



(11)

EP 3 009 204 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
20.04.2016 Patentblatt 2016/16

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

(21) Anmeldenummer: **15188683.5**

(22) Anmeldetag: **07.10.2015**

(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**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
MA

- Vetyukov, Yury, Dr.
4040 Linz (AT)
- Baumgärtner, Agnes
85521 Ottobrunn (DE)
- Lorenz, Andreas
91054 Erlangen (DE)
- Weisshaar, Bernhard
91074 Herzogenaurach (DE)

(30) Priorität: 13.10.2014 DE 102014220659

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

(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91052 Erlangen (DE)

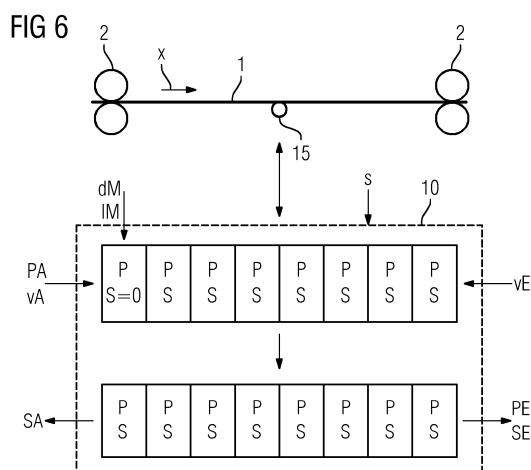
(72) Erfinder:

- **Gerstmayr, Johannes, Dr.**
4202 Hellmonsödt (AT)
- **Gruber, Peter, Dr.**
4912 Neuhofen (AT)

Bemerkungen:
Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)
EPÜ.

(54) **MODELLIERUNG VON METALLBAND IN EINER WALZSTRASSE**

(57) Das Walzen von Metallband (1) wird mit Walzgerüstmodellen (9) modelliert, das Profil- und Planheitsverhalten dazwischen und der Transport des Metallbandes (1) mit Bandstückmodellen (10). Den Walzgerüstmodellen (9) werden jeweils das Profil des Walzspalts (11) beeinflussende Gerüstdaten (G) und die Walzgeschwindigkeit (v) zugeführt. Den Walzgerüstmodellen (9) wird jeweils ortsaufgelöst über die Bandbreite (b) ein ein- und ein auslaufseitiger Spannungszustand (SE, SA) sowie ein einlaufseitiges Profil (PE) zugeführt. Den Bandstückmodellen (10) wird ferner ortsaufgelöst über die Bandbreite (b) eine Geschwindigkeit (v_E) des in das nachgeordnete Walzgerüst (2) einlaufenden Abschnitts des Metallbandes (1) zugeführt. Weiterhin können ortsaufgelöst über die Bandbreite (b) und in Bandlaufrichtung (x) die Spannungszustände (S) des Metallbandes (1) visualisiert werden.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für eine Walzstraße,

- wobei ein eine Bandbreite aufweisendes Metallband nacheinander in mehreren aufeinanderfolgenden Walzgerüsten der Walzstraße gewalzt wird,
- wobei mittels den Walzgerüsten zugeordneter Walzgerüstmodelle jeweils das Walzen des Metallbandes in dem jeweiligen Walzgerüst modelliert wird,
- wobei mittels den Bereichen zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten zugeordneter Bandstückmodelle jeweils der Transport des Metallbandes vom jeweils vorgeordneten Walzgerüst zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst modelliert wird,
- wobei den Walzgerüstmodellen das Profil eines Walzspaltes des jeweiligen Walzgerüsts beeinflussende Gerüstdaten und eine Walzgeschwindigkeit des jeweiligen Walzgerüsts zugeführt werden,
- wobei den Walzgerüstmodellen für einen im jeweiligen Walzgerüst gewalzten jeweiligen Abschnitt des Metallbandes ein einlaufseitiger Spannungszustand und ein auslaufseitiger Spannungszustand sowie orts aufgelöst über die Bandbreite ein einlaufseitiges Profil zugeführt werden.

[0002] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Computerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einer Steuereinrichtung für eine Walzstraße abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für eine Walzstraße, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Computerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Walzstraße zum Walzen eines Metallbandes,

- wobei die Walzstraße mehrere Walzgerüste aufweist,
- wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung aufweist, welche die Walzstraße gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0005] Ein derartiges Betriebsverfahren, das zugehörige Computerprogramm, die entsprechende Steuereinrichtung und die Walzstraße sind beispielsweise aus der DE 102 11 623 A1 und der korrespondierenden US 7 031 797 B2 bekannt.

[0006] Die Stabilität des Bandlaufs durch eine Warmwalzstraße ist eine wichtige Voraussetzung für die Ausbringung eines fehlerfreien Flachprodukts und seine maßliche Qualität. Die Beobachtung des Bandlaufs ist

jedoch von der Steuerbühne aus nur sehr eingeschränkt möglich. Im Stand der Technik wird versucht, den fehlenden direkten Einblick durch Videokameras und dergleichen zu ergänzen, die an geeigneten Orten angeordnet sind. Aufgrund von Emissionen wie beispielsweise Wasser, Dampf, Rauch und Staub ist das Bandverhalten aber dennoch oft nur schlecht erkennbar. Darüber hinaus ist aufgrund der Beobachtung der örtlichen Bewegung des Bandes oftmals nicht die Ursache für diese Bewegung erkennbar. Insbesondere sind die am Band unsichtbar angreifenden Kräfte, die zu einer ebenfalls unsichtbaren Verteilung von Zug- und Druckspannungen sowie Schubspannungen im Inneren des Metallbandes führen, nicht erkennbar.

[0007] Ein unter Spannungen stehendes Metallband neigt zu unerwünschten Verlagerungen. Dies gilt besonders für das hintere Bandende (Bandfuß) beim Ausfädeln aus den einzelnen Walzgerüsten der Walzstraße. Insbesondere beim Ausfädeln sollte das Band daher spannungsfrei sein. Anderenfalls kann es zu einem seitlichen Ausbrechen des Bandendes oder zu einem sogenannten Hochgeher kommen. In einem derartigen Fall sind zumindest Bandbeschädigungen die Folge. In extremen Fällen können aufgrund von Banddopplungen auch Walzenschäden auftreten.

[0008] Beim Einfädeln muss weiterhin das vordere Bandende (Bandkopf) von Walzgerüst zu Walzgerüst den jeweiligen Walzspalt treffen, und zwar nach Möglichkeit, ohne im Bereich zwischen je zwei Walzgerüsten seitliche Führungen zu berühren. Da der Bandkopf aus den hinteren Walzgerüsten der Walzstraße jedoch bereits sehr schnell ausläuft, ist das Querbewegungsverhalten für die Steuerleute schwierig einzuschätzen und erfordert vor allen Dingen ein schnelles Reagieren.

[0009] Aufgrund der im Inneren des Metallbandes herrschenden Spannungen kann es weiterhin zu unerwünschten seitlichen Bandverlagerungen (Mäander) kommen, die beim Berühren der Seitenführungen zu Bandkantenschäden führen und weiterhin die Seitenführungen verschleifen.

[0010] Ein Einblick in die realen Spannungsverteilungen in einem gerade gewalzten Metallband ist im Stand der Technik nur sehr eingeschränkt möglich. So werden im Stand der Technik beispielsweise Schlingenheber verwendet, welche eingebaute Kraftmesssysteme aufweisen. Im einfachsten Fall liefern die Schlingenheber einen Mittelwert einer Längszugkraft in Walzrichtung. Bei einem Differenzzuggeber im Schlingenheber kann eine lineare Zugverteilung über die Bandbreite approximiert werden. Mit einem sogenannten Tensiometer besteht die Möglichkeit, über die Bandbreite verteilt eine Mehrzahl von Zugmesswerten zu erfassen. Allen Messmethoden ist jedoch gemeinsam, dass sie nur an einer einzigen Stelle der Wegkoordinate in Bandlaufrichtung ein Spannungsabbild liefern. Vereinfachend wird daher im Stand der Technik angenommen, dass dieses Abbild entlang des Metallbandes in Bandlaufrichtung gesehen an jeder Stelle zwischen zwei Walzgerüsten die gleiche ist.

[0011] Die Annahme des Standes der Technik ist jedoch falsch, da die Einspannsituation für das Metallband je nach dessen Querlage, Abstand zum Walzspalt und Profiländerungen in den begrenzenden Walzspalten variiert. Weiterhin können Querkräfte auf die Bandkanten einwirken, wenn das Metallband in Kontakt mit Seitenführungen tritt. Auf diese Weise kommt es zu vielfältigen Kraft- und Momentangriffen am Metallband, woraus in der gesamten Bandoberfläche komplexe Isospannungslinien resultieren.

[0012] Die Lage des Metallbandes zwischen den Walzgerüsten ist ebenfalls nicht überall einsehbar. Ein Grund hierfür ist die relativ große räumliche Ausdehnung der Walzgerüste. Mit Linienscannern oder Flächenkameras können die Bandlagen an einem Ort bzw. über einen eingeschränkten Sichtbereich zwischen den Walzgerüsten visualisiert und als Messwert zur Verfügung gestellt werden. Die Erstreckung des Metallbandes im gesamten Bereich zwischen zwei Walzgerüsten kann jedoch nicht erfasst werden. Diese Form des Metallbandes kann beispielsweise als Säbel oder als Schlangenlinie vorliegen.

[0013] In der Prozessautomatisierung von Walzstraßen ist weiterhin die Vorausberechnung von Sollwerten für die verschiedensten Stellglieder von Walzengerüsten mittels sehr komplexer Gerüstmodelle bekannt. Die Stellglieder können beispielsweise die hydraulische Anstellung, die Walzenrückbiegung, die axiale Verschiebung von Arbeitswalzen, Stützwalzen und/oder Zwischenwalzen, den Antrieb der Walzen und Spritzdüsen für Kühlwasser und Schmieröl umfassen. Diese Gerüstmodelle bestehen aus iterativ berechneten Teilmodellen zur Beschreibung des Lastwalzspaltes beispielsweise auf Basis der Karman-Siebel-Differenzialgleichung, die den Materialfluss im Walzspalt, die Biegung und Abplattung der Arbeits- und der Stützwalzen, die thermische Balligkeit und die Verschleißentwicklung der Arbeitswalzen, den Schiebeeinfluss der Arbeitswalzen, die hydraulische Anstellung, die Elastizität des Gerüstständers und den Antrieb der Arbeitswalzen umfassen. Die Modellierung des Lastwalzspaltes basiert auf der Annahme eines mitigen Banddurchlaufs mit symmetrischer Lastverteilung. Dies erlaubt die Beschränkung der Rechnung auf eine Hälfte des Walzspaltes.

[0014] Modelle der zuletzt genannten Art sind beispielsweise aus folgenden Veröffentlichungen bekannt:

- "The Calculation of Roll Pressure in Hot and Cold Flat Rolling", Orowan, Proceedings Institute of Mechanical Engineers, Vol. 150, 1943;
- "Analysis of Shape and Discussion of Problems of Scheduling, Setup and Shape Control", Spooner, Brian, The Metal Society, Shape Control Conference, Chester, April 1976;
- "Improved Crown Performance at Hoogovens' Hot Strip Mill", Tellman, Heesen, 6th International Rolling Conference, Düsseldorf, June 1994.

[0015] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung be-

steht darin, Möglichkeiten zu schaffen, aufgrund derer eine genaue Beschreibung der tatsächlichen Verhältnisse im Metallband möglich wird.

[0016] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 7.

[0017] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren für eine Walzstraße geschaffen,

- a) wobei ein eine Bandbreite aufweisendes Metallband nacheinander in mehreren aufeinanderfolgenden Walzgerüsten der Walzstraße gewalzt wird,
- b) wobei mittels den Walzgerüsten zugeordneter Walzgerüstmodelle jeweils das Walzen des Metallbandes in dem jeweiligen Walzgerüst modelliert wird,
- c) wobei mittels den Bereichen zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten zugeordneter Bandstückmodelle jeweils das Profil- und Planheitsverhalten eines zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Walzgerüsten befindlichen Bereichs des Metallbandes und der Transport des Metallbandes vom jeweils vorgeordneten Walzgerüst zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst modelliert wird,
- d) wobei den Walzgerüstmodellen das Profil eines Walzspaltes des jeweiligen Walzgerüsts beeinflussende Gerüstdaten und eine Walzgeschwindigkeit des jeweiligen Walzgerüsts zugeführt werden,
- e) wobei den Walzgerüstmodellen für einen im jeweiligen Walzgerüst gewalzten jeweiligen Abschnitt des Metallbandes jeweils orts aufgelöst über die Bandbreite ein einlaufseitiger Spannungszustand und ein auslaufseitiger Spannungszustand sowie ein einlaufseitiges Profil zugeführt werden,
- f) wobei die Walzgerüstmodelle anhand der ihnen zugeführten Daten für den im jeweiligen Walzgerüst gewalzten Abschnitt des Metallbandes jeweils orts aufgelöst über die Bandbreite jeweils eine einlaufseitige Geschwindigkeit, eine auslaufseitige Geschwindigkeit und ein auslaufseitiges Profil ermitteln,
- g) wobei anhand der auslaufseitigen Profile und der auslaufseitigen Geschwindigkeiten der in den Walzgerüsten gewalzten Abschnitte des Metallbandes auslaufseitig eine jeweilige mittlere Banddicke und eine jeweilige mittlere Länge der jeweiligen Abschnitte des Metallbandes ermittelt werden,
- h) wobei die Bandstückmodelle an den von ihnen jeweils modellierten Bereich des Metallbandes zum jeweils vorgeordneten Walzgerüst hin einen jeweiligen Abschnitt mit der für das jeweils vorgeordnete Walzgerüst auslaufseitig ermittelten mittleren Banddicke und mittleren Länge ansetzen,
- i) wobei weiterhin den Bandstückmodellen orts aufgelöst über die Bandbreite Profile und Geschwindigkeiten der aus den jeweils vorgeordneten Walzge-

rüsten auslaufenden Abschnitte des Metallbandes zugeführt werden,

j) wobei die Bandstückmodelle dem jeweils angesetzten Abschnitt ortsaufgelöst über die Bandbreite das vom jeweils vorgeordneten Walzgerüstmodell ermittelte auslaufseitige Profil zuordnen,

k) wobei den Bandstückmodellen ortsaufgelöst über die Bandbreite die Geschwindigkeiten der in die jeweils nachgeordneten Walzgerüste einlaufenden Abschnitte des Metallbandes zugeführt werden,

l) wobei die Bandstückmodelle die von ihnen jeweils modellierten Bereiche des Metallbandes zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst hin ortsaufgelöst über die Bandbreite um einen zur jeweiligen einlaufseitigen Geschwindigkeit proportionalen Abschnitt verkürzen,

m) wobei die Bandstückmodelle anhand der den Abschnitten des von ihnen jeweils modellierten Bereichs des Metallbandes zugeordneten Profile und Spannungszustände, der Profile und Geschwindigkeiten der aus den jeweils vorgeordneten Walzgerüsten auslaufenden Abschnitte des Metallbandes sowie der Geschwindigkeiten der in die jeweils nachgeordneten Walzgerüste einlaufenden Abschnitte des Metallbandes ortsaufgelöst über die Bandbreite und die Bandlänge neue Spannungszustände ermitteln und den Abschnitten zuordnen,

n) wobei ausgehend vom Schritt m) der Schritt k) rückgängig gemacht wird und erneut die Schritte e) und f), sodann wieder die Schritte i) bis m) usw. ausgeführt werden, bis sich im Schritt f) eine Konvergenz zu den im zuvor ausgeführten Schritt f) ermittelten Profilen und/oder Geschwindigkeiten ergibt und/oder sich im Schritt m) eine Konvergenz zu den im zuvor ausgeführten Schritt m) ermittelten neuen Spannungszuständen ergibt,

o) wobei die Bandstückmodelle anhand der den Abschnitten zugeordneten Spannungszustände ortsaufgelöst in Bandlaufrichtung die Seitenlage des Metallbandes ermitteln,

p) wobei die Seitenlage des Metallbandes ortsaufgelöst in Bandlaufrichtung und/oder ortsaufgelöst über die Bandbreite und in Bandlaufrichtung die Spannungszustände des Metallbandes einem Bediener der Walzstraße visualisiert werden und/oder im Rahmen der Ermittlung der die Profile der Walzspalte der Walzgerüste beeinflussenden Gerüstdaten verwendet werden.

