



(11) **EP 1 596 999 B2**

(12) **NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**
Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:
25.05.2011 Patentblatt 2011/21

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:
20.12.2006 Patentblatt 2006/51

(21) Anmeldenummer: **04710798.2**

(22) Anmeldetag: **13.02.2004**

(51) Int Cl.:
B21B 37/74 (2006.01)

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/001365

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/076085 (10.09.2004 Gazette 2004/37)

(54) **VERFAHREN ZUR REGELUNG DER TEMPERATUR EINES METALLBANDES, INSBESONDERE
IN EINER KÜHLSTRECKE**

METHOD FOR REGULATING THE TEMPERATURE OF A METAL STRIP, ESPECIALLY IN A
COOLING PATH

PROCEDE DE REGULATION DE LA TEMPERATURE D'UNE BANDE METALLIQUE, EN
PARTICULIER DANS UN PARCOURS DE REFROIDISSEMENT

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **25.02.2003 DE 10308222**
14.05.2003 DE 10321792

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.11.2005 Patentblatt 2005/47

(73) Patentinhaber: **SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **REINSCHKE, Johannes**
90419 Nürnberg (DE)
• **WEINZIERL, Klaus**
90480 Nürnberg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 014 239 EP-A1- 0 997 203
DE-A- 19 717 615 DE-A- 19 963 186
US-A- 5 126 947 US-B1- 6 185 970

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1998, Nr. 03, 27. Februar 1998 (1998-02-27) -& JP 09 285810 A (KAWASAKI STEEL CORP), 4. November 1997 (1997-11-04)**
- **LEITHOFF M.D.; RICHARD DAHM J.: 'Model reference control of runout table cooling at LTV' IRON AND STEEL ENGINEER August 1989, PITTSBURGH, Seiten 31 - 35, XP000069320**
- **'Einführung in die Regelungs-technik', 1986, CARL HANSER VERLAGE MÜNCHEN WIEN Artikel PROF.DIPL.-ING. HEINZ MANN UND PROF.DR.-ING. HORST SCHIFFELGEN, Seiten 56,57,76 - ,77,168,**
- **SATYANARAYANA A.; BISWAS S.K.; CHEN J.S.: 'Control system design for accelerated cooling process for optimized temperature-time tracking. ' MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING Bd. 2, 1994, Seiten 663 - 674**
- **'HÜTTE', 1989, INTERDRUCK, LEIPZICH, ISBN 3-540-19077-5 Artikel H. CZICHOS: 'Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1989', Seiten 12,13,14 - 152,153**

EP 1 596 999 B2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung der Temperatur eines Metallbandes in einer Anlage der Stahlindustrie, nämlich in einer Kühlstrecke, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein solches Verfahren ist aus der DE 199 63 186 A1 bekannt.

[0002] Aus der DE 199 63 186 A1 ist ein Steuerverfahren für eine Kühlstrecke bekannt, der eine Fertigstraße zum Walzen von Metall-Warmband vorgeordnet ist. Bei diesem Steuerverfahren werden beim Einlaufen des Warmbandes in die Kühlstrecke Bandpunkte und deren Anfangstemperaturen erfasst und den erfassten Bandpunkten individuell Solltemperaturverläufe zugeordnet. Die Bandpunkte, deren Anfangstemperaturen und deren Solltemperaturverläufe werden einem Modell für die Kühlstrecke zugeführt. Die Bandpunkte werden beim Durchlaufen der Kühlstrecke wegverfolgt. In der Kühlstrecke wird das Warmband mittels Temperaturbeeinflussungseinrichtungen Temperaturbeeinflussungen unterworfen. Die Wegverfolgungen und die Temperaturbeeinflussungen werden ebenfalls dem Modell zugeführt. Das Modell ermittelt in Echtzeit erwartete Ist-Temperaturen der erfassten Bandpunkte und ordnet diese den Bandpunkten zu. Dadurch steht für jeden Bandpunkt zu jedem Zeitpunkt die Temperatur als Funktion über die Banddicke zur Verfügung. Ferner ermittelt es anhand der den erfassten Bandpunkten zugeordneten Solltemperaturverläufe und der erwarteten Ist-Temperaturen Ansteuerwerte für die Temperaturbeeinflussungseinrichtungen und führt die Ansteuerwerte diesen zu. Die Temperaturführung dient insbesondere zum gezielten Einstellen von Material- und Gefügeeigenschaften des Metall-Warmbandes. In der Regel wird dabei die Temperaturführung derart durchgeführt, dass ein vorbestimmter Haspeltemperaturverlauf vom Ausgang der Kühlstrecke möglichst gut erreicht wird.

[0003] Der Regelbereich der Kühlstrecke wird in mehrere Teilbereiche aufgeteilt, die in Laufrichtung des Metallbandes gesehen hintereinander liegen. Jedem Teilbereich wird eine Gruppe von jeweils mehreren Ventilen zugeordnet.

[0004] Maßgeblich für Material- und Gefügeeigenschaften des Metallbands sind neben der chemischen Zusammensetzung und Parametern des Umformprozesses, wie z.B. die Abnahmeverteilung über die Gerüste der Fertigstaffel und der zeitliche Temperaturverlauf des Bandmaterials beim Durchlauf durch die Anlage.

[0005] Die letzten Stellglieder für den Temperaturverlauf des Metallbandes innerhalb der Anlage befinden sich dabei in der Regel innerhalb der Kühlstrecke. In der Kühlstrecke vollzieht sich häufig auch die Phasenumwandlung des Materials. Als Stellglieder dienen in der Regel die Ventile der Kühlstrecke. Bei bestimmten Kühlstrecken, wie z.B. Grobblechstraßen, kann zusätzlich auch der Massenfluss, d.h. insbesondere die Bandgeschwindigkeit, gestellt werden.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Steuerung bzw. die Regelung der Temperatur eines Metallbandes, dabei insbesondere in einer Kühlstrecke, in einer Anlage der Stahlindustrie derart zu verbessern, dass die Nachteile bekannter Steuerungen bzw. Regelungen weitestgehend vermieden werden und die Effizienz der Steuerung bzw. Regelung erhöht wird.

[0007] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung der Temperatur eines Metallbandes in einer Anlage der Stahlindustrie gelöst, nämlich in einer Kühlstrecke, die einer Walzstraße zum Walzen von Metallwarmband nachgeordnet ist, wobei zur Ermittlung von Stellsignalen ein Soll-Temperaturverlauf mit einem Ist-Temperaturverlauf verglichen wird, und wobei Bandpunkte wegverfolgt werden, wobei ein Temperaturverlauf für einzelne Bandpunkte ermittelt wird und wobei unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen mindestens eine Zielfunktion für mehrere Stellglieder in einem Regelbereich der Kühlstrecke gebildet wird.

[0008] Hierbei wird die Zielfunktion durch Lösen eines Optimierungsproblems minimiert oder maximiert. Im Rahmen des Lösens des Optimierungsproblems werden die Gruppen von jeweils mehreren Ventilen der Kühlstrecke als Stellglied aufgefasst. Für jedes derartige Stellglied wird ein Stellwert berechnet, der im Rahmen der Ansteuerung der Ventile gemäß einer Schaltheuristik auf die einzelnen Ventile der jeweiligen Gruppe aufgeteilt wird. Im Rahmen ihrer Ansteuerung werden die Ventile gruppenweise angesteuert.

