

(19)



(11)

EP 4 574 288 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.06.2025 Patentblatt 2025/26

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B21B 37/32^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23218669.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B21B 37/32; B21B 37/38; B21B 37/40;
B21B 2261/04; B21B 2261/06; B21B 2261/20;
B21B 2265/12; B21B 2265/14; B21B 2267/24;
B21B 2271/02

(22) Anmeldetag: **20.12.2023**

(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

(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91058 Erlangen (DE)

(72) Erfinder:
• **Kurz, Matthias**
91052 Erlangen (DE)
• **Miele, Marco**
91052 Erlangen (DE)

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

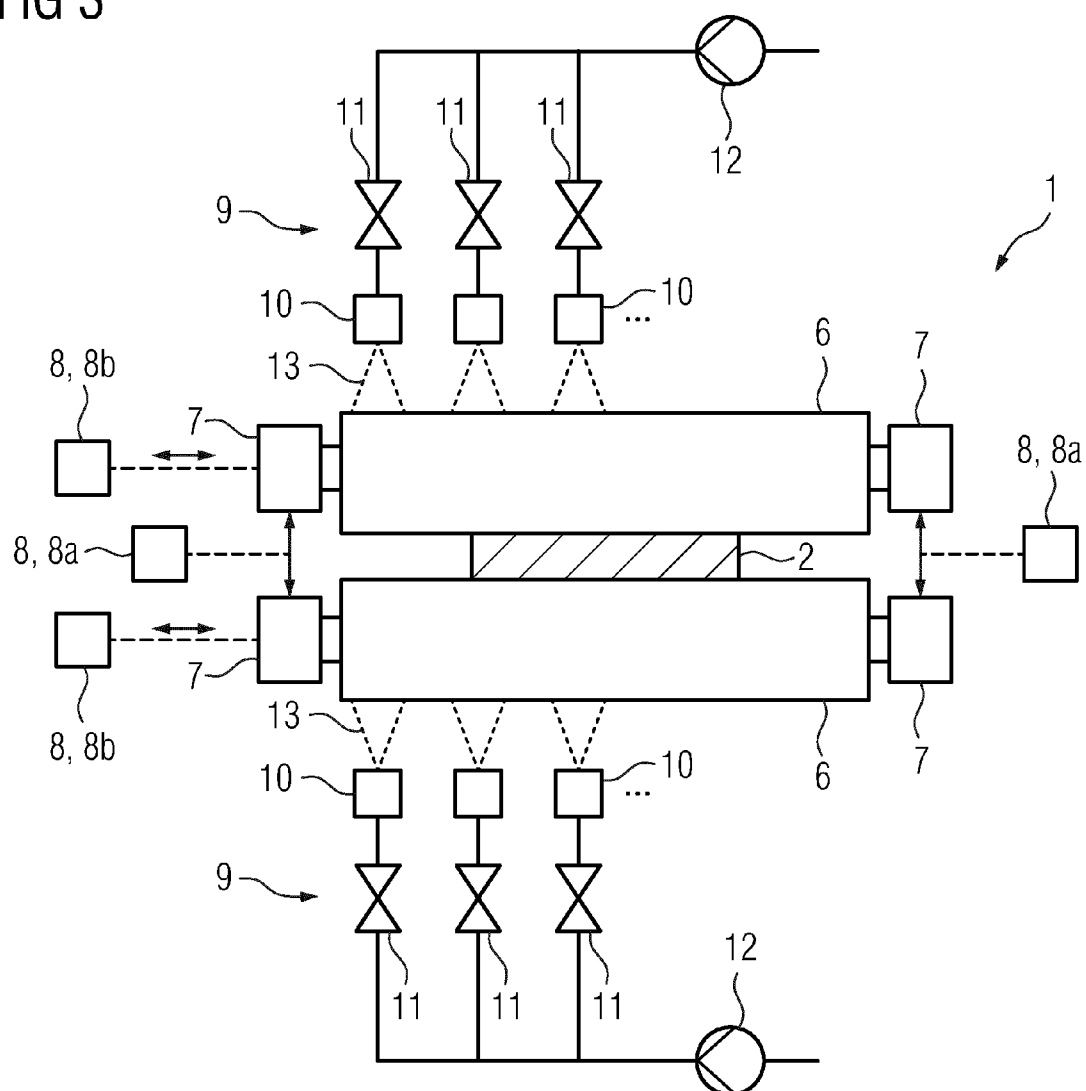
(54) **MODELLPRÄDIKTIVE EINSTELLUNG DER THERMISCHEN BALLIGKEIT EINER WALZE EINES WALZGERÜSTS**

(57) Eine Steuereinrichtung (3) einer Walzstraße zum Walzen eines flachen Walzguts (2) aus Metall nimmt für einen Walzzeitraum (T1), während dessen das Walzgut (2) in einem Walzgerüst (1) gewalzt werden soll, einen zeitlichen Verlauf von Walzgutdaten (D) entgegen. Weiterhin werden ihr für den Walzzeitraum (T1) ein zeitlicher Verlauf von Walzgerüstdaten (D') des Walzgerüsts (1) und für den Beginn eines zumindest den Walzzeitraum (T1) umfassenden Ermittlungszeitraums (T2) Anfangsdaten (D'') des Walzgerüsts (1) bekannt. Die Walzgutdaten (D) eines jeweiligen Zeitpunkts (ti) des Walzzeitraums (T1) beschreiben den Zustand eines jeweiligen Abschnitts (14i) des Walzguts (2), der zu dem jeweiligen Zeitpunkt (ti) in dem Walzgerüst (1) gewalzt werden soll, unmittelbar vor dem Walzen. Die Walzgerüstdaten (D') eines jeweiligen Zeitpunkts (ti) des Walzzeitraums (T1) beschreiben den Zustand des Walzgerüsts (1), mit dem das Walzgerüst (1) zu dem jeweiligen Zeitpunkt (ti) betrieben werden soll. Die Anfangsdaten (D'') beschreiben einen Zustand von Walzen (6) des Walzgerüsts (1) zu Beginn des Ermittlungszeitraums (T2). Die Steuereinrichtung (3) ermittelt vor dem Ermittlungszeitraum (T2)

unter Verwertung des zeitlichen Verlaufs der Walzgutdaten (D'), der Walzgerüstdaten (D') und der Anfangsdaten (D'') für den Ermittlungszeitraum (T2) einen zeitlichen Verlauf einer Kühlungsansteuerung (x9). Die Kühlungsansteuerung (x9) ist die Ansteuerung einer Kühleinrichtung (9), mittels derer die Walzen (6) über eine Ballenlänge der Walzen (6) gesehen ortsabhängig gekühlt werden. Zum Ermitteln des zeitlichen Verlaufs der Kühlungsansteuerung (x9) setzt die Steuereinrichtung (3) ein Optimierungsproblem an und löst es. In das Optimierungsproblem gehen die Walzgutdaten (D) und die Walzgerüstdaten (D') des Walzzeitraums (T1) und die Anfangsdaten (D'') des Walzgerüsts (1) als Eingangsgrößen und die Kühlungsansteuerung (x9) während des Ermittlungszeitraums (T2) als zu ermittelnde Variable ein. Die Steuereinrichtung (3) ermittelt den zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung (x9) derart, dass ein vorbestimmtes Optimierungsziel möglichst gut erreicht wird. Die Steuereinrichtung (3) steuert die Kühleinrichtung (9) während des Ermittlungszeitraums (T2) entsprechend der ermittelten Kühlungsansteuerung (x9) an.

EP 4 574 288 A1

FIG 3



Beschreibung

Gebiet der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Steuerverfahren für eine Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst zum Walzen eines flachen Walzguts aus Metall,

- wobei eine Steuereinrichtung der Walzstraße für einen Walzzeitraum, während dessen das Walzgut in dem Walzgerüst gewalzt werden soll, einen zeitlichen Verlauf von Walzgutdaten entgegennimmt und der Steuereinrichtung für den Walzzeitraum ein zeitlicher Verlauf von Walzgerüstdaten des Walzgerüsts und für den Beginn eines zumindest den Walzzeitraum umfassenden Ermittlungszeitraums Anfangsdaten des Walzgerüsts bekannt werden,
- wobei die Walzgutdaten eines jeweiligen Zeitpunkts des Walzzeitraums den Zustand eines jeweiligen Abschnitts des Walzguts, der zu dem jeweiligen Zeitpunkt in dem Walzgerüst gewalzt werden soll, unmittelbar vor dem Walzen in dem Walzgerüst beschreiben,
- wobei die Walzgerüstdaten eines jeweiligen Zeitpunkts des Walzzeitraums den Zustand des Walzgerüsts beschreiben, mit dem das Walzgerüst zu dem jeweiligen Zeitpunkt betrieben werden soll,
- wobei die Anfangsdaten einen Zustand von Walzen des Walzgerüsts zu Beginn des Ermittlungszeitraums beschreiben.

[0002] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Steuerprogramm für eine Steuereinrichtung zum Steuern einer Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst zum Walzen eines flachen Walzguts aus Metall, wobei das Steuerprogramm Maschinencode umfasst, der von der Steuereinrichtung unmittelbar abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung ein derartiges Steuerverfahren ausführt.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung zum Steuern einer Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst zum Walzen eines flachen Walzguts aus Metall, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Steuerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein derartiges Steuerverfahren ausführt.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst zum Walzen eines flachen Walzguts aus Metall,

- wobei das Walzgerüst eine Kühleinrichtung aufweist, mittels derer Walzen des Walzgerüsts über die Ballenlänge der Walzen gekühlt werden,
- wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung aufweist,
- wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen

Steuerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein derartiges Steuerverfahren ausführt.

