



(11)

EP 2 926 918 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
01.02.2017 Patentblatt 2017/05

(51) Int Cl.:
B21B 38/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14163058.2**

(22) Anmeldetag: **01.04.2014**

(54) **Ermittlung des Bandzuges mit Modellierung der Bandkrümmung**

Determination of web tension with modelling of web curvature

Détermination de la tension de bande au moyen de la modélisation de l'incurvation de bande

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.10.2015 Patentblatt 2015/41

(73) Patentinhaber: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91052 Erlangen (DE)

(72) Erfinder:
• **Kotzian, Daniel**
91052 Erlangen (DE)
• **Tautz, Wilfried**
91301 Forchheim (DE)

(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
JP-A- H09 136 108

- **CHI-CHENG CHENG ET AL:** "Precise looper simulation for hot strip mills using an auto-tuning approach", THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY, SPRINGER, BERLIN, DE, Bd. 27, Nr. 5-6, 1. Januar 2006 (2006-01-01), Seiten 481-487, XP019380521, ISSN: 1433-3015, DOI: 10.1007/S00170-004-2226-0
- **HEARNS G ET AL:** "Inferential control for rolling mills", IEE PROCEEDINGS D. CONTROL THEORY & APPLICATIONS, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS. STEVENAGE, GB, Bd. 147, Nr. 6, 23. November 2000 (2000-11-23), Seiten 673-679, XP006014088, ISSN: 0143-7054, DOI: 10.1049/IP-CTA:20000788
- **JOHN C PRICE:** "The Hot Strip Mill Looper System", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. IA-10, Nr. 5, 1. September 1973 (1973-09-01), Seiten 556-562, XP011178658, ISSN: 0093-9994

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 926 918 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Ermittlungsverfahren für einen Bandzug, mit dem ein Band zwischen einem vorderen Fixort und einem hinteren Fixort beaufschlagt ist,

- wobei zwischen den Fixorten eine Schlingenheberrolle eines Schlingenhebers an das Band angedrückt ist, so dass die Schlingenheberrolle das Band aus einer direkten Verbindungslinie zwischen den Fixorten auslenkt,
- wobei für eine Auslenkung des Bandes aus der direkten Verbindungslinie zwischen den Fixorten und ein auf die Schlingenheberrolle wirkendes Moment charakteristische Größen erfasst werden,
- wobei die charakteristischen Größen einer Steuereinrichtung zugeführt werden, von der anhand der Auslenkung und des Moments der Bandzug ermittelt wird,
- wobei das Moment von der Steuereinrichtung zur Ermittlung des Bandzuges um einen ersten Momentanteil, einen zweiten Momentanteil und einen dritten Momentanteil kompensiert wird,
- wobei der erste Momentanteil auf dem Gewicht des Bandes zwischen den Fixorten beruht, der zweite Momentanteil auf einem Eigengewicht des Schlingenhebers beruht und der dritte Momentanteil auf einer Biegung des Bandes zwischen den Fixorten beruht,
- wobei von der Steuereinrichtung anhand des um den ersten, den zweiten und den dritten Momentanteil kompensierten Moments der Bandzug ermittelt wird.

[0002] Der Oberbegriff von Anspruch 1 basiert auf dem Fachaufsatz "Precise looper simulation for hot strip mills using an auto tuning approach" von Chi-Cheng Cheng et al., International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Band 27, 2006, Seiten 481 bis 487, (XP 19380521 A).

[0003] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin maschinenlesbaren Programmcode für eine Steuereinrichtung zum Steuern eines vorderen und/oder eines hinteren Halteelements, welche jeweils einen Fixort aufweisen, zwischen denen ein Band mit einem Bandzug beaufschlagt ist, wobei zwischen den Fixorten eine Schlingenheberrolle eines Schlingenhebers an das Band angedrückt ist, so dass die Schlingenheberrolle das Band aus einer direkten Verbindungslinie zwischen den Fixorten auslenkt, wobei der Programmcode Steuerbefehle aufweist, deren Ausführung bewirkt, dass die Steuereinrichtung ein Ermittlungsverfahren nach einem der obigen Ansprüche ausführt.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine softwareprogrammierbare Steuereinrichtung zum Steuern eines vorderen und/oder eines hinteren Halteelements, wobei die Halteelemente jeweils einen Fixort aufweisen, zwischen denen ein Band mit einem Bandzug beaufschlagt ist, wobei zwischen den Fixorten eine Schlingenheberrolle eines Schlingenhebers an das Band angedrückt ist.

[0005] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin eine Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes,

- wobei die Fördereinrichtung ein vorderes Halteelement und ein hinteres Halteelement aufweist, welche jeweils einen Fixort aufweisen, zwischen denen das Band mit einem Bandzug beaufschlagt ist,
- wobei die Fördereinrichtung einen zwischen den Halteelementen angeordneten Schlingenheber aufweist,
- wobei der Schlingenheber eine Schlingenheberrolle aufweist, die an das Band angedrückt ist, so dass die Schlingenheberrolle das Band aus einer direkten Verbindungslinie zwischen den Fixorten auslenkt,
- wobei Erfassungseinrichtungen vorhanden sind, mittels derer für eine Auslenkung des Bandes aus der direkten Verbindungslinie zwischen den Fixorten und ein auf die Schlingenheberrolle wirkendes Moment charakteristische Größen erfasst werden,
- wobei die Erfassungseinrichtungen zur Zuführung der erfassten charakteristischen Größen mit einer Steuereinrichtung verbunden sind.

[0006] Beim Walzen von Metallband - insbesondere beim Warmwalzen von Metallband - werden oftmals zwischen jeweils zwei Walzgerüsten von mehrgerüstigen Walzstraßen Schlingenheberrollen von Schlingenhebern (Looper) angeordnet. Mittels der Looper werden im Zusammenwirken mit Walzgeschwindigkeiten der jeweils beteiligten Walzgerüste die Bandzüge zwischen den Walzgerüsten eingestellt.

[0007] Auf die Schlingenheberrollen der Looper wirken jeweils vier Momentanteile, nämlich

- der erste Momentanteil, der auf dem Gewicht des Bandes zwischen den Fixorten beruht,
- der zweite Momentanteil, der auf einem Eigengewicht des Schlingenhebers beruht,
- der dritte Momentanteil, der auf einer Biegung des Bandes zwischen den Fixorten beruht, und
- der vierte Momentanteil, der auf dem Bandzug beruht.

[0008] Im technologischen Sinne soll der Bandzug eingestellt werden. Gemessen werden kann jedoch nur das gesamte auf die jeweilige Schlingenheberrolle wirkende Moment. Es ist daher erforderlich, das erfasste Moment um den ersten

Momentanteil, den zweiten Momentanteil und den dritten Momentanteil zu kompensieren. Je genauer diese Kompensation ist, desto genauer kann der eigentlich gewünschte Bandzug ermittelt und gegebenenfalls auch eingestellt werden.

[0009] Die Ermittlung des ersten Momentanteils, der auf dem Gewicht des Bandes zwischen den Fixorten beruht, ist ohne weiteres möglich. Insbesondere ist die Masse des Bandes durch den Querschnitt des Bandes und - zumindest im wesentlichen - durch die Länge der Verbindungslinie zwischen den Fixorten gegeben. Der dadurch bewirkte erste Momentanteil kann anhand der Masse des Bandes in Verbindung mit den ohne weiteres bekannten konstruktiv-geometrischen Verhältnissen des Schlingenhebers auf einfache Weise ermittelt werden.

[0010] Auch die Ermittlung des zweiten Momentanteils, der auf dem Eigengewicht des Schlingenhebers beruht, ist ohne weiteres möglich. Insbesondere ist die Masse des Schlingenhebers ohne weiteres vorab einmalig ermittelbar. Der dadurch bewirkte zweite Momentanteil kann anhand der Masse des Schlingenhebers in Verbindung mit den ohne weiteres bekannten konstruktiv-geometrischen Verhältnissen des Schlingenhebers auf einfache Weise ermittelt werden.

[0011] Problematisch ist hingegen die Ermittlung des dritten Momentanteils, der auf einer Biegung des Bandes zwischen den Fixorten beruht. Für die Ermittlung des dritten Momentanteils sind im Stand der Technik verschiedene Vorgehensweisen bekannt.

[0012] Aus dem Fachaufsatz "The Hot Strip Mill Looper System" von John C. Price, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol IA-9, Nummer 5, September/Okttober 1973, Seiten 556 bis 562, ist bekannt, den dritten Momentanteil, also den Momentanteil der auf einer Biegung des Bandes zwischen den Fixorten beruht, zu vernachlässigen. Dieser Ansatz entspricht der Annahme, dass beim Warmwalzen von Metall aufgrund der dort herrschenden Temperaturen das Band durch sein eigenes Gewicht in hinreichendem Umfang gebogen wird.

[0013] Aus dem Fachaufsatz "Precise looper simulation for hot strip mills using an auto tuning approach" von Chi-Cheng Cheng et al., International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Band 27, 2006, Seiten 481 bis 487, ist bekannt, anzunehmen, dass die Schlingenheberrolle sich genau in der Mitte zwischen zwei Walzgerüsten befindet und dass das Band in den Walzgerüsten gelenkig gelagert ist. Weiterhin wird in diesem Fachaufsatz angenommen, dass die Bandbiegung rein elastisch erfolgt und dass die Auslenkung gering ist. Für diesen Fall wird die Biegekraft des Bandes auf die Schlingenheberrolle berechnet. Sie ist proportional zur Auslenkung und wirkt vertikal nach unten. Sie wird in Verbindung mit der Länge und dem Winkel des Looperarms in den dritten Momentanteil umgerechnet, also denjenigen Momentanteil, der auf der Biegung des Bandes zwischen den Fixorten beruht.

[0014] In der Praxis findet sich weiterhin der Ansatz, anzunehmen, dass die Schlingenheberrolle sich genau in der Mitte zwischen zwei Walzgerüsten befindet und dass eine plastische Bandbiegung erfolgt. Für diesen Fall wird die Biegekraft des Bandes auf die Schlingenheberrolle berechnet. Die Biegekraft ist konstant, hängt also nicht von der Auslenkung ab, und wirkt vertikal nach unten. Sie wird in Verbindung mit der Länge und dem Winkel des Looperarms in den dritten Momentanteil umgerechnet, also denjenigen Momentanteil, der auf der Biegung des Bandes zwischen den Fixorten beruht.

[0015] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer eine exakte Ermittlung des im Band herrschenden Bandzuges möglich ist.

[0016] Die Aufgabe wird durch ein Ermittlungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Ermittlungsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 5.

[0017] Erfindungsgemäß wird ein Ermittlungsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass von der Steuereinrichtung eine vordere Bandkurve des Bandes zwischen der Schlingenheberrolle und dem vorderen Fixort und eine hintere Bandkurve des Bandes zwischen der Schlingenheberrolle und dem hinteren Fixort ermittelt werden,
- dass die vordere Bandkurve von der Steuereinrichtung derart ermittelt wird, dass ein vorderer Biegemomentverlauf im Band, ausgehend von einem Maximalwert an der Schlingenheberrolle, in Richtung der Verbindungslinie gesehen auf den vorderen Fixort zu linear auf einen vorderen Minimalwert abfällt,
- dass die hintere Bandkurve von der Steuereinrichtung derart ermittelt wird, dass ein hinterer Biegemomentverlauf im Band, ausgehend von dem Maximalwert an der Schlingenheberrolle, in Richtung der Verbindungslinie gesehen auf den hinteren Fixort zu linear auf einen hinteren Minimalwert abfällt,
- dass der vordere Biegemomentverlauf und ein durch die vordere Bandkurve gegebener vorderer Krümmungsverlauf sowie der hintere Biegemomentverlauf und ein durch die hintere Bandkurve gegebener hinterer Krümmungsverlauf gemäß einer Biegekennlinie des Bandes miteinander verknüpft sind,
- dass die Biegekennlinie für Krümmungen der Bandkurven unterhalb einer Grenzkrümmung einen linearen Anstieg des jeweils korrespondierenden Biegemomentes auf ein erstes Grenzbiegemoment aufweist und
- dass die Biegekennlinie für Krümmungen der Bandkurven oberhalb der Grenzkrümmung zu einem zweiten Grenzbiegemoment hin abflacht.

[0018] Durch diese Maßnahmen kann eine sehr realistische Modellierung des tatsächlichen Verhaltens des Bandes zwischen den beiden Fixorten und hiermit korrespondierend eine hochgenaue Ermittlung des dritten Momentanteils

erreicht werden. In Verbindung mit der - als solche bekannten - genauen Ermittlung des ersten Momentanteils und des zweiten Momentanteils kann somit auch eine hochgenaue Ermittlung des vierten Momentanteils, also des auf dem Bandzug beruhenden Momentanteils, erreicht werden.

[0019] Vorzugsweise wird die Biegekennlinie von der Steuereinrichtung in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften des Bandes zwischen den Fixorten und momentanen Materialeigenschaften des Bandes ermittelt. Die Geometrieigenschaften können insbesondere die Banddicke und eventuell auch die Bandbreite umfassen. Die momentanen Materialeigenschaften können insbesondere eine momentane Temperatur des Bandes, einen momentanen Elastizitätsmodul und eine momentane Fließgrenze umfassen. Falls das Band einer Phasenumwandlung unterworfen ist, beispielsweise im Falle eines Stahlbandes einer Phasenumwandlung von Austenit in Ferrit und/oder Zementit, können zusätzlich zur Temperatur des Bandes auch Phasenanteile mit berücksichtigt werden. Durch die Ermittlung der Biegekennlinie wird erreicht, dass die im Rahmen der Ermittlung der Krümmungsverläufe verwendete Biegekennlinie den tatsächlichen Verhältnissen jederzeit angepasst werden kann.