[0009] Durch die Berücksichtigung von Nebenbedingungen, die vorzugsweise Anlagengrenzen bzw. Stellbegrenzungen entsprechen, wird es möglich, insbesondere für verschiedene Kühlstrecken-Layouts und vor allem für den Fall eines vorgegebenen Temperatur- bzw. Abkühlverlaufs, (Stell-) Vorgaben zu ermitteln, die Stellbegrenzungen in sinnvoller Weise berücksichtigen. So wird beispielsweise bei einer zweigeteilten Kühlstrecke vermieden, dass die Vorgabe einer zu hohen Temperatur zwischen beiden Teilkühlstrecken zur Folge hat, dass die Haspeltemperatur mit der verfügbaren Kühlmittelmenge der zweiten Teilkühlstrecke nicht mehr erreicht werden kann. Derart und insbesondere auch durch die Wegverfolgung der Bandpunkte wird die Genauigkeit der Steuerung bzw. Regelung deutlich verbessert.

[0010] Derart wird eine Steuerung bzw. Regelung auch dann möglich, wenn ein Temperatur- bzw. Abkühlverlauf vorgegeben wird, der nicht exakt realisierbar ist. Das Verfahren ermittelt dann die bestmögliche Approximation.

[0011] Mit Vorteil wird ein quadratisches Optimierungsproblem gelöst. Derart wird die Zeit zum Lösen des Optimierungsproblems in der Regel deutlich verringert.

[0012] Mit Vorteil wird der Ist-Temperaturverlauf und/oder der Soll-Temperaturverlauf des Metallbandes unter Zuhilfenahme mindestens eines Modells ermittelt. Derart wird eine verbesserte Steuerung bzw. Regelung der Temperatur des Metallbandes auch dann ermöglicht, wenn die tatsächliche Bandtemperatur an für die Steue-

rung bzw. Regelung relevanten Orten, insbesondere der Kühlstrecke, nicht gemessen werden kann.

[0013] Alternativ oder zusätzlich wird der Ist-Enthalpieverlauf und/oder der Soll-Enthalpieverlauf ermittelt.

[0014] Mit Vorteil wird die Zielfunktion durch Lösen des Optimierungsproblems mittels Vorausberechnung minimiert bzw. maximiert. Insbesondere wird auf diese Weise die zur Voreinstellung der Stellglieder benötigte Zeit deutlich reduziert. Vorzugsweise werden derart zudem die Stellglieder optimal im Hinblick auf eine nachfolgende Online-Regelung voreingestellt,

[0015] Mit Vorteil wird die Zielfunktion vorzugsweise online durch Lösen des Optimierungsproblems iterativ minimiert bzw. maximiert.

[0016] Vorteilhaftige Weiterbildungen des Verfahrens sind in den Ansprüchen 8 bis 14 angegeben.

[0017] Weitere Lösungen der erfindungsgemäßen Aufgabe sind in den Ansprüchen 15 bis 18 angegeben.

[0018] Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele der Erfindung in Verbindung mit den Zeichnungen. Dabei zeigen beispielhaft:

FIG 1 den prinzipiellen Aufbau eines Walzwerks,

FIG 2 die Kühlstrecke eines Walzwerks sowie eine zu deren Steuerung bzw. Regelung dienende Recheneinrichtung,

FIG 3 eine Kühlstrecke und eine ihr schematisch zugeordnete Kühlstreckenregelung,

FIG 4 mögliche Module einer Kühlstreckenregelung,

FIG 5 Vorausberechnung und eine Echtzeitregelung einer Kühlstrecke,

FIG 6 einen möglichen Temperaturverlauf eines Metallbandes in der Kühlstrecke.

[0019] Figur 1 zeigt eine Anlage zur Erzeugung von Metallband 6, die eine Vorstraße 2, eine Fertigstraße 3 und eine Kühlstrecke 4 umfasst. Das Metallband 6 wird dabei vorzugsweise warm gewalzt. Hinter der Kühlstrecke 4 ist vorzugsweise eine Haspelvorrichtung 5 angeordnet. Von ihr wird das in den Straßen 2 und 3 gewalzte und in der Kühlstrecke 4 gekühlte Metallband 6 aufgespalt. Den Straßen 2 bzw. 3 ist eine Bandquelle 1 vorgeordnet. Die Bandquelle 1 ist beispielsweise als Ofen ausgebildet, in dem Metallbrammen erwärmt werden. Die Bandquelle 1 kann beispielsweise auch als Stranggießanlage ausgebildet sein, in der Metallband 6 erzeugt wird, das dann der Vorstraße 2 zugeführt wird.

[0020] Die Anlage zur Stahlerzeugung und insbesondere die Straßen 2, 3 sowie die Kühlstrecke 4 und die mindestens eine Haspelvorrichtung 5 werden mittels eines Steuerverfahrens gesteuert, das von einer Recheneinrichtung 10 ausgeführt wird. Hierzu ist die Rechen-

einrichtung 10 mit ein oder mehreren der Komponenten 1 bis 5 der Anlage zur Stahlerzeugung steuerungstechnisch gekoppelt. Die Recheneinrichtung 10 ist mit einem als Computerprogramm ausgebildeten Steuerprogramm programmiert, aufgrund dessen sie das erfindungsgemäße Verfahren zur Steuerung bzw. zur Regelung der Temperatur des Metallbandes 6 ausführt.

[0021] Gemäß Figur 1 verlässt das Metallband bzw. die Bramme 6 die Bandquelle 1 und wird zunächst in der Vorstraße 2 auf eine Eingangsdicke für die Fertigstrecke 3 gewalzt. Innerhalb der Fertigstraße wird das Band 6 dann mittels der Walzgerüste 3' auf seine Enddicke gewalzt. Die anschließende Kühlstrecke 4 kühlt das Band auf eine vorgegebene Haspeltemperatur ab.

[0022] Um gewünschte mechanische Eigenschaften des Bandes 6 zu gewährleisten, muss ein geeigneter Temperaturverlauf für die Fertigstraße 3 und für die Kühlstrecke 4 eingehalten werden. Hierzu wird vorzugsweise ein Soll-Temperaturverlauf abhängig von beispielsweise dem Anlagentyp, dem Betriebsmodus, dem jeweiligen Auftrag und gewünschten Eigenschaften des Metallbandes 6 vorgegeben.

[0023] Figur 5 zeigt eine Recheneinrichtung 10 zur Steuerung einer Kühlstrecke 4. Dabei weist die Recheneinrichtung 10 ein Vorausberechnungsmodul 21 und ein Modul 22 für vorzugsweise online Berechnungen insbesondere während des Kühlprozesses auf.