Stand der Technik

[0005] Aus der DE 29 11 621 A1 ist bekannt, auslaufseitig eines Walzgerüsts in einem flachen Walzgut eine Zugspannungsverteilung zu ermitteln und (unter anderem) lokale Kühleinrichtungen anzusteuern, um die Zugspannungsverteilung gleichmäßigen. Ein ähnlicher Offenbarungsgehalt ist der EP 0 063 605 A1 zu entnehmen.

[0006] Aus der US 2006/0 156 778 A1 ist bekannt, bei einem Walzgerüst Kühleinrichtungen vorzusehen, die individuell und geregelt angesteuert werden, um Profil oder Planheit zu regeln.

[0007] Aus der KR 2016 0 142 956 A ist bekannt, eine Walzenkühlung derart einzustellen, dass eine Durchmesserreduzierung der Walzen eines Walzgerüsts durch Anpassung einer Kühlung der Walzen des Walzgerüsts kompensiert wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Die Kontur, d.h. der Verlauf der Dicke über die Breite des Walzguts, ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal eines flachen Walzguts wie beispielsweise eines Grobblechs und insbesondere eines Bandes. Die Kontur wird durch viele Faktoren im Walzprozess beeinflusst, beispielsweise durch die Walzendurchbiegung, die aufgrund der beim Walzen des Walzguts wirkenden Walzkraft auftritt. Andere Faktoren sind die Walzenabplattung, der Walzenschliff und der durch Temperatur und Verschleiß verursachte Walzen-crown. Letzterer wird in Fachkreisen üblicherweise als TWC (= temperature-wear-crown) bezeichnet.

[0009] Es ist bekannt, dass die Kontur durch eine Mehrzahl von Stellgliedern beeinflusst werden kann. Beispiele derartiger Stellglieder sind eine Walzenbiegung oder - bei entsprechend geschliffenen Walzen - die gegenläufige axiale Verschiebung der Walzen und auch ein sogenanntes Pair crossing. Die dadurch gegebene Beeinflussung der Kontur liegt in der Regel nahe bei einer quadratischen Funktion.

[0010] Bei Walzgerüsten ist weiterhin üblicherweise eine Kühleinrichtung zum Kühlen der Walzen vorhanden, mittels derer ein Kühlmedium auf die Walzen des Walzgerüsts aufgebracht wird. In vielen Fällen wird das Kühlmittel Wasser sein oder zumindest als Hauptbestandteil Wasser enthalten. Im letztgenannten Fall kann es sich beispielsweise um ein Wasser-Öl-Gemisch handeln. Auch andere Kühlmedien sind jedoch möglich, beispielsweise eine Zweistoffkühlung, bei der Wasser in Luft zerstäubt wird. Die Kühleinrichtung wirkt in der Regel zumindest auf die Arbeitswalzen.

[0011] In einfachen Ausführungen wird das Ausmaß der Kühlung nicht geregelt, sondern die Kühleinrichtung nur eingeschaltet. Bei anderen Ausführungen ist eine

Segmentierung der Kühleinrichtung gegeben. In diesem Fall weist die Kühleinrichtung beispielsweise mehrere Wirkeinrichtungen auf, die jeweils mit einem eigenen Ventil gesteuert werden und über die Ballenlänge der Walzen gesehen jeweils auf einen Teilbereich der Walzen wirken. Alternativ kann die Kühleinrichtung mehrere Wirkeinrichtungen aufweisen, die zwar jeweils über die gesamte Ballenlänge der Walzen wirken, bei denen jedoch der funktionale Verlauf der Kühlung über die Ballenlänge gesehen von Wirkeinrichtung zu Wirkeinrichtung jeweils ein anderer ist. Beispielsweise können drei Kühlbalken vorhanden sein, wobei einer der Kühlbalken über die Ballenlänge eine im wesentlichen einheitliche Kühlung bewirkt, ein anderer der Kühlbalken über die Ballenlänge eine mittenbetonte Kühlung bewirkt und einen weiteren der Kühlbalken eine randbetonte Kühlung bewirkt. Wenn mit B die Ballenlänge der Walzen und mit x der Ort in Axialrichtung der Walzen bezeichnet werden, wobei $x = 0$ einen Ort in der Mitte des Walzenballens bezeichnet, und weiterhin ein Faktor C den Wert $2\pi/B$ aufweist, so kann beispielsweise die mittenbetonte Kühlung gemäß der funktionalen Beziehung $1 + \cos Cx$ erfolgen und kann die randbetonte Kühlung gemäß der funktionalen Beziehung $1 - \cos 2Cx$ erfolgen. Eine Kühleinrichtung mit Wirkeinrichtungen, bei denen einer der Kühlbalken über die Ballenlänge eine im wesentlichen einheitliche Kühlung bewirkt, ein anderer der Kühlbalken über die Ballenlänge eine mittenbetonte Kühlung bewirkt und einen weiteren der Kühlbalken eine randbetonte Kühlung bewirkt, wird beispielsweise von der Anmelderin unter der Bezeichnung Dynamic Work Roll Cooling angeboten. Die genannten Kühlbalken werden üblicherweise als Basic-cooling, add1 und add2 bezeichnet.

[0012] Im Stand der Technik ist bekannt, Sollwerte für die Ansteuerung der Kühleinrichtung in Abhängigkeit von dem zu walzenden Walzgut aus Tabellen auszulesen und in Abhängigkeit davon vorzugeben, ob in dem Walzgerüst aktuell Walzgut gewalzt wird oder nicht. Auch ist bekannt, die Sollwerte manuell über eine Bedienerchnittstelle vorzugeben. Weiterhin ist bekannt, die Sollwerte im Rahmen einer Regelung der Planheit des gewalzten Walzguts zu ermitteln und nachzuführen.

[0013] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer der Walzspaltverlauf und damit die Kontur und/oder die Planheit des Walzguts nach dem Walzen in der Walzstraße möglichst positiv beeinflusst werden kann.

[0014] Die Aufgabe wird durch ein Steuerverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Steuerverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 10.

[0015] Erfindungsgemäß wird ein Steuerverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass die Steuereinrichtung vor dem Beginn des Ermittlungszeitraums unter Verwertung des zeitlichen Verlaufs der Walzgutdaten, der Walzgerüstdaten und der Anfangsdaten für den Ermittlungszeit-

raum einen zeitlichen Verlauf einer Kühlungsansteuerung ermittelt,

- dass die Kühlungsansteuerung die Ansteuerung einer Kühleinrichtung ist, mittels derer die Walzen über eine Ballenlänge der Walzen gekühlt werden,
- dass die Steuereinrichtung zum Ermitteln des zeitlichen Verlaufs der Kühlungsansteuerung ein Optimierungsproblem ansetzt und löst,
- dass in das Optimierungsproblem die Walzgutdaten und die Walzgerüstdaten des Walzzeitraums und die Anfangsdaten des Walzgerüsts als Eingangsgrößen eingehen und die Kühlungsansteuerung während des Ermittlungszeitraums als zu ermittelnde Variable eingehen,
- wobei die Steuereinrichtung den zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung derart ermittelt, dass ein vorbestimmtes Optimierungsziel möglichst gut erreicht wird und
- wobei die Steuereinrichtung die Kühleinrichtung während des Ermittlungszeitraums entsprechend der ermittelten Kühlungsansteuerung ansteuert.

[0016] Durch das Ansetzen und Lösen eines Optimierungsproblems, innerhalb dessen der gesamte Ermittlungszeitraum betrachtet wird, können insbesondere auch die Auswirkungen von Stelleingriffen auf zukünftige Zustände mit berücksichtigt werden.

[0017] Vorzugsweise ermittelt die Steuereinrichtung im Rahmen des Optimierungsproblems einen an den Walzen des Walzgerüsts auftretenden Verschleiß und berücksichtigt den Verschleiß bei der Ermittlung der Kühlungsansteuerung. Dadurch werden noch bessere Ergebnisse ermittelt.

[0018] In vielen Fällen umfasst das Walzgerüst ein Stellglied, das auf Einbaustücke der Walzen des Walzgerüsts wirkt und durch dessen Ansteuerung ein Walzspaltverlauf des Walzgerüsts über die gesamte Ballenbreite einstellbar ist. In diesem Fall ist es möglich, dass die Walzgerüstdaten eine Stellgliedansteuerung für das Stellglied umfassen. Mögliche Stellglieder sind eine Walzenbiegung, eine axiale Walzenverschiebung und ein sogenanntes Pair crossing.

[0019] Wenn das vorgenannte Stellglied vorhanden ist, ist es alternativ möglich,

- dass die Steuereinrichtung vor dem Walzen des Walzguts in dem Walzgerüst für den Ermittlungszeitraum nicht nur einen zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung, sondern auch einen zeitlichen Verlauf einer Stellgliedansteuerung ermittelt,
- dass die Stellgliedansteuerung die Ansteuerung eines derartigen Stellgliedes ist,
- dass die Steuereinrichtung zum Ermitteln des zeitlichen Verlaufs der Kühlungsansteuerung und der Stellgliedansteuerung ein einheitliches Optimierungsproblem ansetzt und löst,
- dass in das Optimierungsproblem zusätzlich zur Kühlungsansteuerung auch die Stellgliedansteuerung

rung während des Ermittlungszeitraums als zu ermittelnde Variable eingeht und

- dass die Steuereinrichtung das Stellglied zumindest während des Walzzeitraums basierend auf der ermittelten Stellgliedansteuerung ansteuert.

[0020] In diesem Fall kann das vorbestimmte Optimierungsziel insbesondere umfassen, das Stellglied in einem vorbestimmten Teilbereich seines möglichen Stellbereichs zu halten. Hierbei kann es sich insbesondere um einen mittleren Stellbereich halten, also einen Stellbereich, der einen Mindestabstand von den Grenzen des möglichen Stellbereichs aufweist. Damit steht beim späteren Walzen in dem Walzgerüst eine hinreichende Regelreserve zur Verfügung, so dass auf unvorhergesehene Ereignisse und Störungen reagiert werden kann. Alternativ kann eine Vorgabe des Teilbereichs durch eine Bedienperson erfolgen.