[0020] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass von der Steuereinrichtung anhand der Auslenkung des Bandes aus der direkten Verbindungslinie zwischen den Fixorten in Richtung der direkten Verbindungslinie gesehen ein Ort der Schlingenheberrolle ermittelt wird und/oder dass der Ort der Schlingenheberrolle in Richtung der direkten Verbindungslinie gesehen von den beiden Fixorten nicht gleich weit entfernt ist und dass der Ort der Schlingenheberrolle in Richtung der Verbindungslinie gesehen von der Steuereinrichtung im Rahmen der Ermittlung des dritten Momentanteils berücksichtigt wird. Dadurch wird erreicht, dass die Modellierung jederzeit an die tatsächlich gegebenen geometrischen Verhältnisse angepasst werden kann. Diese Vorgehensweise steht insbesondere im Gegensatz zum Stand der Technik, bei welcher im Rahmen der Ermittlung des dritten Momentanteils zumindest in der Regel davon ausgegangen wird, dass die Schlingenheberrolle sich in der Mitte zwischen den beiden Walzgerüsten befindet.

[0021] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass der Steuereinrichtung ein Anteil vorgegeben wird, zu dem das Band im vorderen Fixort gelenkig gelagert ist, und/oder dass die Steuereinrichtung diesen Anteil in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften und momentanen Materialeigenschaften des Bandes ermittelt und dass die Steuereinrichtung diesen Anteil bei der Ermittlung des dritten Momentanteils berücksichtigt. Dadurch wird erreicht, dass tatsächliche Verhältnisse am vorderen Fixort korrekt berücksichtigt werden können.

[0022] In analoger Weise ist vorzugsweise vorgesehen, dass der Steuereinrichtung ein Anteil vorgegeben wird, zu dem das Band im hinteren Fixort gelenkig gelagert ist, und/oder dass die Steuereinrichtung diesen Anteil in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften und momentanen Materialeigenschaften des Bandes ermittelt und dass die Steuereinrichtung diesen Anteil bei der Ermittlung des dritten Momentanteils berücksichtigt. Dadurch wird erreicht, dass tatsächliche Verhältnisse am hinteren Fixort korrekt berücksichtigt werden können.

[0023] Die Aufgabe wird weiterhin durch maschinenlesbaren Programmcode mit den Merkmalen des Anspruchs 6 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Ausführung der Steuerbefehle, dass die Steuereinrichtung ein erfindungsgemäßes Ermittlungsverfahren ausführt. Der Programmcode kann gemäß Anspruch 7 auf einem Speichermedium gespeichert sein.

[0024] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine softwareprogrammierbare Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Erfindungsgemäß wird eine Steuereinrichtung der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet, dass die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Programmcode programmiert ist.

[0025] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß ist bei einer Fördereinrichtung der eingangs genannten Art die Steuereinrichtung erfindungsgemäß ausgebildet.

[0026] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

- FIG 1 eine Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes,
- FIG 2 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 3 ein weiteres Ablaufdiagramm,
- FIG 4 eine Biegekennlinie,
- FIG 5 Bandkurven,
- FIG 6 Biegemomentverläufe,
- FIG 7 eine Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes,
- FIG 8 zugehörige Biegemomentverläufe,
- FIG 9 zugehörige Bandkurven,
- FIG 10 eine Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes,
- FIG 11 zugehörige Biegemomentverläufe,
- FIG 12 zugehörige Bandkurven,

- FIG 13 Biegemomentverläufe,
 FIG 14 eine Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes,
 FIG 15 eine Schlingenheberrolle und ein Band,
 FIG 16 geometrisch-konstruktive Verhältnisse der Fördereinrichtung von FIG 14 und
 FIG 17 ein Ablaufdiagramm.

[0027] Gemäß FIG 1 weist eine Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes 1 ein vorderes Halteelement 2 und ein hinteres Halteelement 3 auf. Entsprechend der Darstellung in FIG 1 sind beide Halteelemente 2, 3 als Walzgerüste ausgebildet. Alternativ könnte eines der beiden Halteelemente 2, 3 anders ausgebildet sein, beispielsweise als Treibrollensatz. Das Band 1 ist in aller Regel ein Metallband, beispielsweise ein Stahlband oder ein Aluminiumband.

[0028] Die beiden Halteelemente 2, 3 weisen jeweils einen Fixort 4, 5 auf. Zwischen den beiden Fixorten 4, 5 ist das Band 1 mit einem Bandzug Z beaufschlagt. Im Falle der Ausgestaltung der beiden Halteelemente 2, 3 als Walzgerüste entsprechen die Fixorte 4, 5 den Walzspalten der Walzgerüste. Falls eines der Halteelemente 2, 3 als Treibrollensatz ausgebildet ist, entspricht der dortige Punkt, an dem das Band 1 aus dem Treibrollensatz ausläuft bzw. in den Treibrollensatz einläuft, dem jeweiligen Fixort 4 bzw. 5. In beiden Fällen ist der jeweilige Fixort 4 bzw. 5 konstant.

[0029] Die Fördereinrichtung weist weiterhin einen Schlingenheber 6 auf, der zwischen den Halteelementen 2, 3 angeordnet ist. Der Schlingenheber 6 weist eine Schlingenheberrolle 7 auf. Die Schlingenheberrolle 7 ist mittels einer Stelleinrichtung 8 des Schlingenhebers 6 an das Band 1 angedrückt. Dadurch lenkt die Schlingenheberrolle 7 das Band 1 aus einer direkten Verbindungslinie 9 zwischen den Fixorten 4, 5 aus. Die Stelleinrichtung 8 kann beispielsweise entsprechend der Darstellung in FIG 1 als Hydraulikzylindereinheit ausgebildet sein.

[0030] Weiterhin sind Erfassungseinrichtungen 10 vorhanden. Mittels der Erfassungseinrichtungen 10 werden Größen erfasst, die für eine Auslenkung hL des Bandes 1 aus der direkten Verbindungslinie 9 zwischen den Fixorten 4, 5 und ein auf die Schlingenheberrolle 7 wirkendes Moment M charakteristisch sind. Beispielsweise kann ein Stellweg s der Stelleinrichtung 8 erfasst werden, aus dem in Verbindung mit den bekannten geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 die Auslenkung hL des Bandes 1 ermittelt werden kann. Weiterhin können beispielsweise Arbeitsdrücke p1, p2 erfasst werden, aus denen in Verbindung mit den bekannten Größen von Arbeitsflächen des Kolbens der Hydraulikzylindereinheit die von der Stelleinrichtung 8 ausgeübte Kraft ermittelt wird. Anhand der von der Stelleinrichtung 8 ausgeübten Kraft kann sodann in Verbindung mit den bekannten geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 das Moment M ermittelt werden. Die entsprechenden Sachverhalte sind Fachleuten allgemein bekannt und müssen daher nicht im Detail erläutert werden. Alternativ kann es unter Umständen möglich sein, die Auslenkung hL und/oder das Moment M direkt zu erfassen.

[0031] Die Erfassungseinrichtungen 10 sind zur Zuführung der erfassten Auslenkung hL und des erfassten Moments M (bzw. der entsprechenden charakteristischen Größen s, p1, p2) mit einer Steuereinrichtung 11 verbunden. Die Auslenkung hL und das Moment M bzw. die charakteristischen Größen s, p1, p2 werden also der Steuereinrichtung 11 zugeführt.

[0032] Die Steuereinrichtung 11 dient zum Steuern des vorderen und/ oder des hinteren Halteelements 2, 3. Die Steuereinrichtung 11 ist als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet. Sie ist mit maschinenlesbarem Programmcode 12 programmiert. Der maschinenlesbare Programmcode 12 kann beispielsweise auf einem Speichermedium 13 gespeichert sein. Das Speichermedium 13 kann prinzipiell beliebig ausgestaltet sein. Die Darstellung in FIG 1, gemäß der das Speichermedium 13 als USB-Memorystick dargestellt ist, ist rein beispielhaft.

[0033] Der maschinenlesbare Programmcode 12 weist Steuerbefehle 14 auf. Die Ausführung der Steuerbefehle 14 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 11 ein Ermittlungsverfahren für den Bandzug Z ausführt, das nachstehend in Verbindung mit FIG 2 näher erläutert wird.

[0034] Gemäß FIG 2 nimmt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S1 die charakteristischen Größen s, p1, p2 entgegen. Anhand der entgegengenommenen charakteristischen Größen s, p1, p2 ermittelt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S2 die Auslenkung hL und das Moment M.

[0035] In einem Schritt S3 ermittelt die Steuereinrichtung 11 einen ersten Momentanteil M1. Der erste Momentanteil M1 beruht auf dem Gewicht G1 des Bandes 1 zwischen den Fixorten 4, 5. Vorgehensweisen zur Implementierung des Schrittes S3 sind Fachleuten allgemein bekannt und müssen daher nicht detailliert erläutert werden. An dieser Stelle sei lediglich darauf hingewiesen, dass in die Implementierung des Schrittes S3 die geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 eingehen.

[0036] In analoger Weise ermittelt die Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S4 einen zweiten Momentanteil M2. Der zweite Momentanteil M2 beruht auf dem Eigengewicht G2 des Schlingenhebers 6. Vorgehensweisen zur Implementierung des Schrittes S4 sind Fachleuten ebenfalls allgemein bekannt und müssen daher nicht detailliert erläutert werden. Analog zum Schritt S3 gehen in die Implementierung des Schrittes S4 die geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 ein.

[0037] In einem Schritt S5 ermittelt die Steuereinrichtung 11 einen dritten Momentanteil M3. Der dritte Momentanteil M3 beruht auf einer Biegung des Bandes 1 zwischen den Fixorten 4, 5. Der Schritt S5 entspricht dem eigentlichen

Kerngegenstand der vorliegenden Erfindung. Er wird später näher und detailliert erläutert werden.

[0038] In einem Schritt S6 wird das Moment M von der Steuereinrichtung 11 um den ersten Momentanteil M1, den zweiten Momentanteil M2 und den dritten Momentanteil M3 kompensiert. Die Steuereinrichtung 11 ermittelt dadurch einen vierten Momentanteil M4. Der vierte Momentanteil M4 beruht auf dem im Band 1 herrschenden Bandzug Z.

[0039] In einem Schritt S7 ermittelt die Steuereinrichtung 11 anhand des vierten Momentanteils M4 den Bandzug Z. Im Rahmen des Schrittes S7 berücksichtigt die Steuereinrichtung 11 - analog zu den Schritten S3 und S4 - die geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6.

[0040] In der Regel ist weiterhin ein Schritt S8 vorhanden. Im Rahmen des Schrittes S8 ermittelt die Steuereinrichtung 11 anhand des Bandzuges Z und eines Sollzuges Z* eine Stellgröße δv_1 für das vordere Halteelement 2 und/oder eine Stellgröße δv_2 für das hintere Halteelement 3 und/oder eine Stellgröße Q für die Stelleinrichtung 8. Ausgehend vom Schritt S8 geht die Steuereinrichtung 11 zum Schritt S1 zurück. Falls der Schritt S8 nicht vorhanden sein sollte, geht die Steuereinrichtung 11 ausgehend vom Schritt S7 zum Schritt S1 zurück. Die Abfolge der Schritte S1 bis S8 (S7) wird also iterativ ausgeführt. Letzteres ist in FIG 2 gestrichelt angedeutet. Ein Zeittakt liegt in der Regel zwischen 1 ms und 10 ms, meist zwischen 2 ms und 5 ms. Beispielsweise kann er bei 2,5 ms bis 3,0 ms liegen.

[0041] FIG 3 zeigt eine mögliche Implementierung des Schrittes S5. Gemäß FIG 3 wird der Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S11 eine Biegekennlinie bekannt. Die Biegekennlinie liefert den Zusammenhang zwischen der Krümmung K des Bandes 1 an einer bestimmten Stelle und einem an dieser Stelle wirkenden Biegemoment MB. FIG 4 zeigt eine typische Biegekennlinie. Gemäß FIG 4 weist die Biegekennlinie für Krümmungen K unterhalb einer Grenzkrümmung KEL einen linearen Anstieg des jeweils korrespondierenden Biegemomentes MB auf ein erstes Grenzbiegemoment MEL auf. Für Krümmungen K oberhalb der Grenzkrümmung KEL flacht die Biegekennlinie ab. Der Anstieg ist also geringer als im linearen Bereich. Der Anstieg erfolgt auf ein zweites Grenzbiegemoment hin. Das zweite Grenzbiegemoment entspricht gemäß FIG 4 dem 1,5-fachen des ersten Grenzbiegemomentes MEL. Der Faktor ist jedoch nicht zwingend gegeben. Es könnte auch ein anderer Wert gegeben sein. Die Biegekennlinie ist punktsymmetrisch zum Nullpunkt der Biegekennlinie.

