

(19)



(11)

EP 4 311 606 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
31.01.2024 Patentblatt 2024/05

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B21B 37/22 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23184746.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**B21B 37/22; B21B 1/24; B21B 1/26; B21B 37/72;
B21B 38/04; B21B 2261/06; B21B 2263/10;
B21B 2263/12; B21B 2263/20**

(22) Anmeldetag: **11.07.2023**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Haschke, Thomas**
57319 Bad Berleburg (DE)
• **Huge, Thorsten**
57223 Kreuztal (DE)
• **Jung, Jung**
57072 Siegen (DE)

(30) Priorität: **26.07.2022 DE 102022207656**

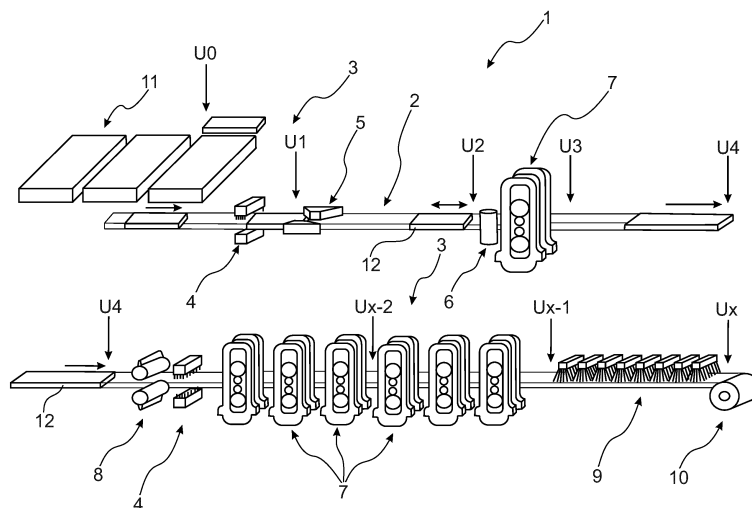
(74) Vertreter: **Klüppel, Walter**
Hemmerich & Kollegen
Patentanwälte
Hammerstraße 2
57072 Siegen (DE)

(71) Anmelder: **SMS Group GmbH**
40237 Düsseldorf (DE)

(54) VERFAHREN ZUR REGELUNG EINER WALZSTRASSE SOWIE WALZSTRASSE

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Walzstraße (1) sowie eine Walzstraße, in der ein metallenes Walzgut, vorzugsweise in Form von Brammen (12) und Ingots, in einem oder mehreren Walzstichen in Aggregaten der Walzstraße unter Breiten- und/oder Dickenabnahme zu einem konfektionierten Metallband als Endprodukt umgeformt wird, wobei das Verfahren die Regelung einzelner Aggregate der Walzstraße mittels einer übergeordneten Prozessautomation umfasst und wobei das Verfahren ein Messen und Erfassen einer Ist-Geometrie des Walzguts an wenigstens einer Messstelle wenigstens vor und/oder nach einem Um-

formschritt in einem Aggregat der Walzstraße und das Berechnen einer zu erwartenden Geometrie des Walzguts unter Verwendung eines computergestützten Prozessmodells, welches das insbesondere randnahe Fließverhalten des Walzguts unter einer gegebenen Verformungseinwirkung modelliert, und das Ableiten angepasster Arbeitsgrößen für wenigstens einen Umformvorgang umfasst, wenn die Abweichung der modellbasiert ermittelten erwarteten Geometrie von der messtechnisch erfassten Soll-Geometrie außerhalb einer gegebenen Fehlertoleranz liegt.

**Fig. 1****EP 4 311 606 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Walzstraße, in der ein metallenes Walzgut, vorzugsweise in Form von Brammen oder Ingots, in einem oder mehreren Walzstichen in Aggregaten der Walzstraße, beispielsweise in Horizontal- und Vertikalwalzgerüsten unter Dicken- und/oder Breitenabnahme zu einem konfektionierten Metallband als Endprodukt umgeformt wird, wobei das Verfahren die Regelung einzelner Aggregate der Walzstraße mittels einer übergeordneten Prozessautomation umfasst. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zur adaptiven Regelung einer Walzstraße.

[0002] Beim Warmwalzen von flachen, metallenen Materialien in Warmwalzstraßen werden beispielsweise Brammen aus Stahl mit Ausgangsdicken von 200 bis 250 mm auf Temperaturen um die 1250 °C erhitzt. Beim Walzen von Aluminium ist das Ausgangsmaterial (sogenannte Ingots) mit typischerweise bis zu 600 mm deutlich dicker. In einer Vorstraße für Stahlbänder werden die Brammen z. B. mithilfe von Vorgerüsten zu Vorbändern mit Vorbanddicken von beispielsweise 25 bis 55 mm und Vorbandtemperaturen im Bereich von 950 bis 1050° ausgewalzt. In einer Fertigstraße mit hintereinander angeordneten Fertigerüsten werden die Vorbänder zu fertigen Bändern mit typischen Enddicken von 0,9 bis 25,4 mm und Endwalztemperaturen von 850 bis 950 °C gewalzt. Diese werden dann beispielsweise zu sogenannten Coils konfektioniert.

[0003] Das Endprodukt in Form eines Blechbandes sollte neben weiteren vorgegebenen Eigenschaften idealerweise einen gleichmäßigen rechteckigen Querschnitt mit vorgegebenen Dimensionen (Breite und Dicke) aufweisen, wobei das Walzverfahren üblicherweise so geführt werden soll, dass das Endprodukt innerhalb der vorgegebenen Maßtoleranzen mit möglichst wenig Ausschuss und Materialverlusten durch Schopfen der Bandenden und Besäumen der Bandkanten bereitgestellt werden kann.

[0004] Beim Walzen von flachen, metallenen Materialien stellt sich naturgemäß an den Bandenden im Vergleich zum Bandfilet ein unterschiedlicher Materialfluss ein. Das Material hat an den Bandenden sowohl bei der Breiten- als auch bei der Dickenreduktion die Tendenz, eher in Längs- als in Breitenrichtung zu fließen. Dies führt in der Praxis bei der Breitenreduktion zur Entstehung von sogenannten Hundeknochen, die am Bandkopf und am Bandfuß entsprechend schwächer ausgeprägt sind als im Filet. Ohne geeignete Gegenmaßnahme führt das unterschiedliche Fließverhalten in Kombination mit den Hundeknochen dann beim Walzen zu Abweichungen von der Soll-Geometrie. Die Bandenden bilden sich z. B. in Form von Zungen am Kopf oder sogenannten Fischschwänzen am Fuß aus bzw. es kommt insbesondere an den Walzgutenden bzw. dem Übergang der Bandenden zum Filet zu Abweichungen von der Soll-Geometrie.

[0005] Häufig sind die Bandenden zudem asymmet-

risch bezogen auf die Symmetrielinie in mindestens einer Raumrichtung ausgeformt. Mit jeder weiteren Dicken- oder Breitenreduktion bilden sich solche Anomalien weiter aus, so dass die Brammen zunehmend von einer idealerweise rechteckigen Geometrie abweichen, die für einen stabilen Walzprozess anzustreben ist.