[0021] Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass das vorbestimmte Optimierungsziel umfasst, eine vorbestimmte Sollkontur und/oder eine vorbestimmte Sollplanheit der Abschnitte des Walzguts nach dem Walzen in der Walzstraße zu erzielen. In diesem Fall hat die Optimierung direkt Einfluss auf das Einhalten vorgegebener Grenzen für die Kontur und/oder die Planheit des Endprodukts.

[0022] Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, dass das vorbestimmte Optimierungsziel umfasst, eine vorbestimmte Sollkontur und/oder eine vorbestimmte Sollplanheit der Abschnitte des Walzguts nach dem Walzen in dem Walzgerüst zu erzielen.

[0023] Dieses Kriterium ist nicht notwendigerweise identisch mit dem zuvor genannten Kriterium. Identität besteht nur dann, wenn es sich bei dem betrachteten Walzgerüst um das letzte Walzgerüst der Walzstraße handelt. Anderenfalls kann durch dieses Kriterium erreicht werden, dass auch zwischen dem betrachteten Walzgerüst und dem nachfolgenden Walzgerüst Kontur- und/oder Planheitsgrenzen eingehalten werden und dadurch Probleme beim Walzen im nachfolgenden Walzgerüst vermieden werden.

[0024] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Steuereinrichtung im Rahmen des Lösen des Optimierungsproblems als Randbedingungen mindestens eine der folgenden Bedingungen berücksichtigt:

- pro Wirkeinrichtung der Kühleinrichtung wird eine minimale Kühlwirkung nicht unterschritten und/oder eine maximale Kühlwirkung nicht überschritten,
- über die Gesamtheit der Wirkeinrichtungen wird eine minimale Kühlwirkung nicht unterschritten und/oder eine maximale Kühlwirkung nicht überschritten,
- pro Wirkeinrichtung wird eine minimale Verstellgeschwindigkeit der jeweiligen Wirkeinrichtung nicht unterschritten und/oder maximale Verstellgeschwindigkeit der jeweiligen Wirkeinrichtung nicht überschritten.

[0025] Dadurch können insbesondere bereits im Rahmen des Lösen des Optimierungsproblems technologische Sachverhalte mit berücksichtigt werden.

[0026] Die Formulierung, dass eine minimale Verstellgeschwindigkeit der jeweiligen Wirkeinrichtung nicht unterschritten wird, soll nicht bedeuten, dass die jeweilige Wirkeinrichtung dauernd verstellt werden muss. Die jeweilige Wirkeinrichtung kann also auch bei einer bestimmten Einstellung gehalten werden. Wenn eine jeweilige Wirkeinrichtung aber verstellt wird, wird sie mindestens mit der minimalen Verstellgeschwindigkeit verstellt.

[0027] Üblicherweise sind den Wirkeinrichtungen Ventile zugeordnet, mittels derer die Einstellung der Kühlwirkung erfolgt. Weiterhin sind die Ventile üblicherweise Regelventile, also Ventile, die über ihren Stellbereich gesehen kontinuierlich angesteuert und eingestellt werden können. Die Ventile können aber auch Schaltventile sein, also Ventile, die nur entweder vollständig geöffnet oder vollständig geschlossen sind.

[0028] Vorzugsweise hängen die minimale Kühlwirkung und/oder die maximale Kühlwirkung von der Walzentemperatur der Walzen und/oder der Walztemperatur des Walzguts ab. Dadurch können die Randbedingungen an den konkreten Zustand der Walzen des Walzgerüsts bzw. den konkreten Zustand des Walzguts angepasst werden.

[0029] Im Minimalfall ist der Erfassungszeitraum mit dem Walzzeitraum identisch. Vorzugsweise umfasst der Ermittlungszeitraum jedoch auch einen dem Walzzeitraum vorausgehenden Zusatzzeitraum. Dadurch kann beispielsweise in einer Walzpause vor dem Walzen des Walzguts bereits vorausschauend auf die Kühlung der Walzen Einfluss genommen werden. Es ist also möglich, bereits vor dem Walzen des Walzguts die Kühlung der Walzen derart vorzunehmen, dass sich ein möglichst gutes Ergebnis einstellt.

[0030] Im einfachsten Fall erfolgt über eine Ballenlänge der Walzen gesehen eine einheitliche Kühlung. Vorzugsweise aber werden die Walzen über die Ballenlänge der Walzen gesehen mittels der Kühleinrichtung ortsabhängig gekühlt und wird mittels der Kühlungsansteuerung das Ausmaß der ortsabhängigen Kühlung eingestellt.

[0031] Nach dem Walzen des Walzguts in der Walzstraße können mittels üblicher Messgeräte das Profil, die Kontur und/oder die Planheit des Walzguts erfasst werden. Derartige Messwerte können zur Adaption der von der Steuereinrichtung verwendeten Modelle herangezogen werden. Entsprechende Vorgehensweisen sind allgemein bekannt. Sofern das Walzen hinterer Abschnitte des Walzguts zu dem Zeitpunkt, zu dem vordere Abschnitte des Walzguts die Messgeräte erreichen, noch nicht abgeschlossen ist, können zusätzlich auch während des Walzens Korrekturwerte für die Kühlungsansteuerung und gegebenenfalls auch die Stellgliedansteuerung ermittelt werden und der Kühleinrichtung bzw. dem Stellglied zugeführt werden. Aufgrund der Trägheit der Kühlung der Walzen des Walzgerüsts wird,

sofern das Stellglied vorhanden ist, in der Regel vorrangig auf die Stellgliedansteuerung Einfluss genommen. Weiterhin können für beide Ansteuerungen während des Walzens auch Vorgaben des Steuermanns mit berücksichtigt werden. Derartige Vorgaben werden vorrangig berücksichtigt.

[0032] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Steuerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung, dass die Steuereinrichtung ein erfindungsgemäßes Steuerverfahren ausführt.

[0033] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Steuerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein erfindungsgemäßes Steuerverfahren ausführt.

[0034] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Walzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 14 gelöst. Erfindungsgemäß ist bei einer Walzstraße der eingangs genannten Art die Steuereinrichtung als erfindungsgemäße Steuereinrichtung ausgebildet und mit einem erfindungsgemäßen Steuerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein erfindungsgemäßes Steuerverfahren ausführt.

[0035] Vorzugsweise weist das Walzgerüst ein Stellglied auf, das auf Einbaustücke von Walzen des Walzgerüsts wirkt und durch dessen Ansteuerung ein Walzspaltverlauf ausschließlich über eine Ballenlänge der Walzen einstellbar ist. Alternativ oder zusätzlich weist das Walzgerüst vorzugsweise eine Kühleinrichtung auf, mittels derer die Walzen über eine Ballenlänge der Walzen gesehen ortsabhängig gekühlt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0036] 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 eines Ausführungsbeispiels, das im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert wird. Dabei zeigen:

- FIG 1 eine Walzstraße,
- FIG 2 ein Walzgut,
- FIG 3 ein Walzgerüst
- FIG 4 ein Ablaufdiagramm,
- FIG 5 ein Zeitdiagramm und
- FIG 6 ein Ablaufdiagramm.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0037] Gemäß FIG 1 umfasst eine Walzstraße eine Anzahl von Walzgerüsten 1. In einer Minimalkonfiguration ist nur ein einziges Walzgerüst 1 vorhanden. In der Regel sind entsprechend der Darstellung in FIG 1 mehre-

re Walzgerüste 1 vorhanden. In den Walzgerüsten 1 der Walzstraße wird ein Walzgut 2 gewalzt. Im Falle mehrerer Walzgerüste 1 durchläuft das Walzgut 2 in der Regel die Walzgerüste 1 sequenziell nacheinander, also nicht reversierend. Das Walzgut 2 ist gemäß FIG 2 ein flaches Walzgut aus Metall, beispielsweise ein Metallband oder ein längerer oder kürzerer Abschnitt eines Metallbandes. Das Walzgut 2 weist eine Walzgutbreite b auf. Das Material des Walzguts 2 kann beispielsweise Stahl oder Aluminium sein.

[0038] Die Walzstraße wird von einer Steuereinrichtung 3 gesteuert. Die Steuereinrichtung 3 ist mit einem Steuerprogramm 4 programmiert. Das Steuerprogramm 4 umfasst Maschinencode 5, der von der Steuereinrichtung 3 unmittelbar abarbeitbar ist. Die Programmierung der Steuereinrichtung 3 mit dem Steuerprogramm 4 bzw. die Abarbeitung des Maschinencodes 5 durch die Steuereinrichtung 3 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 3 ein Steuerverfahren ausführt, das nachstehend näher erläutert wird.

[0039] Das Steuerverfahren wird nachstehend in Verbindung mit einem einzelnen Walzgerüst 1 der Walzstraße erläutert. Bei diesem Walzgerüst kann es sich um das vorderste Walzgerüst 1, das hinterste Walzgerüst 1 oder um ein mittleres Walzgerüst 1 zwischen dem vordersten und dem hintersten Walzgerüst 1 handeln. Das Steuerverfahren kann aber auch bei mehreren der Walzgerüste 1 angewendet werden. Weiterhin wird nachstehend in Verbindung mit FIG 3 zunächst der strukturelle Aufbau des betrachteten Walzgerüsts 1 erläutert, soweit er vorliegend relevant ist.