[0024] Mit Hilfe des Vorausberechnungsmoduls 21 können die Stellglieder der Fertigstraße 4 initialisiert werden. Dazu werden beispielsweise Schätzwerte für fehlende Messwerte, beispielsweise die Eingangsgeschwindigkeit des Metallbandes, die Temperatur des Metallbandes am Ende der Fertigstraße 3 und die Banddicke, verwendet. Als bedienerseitige Eingabewerte für das Vorausberechnungsmodul 21 dienen beispielsweise gewünschte Materialwerte 105.

[0025] Die Vorausberechnung 20 innerhalb des Vorausberechnungsmoduls 21 läuft iterativ ab. Das bedeutet, dass Berechnungen mit verschiedenen Kühlmittelmengen wiederholt werden, bis vorgegebene Fehler minimiert sind. Die Vorausberechnung 20 ist daher mit online fähigen Kühlstreckenmonitor 11 sowie einer Adaptation 18 gekoppelt.

[0026] Das Berechnungsmodul 22 weist einen Kühlstreckenmonitor 11 und eine Kühlstreckenregelung 12 auf, die miteinander gekoppelt sind. Der Kühlstreckenmonitor 11 und die Kühlstreckenregelung 12 steuern die Stellglieder der Kühlstrecke 4 und sind vorzugsweise mit einem oder mehreren Modellen der Kühlstrecke, die z.B. in einer Modellbibliothek 19 abgelegt sein können, gekoppelt. Vorzugsweise wird eines der Modelle zur Steuerung der Stellglieder verwendet. Die Kühlstreckenregelung 12 gibt Stellsignale 101 an die Kühlstrecke 4 weiter, beispielsweise in Form von Stellmustern für Kühlmittelventile.

[0027] Figur 2 beschreibt die Funktionsweise des Kühlstreckenmonitors 11 und der Kühlstreckenregelung 12 genauer.

[0028] Der Kühlstreckenmonitor 11 ermittelt den Zustand der Kühlstrecke 4. Als Eingangsparameter für den Kühlstreckenmonitor 11 dienen beispielsweise Werte wie die Geschwindigkeit des Metallbandes 6, Bandtemperaturen sowie Kühlmitteltemperaturen und Kühlmittel-

[0029] Weitere Eingangsgrößen sind die Einstellungen der Stellglieder, d.h. also vorzugsweise der Ventile 7.

[0030] Vorzugsweise ist im Eingangsbereich der Kühlstrecke 4 ein Endwalztemperatur-Messplatz 8 zur Messung der Temperatur des Metallbands 6 angeordnet. Hier wird die Temperatur des am Ende der Fertigstraße 3 bzw. die Temperatur zwischen Fertigstraße 3 und Kühlstrecke 4 gemessen. Am Ende der Kühlstrecke 4 ist vorzugsweise ein Endtemperatur-Messplatz 9 angeordnet. Hier wird die Temperatur vor der Haspelvorrichtung 5 bzw. am Ende der Kühlstrecke 4 gemessen. Eingangsgrößen des Kühlstreckenmonitors 11 sind die am Endwalztemperatur-Messplatz 8 ermittelten Eingangstemperaturen 103 des Metallbandes, die am Haspeltemperatur-Messplatz 9 ermittelten Ausgangstemperaturen 104 des Metallbandes sowie weitere Banddaten 102, die vorzugsweise in der Fertigstraße 3, z.B. an oder kurz nach deren letztem Walzgeüst 3', ermittelt werden.

[0031] Von der Kühlstreckenregelung 12 werden an den Kühlstreckenmonitor 11 Ventilstellungen 101 übermittelt, die in der Regel jedoch vom Kühlstreckenmonitor 11 nicht auf Plausibilität geprüft werden. Der Kühlstreckenmonitor 11 ermittelt stets den gegenwärtigen Zustand der Kühlstrecke 4.

[0032] Die erfindungsgemäße Steuerung bzw. Regelung erfolgt Zeittakt weise vorzugsweise in Regelschritten. Die Kühlstreckenregelung 12 ermittelt die Ventilstellungen 101 der Ventile 7 der Kühlstrecke 4 für den jeweils nächsten Regelschritt. Dabei wird vorzugsweise ein Optimierungsproblem gelöst, auf das im weiteren Text noch näher eingegangen wird

[0033] Erfindungsgemäß wird vorzugsweise in jedem Zeittakt ein Iterationsschritt durchgeführt wird, wobei ausgehend von der einem aktuellen Zeittakt zugeordneten Lösung des Optimierungsproblems mindestens ein Stellsignal auf die Anlage aufgeschaltet wird. Vorzugsweise werden für einen nachfolgenden Zeittakt weitere aktualisierte Messwerte bei der Lösung des Optimierungsproblems berücksichtigt. Derart kann ein geschlossener Regelkreis gebildet werden.

[0034] Es ist vorteilhaft wenn bei einer hohen Anzahl von Stellgliedern, wie sie für die Kühlstrecke 4 typisch ist, bei der Aufstellung des vorzugsweise quadratischen Optimierungsproblems nicht einzelne Ventile sondern Gruppen von Ventilen als Stellglied aufgefasst werden. Die Aufteilung des berechneten Stellwerts auf die einzelnen Ventile erfolgt über eine geeignete Schaltheuristik. Das Zusammenfassen von Ventilen zu Ventilgruppen ist besonders für eine online, d.h. in Echtzeit, erfolgende Lösung des Optimierungsproblems besonders vorteilhaft.

[0035] Figur 6 zeigt einen möglichen Temperaturver-

lauf T über den Orten x der Kühlstrecke 4, wobei die Kühlstrecke 4 durch den Anfang der Kühlstrecke x_A und das Ende der Kühlstrecke x_E begrenzt ist. Ein vergleichbares Bild würde sich beim Auftragen eines Temperaturverlaufs T über die Zeit ergeben.

[0036] Figur 3 stellt die modellprädiktive Regelung der Kühlstrecke näher dar. Dabei werden von der Kühlstreckenregelung 12 vorzugsweise nicht einzelne Ventile 7a bzw. 7b, zusammenfassend als 7 bezeichnet, angesteuert, sondern aus ein oder mehreren Ventilen 7 bestehende Ventilgruppen. Dabei kann dementsprechend beispielsweise der Regelbereich 14 in mehrere Teilbereiche 14a und 14b aufgeteilt werden, wobei vorzugsweise jedem Teilbereich 14a bzw. 14b eine Ventilgruppe zugeordnet ist.

[0037] Innerhalb der Grenzen des Regelbereichs 14, dessen Grenzen sich mit den Grenzen der Kühlstrecke in der Regel decken, kann hinsichtlich der Regelung zwischen einem Hauptregelbereich 15 und einem Abgleichsregelbereich 16 unterschieden werden. Vorzugsweise werden einzelne Bandpunkte (13a, 13b) weggelassen.

[0038] Zur Steuerung und Regelung der Kühlstrecke wird ein modellprädiktiver Algorithmus eingesetzt. Dabei werden Stellglieder für N_u Zeitschritte in die Zukunft als Lösung eines vorzugsweise quadratischen Optimierungsproblems bestimmt, wobei mit dem Modell für N_y Zeitschritte Vorhersagen getroffen werden.