[0006] Nachdem das Vorband in der Vorstraße hergestellt wurde, werden die von der Sollbreite abweichenden Bandenden mit einer Schopfschere abgeschnitten, um für den nachfolgenden Walzprozess in der Fertigstraße wieder einen möglichst rechteckigen Querschnitt herzustellen. Je stärker die Anomalien am Bandkopf und am Bandfuß ausgeprägt sind, desto länger sind die Abschnitte des Bandes, die als Ausschuss anfallen.

[0007] Um dem entgegenzuwirken, ist es im Stand der Technik bekannt, die Breitenabnahme des Bandes in einer Stauchpresse und/oder einem Stauchgerüst in der Vorstraße mittels sogenannter Kurzhübe zu beeinflussen, sodass das Material bei der nachfolgenden Rückbereitung trotz der unterschiedlichen Bedingungen während der Umformung eine möglichst konstante Breite über die gesamte Brammenlänge aufweist. Meistens werden Breitenabweichungen hinter der Vorstraße oder erst nach dem Fertigwalzen erkannt, sodass eine entsprechende Anpassung von Arbeitsgrößen der Aggregate für die Breitenabnahme des Bandes erst für nachfolgende Produkte möglich ist.

[0008] Aus der DE 196 44 131 A1 ist ein Verfahren zur Optimierung der Bandbreitenverteilung an den Enden eines, eine Walzstraße in einem oder mehreren Stichen durchlaufenden Bandes, bekannt, bei welchem die Anstellposition von Stauchwalzen in jedem Stauchstich beim Durchlaufen der Bandenden entsprechend einer durch vorgegebene Fahrkurvenparameter beschriebenen Fahrkurve erstellt wird, wobei mittels eines neuronalen Netzes mit veränderbaren Netzparametern für jeden von aufeinanderfolgenden Stauchstichen in Abhängigkeit von Prozessparametern des Walzprozesses die Fahrkurvenparameter ermittelt werden. Dabei ist vorgesehen, die tatsächliche Breitenverteilung des Bandes nach dem Auslauf aus der Walzstraße zu ermitteln und mit einer Soll-Bandbreitenverteilung zu vergleichen. Aus dem Vergleich wird ein Breitenfehler ermittelt, der zur Adaption von Netzparametern in einer Fahrkurven-Berechnungseinrichtung herangezogen wird.

[0009] Dieses Verfahren berücksichtigt nur den Breitenfehler am Auslauf der Walzstraße und beschreibt keine Regelmechanismen für den laufenden Walzprozess.

[0010] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung einer Walzstraße bereitzustellen, in der Abweichungen des Metallbandes von einer Soll-Geometrie bei einer Kombination von Breiten- und Dickenreduktion möglichst minimiert werden. Insbesondere soll das Verfahren eine Optimierung der Prozessparameter bzw. Arbeitsgrößen von Umformvorgängen sowohl des laufenden Walzprozesses als auch des Walzprozesses für Walzvorgänge für zeitlich später die Walzstraße durchlaufende Brammen ermöglichen.

[0011] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch eine Walzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 14. Vorteilhaft ausgestaltungen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche erfasst.

[0012] Ein Gesichtspunkt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Walzstraße insbesondere einer Warmwalzstraße, in der ein metallenes Walzgut, vorzugsweise in Form von Brammen oder Ingots, das in einem oder mehreren Walzstichen in Aggregaten der Walzstraße unter Breiten- und/oder Dickenabnahme zu einem konfektionierten Metallband als Endprodukt umgeformt wird, wobei das Verfahren die Regelung einzelner Aggregate der Walzstraße mittels einer Prozessautomation unter Anwendung folgender Verfahrensschritte umfasst:

- a) Messen und Erfassen einer Ist-Geometrie des Walzguts an wenigstens einer Messstelle wenigstens vor und/oder nach einem Umformschritt in einem Aggregat der Walzstraße,
- b) Berechnen von Anfangswerten der Arbeitsgrößen des Walzprozesses aufgrund von vorgegebenen Anforderungen an die Geometrie des Endprodukts als Soll-Geometrie und unter Berücksichtigung der gemessenen Ist-Geometrie,
- c) Berechnen einer aufgrund der vorausberechneten Arbeitsgrößen zu erwartenden Geometrie des Walzguts unter Verwendung eines computergestützten Prozessmodells, welches das Fließverhalten des Walzguts unter einer gegebenen und/oder angenommenen Verformungseinwirkung modelliert,
- d) Vergleichen der modellbasiert berechneten erwarteten Geometrie des Walzguts mit der Soll-Geometrie des Walzguts,
- e) Ableiten angepasster Arbeitsgrößen für wenigstens einen Prozessschritt des Walzverfahrens, wenn die Abweichung der modellbasierten erwarteten Geometrie des Walzguts von der Soll-Geometrie des Walzguts außerhalb einer gegebenen Fehlertoleranz liegt,
- f) Wiederholen der Schritte b) bis e) so lange, bis die Abweichungen zwischen der Soll-Geometrie und der erwarteten Geometrie innerhalb der gegebenen Fehlertoleranz liegt und
- g) Regeln wenigstens eines Aggregats der Walzstraße unter Verwendung der abgeleiteten Arbeitsgrößen.

[0013] Die Prozessautomation der Walzstraße umfasst in bekannter Art und Weise verschiedene Automationsebenen, wobei die Automationsebene Level 0 ele-

mentare Funktionen der Antriebsregelung und Sensorik umfasst. Dazu gehören auch die Messwerterfassung und -sicherung. Die Funktion der Automationsebene Level 1 umfasst beispielsweise aktive Funktionen, die als Steuerungen oder Regelungen direkt in die technologischen Prozesse eingreifen. Entsprechende Regelungen sind die Dickenregelung und die Breitenregelung des Metallbandes bzw. der Aggregate, die dafür zuständig sind, eine Temperaturregelung, eine Regelung des Bandzuges in der Fertigstraße und Planheitsregler. Sollwert-Vorgaben für Regelungen der Level 1 Automation werden im Folgenden auch als Arbeitsgrößen des Walzvorgangs bezeichnet. Entsprechende Modelle für den Walzvorgang, die die Arbeitsgrößen für die Level 1 Automation berechnen, sind beispielsweise ein Stichplanmodell für Vor- und Fertigstraße, Profil-, Kontur- und Planheitsmodelle sowie Kühlstreckenmodelle. Diese können auf der Ebene der Level 2 Automation angesiedelt sein.

[0014] Das Verfahren gemäß der Erfindung umfasst in vorteilhafter Art und Weise eine iterative Berechnung von Arbeitsgrößen des Walzprozesses, insbesondere eine iterative Berechnung von Setzwerten bzw. Sollwerten für die Steuerung einzelner Aggregate der Walzstraße, die aus einem Soll-Ist Vergleich der vorgegebenen Geometrie des Endprodukts mit einer modellbasiert ermittelten erwarteten Geometrie des Walzguts resultiert, die unter Verwendung eines computergestützten Prozessmodells berechnet wird, welches das insbesondere randnahe Fließverhalten des Walzguts unter einer Verformungseinwirkung durch ein Aggregat der Walzstraße berechnet. Eine solche Verformungseinwirkung muss nicht notwendigerweise eine mechanische Verformung sein, sondern diese kann beispielsweise auch aus thermischer Beanspruchung resultieren.