[0040] Gemäß FIG 3 weist das Walzgerüst 1 Arbeitswalzen 6 auf. Zwischen den Arbeitswalzen 6 wird das Walzgut 2 gewalzt. Die Arbeitswalzen 6 sind in Einbaustücken 7 gelagert. In vielen Fällen weist das Walzgerüst 1 (mindestens) ein Stellglied 8 auf, das auf die Einbaustücke 7 wirkt und durch dessen Ansteuerung ein Walzspaltverlauf ausschließlich über die gesamte Ballenbreite - also nicht lediglich lokal - einstellbar ist. Gemäß FIG 3 sind sogar zwei derartige Stellglieder 8a, 8b vorhanden. Das eine Stellglied 8a ist eine Biegeeinrichtung, mittels derer die Einbaustücke 7 und mit ihnen die Walzen 6 auseinandergedrückt werden können. Das andere Stellglied 8b ist eine Schiebeeinrichtung, mittels derer die Einbaustücke 7 und mit ihnen die Walzen 6 gegenläufig zueinander axial verschoben werden können. Die konkrete Ausgestaltung derartiger Stellglieder und deren Wirkung sind Fachleuten allgemein bekannt. Fachleuten sind weiterhin auch andere Stellglieder 8 bekannt, welche die genannten Eigenschaften aufweisen, also durch Einwirken auf die Einbaustücke 7 den Walzspaltverlauf über die gesamte Ballenbreite der Arbeitswalzen 6 beeinflussen.

[0041] Das Walzgerüst 1 weist weiterhin eine Kühleinrichtung 9 auf. Mittels der Kühleinrichtung 9 werden die Arbeitswalzen 6 gekühlt. Vorzugsweise ist die Kühleinrichtung 9 derart ausgebildet, dass mittels der Kühleinrichtung 9 die Walzen 6 über die Ballenlänge gesehen

ortsabhängig gekühlt werden. In diesem Fall weist die Kühleinrichtung 9 mehrere individuell ansteuerbare Wirkeinrichtungen 10 auf. Beispielsweise können den Wirkeinrichtungen 10 jeweils ein individuell ansteuerbares Ventil 11 und/oder eine individuell ansteuerbare Pumpe 12 vorgeordnet sein. Die Wirkeinrichtungen 10 wirken in der Regel dadurch auf die Walzen 6 ein, dass sie ein flüssiges Kühlmedium 13 auf die Walzen 6 aufbringen. Das flüssige Kühlmedium 13 ist in der Regel Wasser oder enthält zumindest als Hauptbestandteil Wasser. Es sind jedoch auch andere Ausgestaltungen der Wirkeinrichtungen 10 denkbar.

[0042] Im einfachsten Fall ist nur eine einzige Wirkeinrichtung 10 vorhanden. Im Falle mehrerer Wirkeinrichtungen 10 können die Wirkeinrichtungen 10 über die Ballenlänge gesehen jeweils lokal auf einen einzelnen Abschnitt der Walzen 6 wirken. Es ist jedoch auch möglich, dass zwar mehrere Wirkeinrichtungen 10 vorhanden sind und die Kühlwirkung der Wirkeinrichtungen 10 sich auch über die gesamte Ballenlänge erstreckt, der funktionale Verlauf der Kühlwirkung von Wirkeinrichtung 10 zu Wirkeinrichtung 10 jedoch jeweils ein anderer ist. Eine derartige Ausgestaltung ist beispielsweise das bereits erwähnte Dynamic Work Roll Cooling der Anmelderin.

[0043] Gemäß FIG 4 führt die Steuereinrichtung 3 folgendes Steuerverfahren aus:

In einem Schritt S1 nimmt die Steuereinrichtung 3 für einen Walzzeitraum T1 einen zeitlichen Verlauf von Walzgutdaten D entgegen. Der Walzzeitraum T1 ist gemäß FIG 5 derjenige - in der Zukunft liegende - Zeitraum, während dessen das Walzgut 2 in dem Walzgerüst 1 gewalzt werden soll. Die Walzgutdaten D eines jeweiligen Zeitpunkts t_i (mit $i = 1, 2, 3 \dots n$) beschreiben den Zustand eines jeweiligen Abschnitts 14i (mit $i = 1, 2, 3 \dots n$) des Walzguts 2. Die jeweiligen Walzgutdaten D sind auf den Zustand des entsprechenden Abschnitts 14i unmittelbar vor dem Walzen des entsprechenden Abschnitts 14i in dem Walzgerüst 1 bezogen. Die Walzgutdaten D können beispielsweise die Walzgutbreite b , die Dicke d , die Temperatur, die Materialfestigkeit, die Kontur und andere mehr des entsprechenden Abschnitts 14i umfassen. Sie können individuell für die einzelnen Abschnitte 14i oder einheitlich für alle Abschnitte 14i vorgegeben sein.

[0044] In einem Schritt S2 werden der Steuereinrichtung 3 Walzgerüstdaten D' des Walzgerüsts 1 bekannt. Die Walzgerüstdaten D' können beispielsweise der Steuereinrichtung 3 vorgegeben werden oder von der Steuereinrichtung 3 selbst ermittelt werden. Die Walzgerüstdaten D' eines jeweiligen Zeitpunkts t_i des Walzzeitraums T1 beschreiben den Zustand des Walzgerüsts 1, mit dem das Walzgerüst 1 zu dem jeweiligen Zeitpunkt t_i betrieben werden soll. Beispielsweise können die Walzgerüstdaten D' die Anstellung, die Walzkraft, den Walzspalt in der Mitte des Walzgerüsts 1, den Walzspaltverlauf über die Breite des Walzgerüsts 1, die Walzkraft und andere mehr umfassen. Wenn das Walzgerüst 1 das Stellglied 8 umfasst, können die Walzgerüstdaten D'

auch eine Stellgliedansteuerung x8 mit umfassen. Die Stellgliedansteuerung x8 ist die Ansteuerung des Stellgliedes 8.

[0045] In einem Schritt S3 werden der Steuereinrichtung 3 Anfangsdaten D" des Walzgerüsts 1 bekannt. Die Anfangsdaten D" sind auf den Beginn des Ermittlungszeitraums T2 bezogen. Sie beschreiben einen Zustand von Walzen 6 des Walzgerüsts 1 zu Beginn des Ermittlungszeitraums T2. Die Anfangsdaten D" des Walzgerüsts 1 können insbesondere den thermischen Zustand der Walzen 6 zu Beginn eines Ermittlungszeitraums T2 umfassen. Die Anfangsdaten D" können gegebenenfalls zusätzlich auch einen Verschleißzustand der Arbeitswalzen 6 umfassen. Der Ermittlungszeitraum T2 umfasst zumindest den Walzzeitraum T1. Er kann jedoch gemäß FIG 5 zusätzlich auch einen dem Walzzeitraum T1 vorausgehenden Zusatzzeitraum T3 umfassen. Der Zusatzzeitraum T3 grenzt in diesem Fall unmittelbar an den Walzzeitraum T1 an.

[0046] Die Länge des Zusatzzeitraums T3 kann - sofern der Zusatzzeitraum T3 vorhanden ist - nach Bedarf bestimmt sein. Oftmals entspricht die Länge des Zusatzzeitraums T3 dem Zeitraum ab dem Ende des Walzens des unmittelbar vorhergehenden Walzguts bis zum Beginn des Walzens des nunmehr betrachteten Walzguts 2 (= Walzpause). Es sind aber auch andere Längen möglich, und zwar sowohl kleinere als auch größere Längen. Im Falle größerer Längen kann der Zusatzzeitraum T3 beispielsweise mit der Walzpause zwischen dem Ende des Walzens des unmittelbar vorhergehenden Walzguts und dem Beginn des Walzens des nunmehr betrachteten Walzguts 2 zuzüglich des Walzzeitraums korrespondieren, der zum Walzen des unmittelbar vorhergehenden Walzguts benötigt wird. Auch kann der Zusatzzeitraum T3 zusätzlich weitere Walzpausen und weitere Walzzeiträume umfassen.

[0047] In einem Schritt S4 setzt die Steuereinrichtung 3 ein Optimierungsproblem an. In das Optimierungsproblem gehen die Walzgutdaten D des Walzguts 2 und die Walzgerüstdaten D' des Walzgerüsts 1 während des Walzzeitraums T1 und die Anfangsdaten D" des Walzgerüsts 1 zu Beginn des Ermittlungszeitraums T2 als Eingangsgrößen ein. In das Optimierungsproblem geht als zu ermittelnde Variable weiterhin der zeitliche Verlauf der Ansteuerung der Kühleinrichtung 9 ein. Die Ansteuerung der Kühleinrichtung 9 wird nachstehend als Kühlungsansteuerung bezeichnet und mit dem Bezugszeichen x9 versehen. Der zeitliche Verlauf der Kühlungsansteuerung x9 wird von der Steuereinrichtung 3 für den Ermittlungszeitraum T2 angesetzt.

[0048] Das Ansetzen eines Optimierungsproblems impliziert das Aufstellen einer Kostenfunktion. Das Minimieren der Kostenfunktion ist das Optimierungsziel. In die Kostenfunktion können, je nach Lage des Einzelfalls, verschiedene Größen eingehen. Nachstehend werden einige Größen erläutert, die in die Kostenfunktion eingehen können.

[0049] Beispielsweise kann in die Kostenfunktion für

die Zeitpunkte t_i jeweils die Abweichung der sich ergebenden Kontur des entsprechenden Abschnitts 14i nach dem Walzen in der Walzstraße eingehen. In diesem Fall wird der Einfluss der Kühlungsansteuerung x_9 auf das Endprodukt, also das Walzgut 2 nach dem Walzen des Walzguts 2 in allen Walzgerüsten 1 der Walzstraße, betrachtet. Das Optimierungsziel umfasst in diesem Fall, dass die Abschnitte 14i des Walzguts 2 nach dem Walzen in der Walzstraße (nach Möglichkeit) eine vorbestimmte Sollkontur aufweisen.