[0018] Durch diese Vorgehensweise können mit zweidimensionaler Auflösung (nämlich in Bandlaufrichtung und in Bandbreitenrichtung) die Spannungszustände im Metallband ermittelt und dargestellt werden. Auch können die sich hierdurch ergebenden seitlichen Verlagerungen des Metallbandes ermittelt und dargestellt werden.

[0019] Insbesondere beim Warmwalzen des Metallbandes ist oftmals in dem Bereich zwischen je zwei auf-

einanderfolgenden Walzgerüsten ein Schlingenheber angeordnet. In diesem Fall wird den jeweiligen Bandstückmodellen die Stellung des jeweiligen Schlingenhebers zusätzlich vorgegeben. Die jeweiligen Bandstückmodelle sind dadurch in der Lage, die Stellung des jeweiligen Schlingenhebers bei der Ermittlung der neuen Spannungszustände des von ihnen modellierten Bereichs des Metallbandes zu berücksichtigen.

[0020] Vorzugsweise sind die Walzgerüstmodelle und die Bandstückmodelle ausschließlich durch die den Walzgerüstmodellen von den Bandstückmodellen zugeführten Spannungszustände und Profile und die den Bandstückmodellen von den Walzgerüstmodellen zugeführten Geschwindigkeiten und Profile miteinander gekoppelt und im Übrigen voneinander unabhängig. Dadurch können die verschiedenen Walzgerüstmodelle simultan gerechnet werden und analog die verschiedenen Bandstückmodelle ebenfalls simultan gerechnet werden.

[0021] Vorzugsweise werden die resultierenden Spannungszustände der Abschnitte des Metallbandes dem Bediener der Walzstraße farbcodiert visualisiert. Dadurch ergibt sich für den Bediener der Walzstraße eine besonders gute Erkennbarkeit der resultierenden Spannungszustände.

[0022] Die das Profil des Walzspaltes des jeweiligen Walzgerüsts beeinflussenden Gerüstdaten umfassen vorzugsweise, immer bezogen auf das jeweilige Walzgerüst, mindestens eine der Größen mittlere Anstellung, Differenzanstellung zwischen Bedienseite und Antriebsseite, Walzenbiegung, axiale Walzenverschiebung, Walzenschliff, Walzenverschleiß und thermisches Profil.

[0023] Vorzugsweise können Materialeigenschaften, Seitenlage und Profil des Metallbandes vor dem von dem Metallband zuerst durchlaufenen Walzgerüst der Walzstraße vorgegeben werden. Die Materialeigenschaften und das Profil des Metallbandes vor dem von dem Metallband zuerst durchlaufenen Walzgerüst der Walzstraße können hierbei vorzugsweise als Funktionen über die Bandlänge des Metallbandes vorgegeben werden.

[0024] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms, dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0025] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung für eine Walzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Computerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0026] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Walzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Erfindungsgemäß betreibt die Steuereinrichtung die Walzstraße jeweils gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren.

[0027] 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 mehrgerüstige Walzstraße,
- FIG 2 ein Metallband,
- FIG 3 eine Steuereinrichtung einschließlich einer übergreifenden Darstellung von Walzgerüstmodellen und Bandstückmodellen,
- FIG 4 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 5 ein Walzgerüst und ein Walzgerüstmodell,
- FIG 6 ein Stück eines Metallbands und ein Bandstückmodell
- FIG 7 eine mögliche Darstellung eines modellierten Metallbandes und
- FIG 8 eine mögliche Ausgestaltung eines Bandstückmodells.

[0028] Gemäß FIG 1 weist eine Walzstraße zum Walzen eines Metallbandes 1 mehrere aufeinanderfolgende Walzgerüste 2 auf. Das Metallband 1 ist oftmals ein Stahlband. Das Metallband 1 kann jedoch alternativ aus einem anderen Material bestehen, beispielsweise aus Aluminium, Kupfer, Messing und anderen Metallen oder Metalllegierungen. Das Metallband 1 weist - siehe FIG 2 - eine Bandbreite b auf. Es durchläuft die Walzstraße in einer Bandlaufrichtung x . Die Anzahl an Walzgerüsten 2 liegt in der Regel zwischen vier und acht, insbesondere kann sie bei fünf, sechs oder sieben liegen. Die Walzgerüste 2 werden nachfolgend entsprechend ihrer Reihenfolge, in der sie von dem Metallband 1 durchlaufen werden, als erstes Walzgerüst 2a, zweites Walzgerüst 2b usw. bezeichnet. Das Metallband 1 wird in den Walzgerüsten 2 der Walzstraße nacheinander in mehreren Walzstichen gewalzt.

[0029] Die Eigenschaften des Metallbandes 1 beim Einlauf in die Walzstraße, also vor dem von dem Metallband 1 zuerst durchlaufenen Walzgerüst 2a der Walzstraße - können gegeben sein. Die Eigenschaften des Metallbandes 1 umfassen insbesondere dessen Materialeigenschaften und dessen anfängliches Profil. Sie können zeit- oder ortsabhängig (d.h. über die Länge des Metallbandes 1 variierend) sein. In diesem Fall sind die Eigenschaften des Metallbandes 1 (einschließlich dessen Temperatur) vor dem von dem Metallband 1 zuerst durchlaufenen Walzgerüst 2a der Walzstraße als Funktionen über die Bandlänge des Metallbandes 1 gegeben. Weiterhin kann eine Seitenlage des Metallbandes 1 vor dem von dem Metallband 1 zuerst durchlaufenen Walzgerüst 2a der Walzstraße gegeben sein.

[0030] Die Walzstraße weist eine Steuereinrichtung 3 auf. Die Walzstraße wird von der Steuereinrichtung 3 gesteuert. Die Steuereinrichtung 3 ist mit einem Computerprogramm 4 programmiert. Das Computerprogramm 4

umfasst Maschinencode 5, der von der Steuereinrichtung 3 abarbeitbar ist. Die Abarbeitung des Maschinencodes 5 durch die Steuereinrichtung 3 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 3 die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, das nachstehend näher erläutert wird. Das Zuführen des Computerprogramms 4 zur Steuereinrichtung 3 kann auf beliebige Weise erfolgen. Beispielsweise kann das Computerprogramm 4 auf einem mobilen Datenträger 6 in (ausschließlich) maschinenlesbarer Form, beispielsweise in elektronischer Form, hinterlegt sein.

[0031] Beim realen Walzen des realen Metallbandes 1 läuft zunächst ein Bandkopf 7 in das erste Walzgerüst 2a der Walzstraße ein, wird dort gewalzt und läuft wieder aus dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße aus. Danach laufen auf den Bandkopf 7 folgende Abschnitte des Metallbandes 1 in das erste Walzgerüst 2a der Walzstraße ein, werden dort gewalzt und laufen wieder aus dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße aus. Während dieses Vorgangs ist das aus dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße auslaufende Metallband 1 zunächst noch nicht mit einem externen Zug beaufschlagt.

[0032] Sodann läuft der Bandkopf 7 in das zweite Walzgerüst 2b der Walzstraße ein, wird dort gewalzt und läuft wieder aus dem zweiten Walzgerüst 2b der Walzstraße aus. Danach laufen die auf den Bandkopf 7 folgenden Abschnitte des Metallbandes 1 in das zweite Walzgerüst 2b der Walzstraße ein, werden dort gewalzt und laufen wieder aus dem zweiten Walzgerüst 2b der Walzstraße aus. Während dieses Vorgangs ist das aus dem zweiten Walzgerüst 2b der Walzstraße auslaufende Metallband 1 ebenfalls noch nicht mit einem externen Zug beaufschlagt. Das Metallband 1 ist zu diesem Zeitpunkt jedoch - zumindest in der Regel - noch nicht vollständig in das erste Walzgerüst 2a der Walzstraße 2 eingelaufen. Während des Walzens des Bandkopfes 7 und der auf den Bandkopf 7 folgenden Abschnitte des Metallbandes 1 im zweiten Walzgerüst 2b der Walzstraße laufen daher gleichzeitig andere Abschnitte des Metallbandes 1 in das erste Walzgerüst 2a der Walzstraße ein, werden dort gewalzt und laufen wieder aus dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße aus. Derjenige Bereich des Metallbandes 1, der sich in diesem Zustand zwischen dem ersten und dem zweiten Walzgerüst 2a, 2b der Walzstraße befindet, kann daher mit einem externen Zug beaufschlagt sein.

[0033] Analoge Ausführungen gelten jeweils für die weiteren Walzgerüste 2c, 2d usw. sowie für die zwischen jeweils zwei Walzgerüsten 2 befindlichen Bereiche des Metallbandes 1.

[0034] Zu einem erheblich späteren Zeitpunkt laufen einem Bandfuß 8 vorausgehende Abschnitte und der Bandfuß 8 in das erste Walzgerüst 2a der Walzstraße ein, werden dort gewalzt und laufen wieder aus dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße aus. Während dieses Vorgangs laufen andere Abschnitte des Metallbandes 1 in das zweite Walzgerüst 2b ein, werden dort gewalzt und laufen wieder aus dem zweiten Walzgerüst 2b der

Walzstraße aus. Es ist daher möglich, dass das aus dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße auslaufende Metallband 1 noch mit einem externen Zug beaufschlagt ist. Vorzugsweise wird der Zug jedoch kurz vor dem Walzen des Bandfußes 8 im ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße so weit wie möglich reduziert.

[0035] Schließlich läuft der Bandfuß 8 in das erste Walzgerüst 2a der Walzstraße ein, wird dort gewalzt und läuft wieder aus dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße aus. Spätestens mit dem Auslaufen des Bandfußes 8 wird der verbleibende, sich zwischen dem ersten und dem zweiten Walzgerüst 2a, 2b der Walzstraße befindliche Bereich des Metallbandes 1 zuglos.

[0036] Analoge Ausführungen gelten jeweils für die weiteren Walzgerüste 2b, 2c, 2d usw. sowie für die zwischen jeweils zwei Walzgerüsten 2 befindlichen Bereiche des Metallbandes 1.

[0037] Die Steuereinrichtung 3 modelliert im Rahmen der Ausführung des Computerprogramms 4 bzw. der Abarbeitung des Maschinencodes 5 die obenstehend erläuterten, realen Vorgänge. Die Steuereinrichtung 3 implementiert zu diesem Zweck gemäß FIG 3 für jedes reale Walzgerüst 2 ein jeweiliges Walzgerüstmodell 9 und für jeden realen Bereich hinter dem jeweiligen Walzgerüst 2 ein jeweiliges Bandstückmodell 10.

[0038] Die Walzgerüstmodelle 9 und die Bandstückmodelle 10 arbeiten getaktet und koordiniert. Es wird also mittels der Walzgerüstmodelle 9 und der Bandstückmodelle 10 jeweils das Verhalten des Metallbandes 1 während eines einzelnen Arbeitstaktes simuliert. Danach werden, ausgehend von den Ergebnissen des jeweiligen Arbeitstaktes, die Ergebnisse des jeweiligen nachfolgenden Arbeitstaktes ermittelt. Der Arbeitstakt korrespondiert meist mit einem relativ kleinen Zeitraum, insbesondere mit einem Zeitraum zwischen 100 Millisekunden und 1 Sekunde. Beispielsweise kann der Arbeitstakt mit einem Zeitraum zwischen 200 Millisekunden und 500 Millisekunden korrespondieren, insbesondere etwa 300 Millisekunden.

[0039] Wie sich aus den nachfolgenden Ausführungen ergeben wird, ist es möglich, dass die Modellierung in Echtzeit mit dem Durchlauf des realen Metallbandes 1 durch die Walzstraße ausgeführt wird. In diesem Fall darf die Zeitspanne, die zur getakteten und koordinierten Ausführung der Modelle 9, 10 benötigt wird, - also diejenige Zeitspanne, welche die Steuereinrichtung 3 benötigt, um mittels der Modelle 9, 10 das Walzen des Metallbandes 1 zu modellieren - maximal so groß wie der modellierte Zeitraum sein. Anderenfalls, wenn also keine direkte Kopplung mit der realen Walzstraße in Echtzeit erforderlich ist, kann diese Zeitspanne auch größer sein.

[0040] Die Walzgerüstmodelle 9 sind jeweils einem der Walzgerüste 2 der Walzstraße zugeordnet. Mittels der Walzgerüstmodelle 9 wird jeweils das Walzen des Metallbandes 1 in dem jeweiligen Walzgerüst 2 modelliert. In analoger Weise sind die Bandstückmodelle 10 jeweils einem Bereich zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten 2 zugeordnet. Mittels der Bandstück-

modelle 10 wird jeweils das Profil- und Planheitsverhalten eines zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Walzgerüsten 2 befindlichen Bereichs des Metallbandes 1 modelliert. Mittels der Bandstückmodelle 10 wird weiterhin der Transport des Metallbandes 1 vom jeweils vorgeordneten Walzgerüst 2 - beispielsweise dem Walzgerüst 2a - zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst - beispielsweise dem Walzgerüst 2b - modelliert.

[0041] Nachfolgend wird in Verbindung mit den FIG 4 und 5 zunächst in Verbindung mit dem entsprechenden Walzgerüst 2 die Wirkungsweise eines der Walzgerüstmodelle 9 näher erläutert. Sodann wird in Verbindung mit den FIG 4 und 6 in Verbindung mit der entsprechenden Lücke zwischen zwei Walzgerüsten 2 die Wirkungsweise eines der Bandstückmodelle 10 näher erläutert. Sodann wird in Verbindung mit FIG 3 das Zusammenwirken der beiden Modelle 9, 10 erläutert. Soweit nachstehend in Verbindung mit der Modellierung auf das Metallband 1 und dessen Abschnitte Bezug genommen wird, ist also stets die virtuelle Repräsentation innerhalb der Steuereinrichtung 3 gemeint, nicht das reale Metallband 1 und dessen reale Abschnitte.

[0042] Zunächst wird gemäß FIG 4 in einem Schritt S1 ein Merker F auf den Wert 0 gesetzt. Der Sinn und Zweck dieser Maßnahme wird im weiteren Verlauf der Erläuterung von FIG 4 ersichtlich werden.

[0043] Gemäß FIG 5 läuft ein Abschnitt des realen Metallbandes 1 in eines der Walzgerüste 2 ein. Das Einlaufen erfolgt mit einer Walzgeschwindigkeit v . Das Walzgerüst 2 ist derart eingestellt, dass sein Walzspalt 11 (siehe FIG 3) ein bestimmtes Profil aufweist. Der Walzspalt 11 kann - zusätzlich zur mittleren Anstellung - durch entsprechende Einstellungen beeinflusst werden, beispielsweise durch eine segmentierte Kühlung oder durch eine Rückbiegung. Die Walzgeschwindigkeit v und die entsprechenden Einstellungen (bzw. die korrespondierenden Gerüstdaten G) werden gemäß FIG 4 dem jeweiligen Walzgerüstmodell 9 in einem Schritt S2 zugeführt. Es handelt sich bei den dem Walzgerüstmodell 9 zugeführten Gerüstdaten G um die realen Gerüstdaten G, entsprechen denen das jeweilige Walzgerüst 2 eingestellt ist. Gleiches gilt für die Walzgeschwindigkeit v . Die Walzgeschwindigkeit v wird dem Walzgerüstmodell 9 in der Regel als Skalar vorgegeben. Sie kann direkt als solche oder alternativ über die Umfangsgeschwindigkeit von Walzen 12 des jeweiligen Walzgerüsts 2 definiert sein.