[0042] Es ist möglich, dass die Biegekennlinie der Steuereinrichtung 11 einmalig - beispielsweise im Rahmen der Programmierung der Steuereinrichtung 11 - vorgegeben wird und danach fest und unveränderlich vorgegeben ist. Alternativ ist es möglich, dass die Biegekennlinie der Steuereinrichtung 11 von außen - beispielsweise von einem Benutzer (nicht dargestellt) - vorgegeben wird. Vorzugsweise jedoch sind der Steuereinrichtung 11 Geometrieigenschaften des Bandes 1 zwischen den Fixorten 4, 5 und momentane Materialeigenschaften des Bandes 1 bekannt. In diesem Fall kann die Steuereinrichtung 11 die Biegekennlinie in Abhängigkeit von den Geometrieigenschaften des Bandes 1 zwischen den Fixorten 4, 5 und den momentanen Materialeigenschaften des Bandes 1 ermitteln. Insbesondere kann beispielsweise die Biegekennlinie von der Steuereinrichtung 11 wie folgt parametrisiert werden:

$$KEL = \frac{2\sigma F}{Eh} \quad (1)$$

$$MEL = \frac{\sigma F \cdot b \cdot h^2}{6} \quad (2)$$

$$MB = MEL \left(\frac{3}{2} - \frac{KEL^2}{2K^2} \right) = \frac{\sigma F \cdot b \cdot h^2}{12} \left(3 - \frac{KEL^2}{K^2} \right) \quad (3)$$

[0043] In obigen Formeln bedeuten σF die Fließgrenze (yield point) des Bandes 1, E den Elastizitätsmodul (Young's modulus) des Bandes 1, h die Dicke des Bandes 1 und b die Breite des Bandes 1. Die Fließgrenze σF und der Elastizitätsmodul E des Bandes 1 sind momentane Materialeigenschaften des Bandes 1, die das Band 1 aufweist, während es sich zwischen den beiden Halteelementen 2, 3 bzw. zwischen den beiden Fixorten 4, 5 befindet. Die momentanen Materialeigenschaften können der Steuereinrichtung 11 direkt vorgegeben werden. Alternativ ist es möglich, dass sie der Steuereinrichtung 11 indirekt - beispielsweise durch Angabe von chemischer Zusammensetzung, Temperatur, eventuell Phasenanteilen, Gefügestruktur und dergleichen mehr vorgegeben werden.

[0044] Unabhängig von der konkreten Art der Vorgabe der Biegekennlinie ist es jedoch möglich, dass der Schritt S11 vorab ausgeführt wird, also außerhalb der aus den Schritten S1 bis S8 bzw. S1 bis S7 bestehenden Schleife.

[0045] Unter Verwendung der Biegekennlinie wird von der Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S12 eine vordere Bandkurve KA des Bandes 1 ermittelt. Die vordere Bandkurve KA erstreckt sich gemäß FIG 5 zwischen der Schlingenheberrolle 7 und dem vorderen Fixort 4. Die Ermittlung erfolgt derart, dass ein vorderer Biegemomentverlauf BA im

Band 1 gemäß FIG 6 an der Schlingenheberrolle 7 einen Maximalwert ML aufweist und ausgehend vom Ort der Schlingenheberrolle 7 und dem Maximalwert ML in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen auf den vorderen Fixort 4 zu linear auf einen vorderen Minimalwert MV abfällt.

[0046] In analoger Weise wird von der Steuereinrichtung 11 in einem Schritt S13 eine hintere Bandkurve KB des Bandes 1 ermittelt. Die hintere Bandkurve KB erstreckt sich gemäß FIG 5 zwischen der Schlingenheberrolle 7 und dem hinteren Fixort 5. Die Ermittlung erfolgt derart, dass ein hinterer Biegemomentverlauf BB im Band 1 gemäß FIG 6 an der Schlingenheberrolle 7 den Maximalwert ML - d.h. denselben Maximalwert ML - aufweist und ausgehend vom Ort der Schlingenheberrolle 7 und dem Maximalwert ML in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen auf den hinteren Fixort 5 zu linear auf einen hinteren Minimalwert MH abfällt.

[0047] Der vordere Biegemomentverlauf BA und ein durch die vordere Bandkurve KA gegebener vorderer Krümmungsverlauf sind gemäß der Biegekennlinie miteinander verknüpft. In analoger Weise sind der hintere Biegemomentverlauf BB und ein durch die hintere Bandkurve KB gegebener hinterer Krümmungsverlauf gemäß der Biegekennlinie miteinander verknüpft. Dies wird nachfolgend in Verbindung mit den FIG 7 bis 16 näher erläutert. FIG 7 bis 9 und FIG 10 bis 12 zeigen zwei Spezialfälle, FIG 13 eine auf den FIG 7 bis 12 aufbauende Verallgemeinerung und die FIG 14 bis 16 danach den allgemeinen Fall, für den wiederum auf die beiden in Verbindung mit FIG 7 bis 12 geschilderten Spezialfälle und die Verallgemeinerung von FIG 13 zurückgegriffen wird.

[0048] Im Rahmen von FIG 7 wird angenommen, dass die Schlingenheberrolle 7 in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen genau mittig zwischen den beiden Fixorten 4, 5 angeordnet ist. Mit LA und LB sind die Abstände der Schlingenheberrolle 7 von den beiden Fixorten 4, 5 bezeichnet. Aufgrund der mittigen Anordnung der Schlingenheberrolle 7 gilt LA = LB. Mit FLA und FLB sind Haltekräfte bezeichnet, mittels derer das Band 1 an den Fixorten 4, 5 orthogonal zur Verbindungslinie 9 gesehen beaufschlagt ist. Die Haltekräfte FLA, FLB bewirken insbesondere, dass das Band 1 an den Fixorten 4, 5 nicht abhebt. Weiterhin wird angenommen, dass das Band 1 in den Fixpunkten 4, 5 gelenkig gelagert ist. Die Haltekräfte FLA, FLB müssen als solche nicht bekannt sein, sie werden aber im Rahmen der nachfolgenden Berechnungen zur Herleitung einer Kraft

$$FL = FLA + FLB = \frac{ML}{LA} + \frac{ML}{LB} \quad (4)$$

benötigt, die aufgrund der Biegung des Bandes 1 auf die Schlingenheberrolle 7 ausgeübt wird.

[0049] Unter den genannten Annahmen sind die Minimalwerte MH, MV Null. FIG 8 zeigt die zugehörigen vorderen und hinteren Biegemomentverläufe BA, BB, FIG 9 die zugehörigen vorderen und hinteren Bandkurven KA, KB.

[0050] Die Bandkurven KA, KB bei gegebener Auslenkung hL können nicht auf einfache Weise geschlossen berechnet werden. Um zu einer Lösung zu kommen, wird daher der inverse Lösungsweg beschritten. Es wird also nicht zu einer gegebenen Auslenkung hL der zugehörige Maximalwert ML ermittelt, sondern umgekehrt für einen gegebenen Maximalwert ML die zugehörige Auslenkung hL. Dies wird nachfolgend für die vordere Bandkurve KA erläutert. Für die hintere Bandkurve KB gelten analoge Ausführungen.

[0051] Bei gegebenem Maximalwert ML und gegebenem Abstand LA vom vorderen Fixort 4 ist für jeden Ort x entlang der Verbindungslinie 9 der zugehörige Wert des Biegemoments MB ohne weiteres ermittelbar:

$$MB(x) = ML \left(1 - \frac{x}{LA} \right) \quad (5)$$

[0052] Der Nullpunkt des Koordinatensystems liegt hierbei bei der Schlingenheberrolle 7.

[0053] Ausgehend von dem jeweiligen Biegemoment MB kann somit aufgrund der gegebenen Biegekennlinie auf einfache Weise für jeden Ort x entlang der Verbindungslinie 9 die zugehörige Krümmung K(x) ermittelt werden. Bei gegebener Krümmung K(x) kann jedoch gemäß der bekannten Differenzialgleichung

$$K(x) = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

die zugehörige vordere Bahnkurve KA, welche das Band 1 annimmt, ermittelt werden. Der gesamte Weg, den das Band

1 orthogonal zur Verbindungslinie 9 zurücklegt, entspricht der Auslenkung hL. Die vordere Bandkurve KA und der korrespondierende Krümmungsverlauf sind somit 1:1 ineinander umrechenbar.

[0054] Somit kann für mehrere Maximalwerte ML jeweils die zugehörigen Auslenkung hL ermittelt werden. Die Gesamtheit dieser Wertepaare kann als Tabelle oder als parametrisierte Funktion (beispielsweise als Polynom n-ten Grades mit $n = 4, 5, 6, \dots$) in der Steuereinrichtung 11 gespeichert werden, so dass ohne weiteres für beliebige Auslenkungen hL jeweils der zugehörige Maximalwert ML ermittelt werden kann.

[0055] Es ist daher möglich, für die Konfiguration gemäß FIG 7 für beliebige Auslenkungen hL jeweils die auf die Schlingenheberrolle 7 ausgeübte Kraft FL zu ermitteln. Die Kraft FL wirkt aus Symmetriegründen orthogonal zur Verbindungslinie 9. Aufgrund des Umstands, dass sowohl der Betrag der Kraft FL als auch deren Richtung bekannt sind, kann somit in Verbindung mit den bekannten geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 bei der Ausgestaltung gemäß FIG 7 der dritte Momentanteil M3 ermittelt werden.

[0056] Die Ausgestaltung von FIG 10 entspricht im wesentlichen der von FIG 7. Der Unterschied zur Ausgestaltung von FIG 7 besteht darin, dass im Rahmen von FIG 10 angenommen wird, dass das Band 1 in den Fixpunkten 4, 5 eingespannt ist. Das Band 1 läuft also am vorderen Fixort 4 parallel zur Verbindungslinie 9 aus dem vorderen Fixort 4 aus. In analoger Weise läuft das Band 1 am hinteren Fixort 5 parallel zur Verbindungslinie 9 in den hinteren Fixort 5 ein. In diesem Fall sind die Minimalwerte MH, MV betragsmäßig gleich dem Maximalwert ML, weisen jedoch ein negatives Vorzeichen auf. FIG 11 zeigt die zugehörigen vorderen und hinteren Biegemomentverläufe BA, BB, FIG 12 die zugehörigen vorderen und hinteren Bandkurven KA, KB.

[0057] Auch bei der Ausgestaltung gemäß FIG 10 können die Bandkurven KA, KB bei gegebener Auslenkung hL nicht auf einfache Weise geschlossen berechnet werden. Um zu einer Lösung zu kommen, wird daher wie zuvor bei FIG 7 der inverse Lösungsweg beschritten. Dies wird nachfolgend für die vordere Bandkurve KA erläutert. Für die hintere Bandkurve KB gelten wie zuvor analoge Ausführungen.

[0058] Bei gegebenem Maximalwert ML und gegebenem Abstand LA vom vorderen Fixort 4 ist wie zuvor für jeden Ort x entlang der Verbindungslinie 9 der zugehörige Wert des Biegemoments MB ohne weiteres ermittelbar:

$$MB(x) = ML \left(1 - \frac{2x}{LA} \right) \quad (7)$$

[0059] Der Nullpunkt des Koordinatensystems liegt hierbei wie zuvor bei der Schlingenheberrolle 7.

[0060] Ausgehend von dem jeweiligen Biegemoment MB kann somit aufgrund der gegebenen Biegekennlinie auf einfache Weise für jeden Ort x entlang der Verbindungslinie 9 die zugehörige Krümmung K(x) ermittelt werden. Bei gegebener Krümmung kann jedoch gemäß der bekannten Differenzialgleichung - siehe oben Gleichung 6 - die zugehörige Linie, welche das Band 1 annimmt, ermittelt werden. Der gesamte Weg, den das Band 1 orthogonal zur Verbindungslinie 9 zurücklegt, entspricht der Auslenkung hL. Aufgrund von Symmetrieüberlegungen reicht es weiterhin aus, ausgehend vom Ort der Schlingenheberrolle 7 bis zur Mitte zwischen der Schlingenheberrolle 7 und dem vorderen Fixort 4 zu rechnen. Der verbleibende Abschnitt kann durch Punktspiegelung ermittelt werden.

[0061] Die Haltekräfte FLA, FLB werden wie zuvor zur Herleitung der Kraft FL benötigt. Wirksame Hebelarme hA, hB sind bei der Ausgestaltung gemäß FIG 10 jedoch nur halb so lang wie bei der Ausgestaltung gemäß FIG 7. Es gilt also

$$FL = FLA + FLB = \frac{ML}{LA/2} + \frac{ML}{LB/2} \quad (8)$$

[0062] Wie zuvor bei der Ausgestaltung gemäß FIG 7 können also auch bei der Ausgestaltung gemäß FIG 10 für mehrere Maximalwerte ML jeweils die zugehörigen Auslenkungen hL ermittelt werden. Die Gesamtheit dieser Wertepaare kann als Tabelle oder als parametrisierte Funktion (beispielsweise als Polynom n-ten Grades mit $n = 4, 5, 6, \dots$) in der Steuereinrichtung 11 gespeichert werden, so dass ohne weiteres für beliebige Auslenkungen hL jeweils der zugehörige Maximalwert ML ermittelt werden kann.

[0063] Es ist daher möglich, für die Konfiguration gemäß FIG 10 für beliebige Auslenkungen hL jeweils die auf die Schlingenheberrolle 7 ausgeübte Kraft FL zu ermitteln. Die Kraft FL wirkt aus Symmetriegründen orthogonal zur Verbindungslinie 9. Aufgrund des Umstands, dass sowohl der Betrag der Kraft FL als auch deren Richtung bekannt sind, kann somit in Verbindung mit den bekannten geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 auch bei der Ausgestaltung gemäß FIG 10 der dritte Momentanteil M3 ermittelt werden.