[0050] Alternativ oder zusätzlich kann in die Kostenfunktion für die Zeitpunkte t_i jeweils die Abweichung der sich ergebenden Kontur des entsprechenden Abschnitts 14i nach dem Walzen in dem Walzgerüst 1 eingehen. In diesem Fall wird der Einfluss der Kühlungsansteuerung x_9 auf ein Zwischenprodukt, also das Walzgut 2 unmittelbar nach dem Walzen in dem Walzgerüst 1, betrachtet. Das Optimierungsziel umfasst in diesem Fall, dass die Abschnitte 14i des Walzguts 2 nach dem Walzen in dem Walzgerüst 1 (nach Möglichkeit) eine vorbestimmte Sollkontur aufweisen.

[0051] In beiden Fällen kann alternativ oder zusätzlich zur Kontur auch die Planheit des Walzguts 2 betrachtet werden.

[0052] Die einzelnen Kriterien gehen in die Kostenfunktion ein. In der Regel gehen sie jeweils als Summand in die Kostenfunktion ein. Die einzelnen Summanden können mit einem jeweiligen Wichtungsfaktor gewichtet werden. Es ist möglich, dass die Kostenfunktion nur einen einzigen Summanden enthält. In diesem Fall kann der Wichtungsfaktor entfallen.

[0053] In einem Schritt S5 löst die Steuereinrichtung 3 das im Schritt S4 angesetzte Optimierungsproblem. Sie ermittelt dadurch den zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung x_9 . Das Lösen des Optimierungsproblems im Schritt S5 erfolgt derart, dass das Optimierungsziel möglichst gut erreicht wird. Entsprechend ermittelt die Steuereinrichtung 3 den zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung x_9 .

[0054] Entsprechende Optimierer sind Fachleuten bekannt. Rein beispielhaft kann auf die Einträge "branch and bound" in der deutschen und in der englischen Wikipedia, abgerufen am 17.12.2023, verwiesen werden. Im Falle von Schaltventilen kann der zugehörige Optimierer nach dem sogenannten branch-and-bound-Verfahren arbeiten.

[0055] Auch die Modelle, mittels derer unter Berücksichtigung der Daten D, der Walzgerüstdaten D', der Anfangsdaten D" und der Kühlungsansteuerung x_9 sowie gegebenenfalls weiterer Daten und Einstellungen des Walzgerüsts 1 (beispielsweise des Walzenschliffs, des einlaufseitigen Zuges, des auslaufseitigen Zuges usw.) der sich ergebende Walzspalt und die auslaufseitige Kontur und/oder Planheit ermittelt werden können, sind Fachleuten allgemein bekannt. Insbesondere können Modelle verwendet werden, die üblicherweise im Rahmen der Stichplanberechnung von Walzstraßen eingesetzt werden. Beispielsweise existieren auch Modelle,

die nicht nur den sogenannten thermischen Crown der Walzen 6 ermitteln und berücksichtigen, sondern zusätzlich auch einen an den Walzen 6 des Walzgerüsts 1 auftretenden Verschleiß ermitteln. In diesem Fall kann der Optimierer den Verschleiß bei der Ermittlung der Kühlungsansteuerung x_9 berücksichtigen.

[0056] Mit derartigen Modellen ist es ohne weiteres möglich, die in die Kostenfunktion eingehenden Werte in Abhängigkeit von den zu bestimmenden Variablen zu ermitteln. Durch die Berücksichtigung der zu beachtenden Rand- und Nebenbedingungen im Rahmen der Ermittlung der optimalen Lösung kann auch die Einhaltung der zu beachtenden Rand- und Nebenbedingungen gewährleistet werden. Je nach Kostenfunktion und zu beachtenden Rand- und Nebenbedingungen können somit je nach Bedarf die Kontur und/oder die Planheit auslaufseitig des Walzgerüsts 1 und/oder auslaufseitig der Walzstraße möglichst gut an entsprechende Sollwerte angepasst werden.

[0057] In einem Schritt S6 steuert die Steuereinrichtung 3 die Kühleinrichtung 9 entsprechend der ermittelten Kühlungsansteuerung x_9 an. Das Ansteuern der Kühleinrichtung 9 erfolgt während des gesamten Ermittlungszeitraums T2.

[0058] Aufgrund des Umstands, dass im Schritt S6 die Ansteuerung der Kühleinrichtung 9 gemäß der im Schritt S5 ermittelten Kühlungsansteuerung x_9 erfolgen soll, müssen die Schritte S1 bis S5 vor dem Beginn des Ermittlungszeitraums T2 ausgeführt werden. Insbesondere muss auch der Schritt S5 abgeschlossen sein.

[0059] FIG 6 zeigt eine Modifikation der Vorgehensweise von FIG 4. FIG 6 umfasst Schritte S11 bis S16. Im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 6 ist es erforderlich, dass das Walzgerüst 1 das Stellglied 8 umfasst.

[0060] Im Schritt S11 nimmt die Steuereinrichtung 3 für den Walzzeitraum T1 den zeitlichen Verlauf von Walzgutdaten D entgegen. Im Schritt S12 werden der Steuereinrichtung 3 die Walzgerüstdaten D' bekannt. Im Schritt S13 werden der Steuereinrichtung 3 die Anfangsdaten D" bekannt. Die Schritte S11 bis S13 korrespondieren mit den Schritten S1 bis S3 von FIG 4. Von Bedeutung ist jedoch, dass die Walzgerüstdaten D die Stellgliedansteuerung x_8 nicht mit umfassen.

[0061] Im Schritt S14 setzt die Steuereinrichtung 3 analog zum Schritt S4 ein Optimierungsproblem an. In das Optimierungsproblem gehen analog zum Schritt S4 die Walzgutdaten D des Walzguts 2 und die Walzgerüstdaten D' des Walzguts 1 während des Walzzeitraums T1 und die Anfangsdaten D" des Walzgerüsts 1 zu Beginn des Ermittlungszeitraums T2 als Eingangsgrößen ein. In das Optimierungsproblem geht als zu ermittelnde Variable jedoch nicht nur der zeitliche Verlauf der Ansteuerung der Kühleinrichtung 9 ein. Vielmehr geht in das Optimierungsproblem zusätzlich auch die Stellgliedansteuerung x_8 während des Ermittlungszeitraums T2 als zu ermittelnde Variable ein. Das Optimierungsproblem ist somit als einheitliches Optimierungsproblem ausgebildet.

[0062] Im Schritt S15 löst die Steuereinrichtung 3 das

im Schritt S14 angesetzte einheitliche Optimierungsproblem. Der Schritt S15 korrespondiert vom Ansatz her mit dem Schritt S5 von FIG 4. Im Rahmen des Schrittes S15 ermittelt die Steuereinrichtung 3 jedoch nicht nur den zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung x9, sondern zusätzlich auch den zeitlichen Verlauf der Stellgliedansteuerung x8. Das Lösen des Optimierungsproblems im Schritt S15 erfolgt analog zum Schritt S5 derart, dass das Optimierungsziel möglichst gut erreicht wird. Entsprechend ermittelt die Steuereinrichtung 3 den zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung x9 und den zeitlichen Verlauf der Stellgliedansteuerung x8.

[0063] Im Schritt S16 steuert die Steuereinrichtung 3 die Kühleinrichtung 9 entsprechend der ermittelten Kühlungsansteuerung x9 an. Das Ansteuern der Kühleinrichtung 9 erfolgt während des gesamten Ermittlungszeitraums T2. Weiterhin steuert die Steuereinrichtung 3 im Schritt S16 das Stellglied 8 zumindest während des Walzzeitraums T1 basierend auf der ermittelten Stellgliedansteuerung x8 an. Die Ansteuerung des Stellgliedes 8 während des Zusatzzeitraums T3 kann irrelevant sein, wenn während des Zusatzzeitraums das Walzgut 2 nicht in dem Walzgerüst 1 gewalzt wird.

[0064] Im Rahmen der Ausgestaltung von FIG 6 ist es alternativ oder zusätzlich zu den vorstehend in Verbindung mit FIG 4 genannten Optimierungszielen möglich, dass das vorbestimmte Optimierungsziel umfasst, das Stellglied 8 in einem vorbestimmten Teilbereich seines möglichen Stellbereichs zu halten, die Stellgliedansteuerung x8 sich also innerhalb eines vorbestimmten Teilbereichs bewegt, so dass zum Ausregeln von Störungen eine hinreichende Regelreserve verbleibt. Alternativ oder zusätzlich kann in die Kostenfunktion für die Zeitpunkte t_i jeweils der Abstand eingehen, den das Stellglied 8 von seiner minimalen und/oder seiner maximalen Ansteuerung aufweist, also der Abstand von den Stellgrenzen des Stellgliedes 8. In diesem Fall wird durch entsprechende Bewertung in der Kostenfunktion "bestraft", wenn die Stellgliedansteuerung x8 in die Nähe der jeweiligen minimalen und/oder maximalen Ansteuerung gerät. Somit umfasst das Optimierungsziel auch in diesem Fall, das Stellglied 8 in einem vorbestimmten (meist mittleren) Teilbereich seines möglichen Stellbereichs zu halten.

[0065] Zum Halten des Stellgliedes 8 in einem vorbestimmten Teilbereich seines möglichen Stellbereichs ist es auch möglich, entsprechende Ungleichungsnebenbedingungen vorzugeben, welche ein Unterschreiten eines vorgegebenen Abstands der Ansteuerung x8 des Stellgliedes 8 von seiner minimalen und/oder seiner maximalen Ansteuerung unterbinden. Auch in diesem Fall kann das Optimierungsziel umfassen, das Stellglied 8 in einem vorbestimmten (meist mittleren) Teilbereich seines möglichen Stellbereichs zu halten. Die Vorgabe der Ungleichungsnebenbedingungen erfolgt im Regelfall alternativ, in Ausnahmefällen aber auch zusätzlich zu einer Berücksichtigung des Abstands der Ansteuerung x8 des Stellgliedes 8 von seiner minimalen und/oder

seiner maximalen Ansteuerung in der Kostenfunktion.