[0044] Die Gerüstdaten G sind diejenigen Parameter und Variablen des modellierten Walzgerüsts 2, welche orts aufgelöst über die Bandbreite b das jeweilige Profil des Walzspaltes 11 des entsprechenden Walzgerüsts 2 beeinflussen. Die Gerüstdaten G können beispielsweise die antriebsseitige und die bedienseitige Anstellung des Walzgerüsts 2 (äquivalent hierzu: eine mittlere Anstellung und eine Differenzanstellung zwischen Bedienseite und Antriebsseite), den antriebsseitigen und den bedienseitigen Elastizitätsmodul des Walzgerüsts 2, eine Walzkraft, eine Differenzwalzkraft, eine Walzenbiegung, eine axiale Walzenverschiebung, einen Walzenschliff, einen

Walzenverschleiß, ein thermisches Profil der Arbeitswalzen des Walzgerüsts 2 und dergleichen mehr umfassen. Die Gerüstdaten G können - analog zu den Eigenschaften des Metallbandes 1 - zeit- oder ortsabhängig (d.h. über die Länge des Metallbandes 1 variierend) vorgegeben sein. Sie korrespondieren insbesondere dann, wenn das erfindungsgemäße Verfahren in Echtzeit ausgeführt wird, zu jedem Zeitpunkt mit den tatsächlichen Gerüstdaten G, mit denen das jeweilige Walzgerüst 2 betrieben wird.

[0045] Der Begriff Profil wird im Stand der Technik teilweise mit unterschiedlichen Bedeutungen verwendet. So bedeutet Profil von seinem eigentlichen Wortsinn her den Verlauf der Banddicke d - siehe FIG 1 - über der Bandbreite b. Der Begriff wird aber im Stand der Technik nicht nur für den Verlauf der Banddicke d über der Bandbreite b verwendet, sondern zum Teil auch als ein rein skalares Maß für die Abweichung der Banddicke d an den Bandrändern von der Banddicke d in der Bandmitte. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff Profil im eigentlichen Wortsinn verwendet. Dies gilt sowohl für das Profil des Walzspalts 11 als auch für später noch eingeführte Profile P, PE, PA.

[0046] Der einlaufende Abschnitt weist - ortsaufgelöst über die Bandbreite b - ein Profil PE auf. Die Ortsauflösung über die Bandbreite b kann nach Bedarf gewählt sein. Minimal sollten jedoch, verteilt über die Bandbreite b, mindestens fünf Werte für das einlaufseitige Profil PE definiert sein. Gleiches gilt für andere, später noch eingeführte Größen, die ortsaufgelöst über die Bandbreite b vorgegeben oder ermittelt werden.

[0047] Der Abschnitt ist weiterhin - ebenfalls ortsaufgelöst über die Bandbreite b - einlaufseitig mit einem Spannungszustand SE beaufschlagt. Der Abschnitt ist weiterhin - ebenfalls ortsaufgelöst über die Bandbreite b - auch auslaufseitig mit einem Spannungszustand SA beaufschlagt. Dem Walzgerüstmodell 9 werden gemäß den FIG 4 und 5 das einlaufseitige Profil PE und die Spannungszustände SE, SA in einem Schritt S3 zugeführt. Sowohl das Profil PE als auch die Spannungszustände SE, SA werden dem Walzgerüstmodell 9 über die Bandbreite b ortsaufgelöst zugeführt. Soweit erforderlich, können dem Walzgerüstmodell 9 im Rahmen des Schrittes S3 weitere Daten des einlaufenden Abschnitts des Metallbandes 1 zugeführt werden.

[0048] Anhand der ihm zugeführten Daten ermittelt das Walzgerüstmodell 9 für den momentan gewalzten Abschnitt des Metallbandes 1 - jeweils ortsaufgelöst über die Bandbreite b - eine einlaufseitige Geschwindigkeit vE, eine auslaufseitige Geschwindigkeit vA und ein auslaufseitiges Profil PA. Der entsprechende Schritt ist in FIG 4 mit dem Bezugszeichen S4 versehen. Im Wesentlichen wird das Profil PA durch die im modellierten Walzgerüst 2 vorliegende Form des Walzspalts 11 bestimmt, also dessen Profil. Weiterhin haben auch die einlaufseitig und auslaufseitig auf das Metallband 1 wirkende Kräfte (insbesondere die Züge) einen Einfluss auf das auslaufseitige Profil PA.

[0049] Das Walzgerüstmodell 9 kann derart ausgelegt sein, dass es diese Größen PA, vA, vE auch dann ermitteln kann, wenn das Metallband 1 außermittig in das modellierte Walzgerüst 2 einläuft und/oder wenn das in das modellierte Walzgerüst 2 einlaufende Metallband 1 einlaufseitig ein asymmetrisches Profil PE und/oder einlaufseitig und/oder auslaufseitig einen asymmetrischen Spannungszustand SE, SA aufweist. Auch der Walzspalt 11 des modellierten Walzgerüsts 2 kann asymmetrisch sein.

[0050] Der genaue Aufbau und die genaue Wirkungsweise des Walzgerüstmodells 9 kann je nach Lage des Einzelfalls variieren. Vorzugsweise ist das Walzgerüstmodell 9 jedoch so aufgebaut, wie dies in der DE 102 11 623 A1 bzw. der korrespondierenden US 7 031 797 B2 detailliert beschrieben ist.

[0051] Die Wirkungsweise der Walzgerüstmodelle 9 ist prinzipiell für jedes Walzgerüstmodell 9 dieselbe. Lediglich die Eingangsgrößen, Parameter und Ausgangsgrößen sind individuell für das jeweils modellierte Walzgerüst 2.

[0052] Sodann wird gemäß FIG 4 in einem Schritt S5 geprüft, ob der Merker F den Wert 0 aufweist. Nur wenn dies der Fall ist, werden Schritte S6 bis S9 ausgeführt. Anderenfalls werden die Schritte S6 bis S9 übersprungen.

[0053] Im Schritt S6 wird der Merker F auf den Wert 1 gesetzt. Diese Maßnahme bewirkt, dass im Rahmen der Abarbeitung der in FIG 4 dargestellten Schleife die Schritte S6 bis S9 nur ein einziges Mal ausgeführt werden.

In einem Schritt S7 wird anhand des auslaufseitigen Profils PA und der auslaufseitigen Geschwindigkeit vA des Abschnitts des Metallbandes 1, die durch das betrachtete Walzgerüstmodell 9 ermittelt wurden, auslaufseitig eine mittlere Banddicke dM und eine mittlere Länge IM ermittelt. Die Ermittlung erfolgt derart, dass das Massenflussgesetz erfüllt ist.

[0054] Die ermittelte mittlere Banddicke dM und die ermittelte mittlere Länge IM werden - siehe auch FIG 6 - dem nachfolgenden Bandstückmodell 10 zugeführt. Das nachfolgende Bandstückmodell 10 nimmt die ermittelte mittlere Banddicke dM und die ermittelte mittlere Länge IM im Schritt S8 entgegen.

[0055] Das nachfolgende Bandstückmodell 10 modelliert bereits einen Bereich des Metallbandes 1, nämlich denjenigen Bereich, der sich zwischen dem bisher betrachteten Walzgerüst 2 und dem diesem Walzgerüst 2 nachfolgenden Walzgerüst 2 befindet. Im Schritt S9 setzt das nachfolgende Bandstückmodell 10 an den von ihm modellierten Bereich des Metallbandes 1 zum vorgeordneten Walzgerüst 2 hin einen Abschnitt an. Der angesetzte Abschnitt weist zunächst die mittlere Banddicke dM und die ermittelte mittlere Länge IM des Schrittes S8 auf.

[0056] Die Schritte S2 bis S4 werden durch das jeweilige Walzgerüstmodell 9 ausgeführt. Die Schritte S6 und S7 können durch das betrachtete Walzgerüstmodell 9

vorgenommen werden. Alternativ können sie durch das dem betrachteten Walzgerüstmodell 9 nachgeordnete Bandstückmodell 10 vorgenommen werden. Die Schritte S8 und S9 werden durch das dem betrachteten Walzgerüstmodell 9 nachgeordnete Bandstückmodell 10 vorgenommen. Nachfolgende Schritte S10 bis S14 werden durch das dem betrachteten Walzgerüstmodell 9 nachgeordnete Bandstückmodell 10 vorgenommen.

[0057] Sodann wird dem betrachteten Bandstückmodell 10 vom vorgeordneten Walzgerüstmodell 9 die Geschwindigkeit v_A des Abschnitts des Metallbandes 1 zugeführt, der in dem betrachteten Arbeitstakt aus dem vorgeordneten Walzgerüst 2 ausläuft. Die Zuführung erfolgt orts aufgelöst über die Bandbreite b . Weiterhin wird dem betrachteten Bandstückmodell 10 vom vorgeordneten Walzgerüstmodell 9 das Profil PA zugeführt, mit dem der betrachtete Abschnitt des Metallbandes 1 in dem betrachteten Arbeitstakt aus dem vorgeordneten Walzgerüst 2 ausläuft. Auch hier erfolgt die Zuführung orts aufgelöst über die Bandbreite b . Das Bandstückmodell 10 nimmt die Geschwindigkeit v_A und das Profil PA im Schritt S10 entgegen. Das Bandstückmodell 10 ordnet das Profil PA dem entsprechenden angesetzten Abschnitt im Schritt S11 zu.

[0058] Sodann wird den Bandstückmodellen 10 - diesmal nicht vom vorgeordneten Walzgerüstmodell 9, sondern vom nachgeordneten Walzgerüstmodell 9 - die Geschwindigkeit v_E des Abschnitts des Metallbandes 1 zugeführt, der in dem betrachteten Arbeitstakt in das nachgeordnete Walzgerüst 2 einläuft. Auch hier erfolgt die Zuführung orts aufgelöst über die Bandbreite b . Das Bandstückmodell 10 nimmt diese Geschwindigkeit v_E im Schritt S12 entgegen.

[0059] Im Schritt S13 verkürzt das betrachtete Bandstückmodell 10 den von ihm modellierten Bereich des Metallbandes 1 zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst 2 hin. Das Verkürzen erfolgt orts aufgelöst über die Bandbreite b . Das Bandstückmodell 10 verkürzt den von ihm modellierten Bereich des Metallbandes 1 um einen zur jeweiligen einlaufseitigen Geschwindigkeit v_E proportionalen Abschnitt.

[0060] Durch die Schritte S9 und S13 modelliert das betrachtete Bandstückmodell 10 den Transport des Metallbandes 1 vom jeweils vorgeordneten Walzgerüst 2 zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst 2. Zusätzlich modelliert das betrachtete Bandstückmodell 10 auch das Profil- und Planheitsverhalten des Bereichs des Metallbandes 1, der sich zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Walzgerüsten 2 befindet. Dies geschieht im Schritt S14.

[0061] Jedes Bandstückmodell 10 modelliert eine Anzahl von Abschnitten des Metallbandes 1. Denn jeder angesetzte Abschnitt wird mit dem Ansetzen weiterer Abschnitte nach und nach auf das nachgeordnete Walzgerüst 2 zu gefördert. Jedem Abschnitt wird beim Ansetzen zunächst ein jeweiliges Profil P zugeordnet, nämlich das vom vorgeordneten Walzgerüst 2 zugeordnete auslaufseitige Profil PA. Weiterhin sind den Abschnitten des Be-

reichs des Metallbandes 1 (mit Ausnahme des momentan angesetzten Abschnitts) Spannungszustände S zugeordnet. Dem angesetzten Abschnitt ist also zunächst ein Spannungszustand $S = 0$ zugeordnet (keine Spannung). Dieser Zustand entspricht jedoch nicht dem Kräftegleichgewicht. Im Schritt S14 ermittelt das Bandstückmodell 10 daher anhand der Profile P und der Spannungszustände S , die den Abschnitten des Bereichs des Metallbandes 1 - jeweils orts aufgelöst über die Bandbreite b - zugeordnet sind, orts aufgelöst über die Bandbreite b und in Bandlaufrichtung x neue Spannungszustände S für den modellierten Bereich des Metallbandes 1. Das Bandstückmodell 10 berücksichtigt hierbei zusätzlich die Geschwindigkeit v_A des aus dem vorgeordneten Walzgerüst 2 auslaufenden Abschnitts des Metallbandes 1 und die Geschwindigkeit v_E des in das nachgeordnete Walzgerüst 2 einlaufenden Abschnitts des Metallbandes 1. Auch diese Berücksichtigung erfolgt orts aufgelöst über die Bandbreite b . Die neu ermittelten Spannungszustände S ordnet das Bandstückmodell 10 den Abschnitten des modellierten Bereichs des Metallbandes 1 zu. Eine mögliche Ausgestaltung des Bandstückmodells 10 wird später erläutert werden.

[0062] Der im Rahmen des Schrittes S9 an den durch das Bandstückmodell 10 modellierten Bereich des Metallbandes 1 angesetzte Abschnitt weist zunächst über die Bandbreite b eine einheitliche Dicke - nämlich die mittlere Dicke d_M - und eine einheitliche Länge auf. Die Dicke und die Länge wird jedoch bei der nachfolgenden Ausführung des Schrittes S11 geändert. Im Rahmen des Schrittes S13 wird der durch das Bandstückmodell 10 modellierte Bereich des Metallbandes 1 in Abhängigkeit von der jeweiligen einlaufseitigen Geschwindigkeit v_E verkürzt. Es kann geschehen, dass durch das Verkürzen der modellierte Bereich des Metallbandes 1 zum nachfolgenden Walzgerüst 2 hin innerhalb eines Abschnitts endet, dass also in einem bestimmten Arbeitstakt nur ein Teil dieses Abschnitts oder Teile von zwei aneinander grenzenden Abschnitten an das nachfolgende Walzgerüstmodell 9 übergeben werden. In diesem Fall werden die Daten P, S des betreffenden Abschnitts des Metallbandes 1 weiterhin innerhalb des betreffenden Bandstückmodells 10 gespeichert. Soweit es die Ermittlung der neuen Spannungszustände S und der neuen Profile P betrifft, wird der bereits an das nachfolgende Walzgerüstmodell 9 übergebene Teil des betreffenden Abschnitts vom Bandstückmodell 10 jedoch nicht mehr berücksichtigt. Wenn der betreffende Abschnitt vollständig in das nachfolgende Walzgerüst 2 eingelaufen ist (bzw. vollständig an das nachfolgende Walzgerüstmodell 9 übergeben wurde), wird der Abschnitt aus der Modellierung durch das betreffende Bandstückmodell 10 entfernt. Aufgrund des Umstands, dass die Übergabe an das nachfolgende Walzgerüstmodell 9 orts aufgelöst über die Bandbreite b erfolgt, kann ferner orts aufgelöst über die Bandbreite b variieren, in welchem Umfang ein jeweiliger Abschnitt bereits an das nachfolgende Walzgerüstmodell 9 übergeben wird.

[0063] Durch die Ermittlung der Spannungszustände S können sich weiterhin Längsverschiebungen der Abschnitte ergeben. Die Längsverschiebungen können orts aufgelöst über die Bandbreite b voneinander verschieden sein. Da im Rahmen des Schrittes S13 das Verkürzen proportional zur jeweiligen einlaufseitigen Geschwindigkeit vE erfolgt, kann es somit geschehen, dass der an das nachfolgende Walzgerüstmodell 9 übergebene Teil des betreffenden Abschnitts über die Bandbreite b gesehen variiert, also nicht überall der gleiche ist.