[0039] N_u darf 1 oder auch eine natürliche Zahl größer 1 sein. In letzterem Fall werden in der Regel nur die berechneten Stellgliedeinstellungen für den ersten Zeitschritt implementiert. Für den nächsten Zeitschritt wird unter Berücksichtigung aktueller Messwerte bzw. Vorhersagewerte neu gerechnet.

[0040] N_y muss so groß gewählt werden, dass die größte vorliegende Totzeit überwunden wird. Die größte Totzeit ergibt sich aus dem größten Abstand einer Temperaturmessstelle und der Position des nächstliegenden vorgeschalteten freien Stellventils. Zur Aufstellung des vorzugsweise quadratischen Optimierungsproblems wird ein geeignetes vorzugsweise linearisiertes Bandtemperaturmodell verwendet. In das vorzugsweise quadratische Optimierungsproblem lassen sich leicht Gleichungs- und Ungleichungsnebenbedingungen integrieren. Derart können Stellgliedbegrenzungen und unterschiedliche Kühlstreckenlayouts besonders vorteilhaft und vorzugsweise derart berücksichtigt werden, dass an der Recheneinrichtung 10 bzw. am Vorausberechnungsmodul 21 und/oder dem Berechnungsmodul 22 keine übermäßigen Änderungen vorgenommen werden müssen.

[0041] Alternativ oder zusätzlich kann eine Modellprädiktive Regelung der Kühlstrecke auch auf dem Enthalpieverlauf in der Kühlstrecke fußen. Der Enthalpieverlauf über dem Ort x bzw. über der Zeit ist dabei vergleichbar mit dem Temperaturverlauf über dem Ort (siehe auch Figur 6) bzw. über der Zeit.

[0042] Wie Figur 4 veranschaulicht, ist es möglich,

dass die Recheneinrichtung 10 ein Modul zur Kühlstreckenregelung 12 aufweist, das seinerseits mehrere Teilregelmodule 17a, 17b aufweist, die unterschiedlichen Regelbereichen 14a und 14b entsprechen.

[0043] Die erfindungsgemäße Steuerung bzw. Regelung der Kühlstrecke 4 ist unabhängig vom Kühlstreckenlayout und bietet aufgrund der modellprädiktiven Regelung ein optimales Verhalten der Steuerung auch an den Stellbegrenzungen. Vorgaben können auf flexible Weise im Sinne einer Priorisierung unterschiedlich gewichtet werden. In das erfindungsgemäße Steuerungs- bzw. Regelungsverfahren ist Edge-Masking integrierbar.

[0044] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich derart ausgestalten, dass auch die Geschwindigkeit des Metallbandes 6 gesteuert werden kann, was seine Verwendung beispielsweise auch für Grobblechstraßen möglich macht.

[0045] Insbesondere lässt sich auch eine Fertigstrasse 3 erfindungsgemäß regeln. Neben Bandgeschwindigkeit sind bei einer Fertigstrasse 3 Zwischengerüstkühlvorrichtungen weitere mögliche Stellglieder. Eine typische Zahl von Stellgliedern für eine Kühlstrecke sind beispielsweise ca. 200 Ventile 7. Dies ist eine deutlich höhere Zahl von Stellgliedern als für eine typische Fertigstrasse 3.

[0046] Eine übergreifende Steuerung bzw. Regelung für mehrere Anlagenteile 1 bis 5 kann vorzugsweise wie nachstehend beispielsweise für eine Fertigstrasse 3 und eine Kühlstrecke 4 beschrieben erzielt werden.

[0047] Zur übergreifenden Steuerung bzw. Regelung werden vorzugsweise das Temperaturmodell der Fertigstrasse 3 und das Temperaturmodell der Kühlstrecke 4 verkettet. Durch Addition der Zielfunktionen für beide Anlagenteile 3 und 4 wird ein vorzugsweise quadratisches Optimierungsproblem mit vorzugsweise linearen Nebenbedingungen ermittelt, mit Hilfe dessen ein gemeinsames Steuerverfahren für beide Anlagenteile 3 und 4 bereitgestellt wird. Die Optimierung des Problems liefert so die Einstellungen für die Zwischengerüstkühlungen der Fertigstrasse 3, die Kühlstreckenventile 7 der Kühlstrecke 4 und Geschwindigkeit des Metallbandes 6, insbesondere für den jeweils nächsten Regelschritt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung der Temperatur eines Metallbandes (6) in einer Anlage der Stahlindustrie, nämlich in einer Kühlstrecke (4), die einer Walzstraße (2, 3) zum Walzen von Metall-Warmband (6) nachgeordnet ist, wobei zur Ermittlung von Stellsignalen ein Soll-Temperaturverlauf mit einem Ist-Temperaturverlauf verglichen wird, wobei Bandpunkte (13a, 13b) wegverfolgt werden, wobei ein Temperaturverlauf für einzelne Bandpunkte (13a, 13b) ermittelt wird, wobei unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen mindestens eine Zielfunktion für mehrere Stellglieder in einem Regel-

bereich (14) der Kühlstrecke (4) gebildet wird, wobei der Regelbereich (14) der Kühlstrecke (4) in mehrere Teilbereiche (14a, 14b) aufgeteilt wird, die in Laufrichtung des Metallbandes (6) gesehen hintereinander liegen, und jedem Teilbereich (14a, 14b) eine Gruppe von jeweils mehreren Ventilen (7) zugeordnet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion durch Lösen eines Optimierungsproblems minimiert oder maximiert wird, dass im Rahmen des Lösen des Optimierungsproblems die Gruppen von jeweils mehreren Ventilen (7) der Kühlstrecke (4) als Stellglied aufgefasst werden und dass für jedes derartige Stellglied ein Stellwert berechnet wird, der im Rahmen der Ansteuerung der Ventile (7) gemäß einer Schaltheuristik auf die einzelnen Ventile (7) der jeweiligen Gruppe aufgeteilt wird, und dass die Ventile (7) im Rahmen ihrer Ansteuerung gruppenweise angesteuert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein quadratisches Optimierungsproblem gelöst wird.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ist-Temperaturverlauf und/oder der Soll-Temperaturverlauf des Metallbandes (6) unter Zuhilfenahme mindestens eines Modells ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ist-Enthalpieverlauf und/oder der Soll-Enthalpieverlauf unter Zuhilfenahme mindestens eines Modells ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Modell online adaptiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion durch Lösen des Optimierungsproblems mittels Vorausberechnung minimiert oder maximiert wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zielfunktion vorzugsweise online durch Lösen des Optimierungsproblems, iterativ minimiert oder maximiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in jedem Zeittakt ein Iterationsschritt durchgeführt wird, wobei ausgehend von der einem aktuellen Zeittakt zugeordneten Lösung des Optimierungsproblems mindestens ein Stellsignal auf die Anlage aufgeschaltet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** für einen nachfolgenden Zeittakt weitere Messwerte bei der Lösung