[0015] Aggregate im Sinne der Erfindung sind bevorzugt beispielsweise eine Stauchpresse, ein oder mehrere Vertikalgerüste und ein oder mehrere Horizontalwalzgerüste. Eine Eingangsgröße in das Prozessmodell stellt eine gemessene Ist-Geometrie des Walzguts dar, die an einer oder mehreren Stellen der Walzstraße vorzugsweise unmittelbar vor und/oder unmittelbar nach einem Prozessschritt in einem Aggregat der Walzstraße erfasst wird.

[0016] Das Verfahren gemäß der Erfindung hat den Vorzug, dass sowohl eine Regelung der Aggregate stromaufwärts als auch stromabwärts einer Messstelle sowohl für den laufenden Walzvorgang als auch für zeitlich nachfolgende Walzvorgänge eines anderen folgenden Walzguts bewerkstelligt werden kann.

[0017] Die Begriffe Walzgut, Bramme, Ingot und Metallband werden im Folgenden synonym verwendet.

[0018] Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren abgeleiteten, optimierten Arbeitsgrößen bzw. optimierten Prozessparameter beziehen sich auf ein oder beliebig viele Prozessschritte oder Stationen des Walzprozesses.

[0019] Das erfindungsgemäß verwendete Prozess-

modell beschreibt insbesondere das randnahe Fließverhalten des Materials bzw. des Metallbandes auf der Basis einer Erfassung der Ist-Geometrie des Walzgutes und damit einhergehender Prozessparameter, wie z. B. der Temperatur.

[0020] Vorzugsweise ist die Regelung als adaptive Regelung ausgebildet, d. h., dass die durch das Verfahren abgeleiteten angepassten Arbeitsgrößen als Anfangswerte der Arbeitsgrößen des Walzprozesses eines folgenden Walzguts eingesetzt werden.

[0021] Vorzugsweise werden die iterativ abgeleiteten Arbeitsgrößen als Anfangswerte für die Umformung eines zeitlich nachfolgend umzuformenden Walzguts und/oder als Setzwerte für die Umformschritte des laufenden Walzguts verwendet. Diese können beispielsweise als Setzwerte für eine Level 1 und/oder Level 2 Automation verwendet werden.

[0022] Beispielsweise können die iterativ abgeleiteten Arbeitsgrößen als Setzwerte für die Bearbeitungsschritte des laufenden Walzguts vor und/oder nach einer Messstelle zur Erfassung der Ist-Geometrie des Walzguts verwendet werden.

[0023] Bei einer besonders bevorzugten Variante des Verfahrens gemäß der Erfindung ist vorgesehen, dass die iterativ abgeleiteten Arbeitsgrößen in das Prozessmodell zur Beschreibung des Fließverhaltens des Walzguts zurückgeführt werden. Das Prozessmodell, welches vorzugsweise auf einer Finite-Elemente-Simulation beruht, kann so in vorteilhafter Art und Weise laufend angepasst werden.

[0024] Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Verfahren eine automatische Ableitung von Arbeitsgrößen bzw. Prozessparametern des Walzvorgangs unter Zuhilfenahme wenigstens eines Expertensystems und/oder unter Anwendung von Verfahren, die auf Methoden des maschinellen Lernens basieren, insbesondere auf künstlichen neuronalen Netzen, tiefen künstlichen neuronalen Netzen, Entscheidungsbäumen, Ensemble-Methoden basierend auf Entscheidungsbäumen, linearen oder nichtlinearen Regressionsmodellen mit oder ohne Regularisierung, Support-Vector-Machines mit linearen, polynomialen oder anderen Kernel-Funktionen, oder dergleichen umfasst.

[0025] Bekannte Beispiele für die Ausbildung von Künstlicher Intelligenz als Künstliches Neuronales Netz bzw. Netzwerk (ANN für Artificial Neural Network) sind u. a. Bayes'sche Zuverlässigkeitsnetzwerke (Bayesian belief network), Entscheidungsbäume (decision tree), sog. hidden Markov-Modelle, fallorientierte Überlegung (case-based reasoning), k-nächste Nachbarn (k-next neighbors), sich selbst organisierende Karten (self-organizing maps), fallorientiertes Lernen (instance-based learning), Stützvektormaschinen (support vector machine), rekurrente neuronale Netze (RNN für recurrent neural network), tiefe neurale Netze (DNN für deep neural network) oder faltende neuronale Netze (CNN für convolutional neural network). Auch jede denkbare Kombination aus derartigen Ausbildungen kann zum Einsatz kom-

men.

[0026] Vorzugsweise wird die Ist-Geometrie des Walzguts mindestens an einem Brammenkopf (Walzgutkopf) und/oder an einem Brammenfuß (Walzgutfuß), besonders bevorzugt jedoch über die gesamte Länge der Brammen als Messprofil dreidimensional erfasst.

[0027] Besonders zweckmäßig ist es, wenn die Ist-Geometrie und/oder die Geschwindigkeit des Walzguts mittels wenigstens eines Radarsystems gemessen wird. Je nach verwendetem Verfahren ist beispielsweise durch eine dreidimensionale Erfassung der Walzgutgeometrie auch eine Ableitung der Geschwindigkeit des Walzguts, beispielsweise aufgrund charakteristischer geometrischer Merkmale des Walzguts möglich. Das daraus resultierende Geschwindigkeitssignal ist genauer als die sonst üblicherweise z. B. aus der Geschwindigkeit der Antriebe der Walzstraße abgeleitete Geschwindigkeit, bei der beispielsweise der Schlupf des Walzguts berücksichtigt werden muss.

[0028] Grundsätzlich kann im Rahmen der Erfindung auch eine zweidimensionale Erfassung der Walzgutgeometrie vorgesehen sein.

[0029] Radarbasierte Messverfahren zeichnen sich gegenüber beispielsweise optischen Messverfahren insbesondere aufgrund ihrer Unempfindlichkeit gegenüber den vor allem in einer Vorstraße herrschenden Umgebungsbedingungen mit Wasser, Dampf, Staub, Öl, Fett, hohen Temperaturen und dergleichen aus.

[0030] Besonders vorteilhaft und zweckmäßig ist es, wenn eine Messung der Ist-Geometrie des Walzguts mindestens unmittelbar vor und/oder hinter einer Breitenreduzierung des Walzguts erfolgt. Auf diese Art und Weise können die Arbeitsgrößen bzw. Prozessparameter des Walzprozesses sowohl für die der Messanordnung bzw. der Messstelle örtlich vorgelagerten als auch für die örtlich nachgelagerten Prozessschritte sowohl für das laufende Walzgut als auch für zeitlich nachfolgende Brammen entsprechend angepasst werden bzw. optimiert werden.