[0064] Zur Beschreibung der Spannungszustände S des Metallbandes 1 wird im Stand der Technik oftmals der Begriff Planheit verwendet. Der Begriff Planheit umfasst von seinem Wortsinn her zunächst nur die sichtbaren Verwerfungen des Metallbandes 1, wenn dieses nicht mit äußeren Spannungen beaufschlagt ist. Der Begriff wird im Stand der Technik aber oftmals auch als Synonym für die im Metallband 1 herrschenden inneren Spannungen verwendet. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kommt es auf die inneren Spannungen im Metallband 1 an. Es wird daher im Rahmen der vorliegenden Erfindung zur Vermeidung von Zweideutigkeiten stets von Spannungen bzw. Spannungszuständen gesprochen. Hiermit sind die mechanischen Zug- und Druckverhältnisse im Metallband 1 gemeint.

[0065] Die Wirkungsweise der Bandstückmodelle 10 ist - analog zu den Walzgerüstmodellen 9 - prinzipiell für jedes Bandstückmodell 10 dieselbe. Lediglich die Eingangsgrößen, Parameter und Ausgangsgrößen sind individuell für den jeweils modellierten Bereich des Metallbandes 1.

[0066] In einem Schritt S15 prüft die Steuereinrichtung 3, ob sich eine Konvergenz ergibt. Hierbei kann die Steuereinrichtung 3 insbesondere prüfen, ob die im Schritt S4 ermittelten auslaufseitigen Profile PA und die im Schritt S4 ermittelten Geschwindigkeiten vA, VE sich im Vergleich zur vorherigen Iteration nicht oder nur geringfügig genug geändert haben. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuereinrichtung 3 prüfen, ob die im Schritt S14 ermittelten Profile P und Spannungszustände S sich im Vergleich zur vorherigen Iteration nicht oder nur geringfügig genug geändert haben.

[0067] Wenn sich noch keine Konvergenz ergeben hat, geht die Steuereinrichtung 3 zu einem Schritt S16 über. Im Schritt S16 setzt das jeweilige Bandstückmodell 10 an den den von ihm modellierten Bereich des Metallbandes 1 zum jeweils nachgeordneten Walzgerüsts 2 hin genau denjenigen Abschnitt wieder an, um den es den Bereich im Schritt S13 verkürzt hat. Im Ergebnis wird somit der Schritt S13 im Schritt S16 wieder rückgängig gemacht. Sodann geht die Steuereinrichtung 3 zum Schritt S3 zurück und führt die nächste Iteration aus.

[0068] Wenn sich hingegen eine hinreichende Konvergenz ergeben hat, geht die Steuereinrichtung 3 zu einem Schritt S17 über. Im Schritt S17 ermittelt das jeweilige Bandstückmodell 10 anhand der den Abschnitten des jeweils modellierten Bereichs des Metallbandes 1 zugeordneten Spannungszustände S die Seitenlage des Me-

tallbandes 1. Die Ermittlung erfolgt orts aufgelöst in Bandlaufrichtung x.

[0069] In einem Schritt S18 visualisiert die Steuereinrichtung 3 einem Bediener 13 der Walzstraße (siehe FIG 1) die Seitenlage des Metallbandes 1 orts aufgelöst in Bandlaufrichtung x. Rein beispielhaft ist dies in FIG 7 dargestellt. Die vertikalen Linien in FIG 7 sollen die Orte der Walzgerüste 2 andeuten. Alternativ oder zusätzlich visualisiert die Steuereinrichtung 3 dem Bediener 13 im Schritt S18 orts aufgelöst über die Bandbreite b und in Bandlaufrichtung x die resultierenden Spannungszustände S des Metallbandes 1. Die Visualisierung kann insbesondere farbcodiert erfolgen. Dies ist in FIG 7 durch eine Darstellung in unterschiedlichen Graustufen angedeutet.

[0070] Alternativ oder zusätzlich zum Schritt S18 kann ein Schritt S19 vorhanden sein. Im Schritt S19 verwendet die Steuereinrichtung 3 die ermittelte Seitenlage und/oder die ermittelten Spannungszustände S im Rahmen der Ermittlung der die Profile der Walzspalte 11 der Walzgerüste 2 beeinflussenden Gerüstdaten G. Die Berücksichtigung der neu ermittelten Gerüstdaten G erfolgt in der Regel im nächsten Arbeitstakt.

[0071] Im Rahmen der Erläuterungen zu FIG 4 ist obenstehend wiederholt ausgeführt, dass das Walzgerüstmodell 9 bzw. das Bandstückmodell 10 gewisse Schritte ausführen. Genau genommen werden die Schritte jeweils von der Steuereinrichtung 3 ausgeführt, allerdings im Rahmen der Abarbeitung des jeweiligen Modells 9, 10. Insbesondere führt somit die Steuereinrichtung 3 auch die Schritte S1, S5 und S15 bis S19 aus.

[0072] Soweit den Walzgerüstmodellen 9 einlaufseitig Größen PE, SE zugeführt werden - insbesondere das einlaufseitige Profil PE und der einlaufseitige Spannungszustand SE -, werden die entsprechenden Größen PE, SE entsprechend der Darstellung in den FIG 3, 5 und 6 den Walzgerüstmodellen 9 vom jeweils vorgeordneten Bandstückmodell 10 zugeführt. Eine Ausnahme bildet lediglich das erste Walzgerüst 2a. Hier sind die einlaufseitigen Größen PE, SE vorbestimmt. Soweit den Walzgerüstmodellen 9 auslaufseitig Größen SA zugeführt werden

- insbesondere der auslaufseitige Spannungszustand SA -, werden die entsprechenden Größen SA entsprechend der Darstellung in den FIG 3, 5 und 6 den Walzgerüstmodellen 9 vom jeweils nachgeordneten Bandstückmodell 10 zugeführt. In analoger Weise werden von den Walzgerüstmodellen 9 einlaufseitig ausgegebene Größen vE - insbesondere die einlaufseitige Geschwindigkeit vE - an das jeweils vorgeordnete Bandstückmodell 10 ausgegeben. Von den Walzgerüstmodellen 9 auslaufseitig ausgegebene Größen vA, PA
- insbesondere die auslaufseitige Geschwindigkeit vA und das auslaufseitige Profil PA - werden an das jeweils nachgeordnete Bandstückmodell 10 ausgegeben. Die entsprechenden Ausführungen gelten in

analoger Weise auch für die Bandstückmodelle 10. Im Ergebnis sind dadurch die Walzgerüstmodelle 9 und die Bandstückmodelle 10 ausschließlich durch die den Walzgerüstmodellen 9 von den Bandstückmodellen 10 zugeführten Spannungszustände SE, SA und

Profile PE und die den Bandstückmodellen 10 von den Walzgerüstmodellen 9 zugeführten Geschwindigkeiten vE, vA und Profile PA miteinander gekoppelt. Im Übrigen sind die Walzgerüstmodelle 9 und die Bandstückmodelle 10 voneinander unabhängig. Es ist daher im Rahmen der Implementierung der Vorgehensweise von FIG 4 möglich, alle Walzgerüstmodelle 9 parallel auszuführen, die Ergebnisse an die Bandstückmodelle 10 zu übergeben und sodann parallel alle Bandstückmodelle 10 auszuführen. Gegebenenfalls wird diese Vorgehensweise - also abwechselnde Ausführung aller Walzgerüstmodelle 9 und aller Bandstückmodelle 10 - wiederholt, bis sich eine hinreichende Konvergenz ergeben hat. Dann und erst dann sind die Berechnungen für einen Arbeitstakt abgeschlossen, und die Schrittabfolge gemäß FIG 4 wird, beginnend mit dem Schritt S1, für den nächsten Arbeitstakt wiederholt.

[0073] Das Bandstückmodell 10 enthält gemäß FIG 8 - selbstverständlich in der entsprechenden Reihenfolge - eine Sequenz von Abschnitten des Metallbandes 1, nämlich diejenigen Abschnitte des Metallbandes 1, die zum jeweiligen Zeitpunkt zwar bereits aus dem jeweils vorhergehenden Walzgerüst 2 ausgelaufen sind, aber noch nicht in das nachfolgende Walzgerüst 2 eingelaufen sind. Jedem dieser Abschnitte sind - ortsaufgelöst über die Bandbreite b - jeweils das Profil P und der Spannungszustand S zugeordnet. Die Anzahl an innerhalb des jeweiligen Bandstückmodells 10 modellierten Abschnitten kann nach Bedarf bestimmt sein. Es sind jedoch stets mehrere Abschnitte enthalten. Meist liegt die Anzahl an Abschnitten mindestens bei fünf. Ausnahmen gelten lediglich zu Beginn des Walzens, wenn dem Bandstückmodell 10 der Bandkopf 7 und die auf den Bandkopf 7 folgenden Abschnitte zugeführt werden, und am Ende des Walzens, wenn also die dem Bandfuß 8 vorausgehenden Abschnitte und der Bandfuß 8 von dem entsprechenden Bandstückmodell 10 dem nächsten Walzgerüstmodell 9 zugeführt werden.

[0074] Die Bandstückmodelle 10 modellieren anhand der ihnen zugeführten Daten PA, vA der neu angesetzten Abschnitte des Metallbandes 1 und der Profile P und der Spannungszustände S der bereits zuvor modellierten Abschnitte neue Spannungszustände S für alle modellierten Abschnitte, also auch den neu angesetzten Abschnitt. Der Abschnitt, um den der modellierte Bereich des Metallbandes 1 im Schritt S13 verkürzt wurde, wird hierbei jedoch nicht berücksichtigt. Die Modellierung erfolgt ortsaufgelöst über die Bandbreite b und in Bandlaufrichtung x. Die Ortsauflösung über die Bandbreite b ist die gleiche wie die Ortsauflösung über die Bandbreite b der Walzgerüstmodelle 9. Die Ortsauflösung in Band-

laufrichtung x korrespondiert in der Regel mit den Abschnitten, wie sie vom jeweiligen Bandstückmodell 10 angesetzt werden. Eine Ausnahme gilt jedoch, wie bereits erläutert, für den letzten, an das nachfolgende Walzgerüstmodell angrenzenden Abschnitt. Hier kann es geschehen, dass, bezogen auf die Abschnitte, wie sie im Schritt S9 generiert wurden, beim Verkürzen im Schritt S13 im jeweiligen Bandstückmodell 10 Teilabschnitte verbleiben und darüber hinaus das Ausmaß, in dem die Teilabschnitte verbleiben, ortsaufgelöst über die Bandbreite b variiert.

Die Ermittlung der neuen Spannungszustände S durch das jeweilige Bandstückmodell 10 kann beispielsweise derart erfolgen, wie dies nachstehend näher erläutert wird.

[0075] Die Abschnitte sind gemäß FIG 8 aufgrund der Ortsauflösung über die Bandbreite b in Zellen 14 unterteilt. Die Zellen 14 entsprechen finiten Elementen. Jeder Zelle 14 ist eine jeweilige anfängliche Länge zugeordnet, welche die jeweilige Zelle 14 im spannungsfreien Zustand aufweisen würde. Sodann werden für die Zellen 14 der Abschnitte jeweilige resultierende Längen ermittelt. Die Ermittlung der resultierenden Längen erfolgt unter Berücksichtigung einer Querkopplung QK der Zellen 14 untereinander und unter Berücksichtigung einer Längskopplung LK der Zellen 14 untereinander. Weiterhin wird angenommen, dass die dadurch resultierenden Verzerrungen elastisch sind.

[0076] Die Querkopplung QK ergibt sich durch den Schermodul des Metallbandes 1. Die Längskopplung LK ergibt sich durch den Elastizitätsmodul des Metallbandes 1. Der Elastizitätsmodul und der Schermodul sind in der Regel zumindest für den jeweiligen Abschnitt einheitlich. Sie können auch für Gruppen von Abschnitten einheitlich sein, beispielsweise für die jeweils zwischen zwei Walzgerüsten 2 befindlichen Abschnitte.

[0077] Mit der Ermittlung der resultierenden Länge steht zugleich auch der Spannungszustand S der jeweiligen Zelle 14 fest. Er ergibt sich durch die Differenz der anfänglichen und der resultierenden Länge der jeweiligen Zelle 14 und den Elastizitätsmodul der jeweiligen Zelle 14.

[0078] Bei der Ermittlung der resultierenden Längen werden weiterhin Randbedingungen berücksichtigt. In dem Fall, dass das betrachtete Stück des Metallbandes 1 den Bandkopf 7 enthält und der Bandkopf 7 demzufolge noch nicht in das nachfolgende Walzgerüst 2 eingelaufen ist, werden als Randbedingungen festgelegt, dass die am Bandkopf 7 angreifenden äußeren Kräfte Null sind (oder anders ausgedrückt: dass der Bandkopf 7 sich frei bewegen kann) und dass der soeben aus dem vorhergehenden Walzgerüst 2 ausgelaufene Abschnitt an das vorhergehende Walzgerüst 2 (genauer: dessen Walzspalt 11) angrenzt. Diese Randbedingung definiert insbesondere die Seitenlage dieses Abschnitts.

[0079] In analoger Weise werden in dem Fall, dass das betrachtete Stück des Metallbandes 1 den Bandfuß 8 enthält und demzufolge der Bandfuß 8 bereits aus dem

vorhergehenden Walzgerüst 2 ausgelaufen ist, als Randbedingungen festgelegt, dass die am Bandfuß 8 angreifenden äußeren Kräfte Null sind (oder anders ausgedrückt: dass der Bandfuß 8 sich frei bewegen kann) und dass der soeben in das nachfolgende Walzgerüst 2 einlaufende Abschnitt an das nachfolgende Walzgerüst 2 (genauer: dessen Walzspalt 11) angrenzt. Diese Randbedingung definiert insbesondere die Seitenlage dieses Abschnitts.

[0080] Wenn das betrachtete Stück des Metallbandes 1 weder den Bandkopf 7 noch den Bandfuß 8 enthält, werden als Randbedingungen festgelegt, dass der soeben aus dem vorhergehenden Walzgerüst 2 ausgelaufene Abschnitt an das vorhergehende Walzgerüst 2 angrenzt und der soeben in das nachfolgende Walzgerüst 2 einlaufende Abschnitt an das nachfolgende Walzgerüst 2 angrenzt. Diese Randbedingungen definieren zum einen die Seitenlage der an die beiden angrenzenden Walzgerüste 2 angrenzenden Abschnitte und definieren zum anderen eine resultierende Zugspannung, welche über die beiden Walzgerüste 2 auf den modellierten Bereich des Metallbandes 1 ausgeübt wird.

[0081] In vielen Fällen - insbesondere beim Warmwalzen von Stahl - ist weiterhin entsprechend der schematischen Darstellung in FIG 1 in dem Bereich zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten jeweils ein Schlingenheber 15 angeordnet. Die Stellung *s* des jeweiligen Schlingenhebers 15 beeinflusst zum einen die effektive Strecke, welche das Metallband 1 vom vorgeordneten Walzgerüst 2 zum nachgeordneten Walzgerüst 2 zurücklegen muss. Dadurch beeinflusst die Stellung *s* des jeweiligen Schlingenhebers 15 auch die resultierende Zugspannung, welche über die beiden Walzgerüste 2 auf den modellierten Bereich des Metallbandes 1 ausgeübt wird. Falls die Schlingenheber 15 vorhanden sind, wird daher die Stellung *s* des jeweiligen Schlingenhebers 15 dem jeweiligen Bandstückmodell 10 zusätzlich vorgegeben. Das jeweilige Bandstückmodell 10 berücksichtigt die Stellung *s* des entsprechenden Schlingenhebers 15 bei der Ermittlung der neuen Spannungszustände *S* des von ihnen modellierten Bereichs des Metallbandes 1.