[0066] Derartige Ungleichungsnebenbedingungen werden von der Steuereinrichtung 3 beim Lösen des Optimierungsproblems berücksichtigt. Soweit erforderlich, können sowohl im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 4 als auch im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 6 weiterhin auch andere Randbedingungen vorgegeben sein. Nachstehend werden einige mögliche Randbedingungen erläutert, im Rahmen des Lösens des Optimierungsproblems mit berücksichtigt werden können.

[0067] Es ist möglich, für die einzelnen Wirkeinrichtungen 10 als Randbedingung vorzugeben, dass eine minimale Kühlwirkung nicht unterschritten wird. Dadurch kann beispielsweise gewährleistet werden, dass eine minimale Kühlung der Walzen 6 stets gewährleistet ist. Zu dem gleichen Zweck kann - in manchen Fällen zusätzlich, meist aber alternativ - auch über die Gesamtheit der Wirkeinrichtungen 10 gesehen vorgegeben werden, dass eine minimale Kühlwirkung nicht unterschritten wird.

[0068] Es ist weiterhin möglich, für die einzelnen Wirkeinrichtungen 10 als Randbedingung vorzugeben, dass eine maximale Kühlwirkung nicht überschritten wird. Dadurch kann beispielsweise gewährleistet werden, dass die zulässigen Stellgrenzen der Wirkeinrichtungen 10 eingehalten werden. Alternativ oder zusätzlich kann zu dem gleichen Zweck auch vorgegeben werden, dass über die Gesamtheit der Wirkeinrichtungen 10 eine maximale Kühlwirkung nicht überschritten wird. Dadurch kann - beispielsweise - im Fall individuell angesteuerter Ventile 11, die über eine gemeinsame Pumpe 12 gespeist werden - eine maximale Förderleistung der Pumpe 12 berücksichtigt werden.

[0069] Es ist möglich, für die einzelnen Wirkeinrichtungen 10 als Randbedingung vorzugeben, dass eine maximale Verstellgeschwindigkeit der jeweiligen Wirkeinrichtung 10 nicht überschritten wird. Dadurch kann die Geschwindigkeit, mit der eine Wirkeinrichtung 10 einer Anforderung an eine geänderte Kühlwirkung folgen kann, berücksichtigt werden.

[0070] Schließlich ist möglich, für die einzelnen Wirkeinrichtungen 10 als Randbedingung vorzugeben, dass eine minimale Verstellgeschwindigkeit der jeweiligen Wirkeinrichtung 10 nicht unterschritten wird. Dies kann aus energetischen Gründen sinnvoll sein.

[0071] Soweit es die minimale und die maximale Kühlwirkung betrifft, können diese fest vorgegeben sein. Sie können aber auch von der Walzentemperatur der Walzen 6 und/oder der Walztemperatur des Walzguts 2 abhängen.

[0072] Die genaue Art und Weise der Ansteuerung des Stellgliedes 8 und der Kühleinrichtung 9 ist als solche nicht mehr Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Beispielsweise können bezüglich der Kühleinrichtung 9 Kühlmittelflüsse erfasst und entsprechend der Kühlungsansteuerung x9 geregelt werden. Dies ist gleichermaßen bei (kontinuierlich verstellbaren) Regelventilen als auch bei reinen Schaltventilen (auf-zu) möglich.

[0073] Aufgrund des Umstands, dass der Ermittlungszeitraum T2 zusätzlich zum Walzzeitraum T1 auch den Zusatzzeitraum T3 umfassen kann, ist es sowohl im Rahmen der Ausgestaltung von FIG 4 als auch im Rahmen der Ausgestaltung von FIG 6 möglich, vor dem Walzen des Walzguts 2 bereits mit der thermischen Einstellung der Walzenkontur zu beginnen. Dies ist insbesondere deshalb von Vorteil, weil die thermische Einstellung oftmals sehr träge ist. Im Idealfall beginnt der Zusatzzeitraum T3 mit dem Zeitpunkt, zu dem ein vor dem betrachteten Walzgut 2 gewalztes Walzgut aus dem relevanten Walzgerüst 1 ausläuft. Denn ab diesem Zeitpunkt kann die thermische Beeinflussung der Walzen 6 für das betrachtete Walzgut 2 erfolgen. Im Idealfall ist somit die Ausführung der Schritte S1 bis S5 bzw. S11 bis S15 kurz vor dem Auslaufen des vor dem betrachteten Walzgut 2 gewalzten Walzguts aus dem relevanten Walzgerüst 1 abgeschlossen, so dass sofort mit der Ausführung des Schrittes S6 bzw. des Schrittes S16 begonnen werden kann. Der Zusatzzeitraum T3 kann jedoch auch zu einem späteren Zeitpunkt beginnen. Weiterhin wirkt in einem derartigen Fall die Stellgliedansteuerung x8 zwar weiterhin auf die Einbaustücke 7 und damit auf die Walzen 6. Während des Zusatzzeitraums T3 erfolgt in dem Walzgerüst 1 jedoch noch kein Walzen des Walzguts 2. Die Stellgliedansteuerung x8 ist daher während des Zusatzzeitraums irrelevant.

[0074] Das erfindungsgemäße Steuerverfahren wird immer wieder neu durchgeführt. Es ist möglich, die Ausführung mit einem festen Zeittakt durchzuführen, beispielsweise alle 20 Sekunden. Auch ist es möglich, dass Steuerverfahren jeweils erneut durchzuführen, wenn der Steuereinrichtung 3 die Walzgutdaten D eines neuen Walzguts 2 bekannt werden oder anderweitig eine Auslösung veranlasst wird, beispielsweise durch einen Lastwechsel in einem Walzgerüst 1. Es ist sogar möglich, das erfindungsgemäße Steuerverfahren mit einem relativ kurzen Zeittakt immer wieder durchzuführen. In diesem Fall wirkt die Steuereinrichtung 3 im Sinne eines modellprädiktiven Reglers.

[0075] Es ist weiterhin möglich, dass Steuerverfahren alternativ für ein einzelnes Walzgerüst 1 oder für mehrere der Walzgerüste 1 der Walzstraße durchzuführen.

[0076] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere kann eine überlegene Steuerung des Walzgerüsts 1 erfolgen.

[0077] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele 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.

Bezugszeichenliste

[0078]

1	Walzgerüste
2	Walzgut
3	Steuereinrichtung
4	Steuerprogramm
5 5	Maschinencode
6	Walzen
7	Einbaustücke
8, 8a, 8b	Stellglieder
9	Kühleinrichtung
10 10	Wirkeinrichtungen
11	Ventile
12	Pumpen
13	Kühlmedium
14i	Abschnitte
15 b	Walzgutbreite
d	Dicke
D	Walzgutdaten
D'	Walzgerüstdaten
20 D"	Anfangsdaten
S1 bis S16	Schritte
T1	Walzzeitraum
T2	Ermittlungszeitraum
T3	Zusatzzeitraum
25 ti	Zeitpunkte
x8, x9	Ansteuerungen

Patentansprüche

- 30 1. Steuerverfahren für eine Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst (1) zum Walzen eines flachen Walzguts (2) aus Metall,
 - 35 - wobei eine Steuereinrichtung (3) der Walzstraße für einen Walzzeitraum (T1), während dessen das Walzgut (2) in dem Walzgerüst (1) gewalzt werden soll, einen zeitlichen Verlauf von Walzgutdaten (D) entgegennimmt und der Steuereinrichtung (3) für den Walzzeitraum (T1) ein zeitlicher Verlauf von Walzgerüstdaten (D') des Walzgerüsts (1) und für den Beginn eines zumindest den Walzzeitraum (T1) umfassenden Ermittlungszeitraums (T2) Anfangsdaten (D") des Walzgerüsts (1) bekannt werden,
 - 40 - wobei die Walzgutdaten (D) eines jeweiligen Zeitpunkts (ti) des Walzzeitraums (T1) den Zustand eines jeweiligen Abschnitts (14i) des Walzguts (2), der zu dem jeweiligen Zeitpunkt (ti) in dem Walzgerüst (1) gewalzt werden soll, unmittelbar vor dem Walzen in dem Walzgerüst (1) beschreiben,
 - 45 - wobei die Walzgerüstdaten (D') eines jeweiligen Zeitpunkts (ti) des Walzzeitraums (T1) den Zustand des Walzgerüsts (1) beschreiben, mit dem das Walzgerüst (1) zu dem jeweiligen Zeitpunkt (ti) betrieben werden soll,
 - 50 - wobei die Anfangsdaten (D") einen Zustand von Walzen (6) des Walzgerüsts (1) zu Beginn