[0031] Besonders zweckmäßig ist es, wenn die abgeleiteten Arbeitsgrößen zur Steuerung der Kurzhübe einer Stauchpresse und/oder des bzw. der Vertikalgerüste einer Vorstraße und/oder zur Steuerung der Anstellbewegung des bzw. der Vertikalgerüste und/oder zur Steuerung der Anstellbewegung folgender Horizontalgerüste in einer Vor- und/oder Fertigstraße verwendet werden.

[0032] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird weiterhin gelöst durch eine Walzstraße für ein metallenes Walzgut, vorzugsweise in Form von Brammen oder Ingots, die in einem oder mehreren Walzstichen wenigstens in Vertikal- und/oder Horizontalwalzgerüsten unter Breiten- und/oder Dickenabnahme zu einem konfektionierten Metallband als Endprodukt umgeformt werden, mit einer Messanordnung zur Durchführung des Verfahrens in der vorstehend beschriebenen Art und Weise.

[0033] Die Messanordnung umfasst vorzugsweise wenigstens einen Radarsensor, besonders bevorzugt eine

Vielzahl von in einem Messfeld angeordneten Radarsensoren, mit denen vorzugsweise eine dreidimensionale Geometrie des Walzguts erfasst werden kann. Unter einem Radarsensor im Sinne der vorliegenden Patentanmeldung wird ein Sensor zur Erfassung der Materialgeometrie mithilfe von elektromagnetischen Wellen im Bereich von 1 mm bis 100 mm Wellenlänge verstanden. Mehrere Sensoren sind vorzugsweise in einem Messfeld innerhalb eines Messgeräts zusammengefasst angeordnet.

[0034] Die Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf ein in den Zeichnungen dargestelltes Ausführungsbeispiel erläutert.

[0035] Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Warmwalzstraße, die einer Regelung gemäß der Erfindung unterworfen ist,

Figur 2 ein Schema, welches den Ablauf des iterativen Verfahrens zur Bestimmung optimierter Arbeitsgrößen des Walzprozesses für stromabwärts einer Messstelle angeordnete Aggregate veranschaulicht und

Figur 3 ein Schema, welches den Ablauf des iterativen Verfahrens zur Bestimmung optimierter Arbeitsgrößen des Walzprozesses für stromaufwärts einer Messstelle vorgelagerte Aggregate veranschaulicht.

[0036] Das Verfahren gemäß der Erfindung wird nachstehend beispielhaft für die Regelung einer Warmwalzstraße 1 zum Walzen eines Walzguts aus Stahl beschrieben. Der Fachmann wird erkennen, dass das Verfahren gemäß der Erfindung nicht auf die Anwendung bei Warmwalzstraßen beschränkt ist, vielmehr kann das Verfahren gemäß der Erfindung in Walzstraßen jedweder Art ungeachtet der Art der umzuformenden Materialien Anwendung finden. Ebenso ist das Verfahren nicht auf ein Verfahren zum Walzen von Stahl beschränkt.

[0037] Die in Figur 1 exemplarisch dargestellte Warmwalzstraße 1 umfasst in bekannter Art und Weise eine Vorstraße 2 und eine Fertigstraße 3. Die Vorstraße 2 umfasst bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel einen Zunderwäscher 4, eine dem Zunderwäscher 4 nachgeschaltete Stauchpresse 5, ein Stauchgerüst bzw. ein Vertikalgerüst 6 und ein Horizontalwalzgerüst 7.

[0038] Die unterhalb der Vorstraße 2 schematisch dargestellte Fertigstraße 3, die mit der Vorstraße 2 in einer Walzlinie angeordnet ist und hier nur aus darstellungstechnischen Gründen unterhalb der Vorstraße 2 gezeichnet ist, umfasst eine Trommelschere 8, einen dieser nachgeordneten Zunderwäscher 4, eine Vielzahl von als Fertigerüste ausgebildeten Horizontalwalzgerüsten 7, eine Kühlstrecke 9 sowie einen Haspel 10 zum Aufwickeln eines fertig gewalzten Metallbandes zu einem Coil. Gleiche Bauteile sind ungeachtet dessen, ob diese in der

Vorstraße 2 oder in der Fertigstraße 3 angeordnet sind, mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

[0039] Der Vorstraße 2 sind bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel drei Wärmeöfen 11 vorgelagert, aus denen als Walzgut einzelne Brammen 12 der Vorstraße 2 zugeführt werden. Die Brammen 12 können zunächst in der Stauchpresse 5 in ihrer Breite reduziert werden, wobei durch gezielte Hübe am Kopf und am Fuß der Bramme 12 eine für den nachfolgenden Walzprozess vorteilhafte Geometrie erzeugt wird. Danach werden die Brammen 12 reversierend zunächst in dem Stauchgerüst 6 in der Breite und in dem unmittelbar nachgeschalteten Horizontalwalzgerüst 7 in der Dicke reduziert. Es findet also eine Kombination aus Breiten- und Dickenabnahme (Breitung und Rückbreitung) statt. Je nach Gestaltung des Walzprozesses kann eine Breitenreduktion in der Stauchpresse und/oder im Vertikalgerüst erfolgen. Das Stauchgerüst 6 und das Horizontalwalzgerüst 7 werden als kombinierte Einheit auch als Vorgerüst bezeichnet.

[0040] Die Warmwalzstraße 1 gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst eine Vielzahl von möglichen Positionen von Messgeräten U0 bis Ux, die an verschiedenen Stellen entlang der Walzlinie unmittelbar vor und/oder unmittelbar nach einem Aggregat (Wärmeofen, Stauchpresse, Stauchgerüst, Horizontalwalzgerüst) angeordnet sind. So kann beispielsweise ein erstes Messgerät U0 zur initialen Erfassung der Ist-Geometrie einer Bramme unmittelbar vor den Wärmeöfen 11 angeordnet sein. Die Anzahl der Messgeräte und/oder Messstellen U0 bis Ux ist für das Verfahren gemäß der Erfindung nicht kritisch. Die im Folgenden verwendeten Begriffe "hinter" oder "vor" oder "stromaufwärts" oder "stromabwärts" beziehen sich jeweils an der betrachteten Messstelle Ux auf die durch die Prozessführung vorgegebene Laufrichtung der Brammen 12 durch die Warmwalzstraße 1. Dieses Messgerät U0, wie auch alle anderen Messgeräte Ux sind erfindungsgemäß als Radarmessgeräte ausgebildet, die vorzugsweise über die gesamte Länge der betreffenden Bramme 12 wenigstens ein Höhen- und Breitenprofil erfassen und auswerten sowie aus den ermittelten Daten ebenfalls eine Geschwindigkeit der Bramme 12 innerhalb der Warmwalzstraße 1 ermitteln können.