[0064] In analoger Weise ist es möglich, bei einer symmetrischen Anordnung der Schlingenheberrolle 7 in der Mitte zwischen den beiden Fixpunkten 4, 5 bei gegebenem Maximalwert ML jeweils die zugehörige Auslenkung hL zu ermitteln, wenn das Band 1 weder (vergleiche FIG 7) in den Fixpunkten 4, 5 gelenkig gelagert ist noch (vergleiche FIG 10) in den Fixpunkten 4, 5 fest eingespannt ist. Dies wird nachfolgend in Verbindung mit FIG 13 näher erläutert.

[0065] In FIG 13 sind mit aA , aB Anteile bezeichnet, zu denen das Band 1 in den Fixpunkten 4, 5 gelenkig gelagert ist. Wenn der Anteil aA den Wert Eins aufweist, bedeutet dies, dass das Band 1 im vorderen Fixpunkt 4 vollständig gelenkig gelagert ist. Wenn der Anteil aA den Wert Null aufweist, bedeutet dies, dass das Band 1 im vorderen Fixpunkt 4 vollständig eingespannt ist. Analoge Ausführungen gelten bezüglich des Anteils aB und des hinteren Fixpunkts 5.

[0066] Unter der Annahme, dass die Anteile aA , aB gleich sind, ergeben sich die Minimalwerte MH , MV zu

$$MV = -ML \cdot (1 - aA) \quad (9)$$

$$MH = -ML(1 - aB) \quad (10)$$

[0067] Weiterhin ergeben sich die wirksamen Hebelarme hA , hB durch die Nullstellen der Biegemomentverläufe BA , BB und somit zu

$$hA = \frac{LA}{2 - aA} \quad (11)$$

$$hB = \frac{LB}{2 - aB} \quad (12)$$

[0068] Die Kraft FL ergibt sich dadurch zu

$$FL = \frac{ML}{LA/(2 - aA)} + \frac{ML}{LB/(2 - aB)} \quad (13)$$

[0069] Die Kraft FL wirkt auch in diesem Fall vertikal zur Verbindungslinie 9. Anhand der Kraft FL kann daher auch in diesem Fall in Verbindung mit den bekannten geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 bei der Ausgestaltung der dritte Momentanteil $M3$ ermittelt werden.

[0070] Nachfolgend wird auf den allgemeinen Fall übergegangen. Im allgemeinen Fall ist gemäß FIG 14 die Schlingenheberrolle 7 nicht notwendigerweise mittig zwischen den Fixorten 4, 5 angeordnet. Dies ist zwar möglich, wird jedoch - im Gegensatz zu den vorherigen Ausführungen - nicht zwingend vorausgesetzt. Es ist möglich, dass eine außermittige Anordnung der Schlingenheberrolle 7 - also eine Anordnung, bei welcher die Schlingenheberrolle 7 von den beiden Fixorten 4, 5 nicht gleich weit entfernt ist - aufgrund der Anordnung des Schlingenhebers 6 als solcher bereits gegeben ist. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass die außermittige Anordnung sich durch die Auslenkung hL der Schlingenheberrolle 7 ergibt, weil diese beispielsweise auf einem Kreisbogen verschwenkt wird. Im letztgenannten Fall ist die genaue Anordnung der Schlingenheberrolle 7 eine Funktion der Auslenkung hL .

[0071] Weiterhin ist das Band 1 am vorderen Fixpunkt 4 und am hinteren Fixpunkt 5 weder notwendigerweise gelenkig angeordnet noch notwendigerweise fest eingespannt. Im allgemeinen Fall ist ein Zwischenzustand gegeben. Der Zwischenzustand kann für beide Fixpunkte 4, 5 derselbe sein. Alternativ können die Zwischenzustände voneinander verschieden sein.

[0072] In der Konstellation gemäß FIG 14 berührt das Band 1 gemäß FIG 15 die Schlingenheberrolle 7 an einem Berührungspunkt P , der - bezogen auf die Verbindungslinie 9 - in der Regel nicht vertikal oberhalb eines Drehpunkts 15 der Schlingenheberrolle 7 liegt, wobei eine Verbindungslinie des Berührungspunktes P mit dem Drehpunkt 15 mit der Vertikalen zur Verbindungslinie 9 einen Winkel δ bildet. Am Berührungspunkt P weist das Biegemoment MB des Bandes 1 den Maximalwert ML auf.

[0073] Wenn das Band 1 die Schlingenheberrolle 7 am Berührungspunkt P berührt, ergeben sich geometrisch-konstruktive Verhältnisse, wie sie in FIG 16 dargestellt sind. Hierbei bedeuten α und β mittlere Winkel, welche das Band 1 mit der Verbindungslinie 9 bildet. Mit A und B sind die Fixorte 4, 5 bezeichnet.

[0074] Um für diese Verhältnisse die zugehörigen Bandkurven KA , KB zu ermitteln, wird wie folgt vorgegangen:

Zunächst werden - im allgemeinen Fall unabhängig voneinander - für den vorderen und den hinteren Fixpunkt 4, 5 jeweilige Anteile aA , aB festgesetzt. Die Anteile aA , aB geben an, in welchem Umfang das Band 1 im jeweiligen Fixpunkt 4, 5 gelenkig gelagert ist. Sodann wird der Maximalwert ML festgesetzt. Weiterhin wird der Winkel δ

festgesetzt.

[0075] Für diese Vorgaben werden zunächst die Biegemomentverläufe BA, BB bestimmt. Die Biegemomentverläufe BA, BB sind wie zuvor lineare Funktionen. Die Minimalwerte MV, MH ergeben sich durch den Maximalwert und die Anteile aA, aB. Als nächstes werden - vom Ansatz her wie zuvor in Verbindung mit den FIG 7 bis 12 erläutert - die zugehörigen Bandkurven KA, KB ermittelt. Anhand der Bandkurven KA, KB wird - getrennt für die vordere Bandkurve KA und die hintere Bandkurve KB - jeweils eine resultierende Auslenkung hL ermittelt.

[0076] Wenn die beiden resultierenden Auslenkungen hL nicht gleich sind, ist der Winkel δ unkorrekt festgesetzt. Er wird daher korrigiert. Ausgehend von dem korrigierten Winkel δ werden sodann die vorstehenden Maßnahmen wiederholt. Wenn die beiden resultierenden Auslenkungen hL hingegen gleich sind, werden die Nullstellen der resultierenden Biegemomentverläufe BA, BB ermittelt. Diese Ermittlung ist ohne weiteres möglich, weil die Biegemomentverläufe BA, BB lineare Funktionen sind. Wirksame Abstände LA' und LB' der Fixorte 4, 5 von dem Berührungspunkt P ergeben sich aus den in FIG 16 dargestellten geometrischen Verhältnissen zu

$$LA' = LA \cos \delta + hL \sin \delta \quad (14)$$

$$LB' = LB \cos \delta - hL \sin \delta \quad (15)$$

[0077] Die Kraft FL ergibt sich somit zu

$$FL = \frac{ML}{LA'/(2 - aA)} + \frac{ML}{LB'/(2 - aB)} \quad (16)$$

[0078] Sie ist in die durch den Winkel δ bestimmte Richtung gerichtet (siehe FIG 15). Aufgrund der nunmehr bekannten Größe der Kraft FL und deren Richtung kann in Verbindung mit den bekannten geometrisch-konstruktiven Gegebenheiten des Schlingenhebers 6 der dritte Momentanteil M3 berechnet werden.

[0079] Auch im allgemeinen Fall ist es somit möglich, für eine Mehrzahl von Anteilen aA, aB und eine Mehrzahl von Maximalwerten ML ein - in diesem Fall dreidimensionales - Feld von zugehörigen Auslenkungen hL zu ermitteln. Ebenso ist es möglich, anhand dieses Feldes entsprechend parametrisierte Funktionen zu definieren. Es ist daher ohne weiteres möglich, anhand dieses Feldes bzw. der parametrisierten Funktionen für beliebige Werte der Auslenkung hL des Bandes 1 jeweils den zugehörigen dritten Moment Anteil M3 zu ermitteln.

[0080] FIG 17 zeigt daher den allgemeinen Fall der erfindungsgemäßen Vorgehensweise. FIG 17 baut auf der Vorgehensweise von FIG 2 auf. Sie enthält insbesondere die Schritte S1, S3, S4 sowie S6 und S7 und eventuell auch den Schritt S8. Zusätzlich sind jedoch Schritte S21 bis S23 vorhanden. Weiterhin sind die Schritte S2 und S5 durch Schritte S24 und S25 ersetzt.

[0081] Im Schritt S21 wird der Steuereinrichtung 11 eine Anordnung der Schlingenheberrolle 7 vorgegeben. Diese Anordnung kann - in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen - alternativ statisch oder vom Stellweg s der Verstelleinrichtung 8 abhängig sein. Im erstgenannten Fall ist der Ort der Schlingenheberrolle 7 in Richtung der direkten Verbindungslinie 9 gesehen je nach Vorgabe von den beiden Fixorten 4, 5 gleich weit oder nicht gleich weit entfernt. Im letztgenannten Fall hängt der Ort der Schlingenheberrolle 7 in Richtung der direkten Verbindungslinie 9 gesehen vom Stellweg s der Verstelleinrichtung 8 ab. Aufgrund der Kopplung des Ortes der Schlingenheberrolle 7 in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen und der Auslenkung hL miteinander hängt der Ort der Schlingenheberrolle 7 in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen damit indirekt von der Auslenkung hL ab.

Im Schritt S22 wird der Steuereinrichtung 11 der Anteil aA vorgegeben, zu dem das Band 1 im vorderen Fixort 4 gelenkig gelagert ist. Alternativ ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 11 im Schritt S22 den Anteil aA in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften und momentanen Materialeigenschaften des Bandes 1 ermittelt. Als Geometrieigenschaften kommen insbesondere die Breite b und die Dicke h des Bandes 1 in Frage. Als momentane Materialeigenschaften kommen insbesondere der Elastizitätsmodul E und die Fließgrenze σ_F des Bandes 1 in Frage.

[0082] Im Schritt S23 wird der Steuereinrichtung 11 der Anteil aB vorgegeben, zu dem das Band 1 im hinteren Fixort 5 gelenkig gelagert ist. Alternativ ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 11 im Schritt S23 den Anteil aB in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften und momentanen Materialeigenschaften des Bandes 1 ermittelt. Als Geometrieigenschaften kommen wie zuvor insbesondere die Breite b und die Dicke h des Bandes 1 in Frage. Als momentane Materialeigenschaften kommen wie zuvor insbesondere der Elastizitätsmodul E und die Fließgrenze σ_F des Bandes 1 in Frage.

[0083] Im Schritt S24 ermittelt die Steuereinrichtung 11 - analog zum Schritt S2 - anhand der entgegengenommenen charakteristischen Größen s , p_1 , p_2 die Auslenkung hL und das Moment M . Gegebenenfalls ermittelt die Steuereinrichtung 11 jedoch zusätzlich auch den Ort der Schlingenheberrolle 7 in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen.

[0084] Im Schritt S25 ermittelt die Steuereinrichtung 11 - analog zum Schritt S5 - den dritten Momentanteil M_3 . soweit erforderlich, berücksichtigt die Steuereinrichtung 11 im Rahmen des Schrittes S25 jedoch zusätzlich den Ort der Schlingenheberrolle 7 in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen. Weiterhin berücksichtigt die Steuereinrichtung 11 bei der Ermittlung des dritten Momentanteils M_3 auch die Anteile aA und aB .

[0085] Es ist weiterhin auch möglich, Zwischenformen der Vorgehensweise von FIG 17 zu realisieren. So kann beispielsweise der Ort der Schlingenheberrolle 7 in Richtung der Verbindungslinie 9 gesehen konstant und mittig sein. In diesem Fall kann der Schritt S21 entfallen. Der Schritt S24 kann in diesem Fall durch den Schritt S2 (vergleiche die Ausführungen zu FIG 2) ersetzt werden. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass beispielsweise die Anteile aA und aB zwar vorgegeben werden können, aber den gleichen Wert aufweisen müssen. In diesem Fall können die Schritte S22 und S23 zusammengefasst werden.

[0086] In jeder Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ergibt sich jedoch eine weit überlegene Modellierung des dritten Momentanteils M_3 und damit eine deutlich verbesserte Ermittlung des Bandzuges Z .