- des Ermittlungszeitraums (T2) beschreiben,
 - wobei die Steuereinrichtung (3) vor dem Beginn des Ermittlungszeitraums (T2) unter Verwertung des zeitlichen Verlaufs der Walzgutdaten (D), der Walzgerüstdaten (D') und der Anfangsdaten (D") für den Ermittlungszeitraum (T2) einen zeitlichen Verlauf einer Kühlungsansteuerung (x9) ermittelt,
 - wobei die Kühlungsansteuerung (x9) die Ansteuerung einer Kühleinrichtung (9) ist, mittels derer die Walzen (6) über eine Ballenlänge der Walzen (6) gekühlt werden,
 - wobei die Steuereinrichtung (3) zum Ermitteln des zeitlichen Verlaufs der Kühlungsansteuerung (x9) ein Optimierungsproblem ansetzt und löst,
 - wobei in das Optimierungsproblem die Walzgutdaten (D) und die Walzgerüstdaten (D') des Walzgerüsts (1) des Walzzeitraums (T1) und die Anfangsdaten (D") des Walzgerüsts (1) als Eingangsgrößen eingehen und die Kühlungsansteuerung (x9) während des Ermittlungszeitraums (T2) als zu ermittelnde Variable eingehen,
 - wobei die Steuereinrichtung (3) den zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung (x9) derart ermittelt, dass ein vorbestimmtes Optimierungsziel möglichst gut erreicht wird und
 - wobei die Steuereinrichtung (3) die Kühleinrichtung (9) während des Ermittlungszeitraums (T2) entsprechend der ermittelten Kühlungsansteuerung (x9) ansteuert.
2. Steuerverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Steuereinrichtung (3) im Rahmen des Optimierungsproblems einen an den Walzen (6) des Walzgerüsts (1) auftretenden Verschleiß ermittelt und den Verschleiß bei der Ermittlung der Kühlungsansteuerung (x9) berücksichtigt.
3. Steuerverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das Walzgerüst ein Stellglied (8) umfasst, das auf Einbaustücke (7) der Walzen (6) des Walzgerüsts (1) wirkt und durch dessen Ansteuerung ein Walzspaltverlauf des Walzgerüsts (1) über die gesamte Ballenbreite einstellbar ist, und dass die Walzgerüstdaten (D') eine Stellgliedansteuerung (x8) für das Stellglied (8) umfassen.
4. Steuerverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**,
 - **dass** die Steuereinrichtung (3) vor dem Walzen des Walzguts (2) in dem Walzgerüst (1) für den Ermittlungszeitraum (T2) nicht nur einen zeitlichen Verlauf der Kühlungsansteuerung (x9), sondern auch einen zeitlichen Verlauf einer Stellgliedansteuerung (x8) ermittelt,
 - **dass** die Stellgliedansteuerung (x8) die Ansteuerung eines auf Einbaustücke (7) der Walzen (6) des Walzgerüsts (1) wirkenden Stellgliedes (8) ist, durch dessen Ansteuerung ein Walzspaltverlauf über die gesamte Ballenbreite einstellbar ist,
 - **dass** die Steuereinrichtung (3) zum Ermitteln des zeitlichen Verlaufs der Kühlungsansteuerung (x9) und der Stellgliedansteuerung (x8) ein einheitliches Optimierungsproblem ansetzt und löst,
 - **dass** in das Optimierungsproblem zusätzlich zur Kühlungsansteuerung (x9) auch die Stellgliedansteuerung (x8) während des Ermittlungszeitraums (T2) als zu ermittelnde Variable eingeht und
 - **dass** die Steuereinrichtung (3) das Stellglied (8) zumindest während des Walzzeitraums (T1) basierend auf der ermittelten Stellgliedansteuerung (x8) ansteuert.
5. Steuerverfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das vorbestimmte Optimierungsziel umfasst, das Stellglied (8) in einem vorbestimmten Teilbereich seines möglichen Stellbereichs zu halten.
6. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das vorbestimmte Optimierungsziel umfasst, eine vorbestimmte Sollkontur und/oder eine vorbestimmte Sollplanheit der Abschnitte (14i) des Walzguts (2) nach dem Walzen in der Walzstraße zu erzielen.
7. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
dass das vorbestimmte Optimierungsziel umfasst, eine vorbestimmte Sollkontur und/oder eine vorbestimmte Sollplanheit der Abschnitte (14i) des Walzguts (2) nach dem Walzen in dem Walzgerüst (1) zu erzielen.
8. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
dass die Steuereinrichtung (3) im Rahmen des Lösen des Optimierungsproblems als Randbedingungen mindestens eine der folgenden Bedingungen berücksichtigt:
 - pro Wirkeinrichtung (10) der Kühleinrichtung (9) wird eine minimale Kühlwirkung nicht unterschritten und/oder eine maximale Kühlwirkung nicht überschritten,
 - über die Gesamtheit der Wirkeinrichtungen (10) gesehen wird eine minimale Kühlwirkung

nicht unterschritten und/oder eine maximale Kühlwirkung nicht überschritten,
 - pro Wirkeinrichtung (10) wird eine minimale Verstellgeschwindigkeit der jeweiligen Wirkeinrichtung (10) nicht unterschritten und/oder maximale Verstellgeschwindigkeit der jeweiligen Wirkeinrichtung (10) nicht überschritten.

9. Steuerverfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass die minimale Kühlwirkung und/oder die maximale Kühlwirkung von der Walzentemperatur der Walzen (6) und/oder der Walztemperatur des Walzguts (2) abhängen. 5
10. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Ermittlungszeitraum (T2) auch einen dem Walzzeitraum (T1) vorausgehenden Zusatzzeitraum (T3) umfasst. 10
11. Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Walzen (6) über eine Ballenlänge der Walzen (6) gesehen mittels der Kühleinrichtung (9) ortsabhängig gekühlt werden und dass mittels der Kühlungsansteuerung (x9) das Ausmaß der ortsabhängigen Kühlung eingestellt wird. 15
12. Steuerprogramm für eine Steuereinrichtung (3) zum Steuern einer Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst (1) zum Walzen eines flachen Walzguts (2) aus Metall, wobei das Steuerprogramm Maschinencode (5) umfasst, der von der Steuereinrichtung (3) unmittelbar abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (5) durch die Steuereinrichtung (3) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (3) ein Steuerverfahren nach einem der obigen Ansprüche ausführt. 20
13. Steuereinrichtung zum Steuern einer Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst (1) zum Walzen eines flachen Walzguts (2) aus Metall, wobei die Steuereinrichtung mit einem Steuerprogramm (4) nach Anspruch 12 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung im Betrieb ein Steuerverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausführt. 25
14. Walzstraße mit mindestens einem Walzgerüst (1) zum Walzen eines flachen Walzguts (2) aus Metall, 30
 - wobei das Walzgerüst (1) eine Kühleinrichtung (9) aufweist, mittels derer Walzen (6) des Walzgerüsts (1) über die Ballenlänge der Walzen (6) gesehen ortsabhängig gekühlt werden, 35
 - wobei die Walzstraße eine Steuereinrichtung (3) aufweist, 40
 - wobei die Steuereinrichtung (3) mit einem 45

Steuerprogramm (4) nach Anspruch 12 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung (3) im Betrieb ein Steuerverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausführt.

15. Walzstraße nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Walzgerüst (1) ein Stellglied (8) aufweist, das auf Einbaustücke (7) von Walzen (6) des Walzgerüsts (1) wirkt und durch dessen Ansteuerung ein Walzspaltverlauf ausschließlich über eine Ballenlänge der Walzen (6) einstellbar ist, und/oder dass das Walzgerüst (1) eine Kühleinrichtung (9) aufweist, mittels derer die Walzen (6) über eine Ballenlänge der Walzen (6) gesehen ortsabhängig gekühlt werden. 50