[0041] Erfindungsgemäß ist eine iterative Ermittlung von optimierten Arbeitsgrößen bzw. Prozessparametern zur Regelung von 1-m einer Messstelle vorgelagerten und/oder 1-n einer Messstelle nachgelagerten Prozessparametern der Warmwalzstraße 1 vorgesehen. Solche Arbeitsgrößen können beispielsweise die Temperatur der Brammen 12 bzw. des Walzguts, die Steuerung der Kurzhübe der Stauchpresse 5 oder des Stauchgerüsts 6, die Breitenabnahme in der Stauchpresse 5 oder dem Stauchgerüst 6, der durch den Haspel 10 oder durch eine Bandschlinge aufgebaute Bandzug, der Walzenaufgang der nachgelagerten Horizontalwalzgerüste 7 und damit deren Dickenabnahme, die Antriebsgeschwindigkeit der Horizontalwalzgerüste 7, die Temperatur der Walzemulsion, die Temperaturführung in den Zunderwäschern 4

oder in der Kühlstrecke 9 sein. Die iterative Optimierung der Arbeitsgrößen erfolgt mithilfe eines auf einer Finite-Elemente-Analyse oder unter Verwendung eines auf anderen numerischen Verfahren basierenden computergetriebenen Prozessmodells zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens der Brammen 12 bzw. des Metallbandes/Walzguts unter Einwirkung von Verformungskräften, vornehmlich auf der Basis einer dreidimensionalen Erfassung der Ist-Geometrie des Walzguts.

[0042] Das beanspruchte Verfahren verwendet anfänglich vorgegebene Prozessparameter (Startwerte) und adaptierte Prozessparameter, z. B. aus einer übergeordneten Prozessautomation, als Eingangsgrößen für das Prozessmodell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens.

[0043] Durchläuft das Walzgut auf seiner Route durch die Walzstraße 1 eine Messstelle U, werden zusätzlich die Ist-Geometrie und optional weitere Zustandsgrößen der Bramme 12 wie z. B. die Geschwindigkeit des Walzguts erfasst und dem Prozessmodell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens zugeführt.

[0044] Aufgrund der berücksichtigten Arbeitsgrößen sowie der an einer Messstelle U0-Ux erfassten Ist-Geometrie sowie optional erfassten weiteren Zustandsgrößen des Walzguts wird unter Verwendung des Prozessmodells zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens eine zu erwartende Geometrie des Walzguts modelliert, die mit der Soll-Geometrie, z. B. gemäß Produktvorgabe bzw. Kundenvorgabe, verglichen wird. Aus diesem Vergleich erfolgt eine Ableitung angepasster Arbeitsgrößen für wenigstens einen Umformvorgang, vorzugsweise für alle Umformvorgänge und/oder für alle Aggregate der Warmwalzstraße 1, und zwar dann, wenn die Abweichung der modellbasiert ermittelten erwarteten Geometrie von der Soll-Geometrie außerhalb einer gegebenen Fehlertoleranz ε_{1-n} liegt. Die Verfahrensschritte der Berechnung bzw. Modellierung der erwarteten Geometrie, der Vergleich und das Ableiten neuer angepasster Arbeitsgrößen werden solange wiederholt, bis die Abweichungen innerhalb der gegebenen Fehlertoleranzen liegen.

[0045] Da die Arbeitsgrößen bzw. Prozessparameter des Walzprozesses sowohl für die der Messanordnung bzw. einer Messstelle U0-Ux örtlich vorgelagerten als auch für die örtlich nachgelagerten Prozessschritte entsprechend angepasst werden bzw. optimiert werden, werden im Folgenden die Abläufe für die Ermittlung von optimierten Arbeitsgrößen stromabwärts und stromaufwärts einer Messstelle U0-Ux getrennt voneinander dargestellt, wobei in Figur 2 der Ablauf der Optimierung für das laufende Walzgut und ein zeitlich im Anschluss daran zu bearbeitendes Walzgut bzw. eine zu bearbeitende Bramme stromabwärts einer Messstelle für alle möglichen Messstellen beschrieben wird.

[0046] Wie in Figur 2 dargestellt, berücksichtigt das Verfahren zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens anfängliche und adaptierte Prozessparameter, aus dem Prozess zurückgeführte Ist-Werte, mit Radartechnik

dreidimensional erfassten Ist-Geometrie eines umzuformenden, flachen metallenen Materials in Form einer Bramme 12 an mindestens einer der Messstelle U0 - Ux (Figur 1). Optional können weitere Prozess- und Zustandsgrößen an der Messstelle erfasst werden, beispielsweise Informationen über die Geschwindigkeit der Bramme 12 oder die Temperatur des Walzguts. Diese Daten werden in dem Prozessmodell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens des Materials verarbeitet, um 1-n erwartete Geometrien für 1-n nachgelagerte Prozessschritte abzuleiten. Die erwarteten Geometrien werden mit den Soll-Geometrien für 1 bis n nachgelagerte Prozessschritte verglichen. Darauf werden angepasste Arbeitsgrößen für 1-n nachgelagerte Prozessschritte abgeleitet, wenn die Abweichungen der erwarteten Geometrien von den Soll-Geometrien außerhalb der vorstehend erwähnten Fehlertoleranzen liegen. Die angepassten Arbeitsgrößen werden in 1-n nachgelagerten Prozessschritten im Prozessmodell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens anstelle der anfänglich vorausgerechneten Arbeitsgrößen berücksichtigt. Der Vergleich, die Ableitung und die Rückführung angepasster Arbeitsgrößen wird solange wiederholt, bis die Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Geometrien für 1-n nachgelagerten Prozessschritten innerhalb der definierten Fehlerschranken liegen. Die optimierten Arbeitsgrößen bzw. Prozessparameter werden als Setzwerte für die L1-/L2 (Level 1/ Level 2) Automation der übergeordneten Prozesssteuerung verwendet, und zwar sowohl für den laufenden Walzprozess als auch als Startwerte bzw. Anfangswerte zur Bearbeitung von im Walzprozess nachfolgend umzuformenden Brammen.

[0047] Die für 1-n zeitlich nachgelagerten Prozessschritte erfassten Ist-Werte aus der Level 1 Automation werden anschließend in das Modell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens zurückgeführt, welches sich mit den optimierten Arbeitsgrößen und den Ist-Werten adaptiert.

[0048] Die Figur 3 zeigt den Ablauf des iterativen Verfahrens zur Bestimmung der optimierten Arbeitsgrößen für 1-m einer Messstelle U0 bis Ux (Figur 1) vorgelagerten Prozessschritte. Dieser Ablauf unterscheidet sich wie folgt von dem anhand von Figur 2 erläuterten Ablauf: Im Anschluss an eine dreidimensionale Erfassung der Ist-Geometrie des Walzguts sowie der optionalen Erfassung weiterer Prozessgrößen an einer beliebigen Messstelle U0 - Ux der Warmwalzstraße 1 erfolgt ein Vergleich der Ist-Geometrie mit der Soll-Geometrie für diese Messstelle U0 - Ux. Liegt die Abweichung aus dem Vergleich innerhalb der definierten Fehlertoleranz ε_U , sind die optimalen Arbeitsgrößen bereits gefunden. Eine weitere Iteration ist dann nicht erforderlich.