[0087] Zusammengefasst betrifft die vorliegende Erfindung somit folgenden Sachverhalt:

Ein Band 1 ist zwischen zwei Fixorten 4, 5 mit einem Bandzug Z beaufschlagt. Zwischen den Fixorten 4, 5 ist eine Schlingenheberrolle 7 an das Band 1 angedrückt und dadurch das Band 1 aus einer direkten Verbindungslinie 9 zwischen den Fixorten 4, 5 ausgelenkt. Die Auslenkung hL des Bandes 1 aus der Verbindungslinie 9 und ein auf die Schlingenheberrolle 7 wirkendes Moment M werden erfasst und einer Steuereinrichtung 11 zugeführt, die daraus den Bandzug Z ermittelt. Hierzu wird das Moment M um Momentanteile M_1 , M_2 , M_3 kompensiert, die auf dem Gewicht G_1 des Bandes 1 zwischen den Fixorten 4, 5, auf einem Eigengewicht G_2 des Schlingenhebers 6 und auf einer Biegung des Bandes 1 zwischen den Fixorten 4, 5 beruhen. Die Steuereinrichtung 11 ermittelt den Bandzug Z anhand des entsprechend kompensierten Moments M_4 . Zur Ermittlung des auf der Biegung des Bandes 1 beruhenden Momentanteils M_3 werden von der Steuereinrichtung 11 Bandkurven KA , KB des Bandes 1 zwischen der Schlingenheberrolle 7 und den Fixorten 4, 5 ermittelt. Die Bandkurven KA , KB werden derart ermittelt, dass Biegemomentverläufe BA , BB im Band 1, ausgehend von einem Maximalwert ML an der Schlingenheberrolle 7, auf die Fixorte 4, 5 zu linear abfallen. Die Biegemomentverläufe BA , BB und durch die Bandkurven KA , KB gegebene Krümmungsverläufe sind gemäß einer Biegekennlinie miteinander verknüpft sind. Die Biegekennlinie weist für Krümmungen K unterhalb einer Grenzkrümmung KEL einen linearen Anstieg des Biegemomentes MB auf, der für Krümmungen K oberhalb der Grenzkrümmung KEL abflacht.

[0088] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den durch die Ansprüche definierten Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Ermittlungsverfahren für einen Bandzug (Z), mit dem ein Band (1) zwischen einem vorderen Fixort (4) und einem hinteren Fixort (5) beaufschlagt ist,

- wobei zwischen den Fixorten (4, 5) eine Schlingenheberrolle (7) eines Schlingenhebers (6) an das Band (1) angedrückt ist, so dass die Schlingenheberrolle (7) das Band (1) aus einer direkten Verbindungslinie (9) zwischen den Fixorten (4, 5) auslenkt,
- wobei für eine Auslenkung (hL) des Bandes (1) aus der direkten Verbindungslinie (9) zwischen den Fixorten (4, 5) und ein auf die Schlingenheberrolle (7) wirkendes Moment (M) charakteristische Größen (s , p_1 , p_2) erfasst werden,
- wobei die charakteristischen Größen (s , p_1 , p_2) einer Steuereinrichtung (11) zugeführt werden, von der anhand der Auslenkung (hL) und des Moments (M) der Bandzug (Z) ermittelt wird,
- wobei das Moment (M) von der Steuereinrichtung (11) zur Ermittlung des Bandzuges (Z) um einen ersten Momentanteil (M_1), einen zweiten Momentanteil (M_2) und einen dritten Momentanteil (M_3) kompensiert wird,
- wobei der erste Momentanteil (M_1) auf dem Gewicht (G_1) des Bandes (1) zwischen den Fixorten (4, 5) beruht, der zweite Momentanteil (M_2) auf einem Eigengewicht (G_2) des Schlingenhebers (6) beruht und der dritte Momentanteil (M_3) auf einer Biegung des Bandes (1) zwischen den Fixorten (4, 5) beruht,
- wobei von der Steuereinrichtung (11) anhand des um den ersten, den zweiten und den dritten Momentanteil

(M1, M2, M3) kompensierten Moments (M4) der Bandzug (Z) ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet**,

- **dass** von der Steuereinrichtung (11) eine vordere Bandkurve (KA) des Bandes (1) zwischen der Schlingenheberrolle (7) und dem vorderen Fixort (4) und eine hintere Bandkurve (KB) des Bandes (1) zwischen der Schlingenheberrolle (7) und dem hinteren Fixort (5) ermittelt werden,

- **dass** die vordere Bandkurve (KA) von der Steuereinrichtung (11) derart ermittelt wird, dass ein vorderer Biegemomentverlauf (MA) im Band (1), ausgehend von einem Maximalwert (ML) an der Schlingenheberrolle (7), in Richtung der Verbindungslinie (9) gesehen auf den vorderen Fixort (4) zu linear auf einen vorderen Minimalwert (MV) abfällt,

- **dass** die hintere Bandkurve (KB) von der Steuereinrichtung (11) derart ermittelt wird, dass ein hinterer Biegemomentverlauf (BB) im Band (1), ausgehend von dem Maximalwert (ML) an der Schlingenheberrolle (7), in Richtung der Verbindungslinie (9) gesehen auf den hinteren Fixort (5) zu linear auf einen hinteren Minimalwert (MH) abfällt,

- **dass** der vordere Biegemomentverlauf (BA) und ein durch die vordere Bandkurve (KA) gegebener vorderer Krümmungsverlauf sowie der hintere Biegemomentverlauf (BB) und ein durch die hintere Bandkurve (KB) gegebener hinterer Krümmungsverlauf gemäß einer Biegekennlinie miteinander verknüpft sind,

- **dass** die Biegekennlinie für Krümmungen (K) der Bandkurven (KA, KB) unterhalb einer Grenzkrümmung (KEL) einen linearen Anstieg des jeweils korrespondierenden Biegemomentes (MB) auf ein erstes Grenzbiegemoment (MEL) aufweist und

- **dass** die Biegekennlinie für Krümmungen (K) der Bandkurven (KA, KB) oberhalb der Grenzkrümmung (KEL) zu einem zweiten Grenzbiegemoment hin abflacht.

2. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** die Biegekennlinie von der Steuereinrichtung (11) in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften (b, h) des Bandes (1) zwischen den Fixorten (4, 5) und momentanen Materialeigenschaften (σ_F , E) des Bandes (1) ermittelt wird.

3. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** von der Steuereinrichtung (11) anhand der Auslenkung (hL) des Bandes (1) aus der direkten Verbindungslinie (9) zwischen den Fixorten (4, 5) in Richtung der direkten Verbindungslinie (9) gesehen ein Ort der Schlingenheberrolle (7) ermittelt wird und/oder dass der Ort der Schlingenheberrolle (7) in Richtung der direkten Verbindungslinie (9) gesehen von den beiden Fixorten (4, 5) nicht gleich weit entfernt ist und dass der Ort der Schlingenheberrolle (7) in Richtung der Verbindungslinie (9) gesehen von der Steuereinrichtung (11) im Rahmen der Ermittlung des dritten Momentanteils (M3) berücksichtigt wird.

4. Ermittlungsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der Steuereinrichtung (11) ein Anteil (aA) vorgegeben wird, zu dem das Band (1) im vorderen Fixort (4) gelenkig gelagert ist, und/oder dass die Steuereinrichtung (11) diesen Anteil (aA) in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften (b, h) und momentanen Materialeigenschaften (σ_F , E) des Bandes (1) ermittelt und dass die Steuereinrichtung (11) diesen Anteil (aA) bei der Ermittlung des dritten Momentanteils (M3) berücksichtigt.

5. Ermittlungsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der Steuereinrichtung (11) ein Anteil (aB) vorgegeben wird, zu dem das Band (1) im hinteren Fixort (5) gelenkig gelagert ist, und/oder dass die Steuereinrichtung (11) diesen Anteil (aB) in Abhängigkeit von Geometrieigenschaften (b, h) und momentanen Materialeigenschaften (σ_F , E) des Bandes (1) ermittelt und dass die Steuereinrichtung (11) diesen Anteil (aB) bei der Ermittlung des dritten Momentanteils (M3) berücksichtigt.

6. Maschinenlesbarer Programmcode für eine Steuereinrichtung (11) zum Steuern eines vorderen und/oder eines hinteren Halteelements (2, 3), welche jeweils einen Fixort (4, 5) aufweisen, zwischen denen ein Band (1) mit einem Bandzug (Z) beaufschlagt ist, wobei zwischen den Fixorten (4, 5) eine Schlingenheberrolle (7) eines Schlingenhebers (6) an das Band (1) angedrückt ist, so dass die Schlingenheberrolle (7) das Band (1) aus einer direkten Verbindungslinie (9) zwischen den Fixorten (4, 5) auslenkt, wobei der Programmcode Steuerbefehle (14) aufweist, deren Ausführung bewirkt, dass die Steuereinrichtung (11) ein Ermittlungsverfahren nach einem der obigen Ansprüche ausführt.

7. Maschinenlesbarer Programmcode nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** der Programmcode auf einem Speichermedium (13) gespeichert ist.

8. Softwareprogrammierbare Steuereinrichtung zum Steuern eines vorderen und/oder eines hinteren Halteelements (2, 3), wobei die Halteelemente (2, 3) jeweils einen Fixort (4, 5) aufweisen, zwischen denen ein Band (1) mit einem

Bandzug (Z) beaufschlagt ist, wobei zwischen den Fixorten (4, 5) eine Schlingenheberrolle (7) eines Schlingenhebers (6) an das Band (1) angedrückt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung mit einem Programmcode (12) nach Anspruch 6 programmiert ist.

9. Fördereinrichtung zum Fördern eines Bandes (1),

- wobei die Fördereinrichtung ein vorderes Halteelement (2) und ein hinteres Halteelement (3) aufweist, welche jeweils einen Fixort (4, 5) aufweisen, zwischen denen das Band (1) mit einem Bandzug (Z) beaufschlagt ist,
- wobei die Fördereinrichtung einen zwischen den Halteelementen (2, 3) angeordneten Schlingenheber (6) aufweist,
- wobei der Schlingenheber (6) eine Schlingenheberrolle (7) aufweist, die an das Band (1) angedrückt ist, so dass die Schlingenheberrolle (7) das Band (1) aus einer direkten Verbindungslinie (9) zwischen den Fixorten (4, 5) auslenkt,
- wobei Erfassungseinrichtungen (10) vorhanden sind, mittels derer für eine Auslenkung (hL) des Bandes (1) aus der direkten Verbindungslinie (9) zwischen den Fixorten (4, 5) und ein auf die Schlingenheberrolle (7) wirkendes Moment (M) charakteristische Größen (s, p1, p2) erfasst werden,
- wobei die Erfassungseinrichtungen (10) zur Zuführung der erfassten charakteristischen Größen (s, p1, p2) mit einer Steuereinrichtung (11) verbunden sind,

dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung (11) nach Anspruch 8 ausgebildet ist.

Claims

1. Determination method for a strip tension (Z) which is applied to a strip (1) between an upstream fixing location (4) and a downstream fixing location (5),

- a pressure being applied to the strip (1) between the fixing locations (4, 5) of a loop lifter roller (7) of a loop lifter (6), so that the loop lifter roller (7) deflects the strip (1) out of a direct connecting line (9) between the fixing locations (4, 5),
- characteristic variables (s, p1, p2) being determined for a deflection (hL) of the strip (1) out of the direct connecting line (9) between the fixing locations (4, 5) and a moment (M) acting on the loop lifter roller (7),
- the characteristic variables (s, p1, p2) being supplied to a control device (11), by which the strip tension (Z) is determined by using the deflection (hL) and the moment (M),
- the moment (M) being compensated by a first moment term (M1), a second moment term (M2) and a third moment term (M3) by the control device (11) to determine the strip tension (Z),
- the first moment term (M1) being based on the weight (G1) of the strip (1) between the fixing locations (4, 5), the second moment term (M2) being based on the inherent weight (G2) of the loop lifter (6), and the third moment term (M3) being based on a bending of the strip (1) between the fixing locations (4, 5),
- the strip tension (Z) being determined by the control device (11) by using the moment (M4) compensated by the first, the second and the third moment terms (M1, M2, M3), **characterized**
- **in that** an upstream strip curve (KA) of the strip (1) between the loop lifter roller (7) and the upstream fixing location (4), and a downstream strip curve (KB) of the strip (1) between the loop lifter roller (7) and the downstream fixing location (5) are determined by the control device (11),
- **in that** the upstream strip curve (KA) is determined by the control device (11) in such a way that an upstream bending moment variation (BA) in the strip (1), starting from a maximum value (ML) on the loop lifter roller (7), as viewed in the direction of the connecting line (9) towards the upstream fixing location (4), falls linearly to an upstream minimum value (MV),
- **in that** the downstream strip curve (KB) is determined by the control device (11) in such a way that a downstream bending moment variation (BB) in the strip (1), starting from the maximum value (ML) on the loop lifter roller (7), as viewed in the direction of the connecting line (9) towards the downstream fixed location (5), falls linearly to a downstream minimum value (MH),
- **in that** the upstream bending moment variation (BA) and an upstream curvature variation given by the upstream strip curve (KA), and the downstream bending moment variation (BB) and a downstream curvature variation given by the downstream strip curve (KB) are linked with each other in accordance with a bending characteristic curve,
- **in that** the bending characteristic curve for curvatures (K) of the strip curves (KA, KB) below a limiting curvature (KEL) exhibits a linear rise of the respective corresponding bending moment (MB) to a first limiting bending

moment (MEL), and

- **in that** the bending characteristic curve for curvatures (K) of the strip curves (KA, KB) above the limiting curvature (KEL) flattens towards a second limiting bending moment.

