modellgleichungen) unter Verwendung der Größen (Informationen) der installierten Sensoren **9**, **14**, **11** und gegebenenfalls durch Verwendung eines "enreiteren Kalmanfilters" erhält man (auf indirekte Art und Weise) zu jedem Zeitpunkt – auch bei Beschleunigungen und Verzögerungen – einen relativ genauen Schätzwert (berechneten Wert) für die nicht direkt gemessenen (unbekannten) Größen  $C$ ,  $F$ ,  $h_0$ ,  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $v_0$ ,  $v_1$ . Das Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  der Walzen und auslaufseitig-

ger Bandgeschwindigkeit  $v_0$  sowie die einlaufseitige Banddicke  $h_0$  sind wichtige Größen für die Adaption von Walzmodellen, welche zur Sollwertvorgabe für den Walzprozeß verwendet werden können.

[0029] Da die gesuchten Größen  $C$ ,  $f$ ,  $h_0$ ,  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $v_0$ ,  $v_1$  durch das vorstehend erläuterte Verfahren relativ genau bestimmt werden können, werden vorteilhaft folgende bei der Anlagenautomation aufgrund von direkten Messungen mit ungenügender Genauigkeit oftmals auftretende Probleme zuverlässig verhindert:

- Schlupfen von angetriebenen Umlenkrollen (Meßrollen), was in nachteiliger Weise Kratzer auf dem Band verursachen kann,
- Bandzugschwankungen – vor allem beim Beschleunigen und Abbremsen –, was sich oftmals negativ auf die Prozeßsicherheit und die Bandtoleranzen (auslaufseitige Banddicke, Bandplanheit) auswirkt,
- zu frühes oder zu spätes Abbremsen der Anlage durch eine "Abbremsautomatik", was zu Durchsatz-Einbußen und/oder zu Walzenschäden und/oder zu Anlagenschäden und/oder zu längeren Stillstandszeiten führen kann,
- zu spätes Erkennen von kritischen Anlagezuständen, wie z. B. Rutschen des Bandes im Walzspalt.

[0030] Für Tandemstraßen kann unter Annahme der Massenflußkonstanz durch Hinzufügen von zusätzlichen Massenflußgleichungen auch die Banddicke bzw. Bandgeschwindigkeit zwischen den Walzgerüsten berechnet (geschätzt) werden.

[0031] Falls beim Walzwerk zusätzlich eine (bezüglich des vorstehend erläuterten Verfahrens redundante) direkte Messung

- für die einlaufseitige Banddicke  $h_0$  durch eine einlaufseitige Banddicken-Erfassungseinrichtung **15** und/oder
- der einlaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_0$  durch eine Meßeinrichtung (Laser-Meßeinrichtung) **16** und/oder
- der auslaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_1$  durch eine Meßeinrichtung (Laser-Meßeinrichtung) **17**

vorgesehen ist/sind, wie dies im Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** gezeigt ist, sind vorteilhaft Redundanzbetrachtungen bei den Größen des Walzprozesses und Überprüfungen auf Plausibilität möglich, was dazu beiträgt, kritische Anlagenzustände sicher zu vermeiden. Es ergibt sich dann die Möglichkeit einer Fehlererkennung und Fehlerisolation mittels Vergleich von gemäß vorstehend erläuterten Verfahren berechneten (geschätzten) und mittels der zusätzlichen Sensoren **15**, **16**, **17** direkt gemessenen Größen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Zustandsgrößen

eines in einem Walzwerk durchgeführten Walzprozesses, wobei ein Band (**7**) von einem Abwickler (**8**) abgewickelt, in mindestens einem Walzgerüst (**1**) behandelt und auf einen Aufwickler (**13**) aufgewickelt wird und wobei die Drehzahl  $\dot{w}_0$  des Abwicklers (**8**) bzw. die Änderung  $w_0$  dieser Drehzahl pro Zeit, die Drehzahl  $\dot{w}_1$  des Aufwicklers (**13**) bzw. die Änderung  $w_1$  dieser Drehzahl pro Zeit, die Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  der Walzen des Walzgerüsts (**1**) bzw. die Änderung  $\dot{v}_u$  dieser Geschwindigkeit pro Zeit und die auslaufseitige Banddicke  $h_1$  als Zustandsgrößen erfaßt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus der Massenbilanz

$$R_0^2 + R_1^2 - C = 0,$$

der Massenflußbilanz  $v_1 h_1 = v_0 \cdot h_0$ , der Bewegungsgleichung

$$\dot{R}_0 = \frac{h_0 \cdot w_0}{2\pi}$$

des Abwicklers (**8**), der Bewegungsgleichung

$$\dot{R}_1 = \frac{h_1 \cdot w_1}{2\pi}$$

des Aufwicklers (**13**), der auslaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_1 = (1 + f)v_u = R_1 \cdot w_1$  der Voreilung