[0049] Liegt die Abweichung außerhalb der definierten Fehlertoleranz ε_U , so erfolgt für iterierbare Prozessparameter unter Berücksichtigung der Ist-Werte aus der L1-Automation für 1-m vorgelagerten Prozessschritte eine Ableitung von angepassten Arbeitsgrößen für 1-m vorgelagerte Prozessschritte, so dass für zeitlich nachfol-

gende Produkte an der Messstelle U0-Ux eine optimierte Geometrie des Walzguts erreicht wird. Iterierbare Prozessparameter meint hier z. B. Prozessparameter wie Dicken- oder Breitenreduktionen in der Vorstraße, die zur Ermittlung einer optimierten Geometrie an der Messstelle U0 - Ux vom erfindungsgemäßen Verfahren verändert werden können. Sie unterscheiden sich damit von den Prozessparametern (Ist-Werte aus der L1-Automation), die unverändert in das Prozessmodell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens eingehen.

[0050] Die iterativ bestimmten Arbeitsgrößen und die Messwerte aus der L1 Automation für 1-m zeitlich vorgelagerte Prozessschritte werden in dem Prozessmodell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens verarbeitet, um erwartete Geometrien für 1-m vorgelagerte Prozessschritte abzuleiten. Sodann erfolgt ein Vergleich der vom Prozessmodell abgeleiteten erwarteten Geometrien mit den Soll-Geometrien für die 1-m vorgelagerten Prozessschritte. Die Verarbeitung und Ableitung sowie der Vergleich werden solange wiederholt, bis die Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Geometrien innerhalb definierter Fehlerschranken ε_{1-m} liegen. Die erfassten Ist-Werte der Level 1 Automation (Messwerte) werden jeweils als Eingangsgrößen in das Prozessmodell zur Beschreibung des randnahen Fließverhaltens zurückgeführt, sodass sich das Prozessmodell insoweit laufend adaptiert.

Bezugszeichenliste

[0051]

1	Warmwalzstraße
2	Vorstraße
3	Fertigstraße
4	Zunderwäscher
5	Stauchpresse
6	Stauchgerüst
7	Horizontalwalzgerüst
8	Trommelschere
9	Kühlstrecke
10	Haspel
11	Wärmeofen
12	Bramme
U0-Ux	Messstellen
1-n	nachgelagerte Prozessschritte
1-m	vorgelagerte Prozessschritte

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Walzstraße insbesondere einer Warmwalzstraße (1), in der ein metalle- nes Walzgut, vorzugsweise in Form von Brammen (12) oder Ingots, in einem oder mehreren Walzsti- chen in Aggregaten der Walzstraße unter Dicken- und/oder Breitenabnahme zu einem konfektionier- ten Metallband als Endprodukt umgeformt wird, wo-

bei das Verfahren die Regelung einzelner Aggregate der Walzstraße mittels einer Prozessautomation un- ter Anwendung folgender Verfahrensschritte um- fasst:

- Messen und Erfassen einer Ist-Geometrie des Walzguts an wenigstens einer Messstelle wenigstens vor und/oder nach einem Umform- schritt in einem Aggregat der Walzstraße,
- Berechnen von Anfangswerten wenigstens einiger Arbeitsgrößen des Walzprozesses auf- grund von vorgegebenen Anforderungen an die Geometrie des Endprodukts als Soll-Geometrie und unter Berücksichtigung der gemessenen Ist-Geometrie des Walzguts,
- Berechnen einer aufgrund der vorausberech- neten Arbeitsgrößen zu erwartenden Geometrie des Walzguts unter Verwendung eines comput- ergestützten Prozessmodells, welches das Fließverhalten des Walzguts unter einer gege- benen und/oder angenommenen Verformungs- einwirkung modelliert,
- Vergleichen der modellbasiert ermittelten er- warteten Geometrie des Walzguts mit der Soll- Geometrie des Walzguts,
- Ableiten angepasster Arbeitsgrößen für we- nigstens einen Umformvorgang, wenn die Ab- weichung der modellbasiert ermittelten erwart- en Geometrie von der Soll-Geometrie außer- halb einer gegebenen Fehlertoleranz liegt,
- Wiederholen der Schritt b) bis e) so lange, bis die Abweichungen zwischen der Soll-Geomet- rie und der erwarteten Geometrie innerhalb der gegebenen Fehlertoleranz liegt und
- Regeln wenigstens eines Aggregats der Walzstraße unter Verwendung der abgeleiteten Arbeitsgrößen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekenn- zeichnet, dass** die Regelung als adaptive Regelung ausgebildet ist.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **da- durch gekennzeichnet, dass** die iterativ abgeleite- ten Arbeitsgrößen als Anfangswerte für die Umfor- mung eines zeitlich nachfolgend umzuformenden Walzguts und/oder als Setzwerte für Bearbeitungss- chritte des laufenden Walzguts verwendet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **da- durch gekennzeichnet, dass** die iterativ abgeleite- ten Arbeitsgrößen als Setzwerte für die Bearbei- tungsschritte des laufenden Walzguts vor und/oder nach einer Messstelle zur Erfassung der Ist-Geome- trie des Walzguts verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **da- durch gekennzeichnet, dass** die iterativ abgeleite-

- ten Arbeitsgrößen als Setzwerte für eine Level 1 und/oder Level 2 Automation verwendet werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die iterativ abgeleiteten Arbeitsgrößen in das Prozessmodell zur Beschreibung des Fließverhaltens des Walzguts zurückgeführt werden. 5
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Prozessmodell auf einer Finite-Elemente-Simulation beruht. 10
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine automatische Ableitung wenigstens einiger, vorzugsweise aller Arbeitsgrößen des Walzverfahrens unter Zuhilfenahme wenigstens eines Expertensystems und/oder unter Anwendung von Verfahren, die auf Methoden des maschinellen Lernens basieren, insbesondere auf künstlichen neuronalen Netzen, tiefen künstlichen neuronalen Netzen, Entscheidungsbäumen, Ensemble-Methoden basierend auf Entscheidungsbäumen, linearen oder nichtlinearen Regressionsmodellen mit oder ohne Regularisierung, Support-Vector-Machines mit linearen, polynomialen oder anderen Kernel-Funktionen, oder dergleichen erfolgt. 15 20 25
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ist-Geometrie des Walzguts wenigstens an einem Walzgutkopf und/oder an einem Walzgutfuß, vorzugsweise über die gesamte Länge des Walzguts als Messprofil vorzugsweise dreidimensional erfasst wird. 30 35
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ist-Geometrie und/oder die Geschwindigkeit des Walzguts mittels wenigstens eines Radarsystems gemessen wird. 40
 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Messung der Ist-Geometrie des Walzguts wenigstens unmittelbar vor und/oder hinter einem Aggregat der Walzstraße erfolgt. 45
 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die abgeleiteten Arbeitsgrößen zur Steuerung der Kurzhübe einer Stauchpresse und/oder eines Vertikalgerüsts verwendet werden. 50
 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die abgeleiteten Arbeitsgrößen zur Steuerung der Anstellbewegung eines Vertikalgerüsts und/oder eines Horizontalgerüsts verwendet werden. 55
 14. Walzstraße (1) für ein metallenes Walzgut, vorzugsweise in Form von Brammen (12) oder Ingots, die in einem oder mehreren Walzstichen wenigstens in Aggregaten der Walzstraße unter Dicken- und/oder Breitenabnahme zu einem konfektionierten Metallband als Endprodukt umgeformt werden, mit einer Messanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13.
 15. Walzstraße nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messanordnung wenigstens einen Sensor, vorzugsweise wenigstens einen Radarsensor, weiterhin vorzugsweise eine Vielzahl von in einem Messfeld angeordneten Radarsensoren umfasst, mit denen eine Geometrie des Walzguts erfasst werden kann.
 16. Walzstraße nach einem der Ansprüche 14 oder 15 umfassend eine Vorstraße (2) sowie eine Fertigstraße (3), wenigstens eine in der Vorstraße (2) angeordnete Stauchpresse (5) und/oder ein in der Vorstraße (2) angeordnetes Vertikalgerüst sowie wenigstens einen Sensor vor und/oder hinter der Stauchpresse (5) oder vor und/oder hinter dem Vertikalgerüst und/oder vor und/oder hinter einem Horizontalgerüst der Vorstraße (2) und/oder der Fertigstraße (3).