2. Determination method according to Claim 1, **characterized in that** the bending characteristic curve is determined by the control device (11) in accordance with geometric properties (b, h) of the strip (1) between the fixing locations (4, 5), and instantaneous material properties (σF , E) of the strip (1).
3. Determination method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a location of the loop lifter roller (7) is determined by the control device (11) by using the deflection (hL) of the strip (1) out of the direct connecting line (9) between the fixing locations (4, 5), as viewed in the direction of the direct connecting line (9), and/or **in that** the location of the loop lifter roller (7), as viewed in the direction of the direct connecting line (9) is not equally far away from the two fixing locations (4, 5), and **in that** the location of the loop lifter roller (7), as viewed in the direction of the connecting line (9) is taken into account by the control device (11) within the context of determining the third moment term (M3).
4. Determination method according to Claim 1, 2 or 3, **characterized in that** the control device (11) is predefined a term (aA) by which the strip (1) is supported in an articulated manner at the upstream fixing location (4), and/or **in that** the control device (11) determines this term (aA) in accordance with geometric properties (b, h) and instantaneous material properties (σF , E) of the strip (1), and **in that** the control device (11) takes this term (aA) into account when determining the third moment term (M3).
5. Determination method according to one of the above claims, **characterized in that** the control device (11) is predefined a term (aB) by which the strip (1) is supported in an articulated manner at the downstream fixing location (5), and/or **in that** the control device (11) determines this term (aB) in accordance with geometric properties (b, h) and instantaneous material properties (σF , E) of the strip (1), and **in that** the control device (11) takes this term (aB) into account when determining the third moment term (M3).
6. Machine-readable program code for a control device (11) for controlling an upstream and/or a downstream holding element (2, 3), which each have a fixing location (4, 5) between which a strip tension (Z) is applied to a strip (1), wherein a loop lifter roller (7) of a loop lifter (6) is pressed against a strip (1) between the fixing locations (4, 5), so that the loop lifter roller (7) deflects the strip (1) out of a direct connecting line (9) between the fixing locations (4, 5), wherein the program code has control commands (14), the execution of which has the effect that the control device (11) carries out a determination method according to one of the above claims.
7. Machine-readable program code according to Claim 6, **characterized in that** the program code is stored on a storage medium (13).
8. Software programmable control device for controlling an upstream and/or a downstream holding element (2, 3), the holding elements (2, 3) each having a fixing location (4, 5) between which a strip tension (Z) is applied to a strip (1), a loop lifter roller (7) of a loop lifter (6) being pressed against the strip (1) between the fixing locations (4, 5), **characterized in that** the control device is programmed with program code (12) according to Claim 6.
9. Conveying device for conveying a strip (1),
 - the conveying device having an upstream holding element (2) and a downstream holding element (3), which each have a fixing location (4, 5) between which a strip tension (Z) is applied to the strip (1),
 - the conveying device having a loop lifter (6) arranged between the holding elements (2, 3),
 - the loop lifter (6) having a loop lifter roller (7) which is pressed against the strip (1), so that the loop lifter roller (7) deflects the strip (1) out of a direct connecting line (9) between the fixing locations (4, 5),
 - there being detection devices (10), by means of which characteristic variables (s, p1, p2) are determined for a deflection (hL) of the strip (1) out of the direct connecting line (9) between the fixing locations (4, 5), and a moment (M) acting on the loop lifter roller (7),
 - the detection devices (10) for supplying the determined characteristic variables (s, p1, p2) being connected to a control device (11),

characterized in that the control device (11) is formed in accordance with Claim 8.

Revendications

1. Procédé de détermination d'une tension de bande (Z) à laquelle est soumise une bande (1) entre un lieu fixe avant (4) et un lieu fixe arrière (5),

- un rouleau (7) d'un releveur de boucle (6) étant appliqué contre la bande (1) entre les lieux fixes (4, 5), de telle sorte que le rouleau de releveur de boucle (7) dévie la bande (1) hors d'une ligne de jonction directe (9) entre les lieux fixes (4, 5),

- des grandeurs caractéristiques (s, p1, p2) étant détectées pour une déviation (hL) de la bande (1) hors de la ligne de jonction directe (9) entre les lieux fixes (4, 5) et un couple (M) agissant sur le rouleau de releveur de boucle (7),

- les grandeurs caractéristiques (s, p1, p2) étant envoyées à un dispositif de commande (11) qui détermine la tension de bande (Z) sur la base de la déviation (hL) et du couple (M),

- pour déterminer la tension de bande (Z), le couple (M) étant compensé par le dispositif de commande (11) par une première part de couple (M1), une deuxième part de couple (M2) et une troisième part de couple (M3),

- la première part de couple (M1) étant fondée sur le poids (G1) de la bande (1) entre les lieux fixes (4, 5), la deuxième part de couple (M2) étant fondée sur le poids propre (G2) du releveur de boucle (6) et la troisième part de couple (M3) étant fondée sur une flexion de la bande (1) entre les lieux fixes (4, 5),

- la tension de bande (Z) étant déterminée par le dispositif de commande (11) sur la base du couple (M4) compensé par les première, deuxième et troisième parts de couple (M1, M2, M3),

caractérisé

- **en ce que** le dispositif de commande (11) détermine une courbe de bande avant (KA) de la bande (1) entre le rouleau de releveur de boucle (7) et le lieu fixe avant (4) et une courbe de bande arrière (KB) de la bande (1) entre le rouleau de releveur de boucle (7) et le lieu fixe arrière (5),

- **en ce que** le dispositif de commande (11) détermine la courbe de bande avant (KA) de telle façon que la courbe du couple de flexion avant (MA) dans la bande (1), en partant d'une valeur maximale (ML) au niveau du rouleau de releveur de boucle (7), vu en direction de la ligne de jonction (9) vers le lieu fixe avant (4), décroît linéairement pour atteindre une valeur minimale avant (MV),

- **en ce que** le dispositif de commande (11) détermine la courbe de bande arrière (KB) de telle façon que la courbe du couple de flexion arrière (BB) dans la bande (1), en partant de la valeur maximale (ML) au niveau du rouleau de releveur de boucle (7), vu en direction de la ligne de jonction (9) vers le lieu fixe arrière (5), décroît linéairement pour atteindre une valeur minimale arrière (MH),

- **en ce que** la courbe du couple de flexion avant (BA) et une courbe de courbure avant donnée par la courbe de bande avant (KA) ainsi que la courbe du couple de flexion arrière (BB) et une courbe de courbure arrière donnée par la courbe de bande arrière (KB) sont liées entre elles suivant une courbe caractéristique de flexion,

- **en ce que** la courbe caractéristique de flexion pour des courbures (K) des courbes de bande (KA, KB) au-dessous d'une courbure limite (KEL) présente une augmentation linéaire du couple de flexion (MB) respectif correspondant pour atteindre un premier couple de flexion limite (MEL) et

- **en ce que** la courbe caractéristique de flexion pour des courbures (K) des courbes de bande (KA, KB) au-dessus de la courbure limite (KEL) s'aplatit pour atteindre un second couple de flexion limite.

2. Procédé de détermination selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la courbe caractéristique de flexion est déterminée par le dispositif de commande (11) en fonction de propriétés de géométrie (b, h) de la bande (1) entre les lieux fixes (4, 5) et de propriétés de matériau actuelles (σF , E) de la bande (1).

3. Procédé de détermination selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (11) détermine sur la base de la déviation (hL) de la bande (1) hors de la ligne de jonction directe (9) entre les lieux fixes (4, 5), vu en direction de la ligne de jonction directe (9), un lieu du rouleau de releveur de boucle (7) et/ou **en ce que** le lieu du rouleau de releveur de boucle (7), vu en direction de la ligne de jonction directe (9), n'est pas équidistant des deux lieux fixes (4, 5), et **en ce que** le lieu du rouleau de releveur de boucle (7), vu en direction de la ligne de jonction directe (9), est pris en compte par le dispositif de commande (11) dans le cadre de la détermination de la troisième part de couple (M3).

4. Procédé de détermination selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (11) se voit imposer une proportion (aA) dans laquelle la bande (1) est logée de manière articulée dans le lieu fixe avant (4) et/ou en ce que le dispositif de commande (11) détermine cette proportion (aA) en fonction de propriétés de géométrie (b, h) et de propriétés de matériau actuelles (σF , E) de la bande (1) et **en ce que** le dispositif de commande (11) tient compte de cette proportion (aA) lors de la détermination de la troisième part de couple (M3).

5. Procédé de détermination selon l'une des revendications ci-dessus, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (11) se voit imposer une proportion (aB) dans laquelle la bande (1) est logée de manière articulée dans le lieu fixe arrière (5) et/ou **en ce que** le dispositif de commande (11) détermine cette proportion (aB) en fonction de propriétés de géométrie (b, h) et de propriétés de matériau actuelles (oF, E) de la bande (1) et **en ce que** le dispositif de commande (11) tient compte de cette proportion (aB) lors de la détermination de la troisième part de couple (M3).

6. Code de programme lisible par machine pour un dispositif de commande (11) servant à commander un élément de support avant et/ou arrière (2, 3) présentant chacun un lieu fixe (4, 5) entre lesquels une bande (1) est soumise à une tension de bande (Z), entre les lieux fixes (4, 5) un rouleau de releveur de boucle (7) d'un releveur de boucle (6) étant appliqué contre la bande (1), de telle sorte que le rouleau de releveur de boucle (7) dévie la bande (1) hors d'une ligne de jonction directe (9) entre les lieux fixes (4, 5), le code de programme comportant des instructions de commande (14) dont l'exécution a pour effet que le dispositif de commande (11) met en oeuvre un procédé de détermination selon l'une des revendications ci-dessus.

7. Code de programme lisible par machine selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le code de programme est stocké sur un support de stockage (13).

8. Dispositif de commande programmable par logiciel servant à commander un élément de support avant et/ou arrière (2, 3), les éléments de support (2, 3) présentant chacun un lieu fixe (4, 5) entre lesquels une bande (1) est soumise à une tension de bande (Z), entre les lieux fixes (4, 5) un rouleau de releveur de boucle (7) d'un releveur de boucle (6) étant appliqué contre la bande (1), **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est programmé avec un code de programme (12) selon la revendication 6.

9. Dispositif de transport pour transporter une bande (1),

- le dispositif de transport comprenant un élément de support avant (2) et un élément de support arrière (3) présentant chacun un lieu fixe (4, 5) entre lesquels une bande (1) est soumise à une tension de bande (Z),
- le dispositif de transport comprenant un releveur de boucle (6) agencé entre les éléments de support (2, 3),
- le releveur de boucle (6) comprenant un rouleau de releveur de couple (7) qui est appliqué contre la bande (1), de telle sorte que le rouleau de releveur de boucle (7) dévie la bande (1) hors d'une ligne de jonction directe (9) entre les lieux fixes (4, 5),
- des dispositifs de détection (10) étant prévus, au moyen desquels des grandeurs caractéristiques (s, p1, p2) pour une déviation (hL) de la bande (1) hors de la ligne de jonction directe (9) entre les lieux fixes (4, 5) et un couple (M) agissant sur le rouleau de releveur de boucle (7) sont détectées,
- les dispositifs de détection (10) étant reliés à un dispositif de commande (11) pour l'envoi des grandeurs caractéristiques (s, p1, p2) détectées,

caractérisé en ce que le dispositif de commande (11) est réalisé selon la revendication 8.