$$f = \left(\frac{v_1}{v_0}\right) - 1$$

der einlaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_0 = R_0 \cdot w_0$ , der Änderung der einlaufseitigen Bandgeschwindigkeit pro Zeit  $\dot{v}_0 = \dot{R}_0 + w_0 + R_0 \cdot \dot{w}_0$  und der Änderung der auslaufseitigen Bandgeschwindigkeit pro Zeit  $\dot{v}_1 = \dot{R}_1 w_1 + R_1 \cdot \dot{w}_1 = (1 + f)\dot{v}_u + \dot{f}v_u$  ein nichtlineares Gleichungssystem aufgestellt und durch Lösung dieses Gleichungssystems die einlaufseitige Banddicke  $h_0$ , der Radius  $R_0$  des Abwicklers (**8**), der Radius  $R_1$  des Aufwicklers (**13**), die einlaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_0$ , die auslaufseitige Bandgeschwindigkeit  $v_1$  die Voreilung  $f$  und die Konstante  $C$  ermittelt und einer Anlagenautomation zugeleitet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich die Änderung  $\dot{R}_0$  des Radius des Abwicklers (**8**) pro Zeit ermittelt wird. g g

3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich die Änderung  $\dot{R}_1$  des Radius des Aufwicklers (**13**) pro Zeit ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich die Änderung  $\dot{v}_0$  der einlaufseitigen Bandgeschwindigkeit pro Zeit ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich

die Änderung  $\dot{v}_1$  der auslaufseitigen Bandgeschwindigkeit pro Zeit ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich die Änderung  $\dot{f}$  der Voreilung pro Zeit ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für Tandemstraßen unter Annahme der Massenflußkonstanz durch Hinzufügen von zusätzlichen Massenflußgleichungen auch die Banddicke bzw. Bandgeschwindigkeit zwischen den Walzgerüsten berechnet bzw. geschätzt werden.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Walzwerk zusätzlich eine direkte Messung der einlaufseitigen Banddicke  $h_0$  durch eine einlaufseitige Banddicken-Erfassungseinrichtung **(15)** und/oder der einlaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_0$  durch eine Laser-Meßeinrichtung **(16)** und/oder der auslaufseitigen Bandgeschwindigkeit  $v_1$  durch eine Laser-Meßeinrichtung **(17)** aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß Redundanzbetrachtungen auf Grundlage der berechneten und der gemessenen Größen und/oder Überprüfungen auf Plausibilität durchgeführt werden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



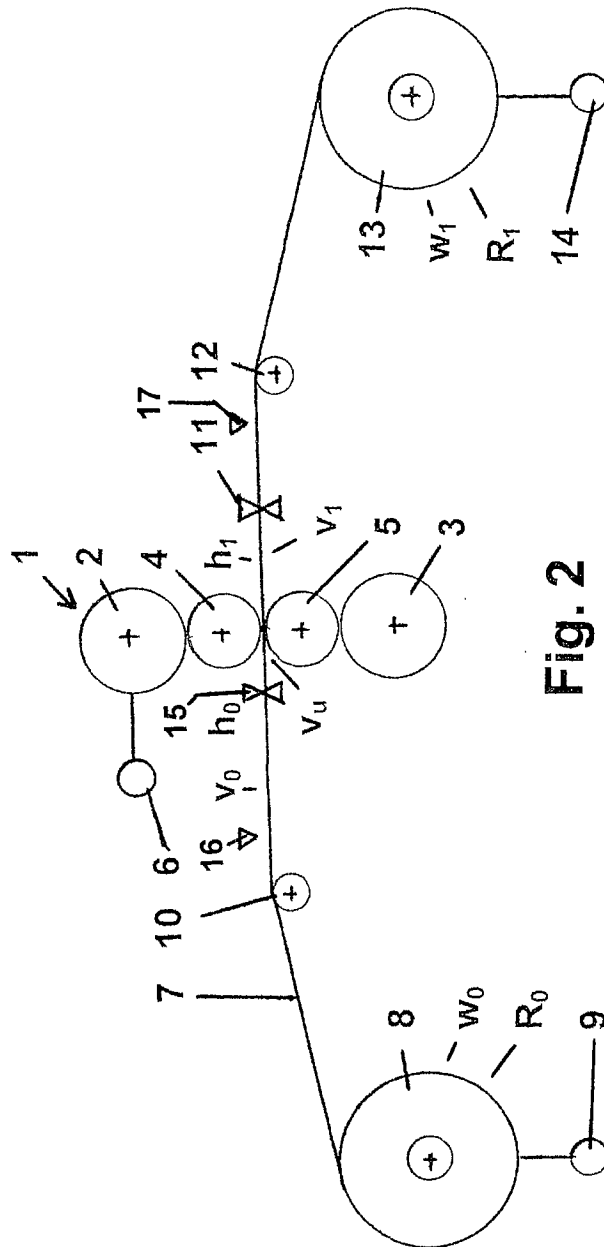


Fig. 2