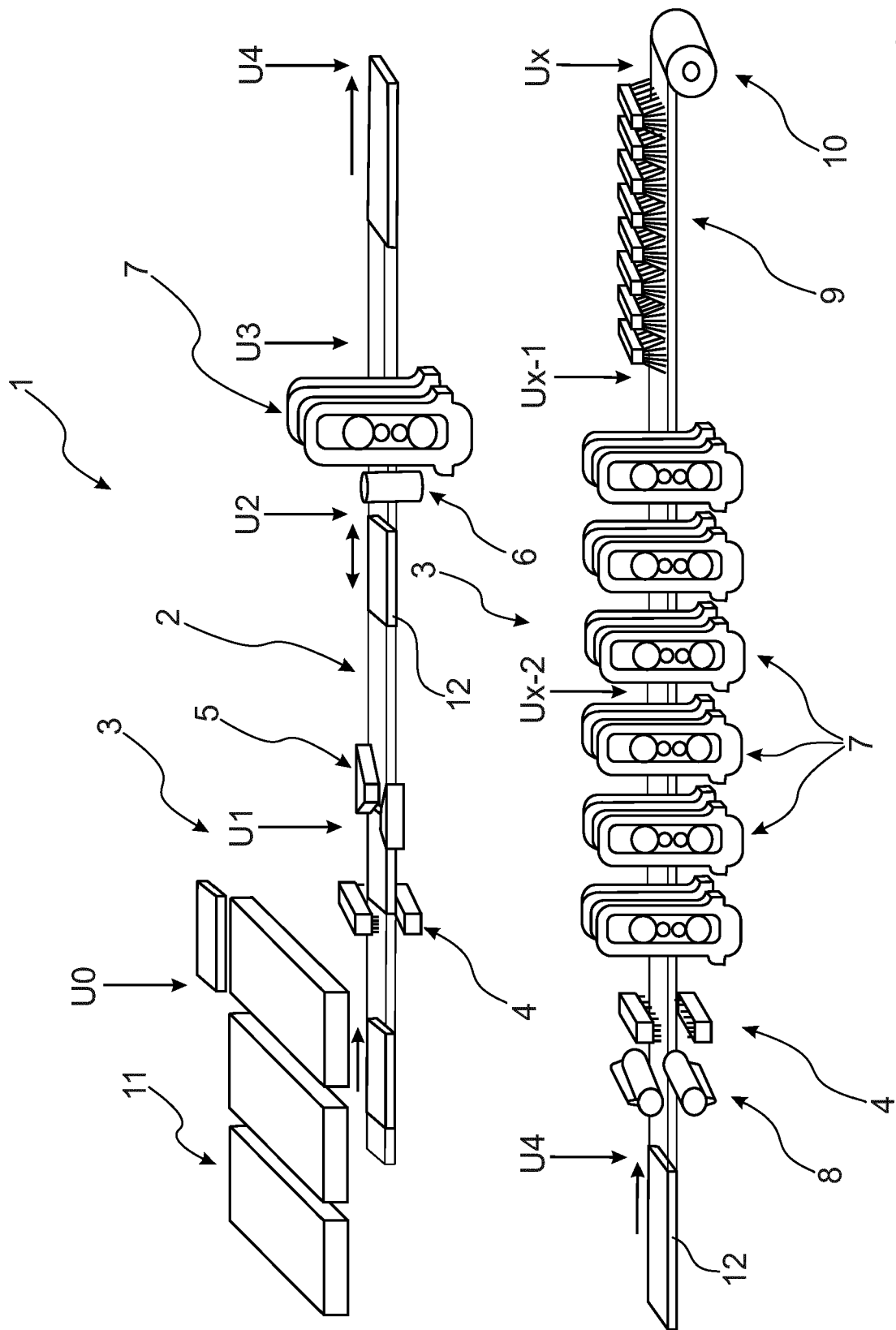


Fig. 1

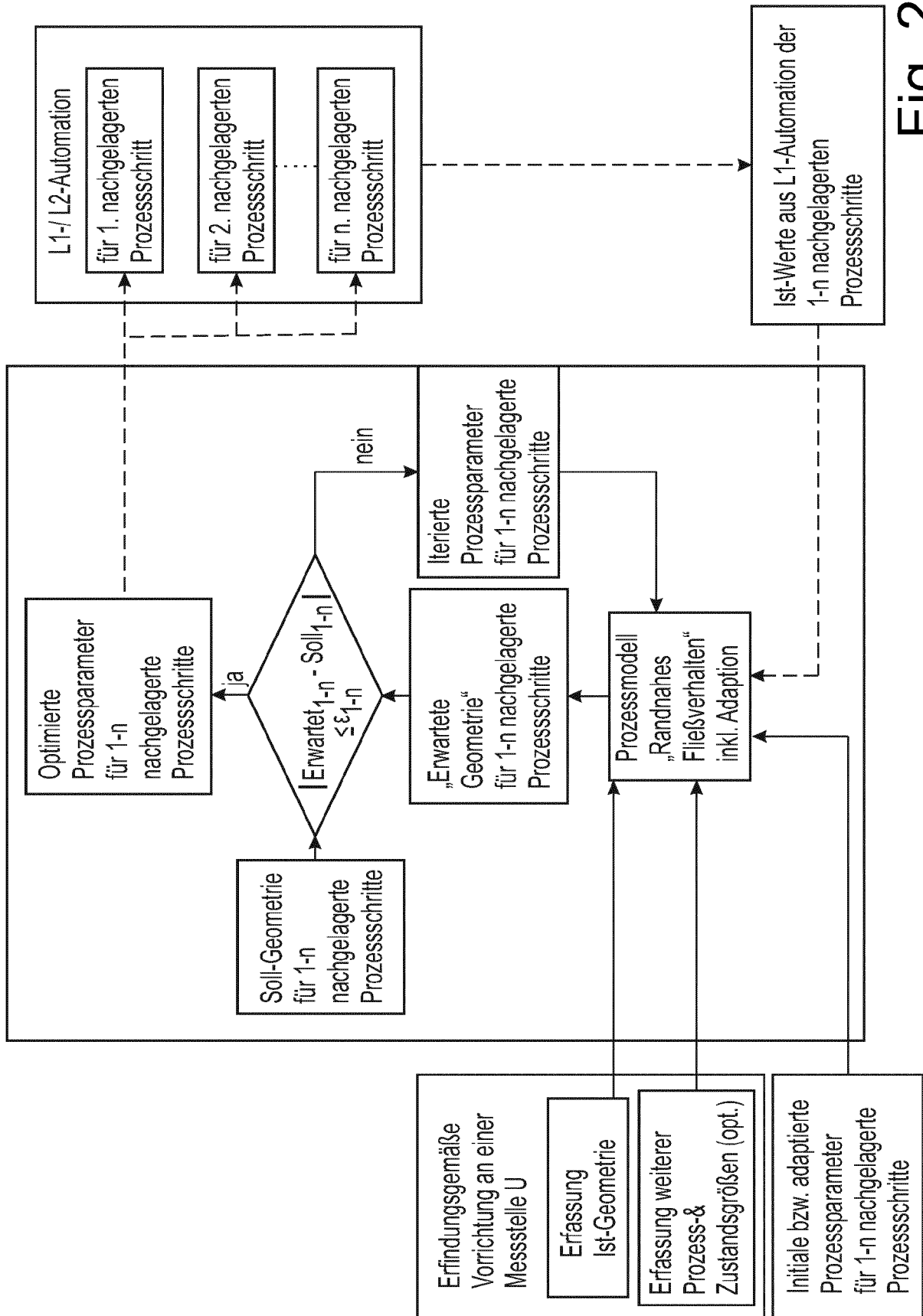


Fig. 2

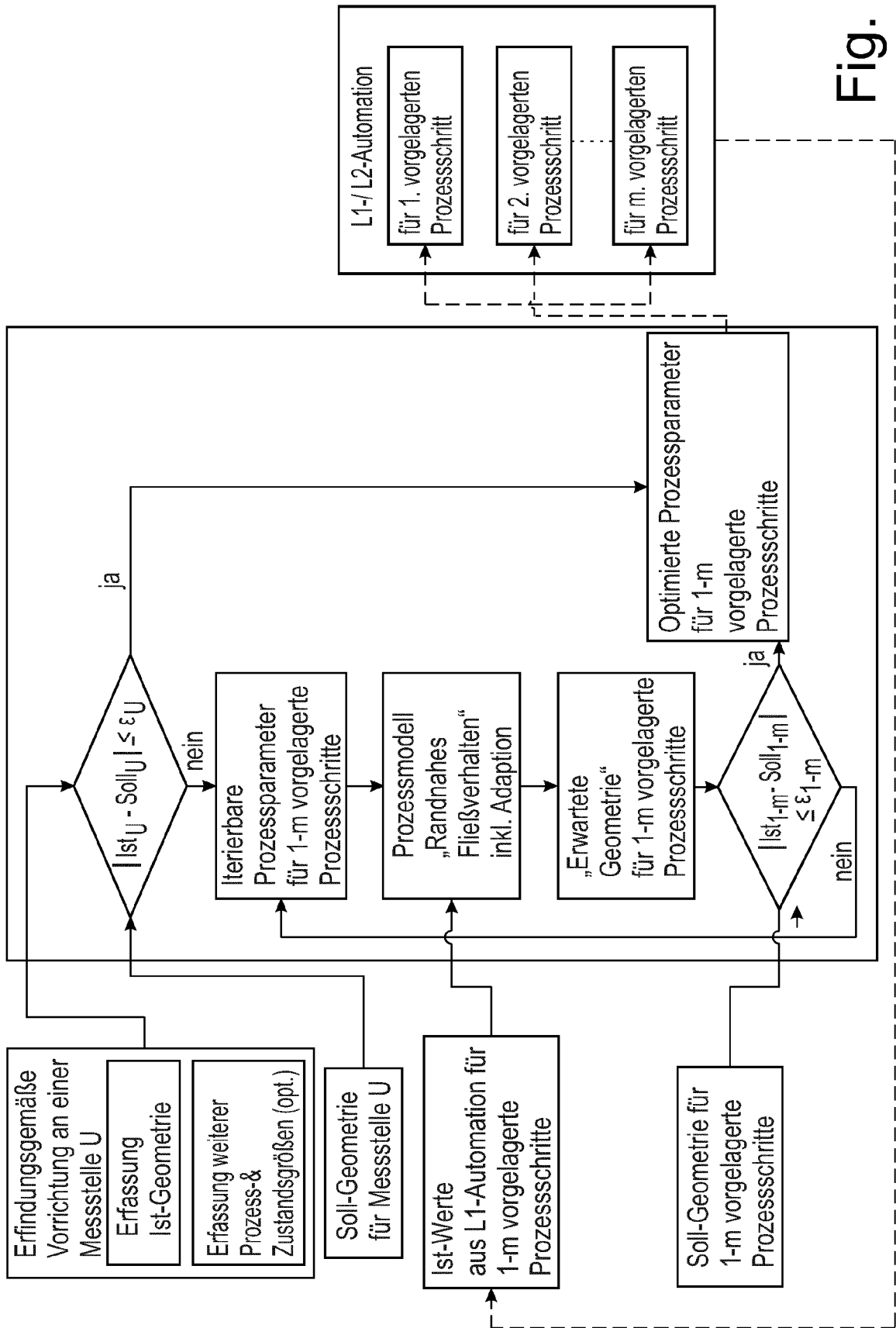


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 18 4746

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A, D	DE 196 44 131 A1 (SIEMENS AG [DE]) 30. April 1998 (1998-04-30) * Ansprüche 1-13; Abbildungen 1-4 *	1-16	INV. B21B37/22
A	JP H06 23417 A (NIPPON STEEL CORP) 1. Februar 1994 (1994-02-01) * Zusammenfassung; Abbildungen 1,4-5 *	1-16	
A	DE 195 22 494 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18. Januar 1996 (1996-01-18) * Ansprüche 1-6; Abbildungen 1-3 *	1-16	
A	JP S62 24809 A (NIPPON STEEL CORP) 2. Februar 1987 (1987-02-02) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1-16	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21B G01B G05B
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		20. Oktober 2023	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 : nichtschriftliche 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	

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

EP 23 18 4746

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

20-10-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	DE 19644131	A1	30-04-1998	KEINE		

15	JP H0623417	A	01-02-1994	KEINE		

	DE 19522494	A1	18-01-1996	CN	1151708 A	11-06-1997
				DE	19522494 A1	18-01-1996
				JP	H0824925 A	30-01-1996
				KR	970704528 A	06-09-1997
20				RU	2134621 C1	20-08-1999
				TW	293789 B	21-12-1996
				US	5740686 A	21-04-1998
				WO	9601705 A1	25-01-1996

25	JP S6224809	A	02-02-1987	JP	H059166 B2	04-02-1993
				JP	S6224809 A	02-02-1987

30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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 19644131 A1 [0008]