FIG 1

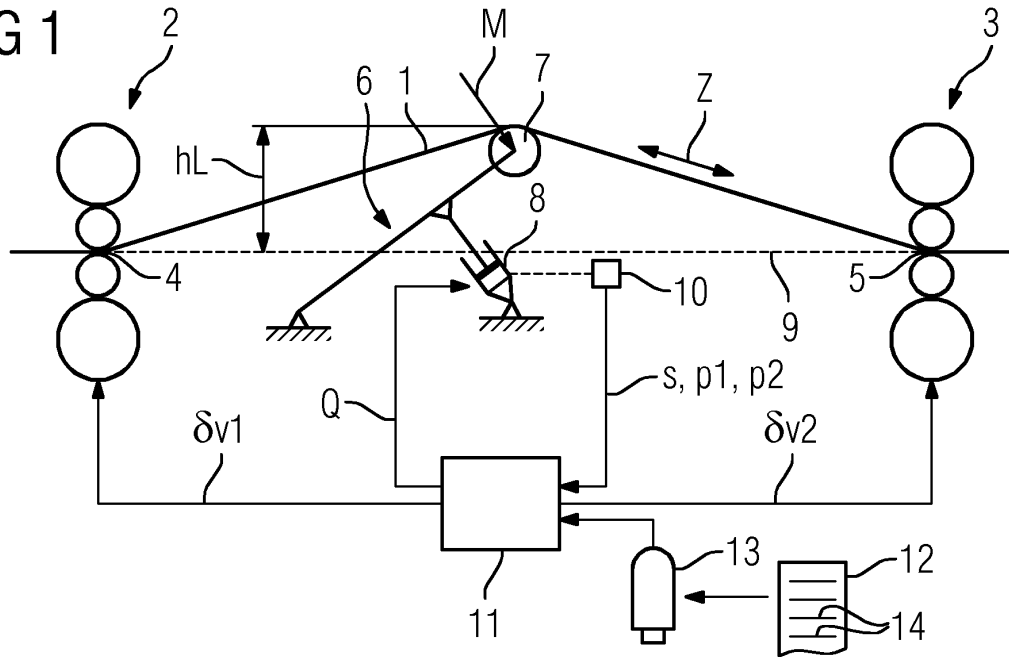


FIG 2

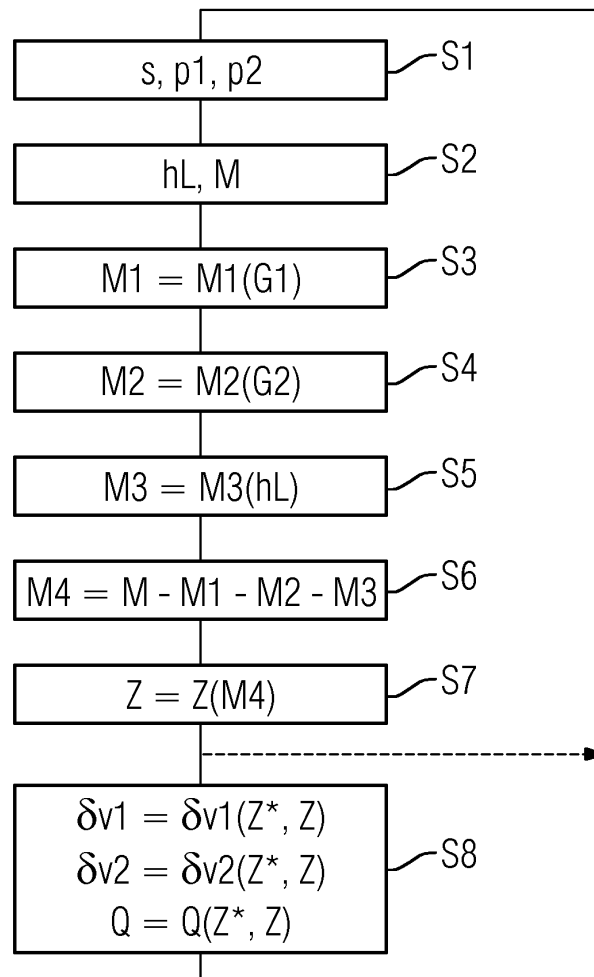


FIG 3

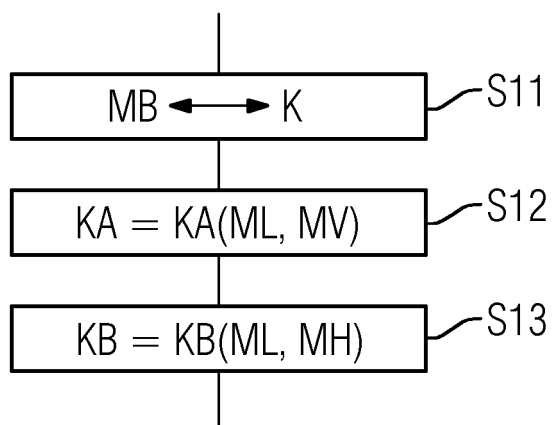


FIG 4

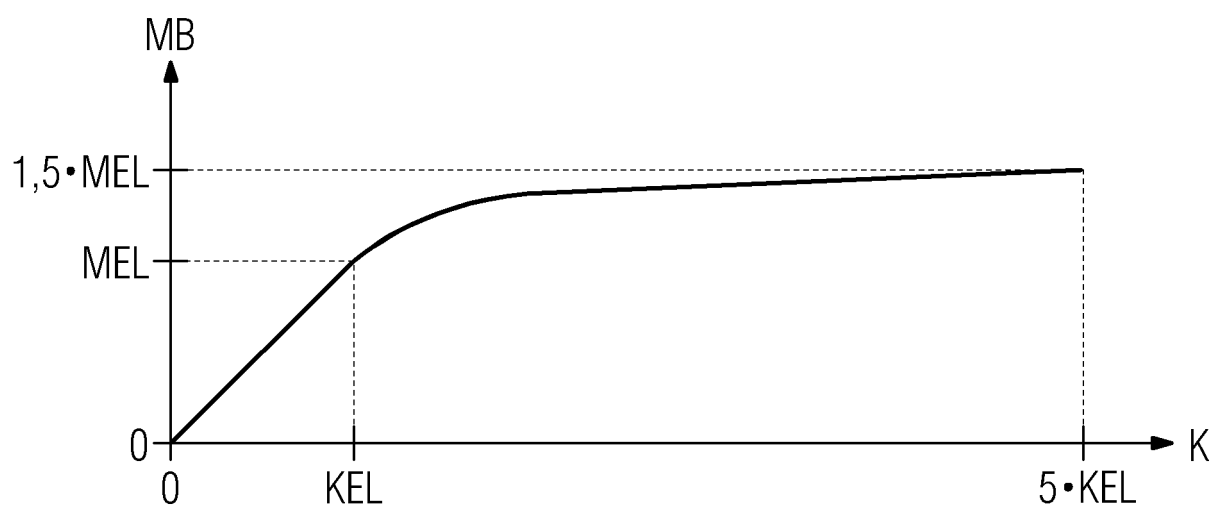


FIG 5

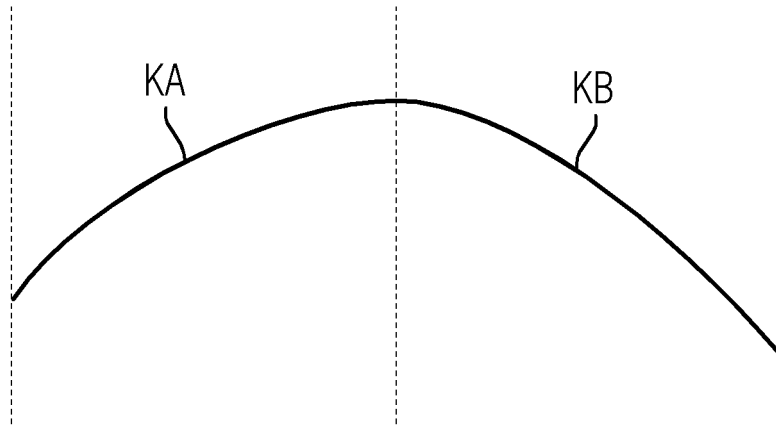


FIG 6

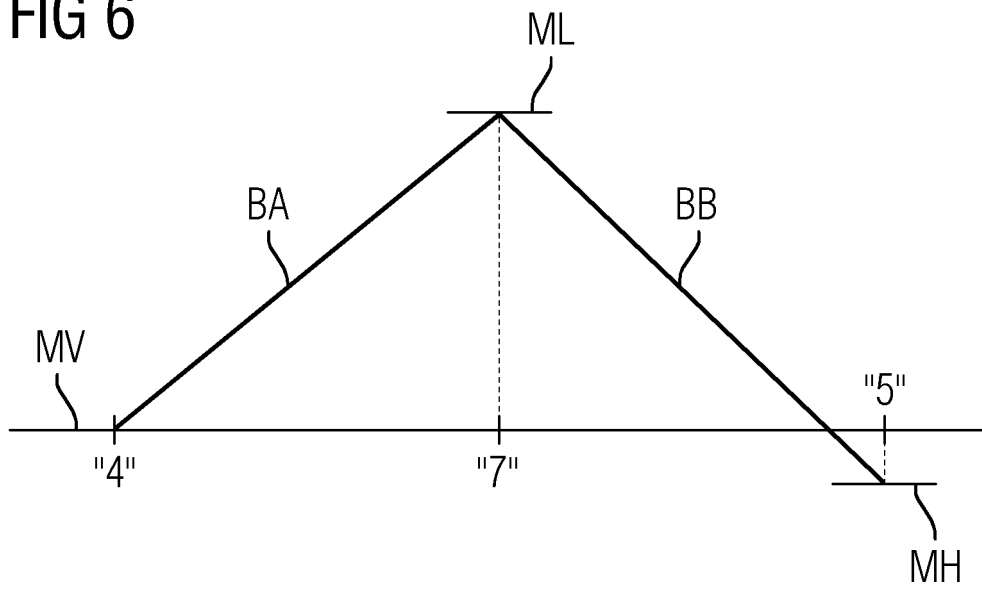


FIG 7

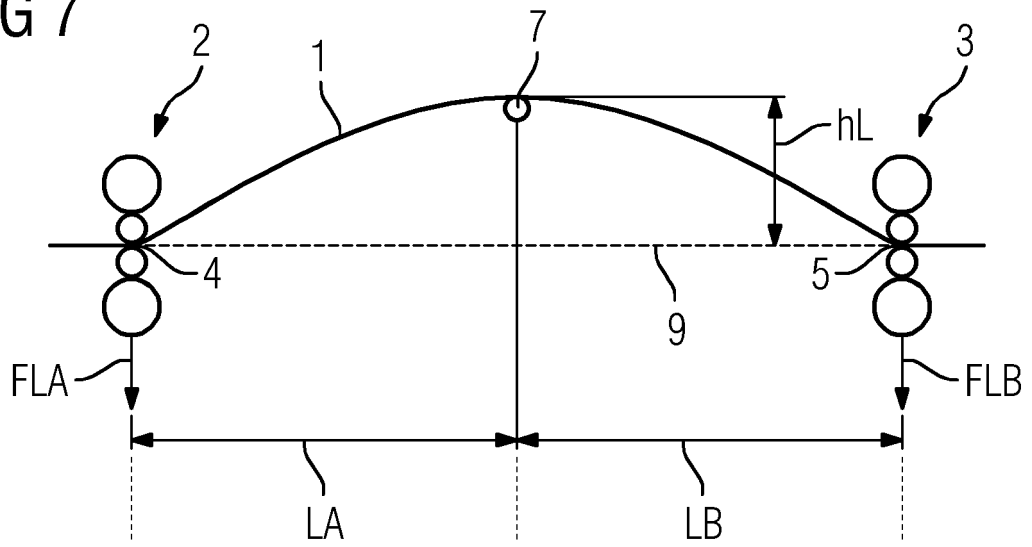


FIG 8

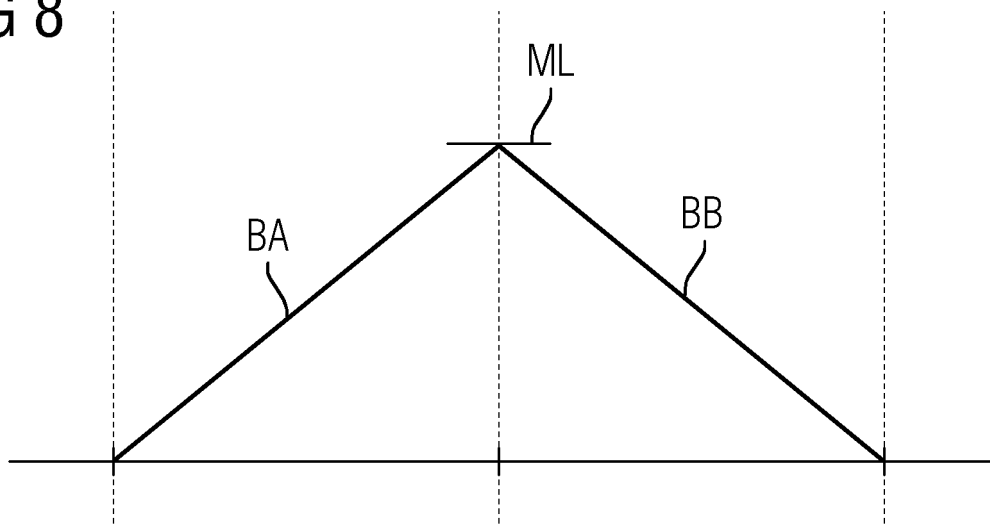


FIG 9

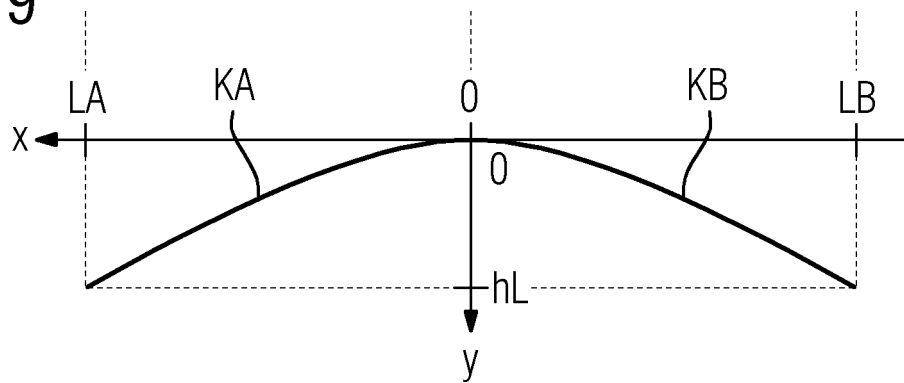


FIG 10

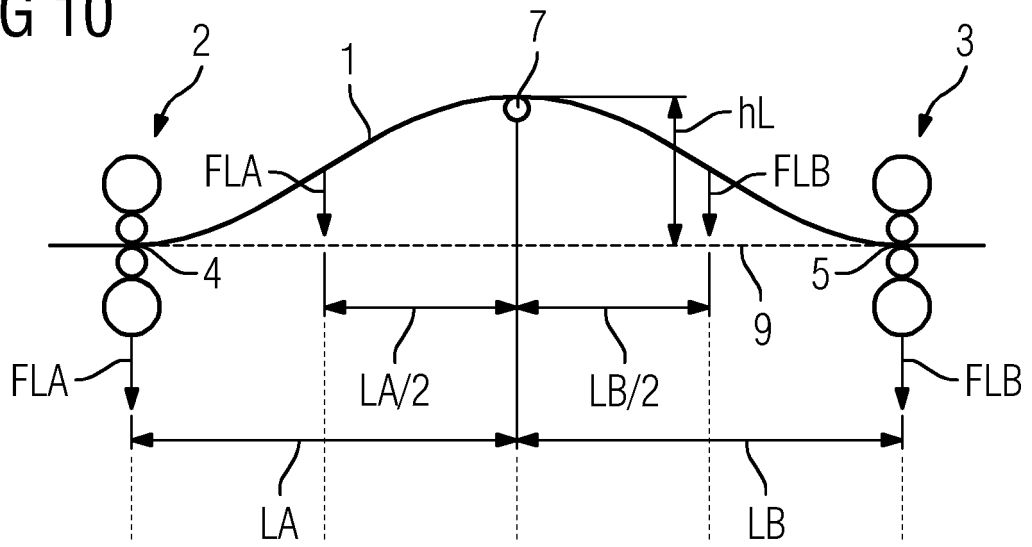


FIG 11

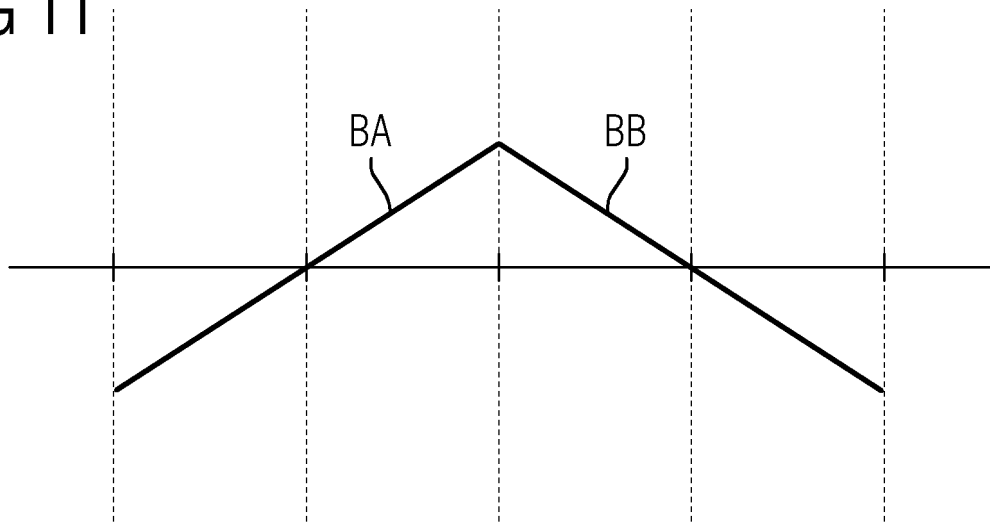


FIG 12

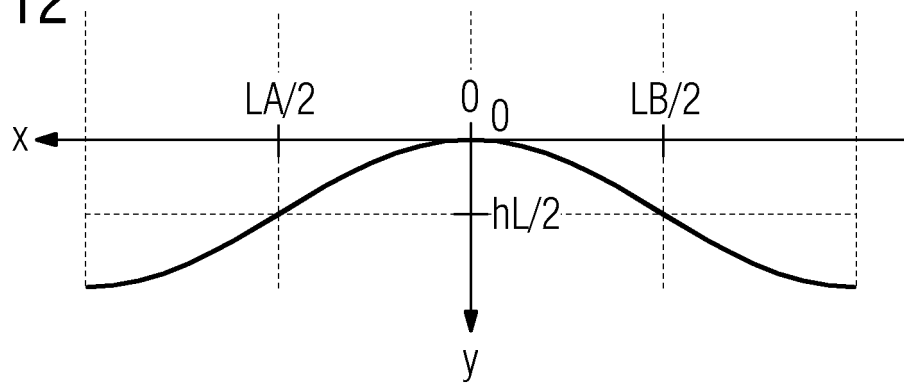


FIG 13

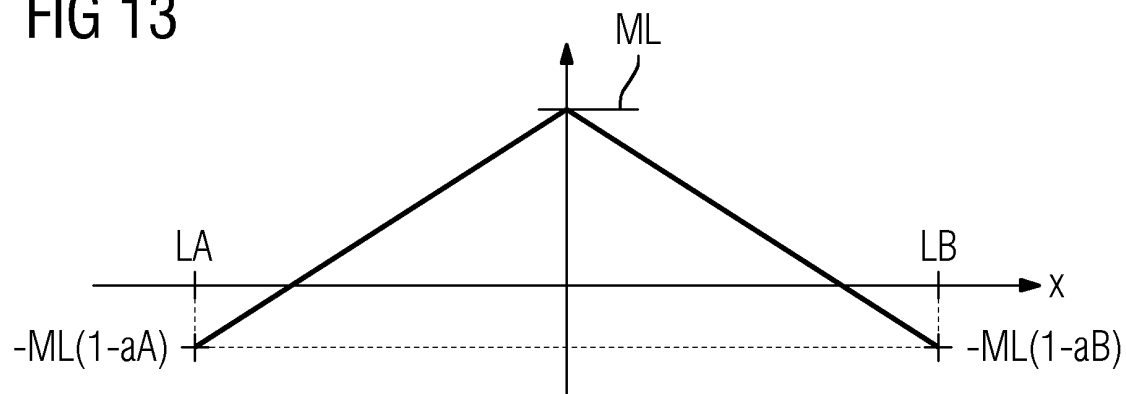


FIG 14

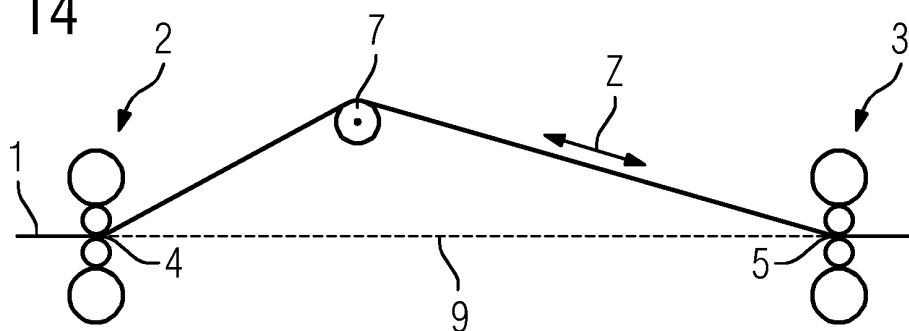


FIG 15