[0082] Das Bandstückmodell 10 nimmt ferner, sofern der modellierte Bereich des Metallbandes 1 an das vorgeordnete Walzgerüst 2 angrenzt, von dem vorgeordneten Walzgerüstmodell 9 Randbedingungen für den angrenzenden Abschnitt entgegen, insbesondere die genaue Seitenlage dieses Abschnitts und die auslaufseitige Geschwindigkeit *vA* dieses Abschnitts. In analoger Weise nimmt das Bandstückmodell 10, sofern der modellierte Bereich des Metallbandes 1 an das nachgeordnete Walzgerüst 2 angrenzt, von dem nachgeordneten Walzgerüstmodell 9 Randbedingungen für den angrenzenden Abschnitt entgegen, insbesondere die genaue Seitenlage dieses Abschnitts und die einlaufseitige Geschwindigkeit *vE* dieses Abschnitts.

[0083] Es ergibt sich also ein zweidimensionales System gekoppelter Differenzialgleichungen, das zunächst ortsauflöst über die Bandbreite *b* und in Bandlaufrich-

tung *x* die neuen Spannungszustände *S* des Metallbandes 1 liefert. Derartige, auf Finite-Element-Methoden beruhende Ansätze sind dem Fachmann bekannt. Rein beispielhaft wird auf folgende Veröffentlichungen verwiesen:

Erik Parteder, Alexander Kainz, Gerald Hein, Klaus Zeman, "3D Modelling Concepts in Hot Strip Rolling", in H. Clemens, W. Krieger, H. Wagner: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte (BHM), in Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Vol. 152, Nummer 11, Springer Wien, Seite(n) 367-371, 11-2007, ISBN: 0005-8912, ISSN: 0005-8912

O.C. Zienkiewicz, P.C. Jain, E. Onate, Flow of solids during forming and extrusion: Some aspects of numerical solutions, International Journal of Solids and Structures, Volume 14, Issue 1, 1978, Pages 15-38, ISSN 0020-7683, [http://dx.doi.org/10.1016/0020-7683\(78\)90062-8](http://dx.doi.org/10.1016/0020-7683(78)90062-8)

[0084] Mit den neuen Spannungszuständen *S* der Abschnitte und deren anfänglichen Profilen *PA* stehen auch die neuen Profile *P* der Abschnitte fest. Diese ergeben sich aus der Differenz zwischen alten und den neuen Spannungszuständen *S* und dem jeweiligen anfänglichen Profil *P* in Verbindung mit dem Massenflussgesetz.

[0085] Zur schnelleren Lösung des Systems gekoppelter Differenzialgleichungen "merkt" sich das jeweilige Bandstückmodell 10 vorzugsweise die zuletzt ermittelte Lösung für den nächsten Arbeitstakt und verwendet diese als anfänglichen Ansatz im nächsten Arbeitstakt.

[0086] Die Ermittlung der Seitenlage des Metallbandes 1 kann von der Steuereinrichtung 3 alternativ im Rahmen der Abarbeitung der Bandstückmodelle 10 oder unabhängig hiervon erfolgen. In beiden Fällen wird ortsauflöst in Bandlaufrichtung *x* der Versatz des Metallbandes 1 in Richtung der Bandbreite *b* ermittelt. Im Ergebnis können hierzu im einfachsten Fall für die Abschnitte des Metallbandes 1 anhand der resultierenden Längen der Zellen 14 des jeweiligen Abschnitts jeweils eine mittlere Länge und ein resultierender Längenkeil ermittelt werden. Es ergeben sich daher, vereinfacht ausgedrückt, für den jeweiligen Abschnitt Größen, welche ein Trapez definieren, dessen parallele Seiten durch die Außenkanten des betrachteten Abschnitts des Metallbandes 1 gebildet sind. Diese Trapeze können aneinander angesetzt werden, so dass sich der Verlauf des durch das jeweilige Bandstückmodell 10 modellierten jeweiligen Bereichs des Metallbandes 1 ergibt.

[0087] Zu Beginn des Walzens, wenn also der Bandkopf 7 noch nicht das jeweils nachfolgende Walzgerüst 2 erreicht hat, können durch diese Vorgehensweise das Auslaufen des Metallbandes 1 aus dem jeweils vorgeordneten Walzgerüst 2 und der sich dabei ergebende Säbel modelliert werden. In analoger Weise können am Ende des Walzens, wenn also der Bandfuß 8 bereits aus dem vorhergehenden Walzgerüst 2 ausgelaufen ist,

durch diese Vorgehensweise das Einlaufen des Metallbandes 1 in das nachgeordnete Walzgerüst 2 und das sich dabei ergebende Ausschlagen des Bandfußes 8 modelliert werden. Während des Walzens des Bandmittelsstücks, während sich also im betrachteten Stück des Metallbandes 1 weder der Bandkopf 7 noch der Bandfuß 8 befinden, kann durch diese Vorgehensweise mittels des jeweiligen Bandstückmodells 10 die reine Seitenlage des entsprechenden Stückes des Metallbandes 1 modelliert werden.

[0088] Die Einbindung der Modellierung durch die Walzgerüstmodelle 9 und die Bandstückmodelle 10 in den Betrieb der Walzstraße kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen.

[0089] So ist es beispielsweise möglich, die Modellierung parallel zum laufenden Betrieb der Walzstraße auszuführen. In diesem Fall wird die Modellierung synchron mit dem Durchlauf des realen Metallbandes 1 durch die Walzstraße ausgeführt. Es wird also während des Walzens der Abschnitte des Metallbandes 1 in den Walzgerüsten 2 ausgeführt. Die in den Walzgerüstmodellen 9 modellierten Abschnitte des Metallbandes 1 sind also zu jedem Zeitpunkt diejenigen Abschnitte des Metallbandes 1, welche den realen Abschnitten des Metallbandes 1 zugeordnet sind, die momentan in den Walzgerüsten 2 gewalzt werden. In analoger Weise sind die in den Bandstückmodellen 10 modellierten Abschnitte des Metallbandes 1 zu jedem Zeitpunkt diejenigen Abschnitte des Metallbandes 1, welche den realen Abschnitten des Metallbandes 1 zugeordnet sind, die sich momentan in der jeweiligen Lücke zwischen zwei Walzgerüsten 2 befinden. Die Gerüstgrößen G sind in diesem Fall entweder erfasste Istdaten der Walzgerüste 2 oder deren Sollwerte, wie sie von der Steuereinrichtung 3 zur Ansteuerung der Walzgerüste 2 verwendet werden. Die Vorgabe der Eigenschaften des Metallbandes 1 vor dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße kann in diesem Fall auf einer Messung oder einer modellgestützten Berechnung beruhen.

[0090] In diesem Fall ist es möglich, die mittels der Bandstückmodelle 10 ermittelten Werte an den Bediener 13 der Walzstraße auszugeben (siehe Schritt S18 von FIG 3). Der Bediener 13 ist dadurch in der Lage, entsprechend zu reagieren. Hingegen werden in diesem Fall nicht unmittelbar und direkt durch die Steuereinrichtung 3 Steuerbefehle für die Walzstraße in Abhängigkeit von den durch die Modellierung ermittelten Profilen PA, P und Spannungszuständen S ergriffen. Die Realisierung entspricht also einem sogenannten Beobachter. Die an den Bediener 13 ausgegebenen Werte können zum einen die Seitenlage des Metallbandes 1 ortsaufgelöst in Bandlaufrichtung x visualisieren. Zum anderen können die an den Bediener 13 ausgegebenen Werte ortsaufgelöst über die Bandbreite b und in Bandlaufrichtung x die Spannungszustände S des Metallbandes 1 visualisieren. Auch eine Visualisierung der Profile P ist möglich. Weiterhin ist es möglich, die sich ergebenden Profile P, die sich ergebenden Spannungszustände S und die ermit-

telten Seitenlagen automatisiert - also mittels der Steuereinrichtung 3 - auf das Auftreten vorbestimmter Ereignisse zu überwachen. Dadurch kann beispielsweise beim Auftreten kritischer Zustände automatisch der Bediener 13 alarmiert werden.

[0091] Alternativ ist im Falle einer Modellierung parallel zum laufenden Betrieb der Walzstraße eine weitere Vorgehensweise möglich. Diese Vorgehensweise ist mit der obenstehend erläuterten Vorgehensweise kombinierbar. Denn insbesondere ist es möglich, bei der Ermittlung von Sollwerten für die Walzgerüste 2 die Eingangsgrößen PE, SE, SA zu berücksichtigen, die mittels der beiden angrenzenden Bandstückmodelle 10 ermittelt wurden. Es ist also möglich, die mittels der Bandstückmodelle 10 ermittelten Profile P und/oder Spannungszustände S (diese ortsaufgelöst sowohl über die Bandbreite b als auch in Bandlaufrichtung x) und/oder die Seitenlage des Metallbandes 1 (diese ortsaufgelöst in Bandlaufrichtung x) zu berücksichtigen. Die entsprechenden Gerüstdaten G für die Walzgerüste 2 beeinflussen insbesondere das Profil des Walzspaltes 11 des entsprechenden Walzgerüsts 2. Insbesondere bezüglich der Seitenlage, prinzipiell aber auch bezüglich des Profils P und/oder des Spannungszustands S ist es weiterhin auch möglich, diese Werte im Sinne eines Regelkreises beim vorgeordneten Walzgerüst 2 und/oder beim nachgeordneten Walzgerüst 2 zu verwerten. Auch ist es möglich andere, mittels der Walzgerüstmodelle 9 und/oder der Bandstückmodelle 10 Größen zu ermitteln, die an der realen Walzstraße nicht ermittelt werden können, und diese Größen Reglern zuzuführen, welche ihrerseits automatisiert Eingriffe in den Walzprozess vornehmen.

[0092] Alternativ zu einer Modellierung parallel zum laufenden Betrieb der Walzstraße ist es weiterhin möglich, der Steuereinrichtung 3 gemäß FIG 1 ein Sollprofil P* und/oder einen Sollspannungszustand S* des Metallbandes 1 zuzuführen, die Modellierung durchzuführen und das sich hinter dem letzten Walzgerüst 2 der Walzstraße ergebende Profil PA und/oder den sich hinter dem letzten Walzgerüst 2 der Walzstraße ergebenden Spannungszustand SA mit den korrespondierenden Sollgrößen P*, S* zu vergleichen. Ergeben sich zu große Abweichungen, werden die Gerüstdaten G der Walzgerüste 2 variiert, so dass die Abweichungen reduziert werden. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis die Abweichungen im zulässigen Rahmen liegen. Mit den so ermittelten Gerüstdaten G werden die Walzgerüste 2 dann beim Walzen des Metallbandes 1 angesteuert. In diesem Fall muss die Modellierung entweder vollständig vorab ausgeführt werden oder aber für jeden Abschnitt des Metallbandes 1 vor dem Walzen des entsprechenden Abschnitts des Metallbandes 1 im ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße abgeschlossen sein. Auch in diesem Fall beeinflussen die Gerüstdaten G die Profile der Walzspalte 11 der Walzgerüste 2. Auch hier kann die Vorgabe der Eigenschaften des Metallbandes 1 vor dem ersten Walzgerüst 2a der Walzstraße auf einer Messung oder einer modellgestützten Berechnung beruhen.

[0093] Bezüglich des Bandkopfes 7 ist es weiterhin möglich, die Gerüstdaten G der Walzgerüste 2 in analoger Weise derart zu ermitteln, dass der Bandkopf 7 in definierter Weise in das jeweils nächste Walzgerüst 2 einläuft. Auch ist es bezüglich des Bandfußes 8 möglich, die Gerüstdaten G der Walzgerüste 2 derart zu ermitteln, dass der Bandfuß 8 beim Auslaufen aus einem der Walzgerüste 2 möglichst wenig ausschlägt. In diesen beiden Fällen wird also die Seitenlage des Metallbandes 1 bei der Ermittlung der Gerüstdaten G berücksichtigt. Auch in diesem Fall beeinflussen die entsprechenden Gerüstdaten G die Profile der Walzspalte 11 der Walzgerüste 2.

[0094] Zusammengefasst betrifft die vorliegende Erfindung somit folgenden Sachverhalt:

Ein Metallband 1 wird nacheinander in mehreren Walzgerüsten 2 gewalzt. Das Walzen in den Walzgerüsten 2 wird mittels jeweiliger Walzgerüstmodelle 9 modelliert, das Profil- und Planheitsverhalten zwischen den Walzgerüsten 2 und der Transport des Metallbandes 1 von Walzgerüst 2 zu Walzgerüst 2 mittels Bandstückmodellen 10. Den Walzgerüstmodellen 9 werden das Profil eines jeweiligen Walzspaltes 11 beeinflussende Gerüstdaten G und eine jeweilige Walzgeschwindigkeit v zugeführt. Den Walzgerüstmodellen 9 wird für den jeweils gewalzten Abschnitt des Metallbandes 1 jeweils ortsaufgelöst über die Bandbreite b ein einlaufseitiger Spannungszustand SE und ein auslaufseitiger Spannungszustand SA sowie ein einlaufseitiges Profil PE zugeführt. Sie ermitteln daraus jeweils ortsaufgelöst über die Bandbreite b jeweils eine einlaufseitige Geschwindigkeit v_E , eine auslaufseitige Geschwindigkeit v_A und ein auslaufseitiges Profil PA. Anhand des auslaufseitigen Profils PA und der auslaufseitigen Geschwindigkeit v_A werden eine mittlere Banddicke d_M und eine mittlere Länge IM ermittelt. Ein entsprechender Abschnitt wird vom nachfolgenden Bandstückmodell 10 an den von diesem Bandstückmodell 10 modellierten Bereich des Metallbandes 1 angesetzt. Dem Abschnitt wird das ermittelte auslaufseitige Profil PA zugeordnet. Den Bandstückmodellen 10 wird ferner ortsaufgelöst über die Bandbreite b die Geschwindigkeit v_E des in das jeweils nachgeordnete Walzgerüst 2 einlaufenden Abschnitts des Metallbandes 1 zugeführt. Sie verkürzen den jeweils modellierten Bereiche des Metallbandes 1 zum nachgeordneten Walzgerüst 2 hin ortsaufgelöst über die Bandbreite b um einen zur jeweiligen einlaufseitigen Geschwindigkeit v_E proportionalen Abschnitt. Die Bandstückmodelle 10 ermitteln anhand der den Abschnitten des Metallbandes 1 zugeordneten Profile P und Spannungszustände S, des Profils PA und der Geschwindigkeit v_A des aus dem vorgeordneten Walzgerüst 2 auslaufenden Abschnitts sowie der Geschwindigkeit v_E des in das nachgeordnete Walzgerüste 2 einlaufenden Abschnitts ortsaufgelöst über die Bandbreite b

und die Bandlänge neue Spannungszustände S. Die Vorgehensweise wird iteriert, bis sich eine Konvergenz ergibt. Die Bandstückmodelle 10 ermitteln sodann anhand der den Abschnitten zugeordneten Spannungszustände S ortsaufgelöst in Bandlaufrichtung x die Seitenlage des Metallbandes 1. Die Seitenlage des Metallbandes 1 wird ortsaufgelöst in Bandlaufrichtung x einem Bediener 13 der Walzstraße visualisiert. Alternativ oder zusätzlich werden ortsaufgelöst über die Bandbreite b und in Bandlaufrichtung x die Spannungszustände S des Metallbandes 1 visualisiert. Alternativ oder zusätzlich werden die Ergebnisse im Rahmen der Ermittlung der die Profile der Walzspalte 11 der Walzgerüste 2 beeinflussenden Gerüstdaten G verwendet.