FIG 1

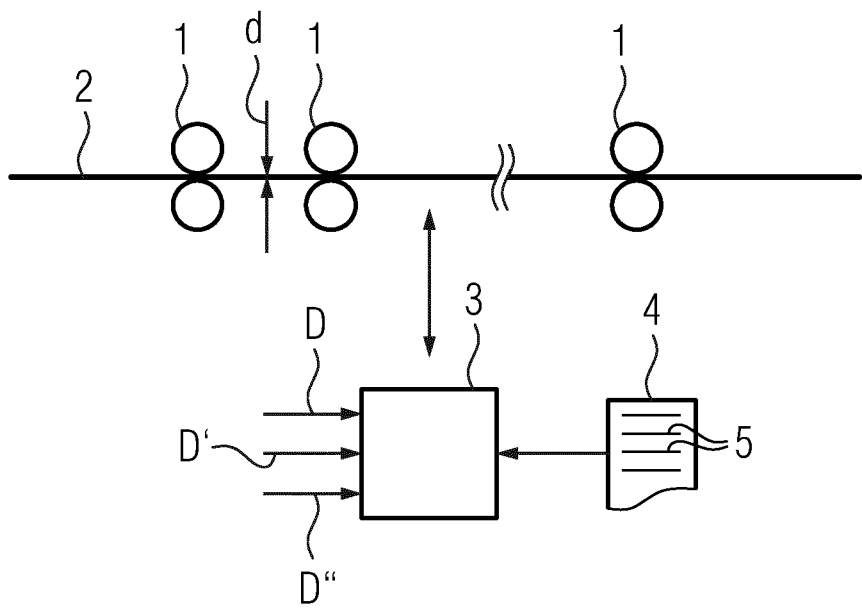


FIG 2

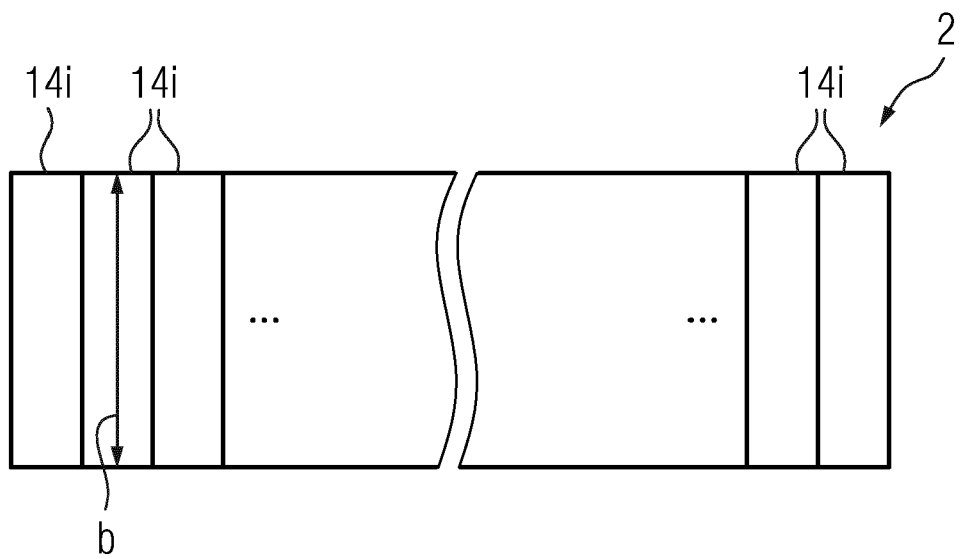


FIG 3

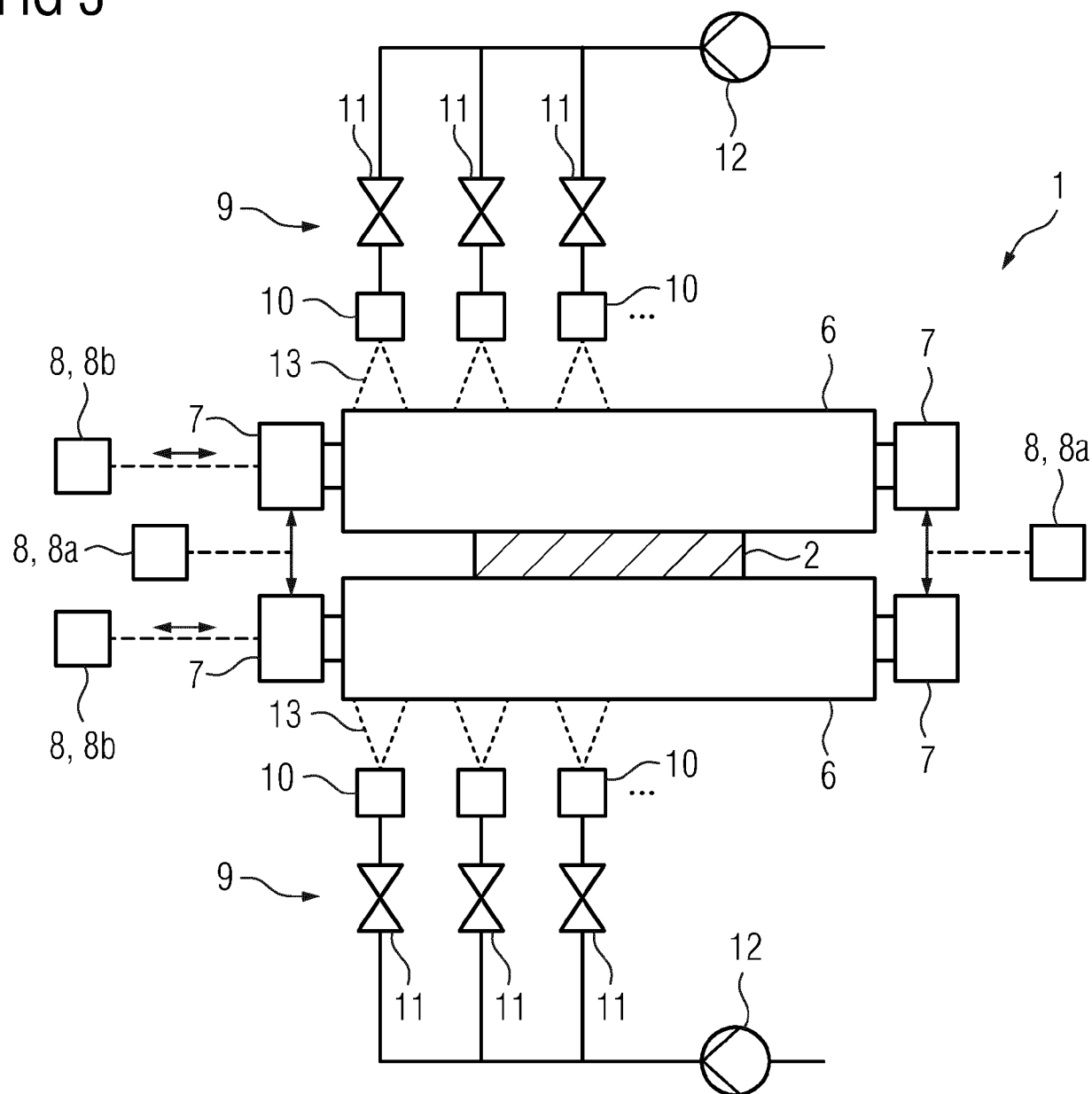


FIG 4

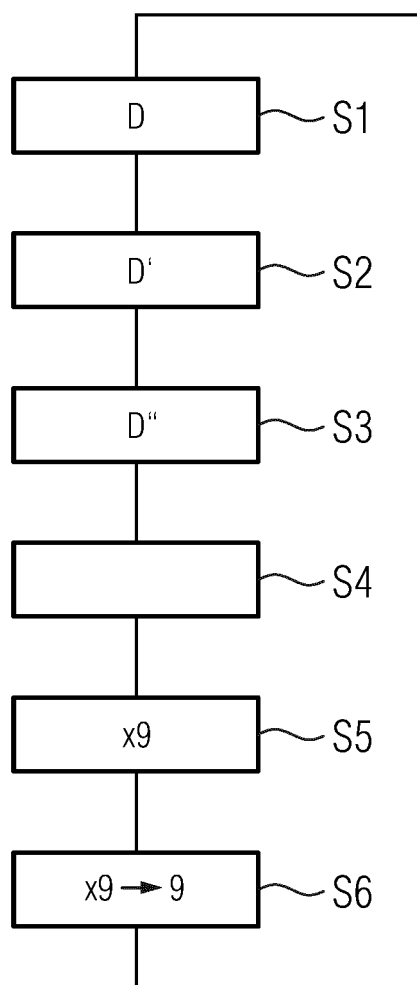


FIG 5

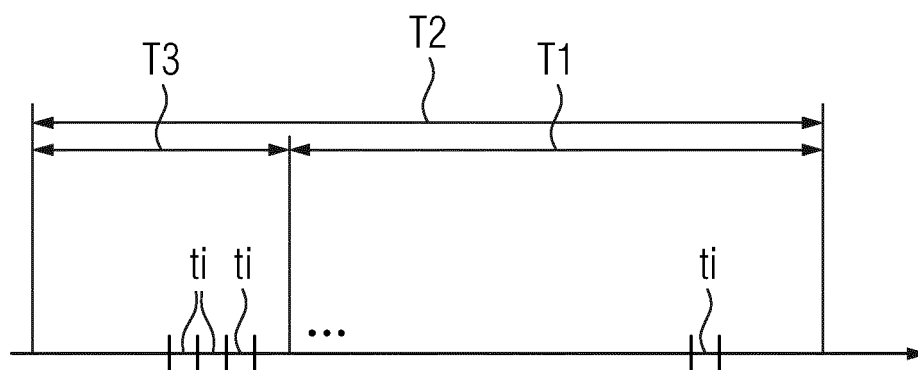
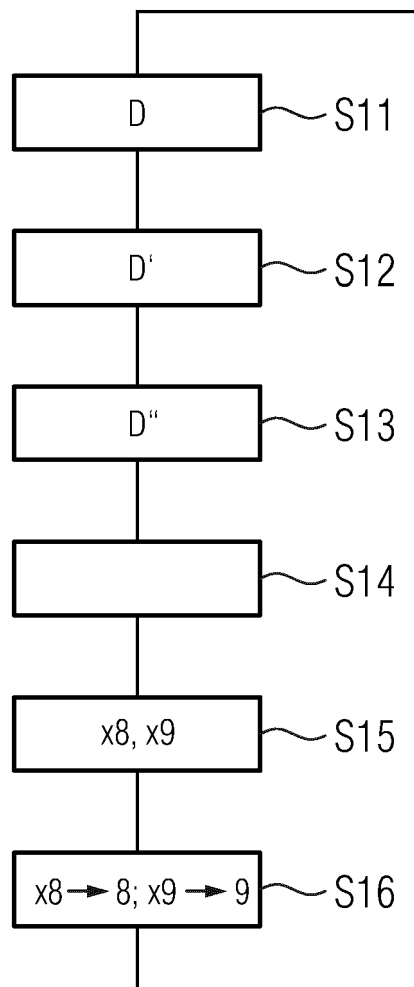


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 21 8669

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

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	EP 3 691 806 B1 (PRIMETALS TECHNOLOGIES GERMANY GMBH [DE]) 20. Oktober 2021 (2021-10-20) * Absatz [0051] - Absatz [0090]; Ansprüche 1-17; Abbildungen 1-2, 5, 7 *	1-15	INV. B21B37/32
A, D	DE 29 11 621 A1 (LOEWY ROBERTSON ENG CO LTD) 4. Oktober 1979 (1979-10-04) * Ansprüche 1, 13; Abbildung 1 *	1-15	
A	EP 0 591 291 B1 (SIEMENS AG [DE]) 8. November 1995 (1995-11-08) * Ansprüche 1-8; Abbildungen 1-3 *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		3. April 2024	Forciniti, Marco
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		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	
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			

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

EP 23 21 8669

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

03-04-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3691806 B1	20-10-2021	BR 112020005598 A2	29-09-2020
		CN 111132773 A	08-05-2020
		EP 3461567 A1	03-04-2019
		EP 3691806 A1	12-08-2020
		US 2020246851 A1	06-08-2020
		WO 2019068376 A1	11-04-2019

DE 2911621 A1	04-10-1979	DE 2911621 A1	04-10-1979
		GB 2017974 A	10-10-1979
		JP S6227882 B2	17-06-1987
		JP S54135657 A	22-10-1979
		US 4269051 A	26-05-1981

EP 0591291 B1	08-11-1995	AT E129938 T1	15-11-1995
		EP 0591291 A1	13-04-1994
		JP H06508560 A	29-09-1994
		US 5502992 A	02-04-1996
		WO 9300181 A1	07-01-1993

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 2911621 A1 **[0005]**
- EP 0063605 A1 **[0005]**
- US 20060156778 A1 **[0006]**
- KR 20160142956 A **[0007]**