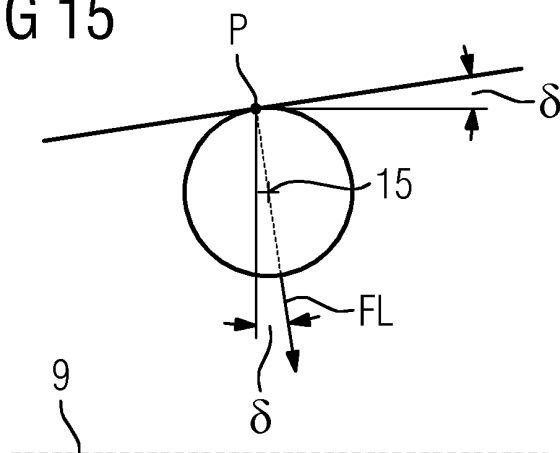


FIG 16

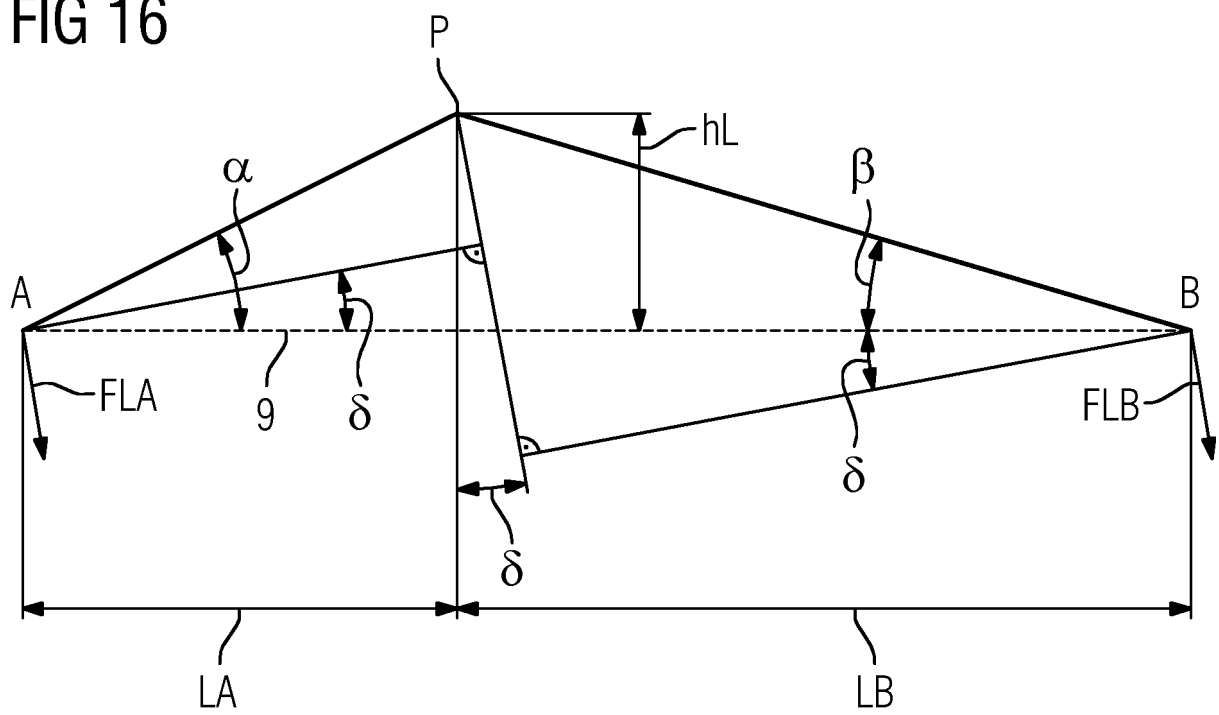
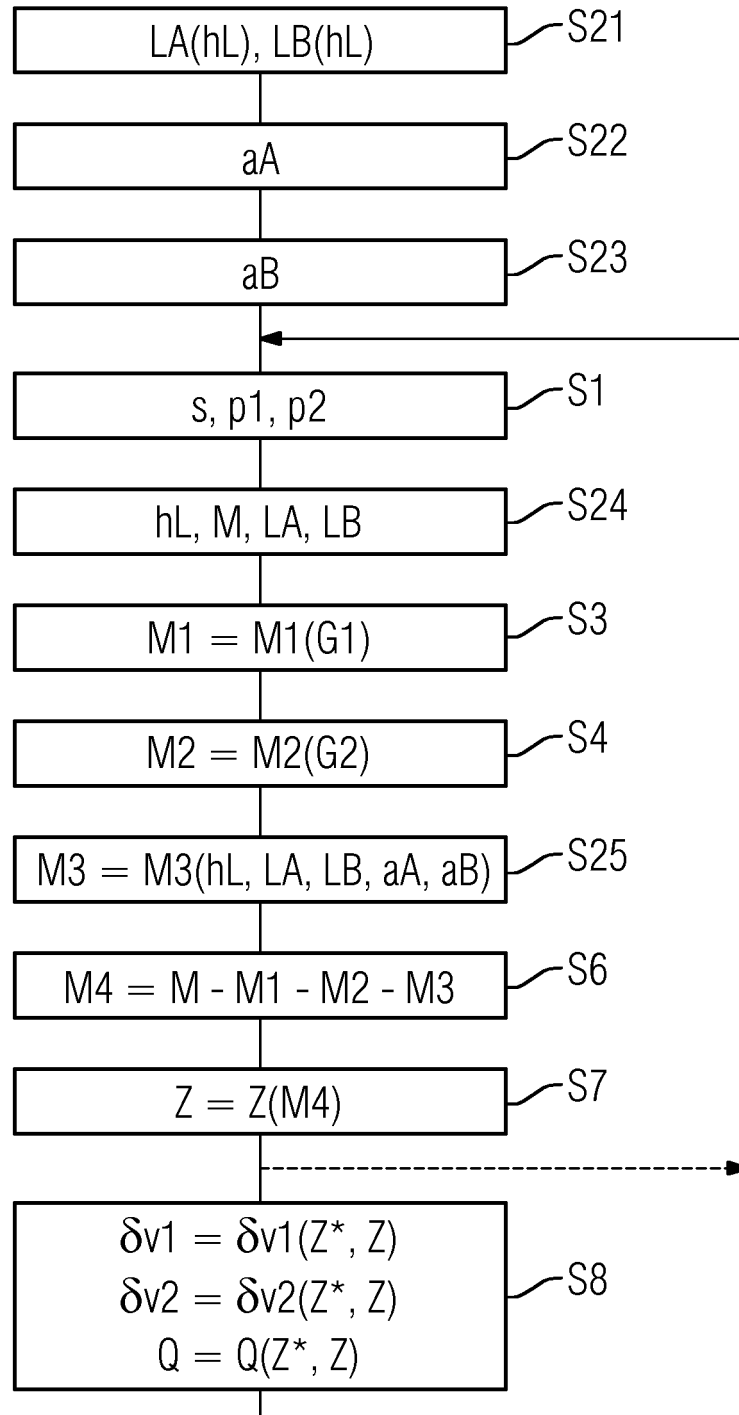


FIG 17



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 Nicht-Patentliteratur

- **CHI-CHENG CHENG et al.** Precise looper simulation for hot strip mills using an auto tuning approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, vol. 27, 481-487 [0002]
- **JOHN C. PRICE.** The Hot Strip Mill Looper System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, September 1973, vol. IA-9 (5), 556-562 [0012]
- **VON CHI-CHENG CHENG et al.** Precise looper simulation for hot strip mills using an auto tuning approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2006, vol. 27, 481-487 [0013]