[0095] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ist es möglich, das reale Verhalten des Metallbandes 1 nahezu perfekt zu modellieren und anhand der modellierten Ergebnisse Größen abzuleiten, die im realen Walzprozess messtechnisch nicht erfassbar sind.

[0096] 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 Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

30 Bezugszeichenliste

[0097]

1	Metallband
2	Walzgerüste
3	Steuereinrichtung
4	Computerprogramm
5	Maschinencode
6	Datenträger
7	Bandkopf
8	Bandfuß
9	Walzgerüstmodelle
10	Bandstückmodelle
11	Walzspalt
12	Walzen
13	Bediener
14	Zellen
15	Schlingenheber
16	angesetzte Abschnitte
17	Bandpunkte
b	Bandbreite
d, d_M	Banddicken
F	Merker
F^*	Vorverzerrung
G	Gerüstdaten
i, j	Einheitsvektoren
L	Länge des modellierten Bereichs des Metallbandes

IM	mittlere Länge	
LK, QK	Kopplungen	
P, PA, PE, P*	Profile	
s	Stellung des Schlingenhebers	
S, SE, SA, S*	Spannungszustände	5
S1 bis S19	Schritte	
u	Verschiebungen	
ux, uy	Komponenten der Verschiebungen	
v, vA, vE	Geschwindigkeiten	
vM	mittlere Geschwindigkeit	10
x	Bandlaufrichtung	
xi	vorbestimmte Positionen in Bandlaufrichtung	
y	Bandbreitenrichtung	15

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Walzstraße,

- a) wobei ein eine Bandbreite (b) aufweisendes Metallband (1) nacheinander in mehreren aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) der Walzstraße gewalzt wird, 20
- b) wobei mittels den Walzgerüsten (2) zugeordneter Walzgerüstmodelle (9) jeweils das Walzen des Metallbandes (1) in dem jeweiligen Walzgerüst (2) modelliert wird, 25
- c) wobei mittels den Bereichen zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) zugeordneter Bandstückmodelle (10) jeweils das Profil- und Planheitsverhalten eines zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) befindlichen Bereichs des Metallbandes (1) und der Transport des Metallbandes (1) vom jeweils vorgeordneten Walzgerüst (2) zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst (2) modelliert wird, 30
- d) wobei den Walzgerüstmodellen (9) das Profil eines Walzspaltes (11) des jeweiligen Walzgerüsts (2) beeinflussende Gerüstdaten (G) und eine Walzgeschwindigkeit (v) des jeweiligen Walzgerüsts (2) zugeführt werden, 35
- e) wobei den Walzgerüstmodellen (9) für einen im jeweiligen Walzgerüst (2) gewalzten jeweiligen Abschnitt des Metallbandes (1) jeweils orts aufgelöst über die Bandbreite (b) ein einlaufseitiger Spannungszustand (SE) und ein auslaufseitiger Spannungszustand (SA) sowie ein einlaufseitiges Profil (PE) zugeführt werden, 40
- f) wobei die Walzgerüstmodelle (9) anhand der ihnen zugeführten Daten (v, G, SE, SA, PE) für den im jeweiligen Walzgerüst (2) gewalzten Abschnitt des Metallbandes (1) jeweils orts aufgelöst über die Bandbreite (b) jeweils eine einlaufseitige Geschwindigkeit (vE), eine auslaufseitige Geschwindigkeit (vA) und ein auslaufseitiges Profil (PA) ermitteln, 45
- 50
- 55

g) wobei anhand der auslaufseitigen Profile (PA) und der auslaufseitigen Geschwindigkeiten (vA) der in den Walzgerüsten (2) gewalzten Abschnitte des Metallbandes (1) auslaufseitig eine jeweilige mittlere Banddicke (dM) und eine jeweilige mittlere Länge (IM) der jeweiligen Abschnitte des Metallbandes (1) ermittelt werden, h) wobei die Bandstückmodelle (10) an den von ihnen jeweils modellierten Bereich des Metallbandes (1) zum jeweils vorgeordneten Walzgerüst (2) hin einen jeweiligen Abschnitt mit der für das jeweils vorgeordnete Walzgerüst (2) auslaufseitig ermittelten mittleren Banddicke (dM) und mittleren Länge (IM) ansetzen, i) wobei weiterhin den Bandstückmodellen (10) orts aufgelöst über die Bandbreite (b) Profile (PA) und Geschwindigkeiten (vA) der aus den jeweils vorgeordneten Walzgerüsten (2) auslaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) zugeführt werden, j) wobei die Bandstückmodelle (10) dem jeweils angesetzten Abschnitt orts aufgelöst über die Bandbreite (b) das vom jeweils vorgeordneten Walzgerüstmodell (9) ermittelte auslaufseitige Profil (PA) zuordnen, k) wobei den Bandstückmodellen (10) orts aufgelöst über die Bandbreite (b) die Geschwindigkeiten (vE) der in die jeweils nachgeordneten Walzgerüste (2) einlaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) zugeführt werden, l) wobei die Bandstückmodelle (10) die von ihnen jeweils modellierten Bereiche des Metallbandes (1) zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst (2) hin orts aufgelöst über die Bandbreite (b) um einen zur jeweiligen einlaufseitigen Geschwindigkeit (vE) proportionalen Abschnitt verkürzen, m) wobei die Bandstückmodelle (10) anhand der den Abschnitten des von ihnen jeweils modellierten Bereichs des Metallbandes (1) zugeordneten Profile (P) und Spannungszustände (S), der Profile (PA) und Geschwindigkeiten (vA) der aus den jeweils vorgeordneten Walzgerüsten (2) auslaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) sowie der Geschwindigkeiten (vE) der in die jeweils nachgeordneten Walzgerüste (2) einlaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) orts aufgelöst über die Bandbreite (b) und die Bandlänge neue Spannungszustände (S) ermitteln und den Abschnitten zuordnen, n) wobei ausgehend vom Schritt m) der Schritt k) rückgängig gemacht wird und erneut die Schritte e) und f), sodann wieder die Schritte i) bis m) usw. ausgeführt werden, bis sich im Schritt f) eine Konvergenz zu den im zuvor ausgeführten Schritt f) ermittelten Profilen (PA) und/oder Geschwindigkeiten (vA, vE) ergibt und/oder sich im Schritt m) eine Konvergenz zu

- den im zuvor ausgeführten Schritt m) ermittelten neuen Spannungszuständen (S) ergibt,
 o) wobei die Bandstückmodelle (10) anhand der den Abschnitten zugeordneten Spannungszustände (S) orts aufgelöst in Bandlaufrichtung (x) die Seitenlage des Metallbandes (1) ermitteln, p) wobei die Seitenlage des Metallbandes (1) orts aufgelöst in Bandlaufrichtung (x) und/oder orts aufgelöst über die Bandbreite (b) und in Bandlaufrichtung (x) die Spannungszustände (S) des Metallbandes (1) einem Bediener (13) der Walzstraße visualisiert werden und/oder im Rahmen der Ermittlung der die Profile der Walzspalte (11) der Walzgerüste (2) beeinflussenden Gerüstdaten (G) verwendet werden.
2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Bereich zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) ein Schlingenheber (15) angeordnet ist, dass die Stellung (s) des jeweiligen Schlingenhebers (15) den jeweiligen Bandstückmodellen (10) zusätzlich vorgegeben wird und dass die jeweiligen Bandstückmodelle (10) die Stellung (s) des jeweiligen Schlingenhebers (15) bei der Ermittlung der neuen Spannungszustände (S) des von ihnen modellierten Bereichs des Metallbandes (1) berücksichtigen.
3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Walzgerüstmodelle (9) und die Bandstückmodelle (10) ausschließlich durch die den Walzgerüstmodellen (9) von den Bandstückmodellen (10) zugeführten Spannungszustände (SE, SA) und Profile (PE) und die den Bandstückmodellen (10) von den Walzgerüstmodellen (9) zugeführten Geschwindigkeiten (vE, vA) und Profile (PA) miteinander gekoppelt sind und im übrigen voneinander unabhängig sind.
4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die resultierenden Spannungszustände (S) der Abschnitte des Metallbandes (1) dem Bediener (13) der Walzstraße farbcodiert visualisiert werden.
5. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Profil des Walzspaltes (11) des jeweiligen Walzgerüsts (2) beeinflussenden Gerüstdaten (G), immer bezogen auf das jeweilige Walzgerüst (2), mindestens eine der Größen mittlere Anstellung, Differenzanstellung zwischen Bedienseite und Antriebsseite, Walzenbiegung, axiale Walzenverschiebung, Walzenschliff, Walzenverschleiß und thermisches Profil umfassen.
6. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Materialeigenschaften, Seitenlage und Profil des Metallbandes (1) vor dem von dem Metallband (1) zuerst durchlaufenen Walzgerüst (2a) der Walzstraße vorgegeben werden.
7. Betriebsverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Materialeigenschaften und das Profil des Metallbandes (1) vor dem von dem Metallband (1) zuerst durchlaufenen Walzgerüst (2a) der Walzstraße als Funktionen über die Bandlänge des Metallbandes (1) vorgegeben werden.
8. Computerprogramm, das Maschinencode (5) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (3) für eine Walzstraße abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (5) durch die Steuereinrichtung (3) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (3) die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.
9. Steuereinrichtung für eine Walzstraße, wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (4) nach Anspruch 8 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 betreibt.
10. Walzstraße zum Walzen eines Metallbandes (1),
- wobei die Walzstraße mehrere Walzgerüste (2) aufweist,
 - wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung (3) aufweist, welche die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 betreibt.
- Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.**
1. Betriebsverfahren für eine Walzstraße,
- a) wobei ein eine Bandbreite (b) aufweisendes Metallband (1) nacheinander in mehreren aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) der Walzstraße gewalzt wird,
 - b) wobei mittels den Walzgerüsten (2) zugeordneter Walzgerüstmodelle (9) jeweils das Walzen des Metallbandes (1) in dem jeweiligen Walzgerüst (2) modelliert wird,
 - c) wobei mittels den Bereichen zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) zugeordneter Bandstückmodelle (10) jeweils das Profil- und Planheitsverhalten eines zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) befindlichen Bereichs des Metallbandes (1) und der Transport des Metallbandes (1) vom jeweils vorgeordneten Walzgerüst (2)

zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst (2) modelliert wird,

d) wobei den Walzgerüstmodellen (9) das Profil eines Walzspaltes (11) des jeweiligen Walzgerüsts (2) beeinflussende Gerüstdaten (G) und eine Walzgeschwindigkeit (v) des jeweiligen Walzgerüsts (2) zugeführt werden,

e) wobei den Walzgerüstmodellen (9) für einen im jeweiligen Walzgerüst (2) gewalzten jeweiligen Abschnitt des Metallbandes (1) jeweils orts aufgelöst über die Bandbreite (b) ein einlaufseitiger Spannungszustand (SE) und ein auslaufseitiger Spannungszustand (SA) sowie ein einlaufseitiges Profil (PE) zugeführt werden,

f) wobei die Walzgerüstmodelle (9) anhand der ihnen zugeführten Daten (v, G, SE, SA, PE) für den im jeweiligen Walzgerüst (2) gewalzten Abschnitt des Metallbandes (1) jeweils orts aufgelöst über die Bandbreite (b) jeweils eine einlaufseitige Geschwindigkeit (vE), eine auslaufseitige Geschwindigkeit (vA) und ein auslaufseitiges Profil (PA) ermitteln,

g) wobei anhand der auslaufseitigen Profile (PA) und der auslaufseitigen Geschwindigkeiten (vA) der in den Walzgerüsten (2) gewalzten Abschnitte des Metallbandes (1) auslaufseitig eine jeweilige mittlere Banddicke (dM) und eine jeweilige mittlere Länge (lM) der jeweiligen Abschnitte des Metallbandes (1) ermittelt werden,

h) wobei die Bandstückmodelle (10) an den von ihnen jeweils modellierten Bereich des Metallbandes (1) zum jeweils vorgeordneten Walzgerüst (2) hin einen jeweiligen Abschnitt mit der für das jeweils vorgeordnete Walzgerüst (2) auslaufseitig ermittelten mittleren Banddicke (dM) und mittleren Länge (lM) ansetzen,

i) wobei weiterhin den Bandstückmodellen (10) orts aufgelöst über die Bandbreite (b) Profile (PA) und Geschwindigkeiten (vA) der aus den jeweils vorgeordneten Walzgerüsten (2) auslaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) zugeführt werden,

j) wobei die Bandstückmodelle (10) dem jeweils angesetzten Abschnitt orts aufgelöst über die Bandbreite (b) das vom jeweils vorgeordneten Walzgerüstmodell (9) ermittelte auslaufseitige Profil (PA) zuordnen,

k) wobei den Bandstückmodellen (10) orts aufgelöst über die Bandbreite (b) die Geschwindigkeiten (vE) der in die jeweils nachgeordneten Walzgerüste (2) einlaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) zugeführt werden,

l) wobei die Bandstückmodelle (10) die von ihnen jeweils modellierten Bereiche des Metallbandes (1) zum jeweils nachgeordneten Walzgerüst (2) hin orts aufgelöst über die Bandbreite (b) um einen zur jeweiligen einlaufseitigen Geschwindigkeit (vE) proportionalen Abschnitt ver-

kürzen,

m) wobei die Bandstückmodelle (10) anhand der den Abschnitten des von ihnen jeweils modellierten Bereichs des Metallbandes (1) zugeordneten Profile (P) und Spannungszustände (S), der Profile (PA) und Geschwindigkeiten (vA) der aus den jeweils vorgeordneten Walzgerüsten (2) auslaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) sowie der Geschwindigkeiten (vE) der in die jeweils nachgeordneten Walzgerüste (2) einlaufenden Abschnitte des Metallbandes (1) orts aufgelöst über die Bandbreite (b) und die Bandlänge neue Spannungszustände (S) ermitteln und den Abschnitten zuordnen,

n) wobei ausgehend vom Schritt m) der Schritt l) rückgängig gemacht wird und erneut die Schritte e) und f), sodann wieder die Schritte i) bis m) ausgeführt werden, bis sich im Schritt f) eine Konvergenz zu den im zuvor ausgeführten Schritt f) ermittelten Profilen (PA) und/oder Geschwindigkeiten (vA, vE) ergibt und/oder sich im Schritt m) eine Konvergenz zu den im zuvor ausgeführten Schritt m) ermittelten neuen Spannungszuständen (S) ergibt,

o) wobei die Bandstückmodelle (10) anhand der den Abschnitten zugeordneten Spannungszustände (S) orts aufgelöst in Bandlaufrichtung (x) die Seitenlage des Metallbandes (1) ermitteln,

p) wobei die Seitenlage des Metallbandes (1) orts aufgelöst in Bandlaufrichtung (x) und/oder orts aufgelöst über die Bandbreite (b) und in Bandlaufrichtung (x) die Spannungszustände (S) des Metallbandes (1) einem Bediener (13) der Walzstraße visualisiert werden und/oder im Rahmen der Ermittlung der die Profile der Walzspalte (11) der Walzgerüste (2) beeinflussenden Gerüstdaten (G) verwendet werden.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Bereich zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Walzgerüsten (2) ein Schlingenheber (15) angeordnet ist, dass die Stellung (s) des jeweiligen Schlingenhebers (15) den jeweiligen Bandstückmodellen (10) zusätzlich vorgegeben wird und dass die jeweiligen Bandstückmodelle (10) die Stellung (s) des jeweiligen Schlingenhebers (15) bei der Ermittlung der neuen Spannungszustände (S) des von ihnen modellierten Bereichs des Metallbandes (1) berücksichtigen.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Walzgerüstmodelle (9) und die Bandstückmodelle (10) ausschließlich durch die den Walzgerüstmodellen (9) von den Bandstückmodellen (10) zugeführten Spannungszustände (SE, SA) und Profile (PE) und die den Bandstückmodellen (10) von den Walzgerüstmodellen (9) zugeführten Geschwindigkeiten (vE, vA) und Profile