des Optimierungsproblems berücksichtigt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass ein geschlossener Regelkreis gebildet wird. 5
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass das Optimierungsproblem mit linearen Nebenbedingungen gelöst wird. 10
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur des Metallbandes (6) auch in der der Kühlstrecke (4) vorgeordneten Walzstraße (2, 3) gesteuert und/oder geregelt wird. 15
13. Computerprogrammprodukt umfassend Programmcode-Mittel geeignet zur Durchführung der Schritte eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche, wenn das Computerprogrammprodukt auf einer Recheneinrichtung ausgeführt wird. 20
14. Recheneinrichtung (10) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Recheneinrichtung (10) direkt und/oder indirekt die Temperatur des Metallbandes (6) beeinflusst,
dadurch gekennzeichnet, dass die Recheneinrichtung mit einem Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13 programmiert ist. 25 30
15. Recheneinrichtung (10) nach Anspruch 14,
dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Kühlstreckenmonitor (11), ein Modul zur Vorausberechnung (20), ein Modul zur Adaption (18) und ein Modul zur Kühlstreckenregelung (12) aufweist. 35
16. Recheneinrichtung (10) nach Anspruch 14 oder 15,
dadurch gekennzeichnet, dass sie mehrere Regelmodule (17a, 17b) zur Regelung von Stellgliedern (7) und/oder von ein oder mehrere Stellglieder umfassenden Regelbereiche (14a, 14b) aufweist. 40

Claims

1. Method for controlling and/or regulating the temperature of strip metal (6) in a system employed in the steel industry, specifically in a cooling path (4) located downstream of a rolling train (2,3) for rolling hot strip metal (6), wherein a desired temperature gradient is compared for the purpose of determining adjusting signals with an actual temperature gradient, wherein points (13a, 13b) on the strip are route-tracked, wherein a temperature gradient is determined for individual points (13a, 13b) on the strip, wherein at least one target function is formed for a plurality of actuators in a regulating section (14) of 55

the cooling path (4) taking secondary conditions into account, wherein the regulating section (14) of the cooling path (4) is subdivided into a plurality of partial sections (14a, 14b), which lie one behind the other when viewed in the direction of movement of the strip metal (6) and a group of several valves (7) in each instance is assigned to each partial section (14a, 14b), **characterised in that** the target function is minimised or maximised by solving an optimization problem, **in that** in the context of solving the optimization problem the groups of several valves (7) in each instance in the cooling path (4) are construed as the actuator and **in that** for each such actuator an adjustment value is calculated, which is distributed among the individual valves (7) of the respective group according to a switching heuristic in the context of the activation of the valves (7) and **in that** the valves (7) are activated group by group in the context of their activation.

2. Method according to claim 1,
characterised in that a quadratic optimisation problem is solved.
3. Method according to one of the preceding claims,
characterised in that the actual temperature gradient and/or desired temperature gradient of the strip metal (6) is determined with the aid of at least one model.
4. Method according to one of the preceding claims,
characterised in that the actual enthalpy gradient and/or desired enthalpy gradient is determined with the aid of at least one model.
5. Method according to claim 3 or 4,
characterised in that the model is adapted online.
6. Method according to one of claims 2 to 5,
characterised in that the target function is minimised or maximised by solving the optimisation problem using predictive calculating.
7. Method according to one of the preceding claims,
characterised in that the target function is iteratively minimised or maximised preferably online by solving the optimisation problem.
8. Method according to claim 7,
characterised in that an iteration step is performed during each clocked pulse with at least one adjusting signal being applied to the system proceeding from the optimisation problem's solution assigned to a current clocked pulse.
9. Method according to claim 8,
characterised in that further measurands are taken into account for a succeeding clocked pulse when

the optimisation problem is being solved.

10. Method according to claim 9,
characterised in that a closed control loop is formed. 5
11. Method according to one of the preceding claims,
characterised in that the optimisation problem is solved with linear secondary conditions. 10
12. Method according to one of the preceding claims,
characterised in that the temperature of the strip metal (5) is also controlled and/or regulated in the rolling train (2, 3) located upstream of the cooling path (4). 15
13. Computer-program product comprising program-code means suitable for performing the steps of a method according to one of the preceding claims when the computer-program product is executed on a calculating device. 20
14. Calculating device (10) for performing the method according to one of claims 1 to 12, wherein the calculating device (10) directly and/or indirectly influences the temperature of the strip metal (6), **characterised in that** the calculating device has been programmed by means of a computer-program product according to claim 13. 25
15. Calculating device (10) according to claim 14,
characterised in that it has a cooling-path monitor (11), a module for predictive calculating (20), a module for adapting (18), and a module for cooling-path regulating (12). 30
16. Calculating device (10) according to claim 14 or 15,
characterised in that it has a plurality of regulating modules (17a, 17b) for regulating actuators (7) and/or regulating sections (14a, 14b) comprising one or more actuators. 35

Revendications

1. Procédé pour se rendre maître et/ou régler la température d'un feuillard (5) métallique dans une installation de la sidérurgie, notamment dans une zone (4) de refroidissement, qui est montée en aval d'un train (2, 3) de laminier pour laminier du feuillard (6) à chaud métallique dans lequel, pour déterminer des signaux de réglage, on compare une courbe de température de consigne à une courbe de température réelle, dans lequel on suit le trajet de points (13a, 13b) du feuillard, on détermine une courbe de température pour divers points (13a, 13b) du feuillard et, en tenant compte de contraintes secondaires, on forme au moins une fonction performance pour plu- 45

sieurs organes de réglage dans une partie (14) de régulation de la section (4) de refroidissement, la partie (14) de régulation de la zone (4) de refroidissement étant subdivisée en plusieurs sous-parties (14a, 14b) qui se succèdent dans la direction de passage du feuillard (6) métallique et un groupe de respectivement plusieurs soupapes (7) étant associé à chaque sous partie (14a, 14b), **caractérisé en ce que** l'on minimise ou maximise la fonction performance en résolvant un problème d'optimisation, **en ce que**, dans le cadre de la résolution du problème d'optimisation, on conçoit les groupes de respectivement plusieurs soupapes (7) de la zone (4) de refroidissement comme organes de réglage et ce que pour chaque organe de réglage de ce genre, on calcule une valeur de réglage qui, dans le cadre de la commande des soupapes (7), est subdivisé suivant une heuristique de commutation entre les diverses soupapes des groupes respectifs et **en ce que** l'on commande groupe par groupe les soupapes (7) dans le cadre de leur commande.

2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on résout un problème d'optimisation quadratique.
3. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on détermine la courbe de température réelle et/ou la courbe de température de consigne du feuillard (6) métallique en s'aidant d'au moins un modèle.
4. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on détermine la courbe d'enthalpie réelle et/ou la courbe d'enthalpie de consigne en s'aidant d'au moins un modèle.
5. Procédé suivant la revendication 3 ou 4, **caractérisé en ce que** l'on adapte le modèle en ligne.
6. Procédé suivant l'une des revendications 2 à 5, **caractérisé en ce que** l'on minimise ou l'on maximise la fonction de performance en résolvant le problème d'optimisation au moyen d'un calcul préalable.
7. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on minimise ou maximise par itération la fonction performance de préférence en ligne en résolvant le problème d'optimisation.
8. Procédé suivant la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'on effectue dans chaque cadence de temps un stade d'itération dans lequel, à partir d'une solution du problème d'optimisation associée à une cadence de temps instantanée, on entre au moins un signal de réglage dans l'installation.

9. Procédé suivant la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'on tient compte pour une cadence de temps venant ensuite d'autres valeurs de mesure dans la solution du problème d'optimisation. 5
10. Procédé suivant la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'on forme un circuit de régulation fermé.
11. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on résout le problème d'optimisation avec des contraintes linéaires. 10
12. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on commande et/ou régule la température du feuillard (5) métallique dans plusieurs parties (1 à 5) de l'installation de la sidérurgie, notamment dans le train (3) finisseur et dans une zone (4) de refroidissement en aval de celui-ci. 15
- 20
13. Produit de programme informatique comprenant un moyen de code programme propre à effectuer les stades d'un procédé suivant l'une des revendications précédentes lorsque le produit de programme informatique est réalisé sur un dispositif à ordinateur. 25
14. Dispositif (10) à ordinateur pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'une des revendications 1 à 12, dans lequel le dispositif (10) à ordinateur influe directement et/ou indirectement sur la température du feuillard (6) métallique, **caractérisé en ce que** le dispositif à ordinateur est programmé par un produit de programme informatique suivant la revendication 15. 30
- 35
15. Dispositif (10) à ordinateur suivant la revendication 14, **caractérisé en ce qu'il** comporte un moniteur (11) de zone de refroidissement, un module de calcul (20) à l'avance, un module d'adaptation (18) et un module de régulation (12) de la zone de refroidissement. 40
16. Dispositif (10) à ordinateur suivant la revendication 14 ou 15, **caractérisé en ce qu'il** comporte plusieurs modules (17a, 17b) de régulation d'organes de réglage (7) et/ou d'un ou de plusieurs domaines (14a, 14b) de régulation comprenant des organes de réglage. 45