(PA) miteinander gekoppelt sind und im übrigen voneinander unabhängig sind.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die resultierenden Spannungszustände (S) der Abschnitte des Metallbandes (1) dem Bediener (13) der Walzstraße farb-codiert visualisiert werden. 5

5. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Profil des Walzspaltes (11) des jeweiligen Walzgerüsts (2) beeinflussenden Gerüstdaten (G), immer bezogen auf das jeweilige Walzgerüst (2), mindestens eine der Größen mittlere Anstellung, Differenzanstellung zwischen Bedienseite und Antriebsseite, Walzenbiegung, axiale Walzenverschiebung, Walzenschliff, Walzenverschleiß und thermisches Profil umfassen. 10
15
20

6. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Materialeigenschaften, Seitenlage und Profil des Metallbandes (1) vor dem von dem Metallband (1) zuerst durchlaufenen Walzgerüst (2a) der Walzstraße vorgegeben werden. 25

7. Betriebsverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Materialeigenschaften und das Profil des Metallbandes (1) vor dem von dem Metallband (1) zuerst durchlaufenen Walzgerüst (2a) der Walzstraße als Funktionen über die Bandlänge des Metallbandes (1) vorgegeben werden. 30

8. Computerprogramm, das Maschinencode (5) umfasst, der von einer Steuereinrichtung (3) für eine Walzstraße abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (5) durch die Steuereinrichtung (3) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (3) die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt. 35
40

9. Steuereinrichtung für eine Walzstraße, wobei die Steuereinrichtung mit einem Computerprogramm (4) nach Anspruch 8 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 betreibt. 45

10. Walzstraße zum Walzen eines Metallbandes (1), 50
 - wobei die Walzstraße mehrere Walzgerüste (2) aufweist,
 - wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung (3) aufweist, welche die Walzstraße gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 betreibt. 55