50

55

FIG 1

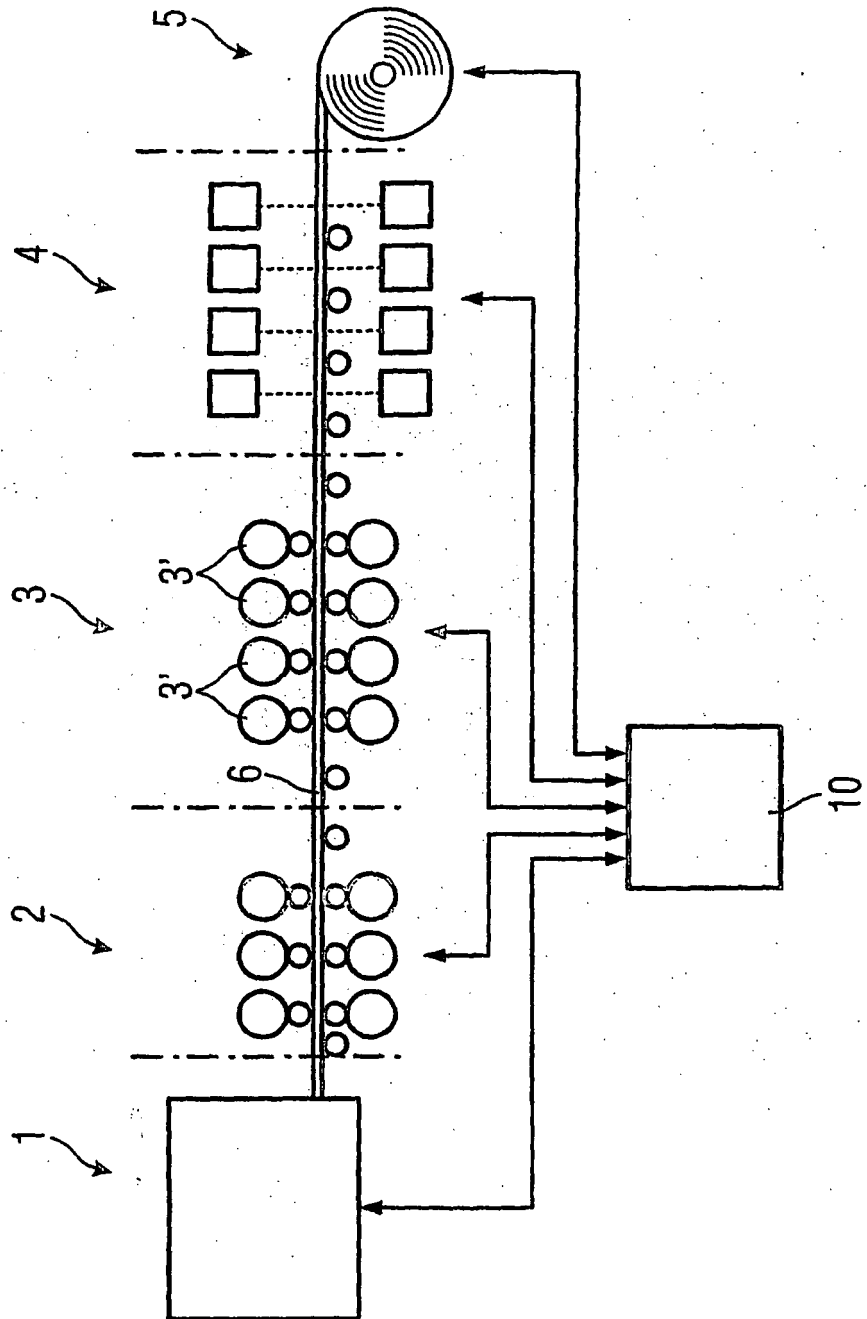


FIG 2

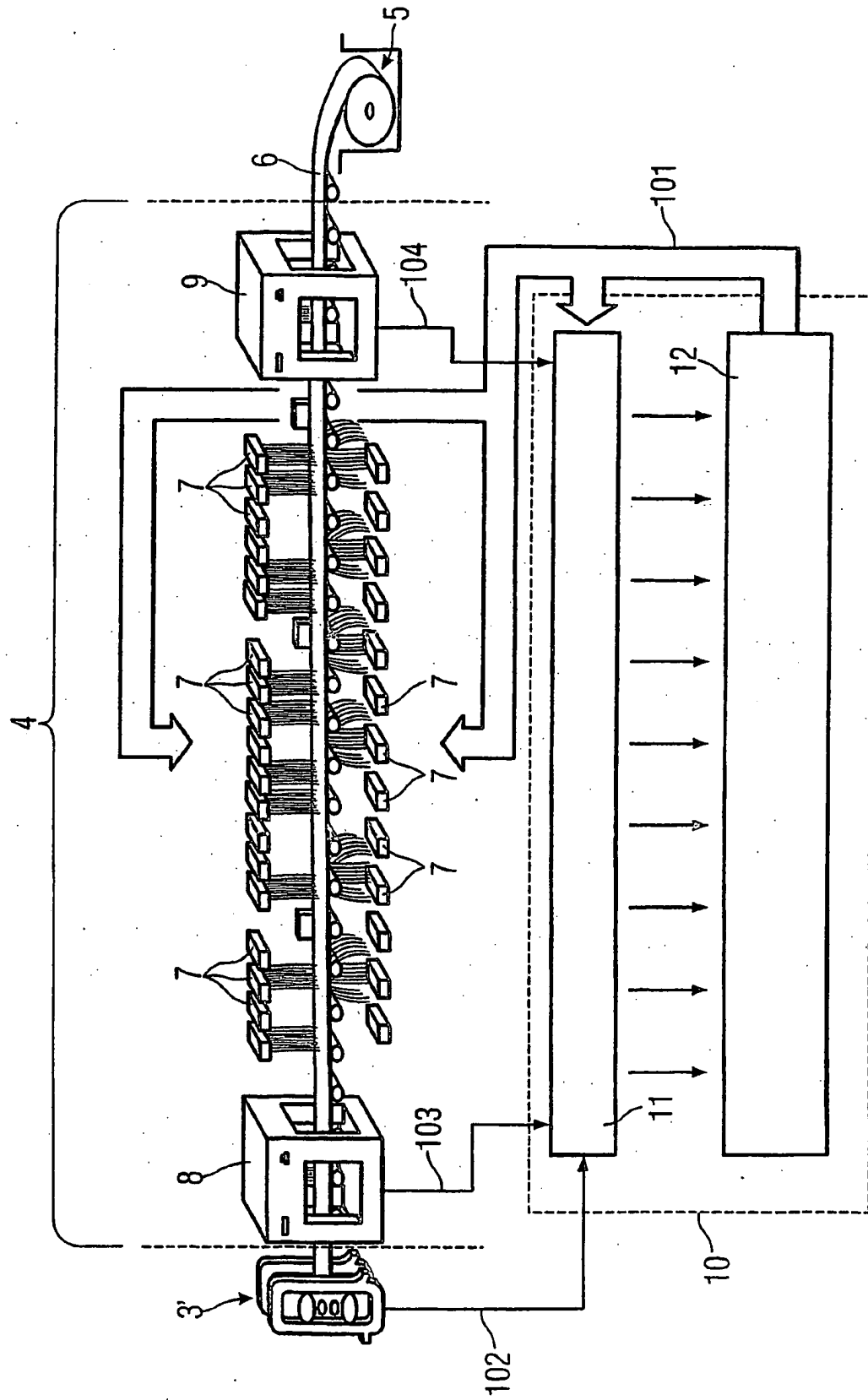


FIG 3

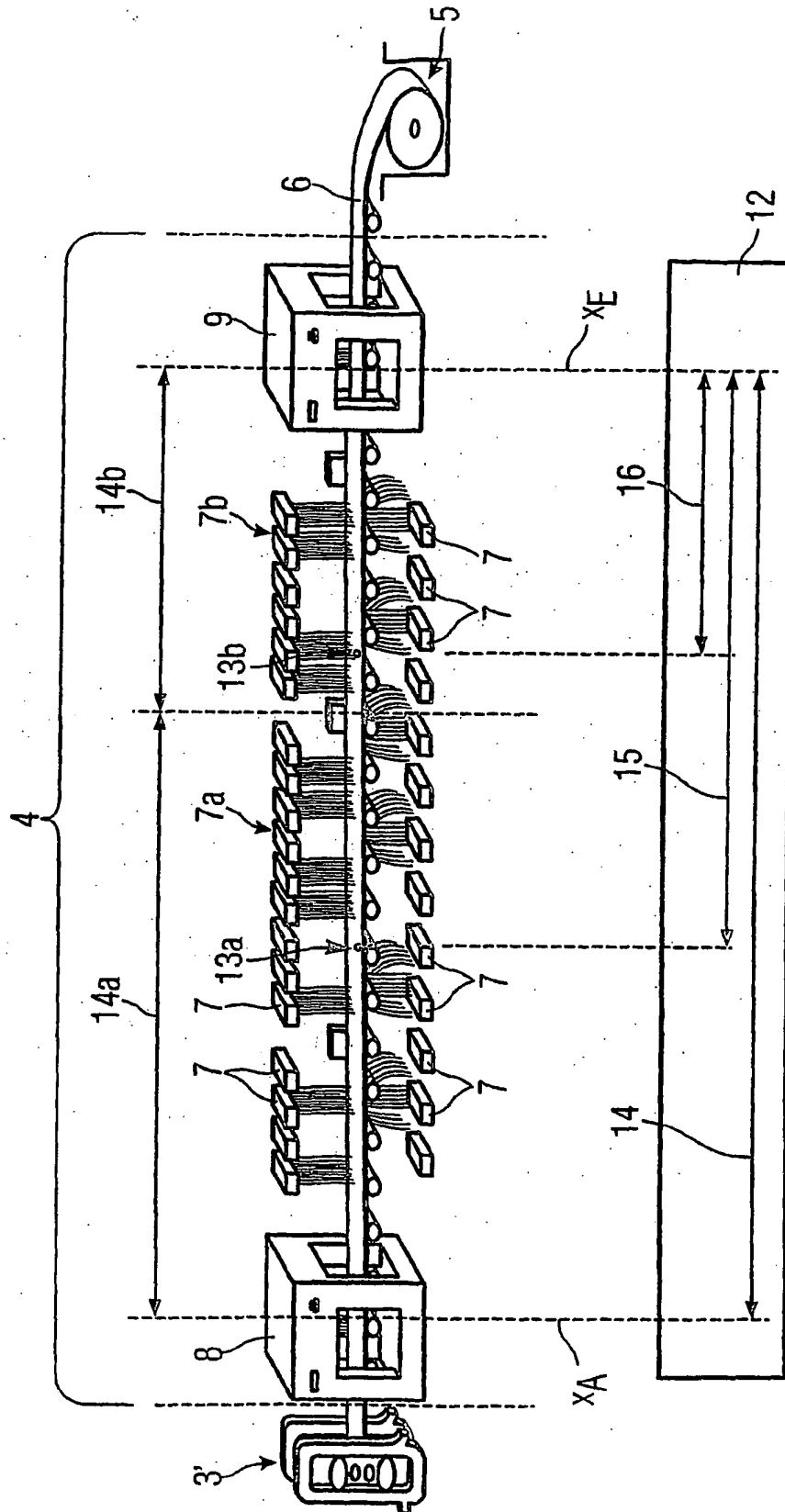


FIG 4

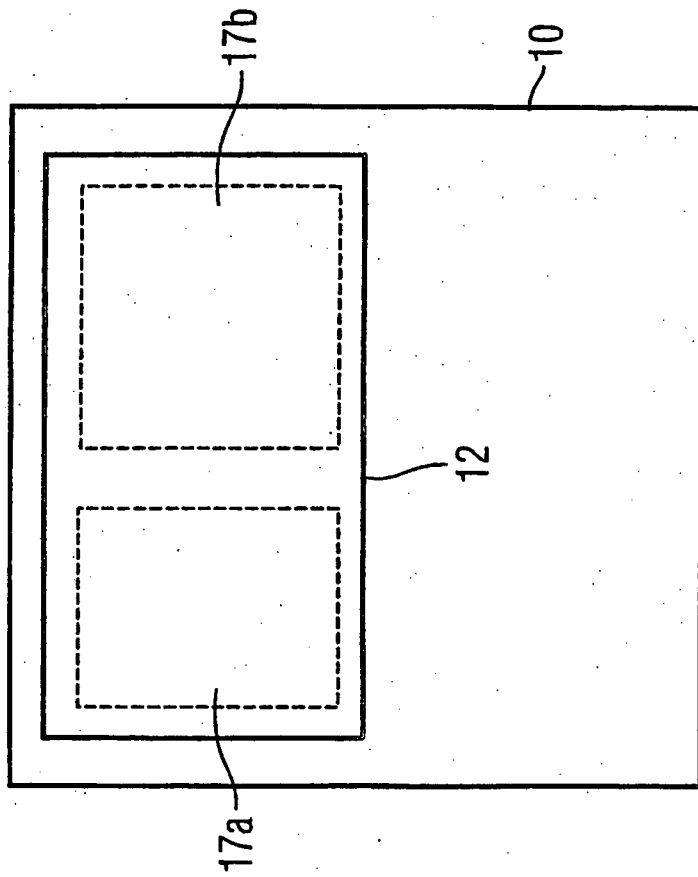


FIG 5

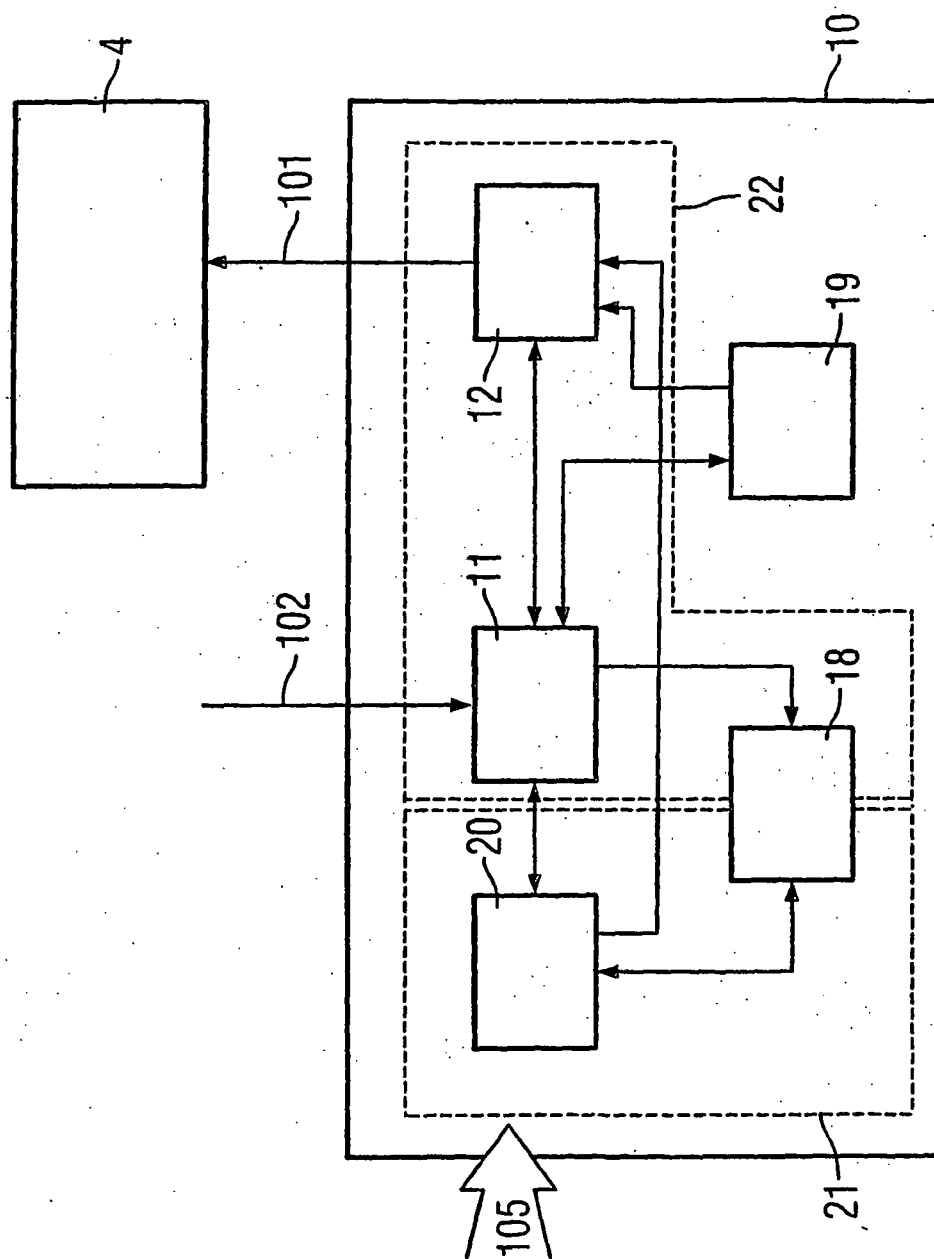
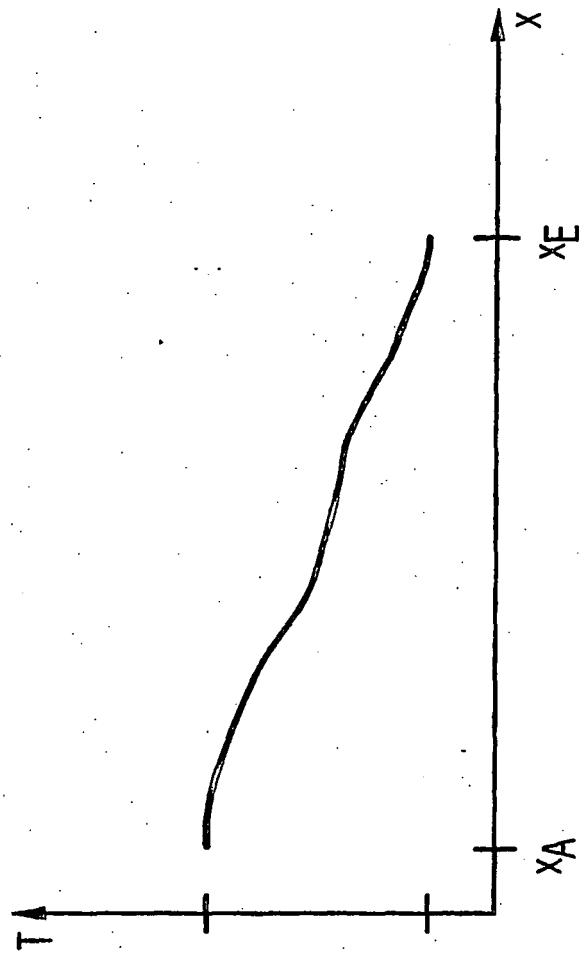


FIG 6



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 19963186 A1 [0001] [0002]