FIG 1

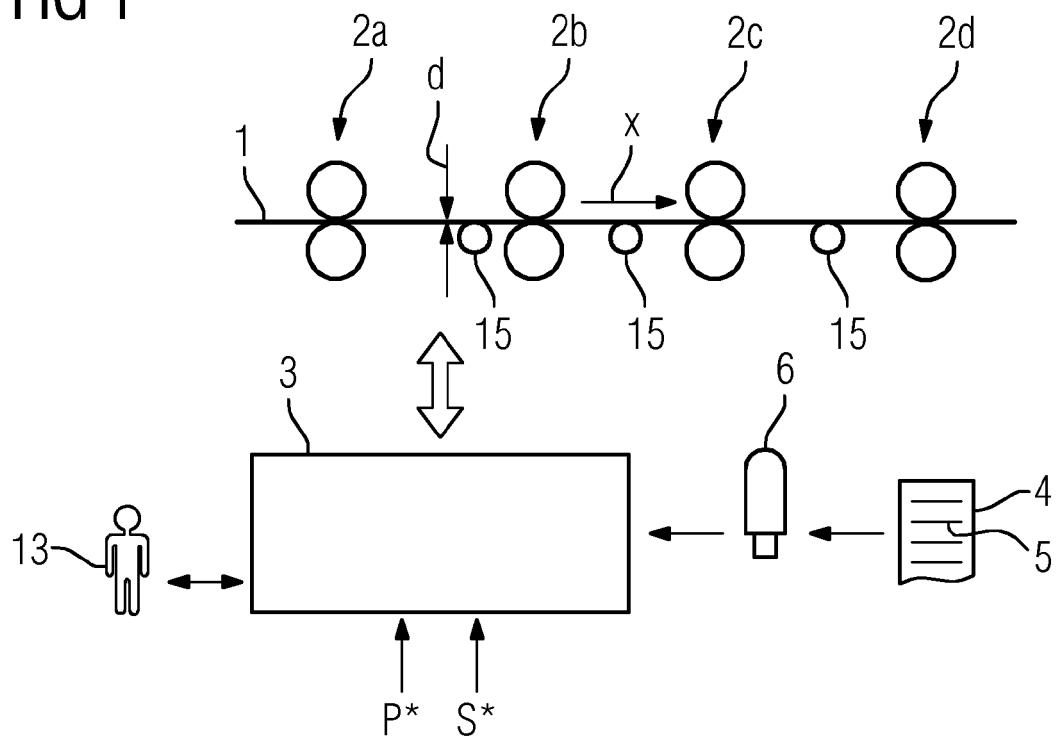


FIG 2

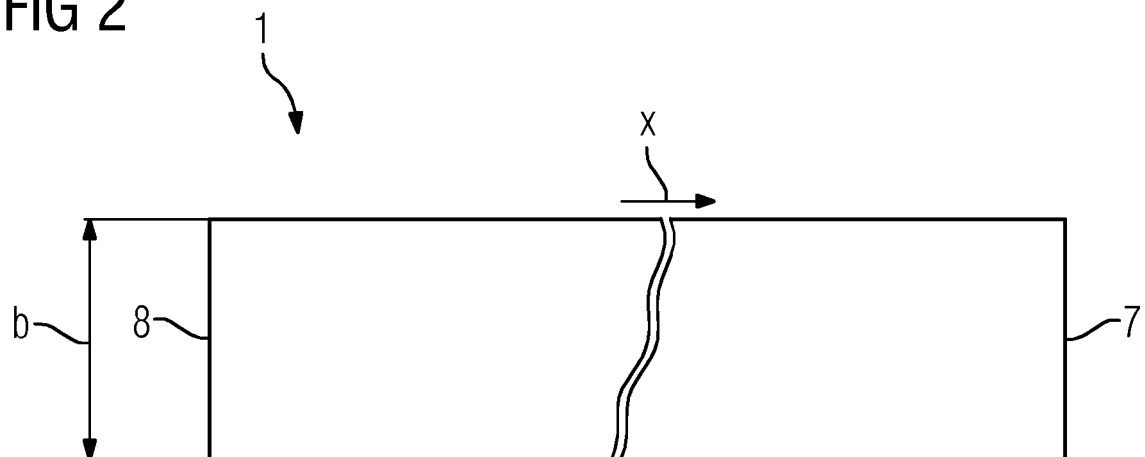


FIG 3

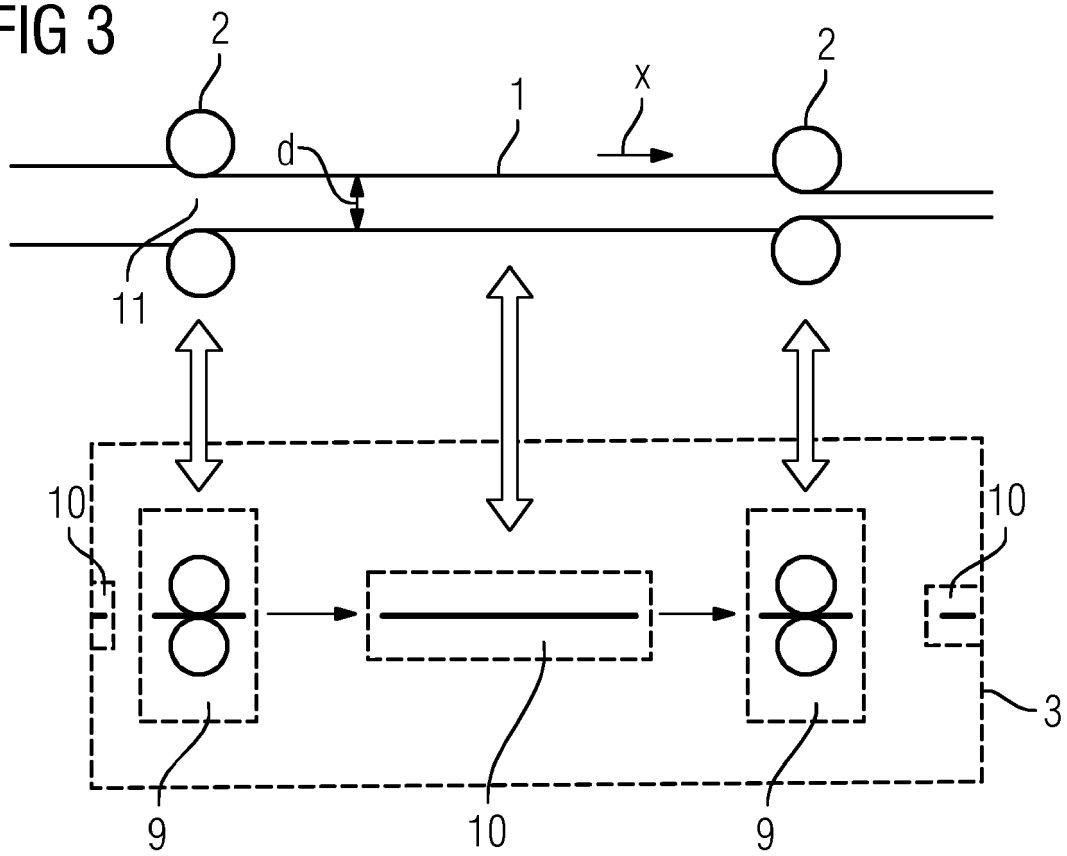


FIG 4

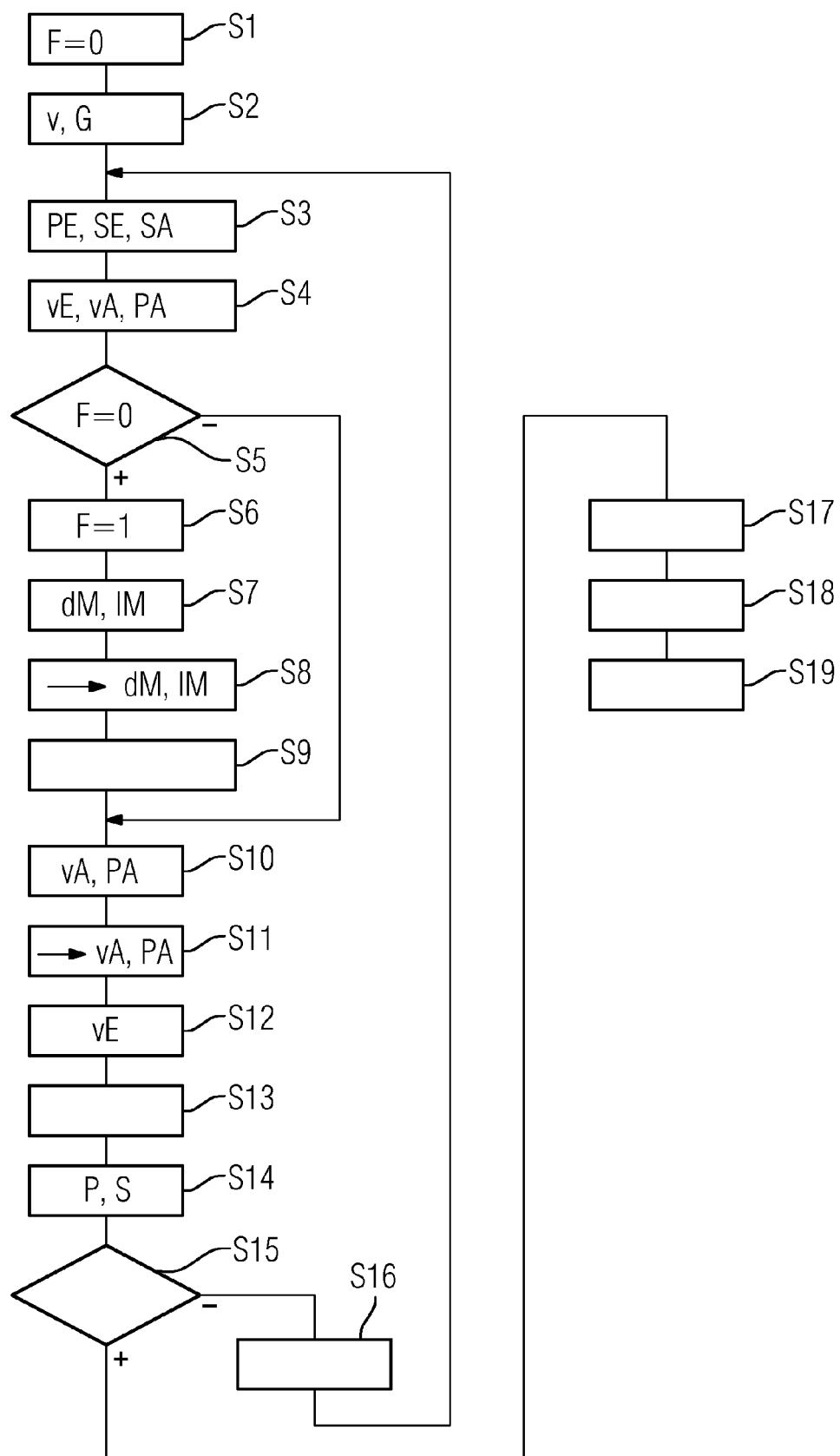


FIG 5

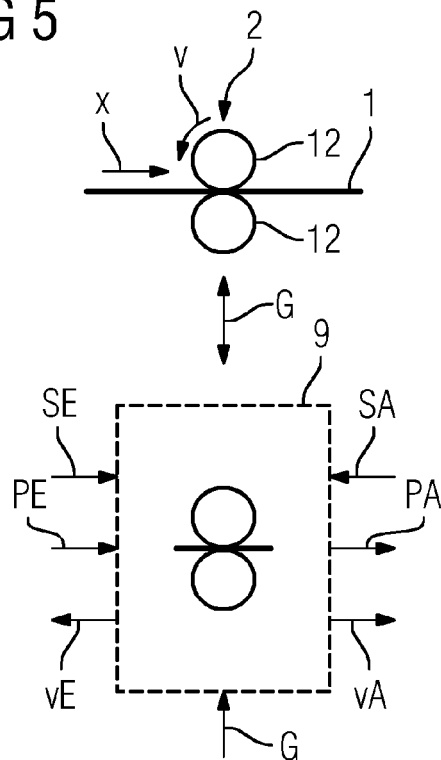


FIG 6

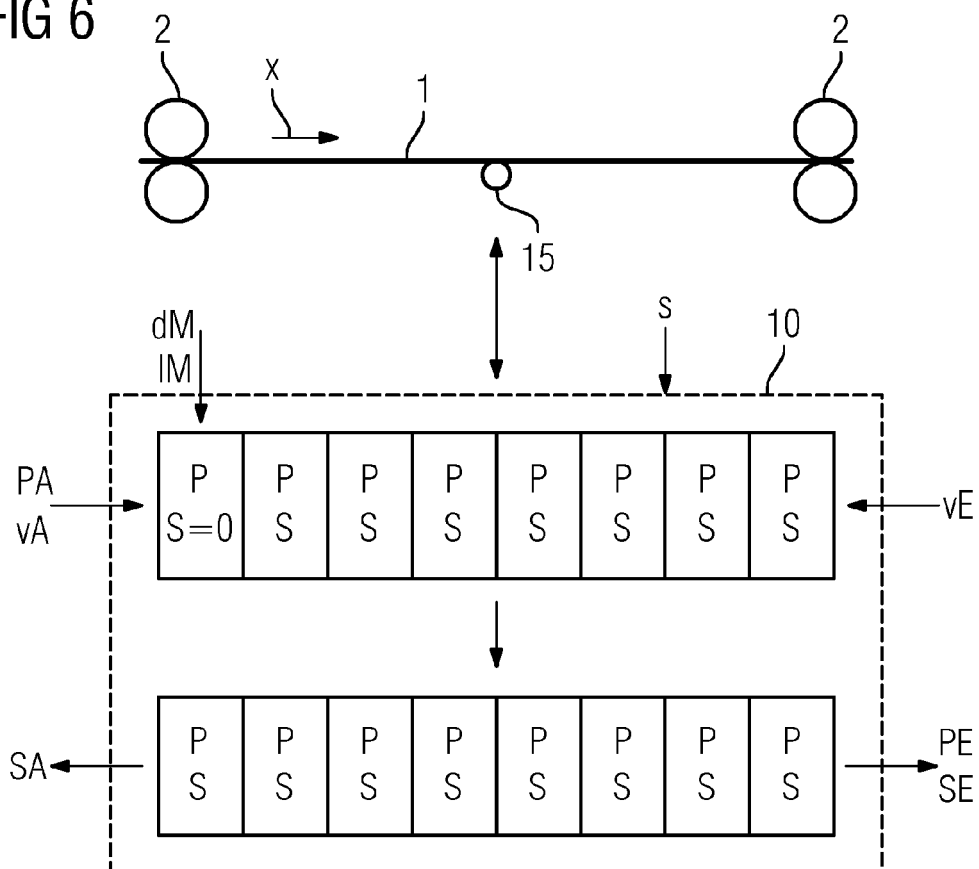


FIG 7

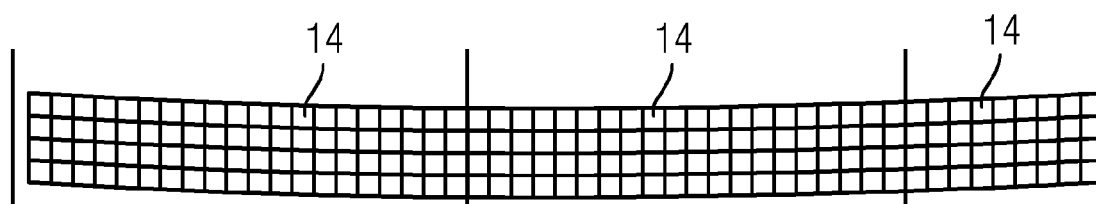


FIG 8

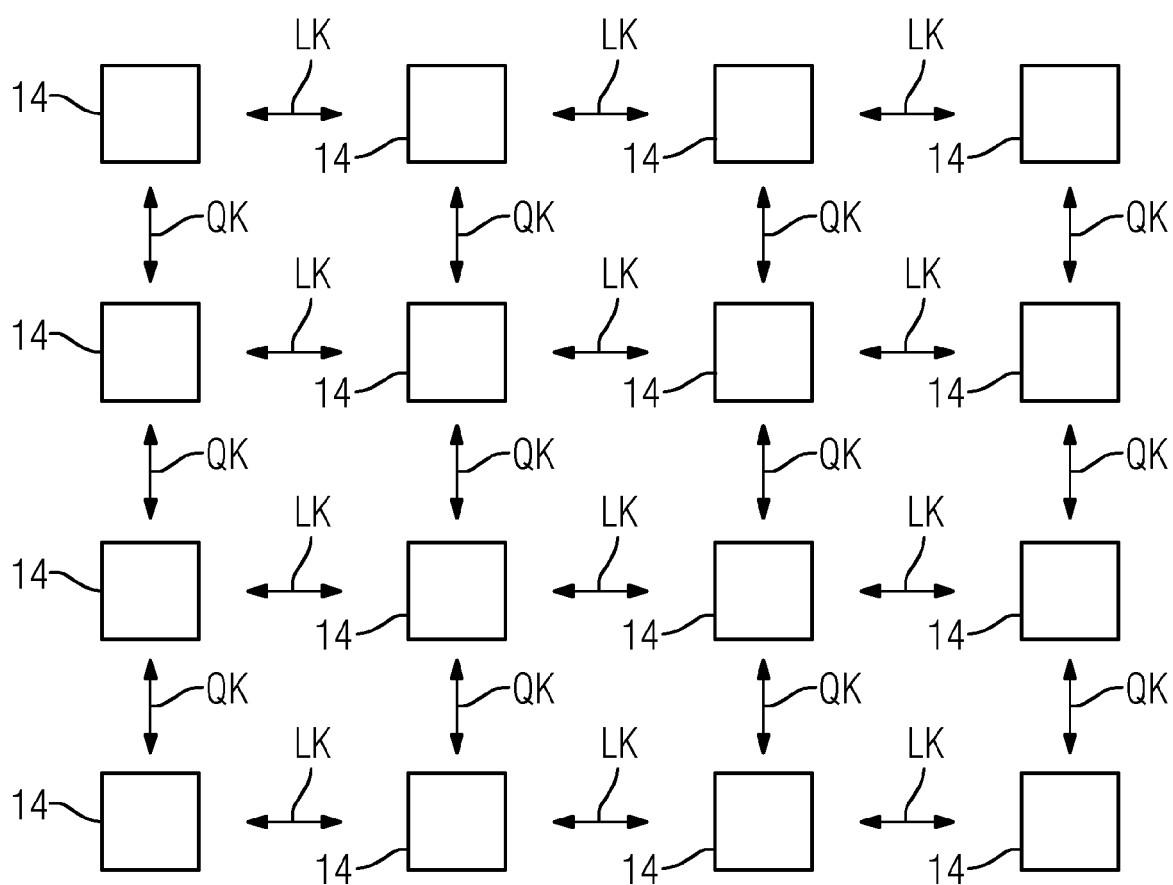


FIG 9

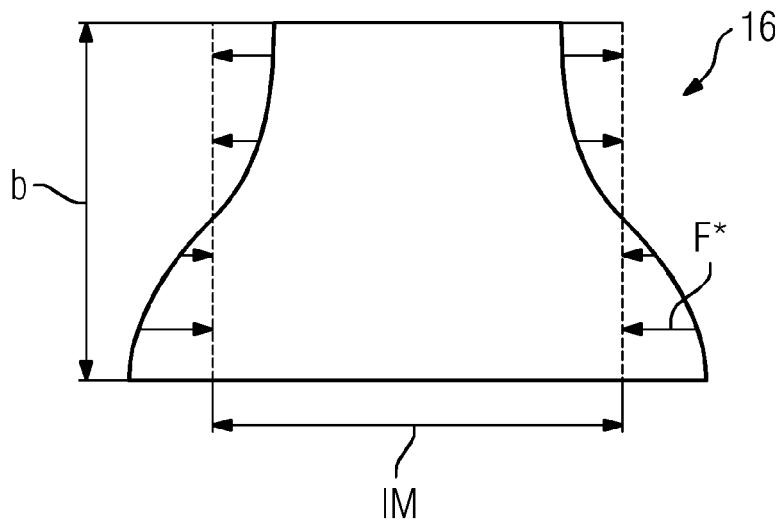


FIG 10

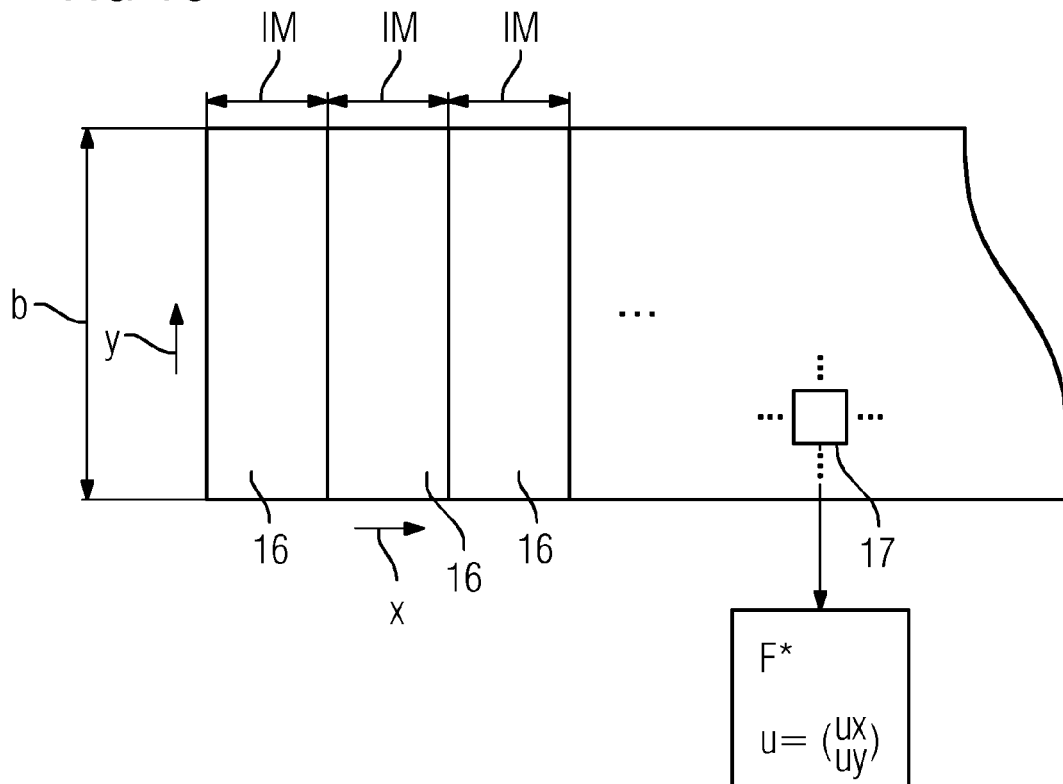


FIG 11

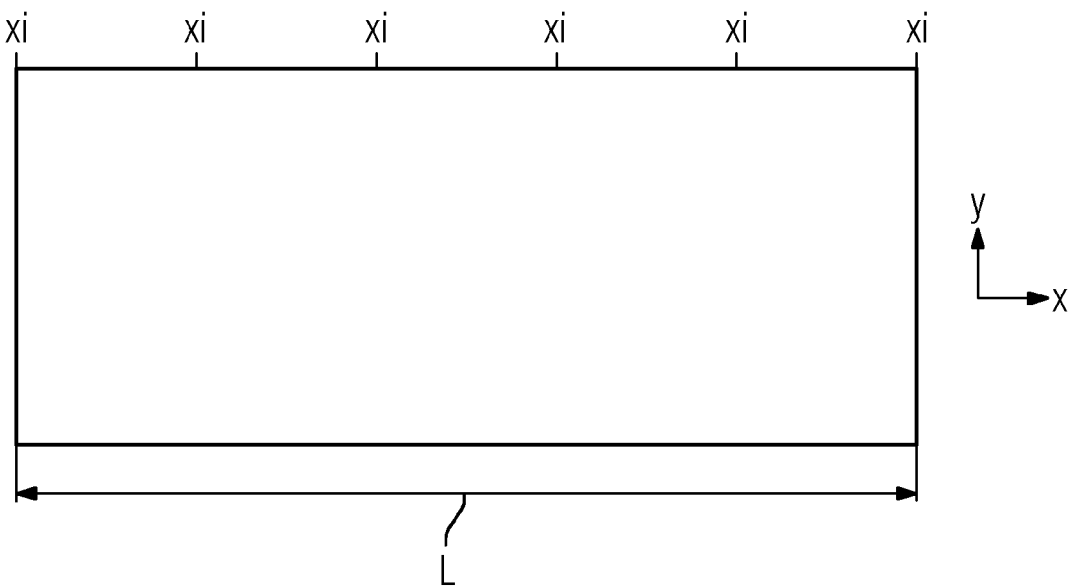
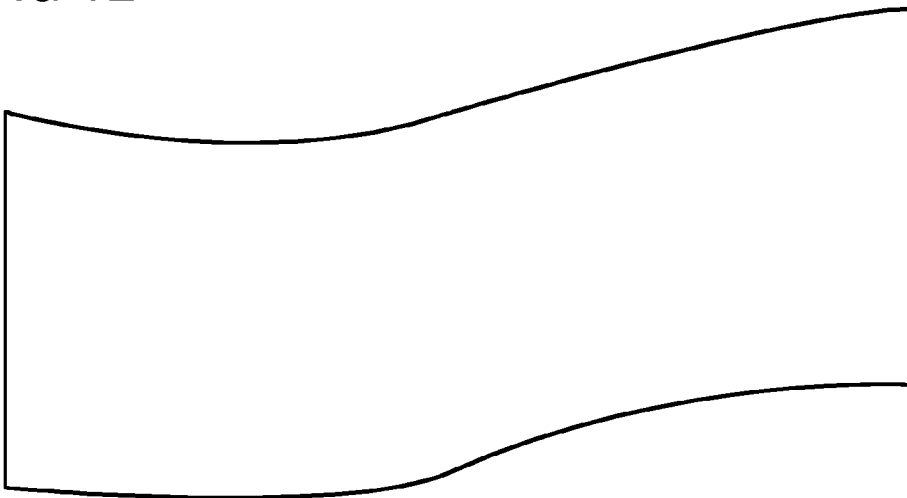


FIG 12





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 15 18 8683

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A,D	DE 102 11 623 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16. Oktober 2003 (2003-10-16) * Ansprüche 1-31; Abbildungen 1-8 *	1-10	INV. B21B37/00
A	DE 40 40 360 A1 (SIEMENS AG [DE]) 27. Juni 1991 (1991-06-27) * Ansprüche 1-12; Abbildungen 1-3 *	1-10	
A	EP 2 280 324 A1 (SIEMENS AG [DE]) 2. Februar 2011 (2011-02-02) * Abbildungen 1-9; Beispiele 1-15 *	1-10	
A	AUZINGER D ET AL: "NEUE ENTWICKLUNGEN BEI PROZESSMODELLEN FUER WERMBREITBANDSTRASSEN", STAHL UND EISEN, VERLAG STAHL EISEN, DUSSELDORF, DE, Bd. 116, Nr. 7, 15. Juli 1996 (1996-07-15), Seiten 59-65, 131, XP000629440, ISSN: 0340-4803 * das ganze Dokument *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 22. Dezember 2015	Prüfer Forciniti, Marco
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 15 18 8683

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

22-12-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10211623 A1	16-10-2003	DE 10211623 A1	16-10-2003
		DE 10324679 A1	23-12-2004
DE 4040360 A1	27-06-1991	DE 4040360 A1	27-06-1991
		JP H04288917 A	14-10-1992
EP 2280324 A1	02-02-2011	CN 102473002 A	23-05-2012
		EP 2280324 A1	02-02-2011
		EP 2452234 A1	16-05-2012
		WO 2011003764 A1	13-01-2011

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10211623 A1 [0005] [0050]
- US 7031797 B2 [0005] [0050]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **OROWAN.** The Calculation of Roll Pressure in Hot and Cold Flat Rolling. *Proceedings Institute of Mechanical Engineers*, 1943, vol. 150 [0014]
- **SPOONER ; BRIAN.** Analysis of Shape and Discussion of Problems of Scheduling, Setup and Shape Control. *The Metal Society, Shape Control Conference*, April 1976 [0014]
- **TELLMAN ; HEESSEN.** Improved Crown Performance at Hoogovens' Hot Strip Mill. *6th International Rolling Conference*, Juni 1994 [0014]
- 3D Modelling Concepts in Hot Strip Rolling. **ERIK PARTEDER ; ALEXANDER KAINZ ; GERALD HEIN ; KLAUS ZEMAN.** Berg- und Hüttenmännische Monatshefte (BHM), in Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. Springer, November 2007, vol. 152, 367-371 [0083]
- **O.C. ZIENKIEWICZ ; P.C. JAIN ; E. ONATE.** Flow of solids during forming and extrusion: Some aspects of numerical solutions. *International Journal of Solids and Structures*, 1978, vol. 14 (1), ISSN 0020-7683, 15-38, [http://dx.doi.org/10.1016/0020-7683\(78\)90062-8](http://dx.doi.org/10.1016/0020-7683(78)90062-8) [0083]