(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 244 816 B1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
**10.03.2004 Patentblatt 2004/11**

(21) Anmeldenummer: **00991077.9**

(22) Anmeldetag: **15.12.2000**

(51) Int Cl.[7]: **C21D 11/00**

(86) Internationale Anmeldenummer:
**PCT/DE2000/004489**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
**WO 2001/047648 (05.07.2001 Gazette 2001/27)**

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG UND/ODER REGELUNG DER KÜHLSTRECKE EINER WARMBANDSTRASSE ZUM WALZEN VON METALLBAND UND ZUGEHÖRIGE VORRICHTUNG**

METHOD FOR CONTROLLING AND/OR REGULATING THE COOLING STRETCH OF A HOT STRIP ROLLING MILL FOR ROLLING METAL STRIP, AND CORRESPONDING DEVICE

PROCEDE ET COMMANDE ET/OU DE REGLAGE DE LA SECTION DE REFROIDISSEMENT D'UN TRAIN A FEUILLARDS A CHAUD DESTINE AU LAMINAGE DE BANDES METALLIQUES ET DISPOSITIF ASSOCIE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE TR**

(30) Priorität: **27.12.1999 DE 19963186**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
**02.10.2002 Patentblatt 2002/40**

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

(72) Erfinder:
- **WEINZIERL, Klaus**
  **91052 Erlangen (DE)**
- **REIN, Rolf-Martin**
  **90756 Fürth (DE)**
- **GRAMCKOW, Otto**
  **91080 Uttenreuth (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**WO-A-95/05904** **DE-A- 19 740 691**

- **AUZINGER D ET AL: "NEUES PROZESSOPTIMIERUNGS- UND -STEUERUNGSSYSTEM FUER EINE LAMINARKUEHLSTRECKE" STAHL UND EISEN,VERLAG STAHLEISEN GMBH. DUSSELDORF,DE, Bd. 116, Nr. 11, 11. November 1996 (1996-11-11), Seiten 115-120,163, XP000639887 ISSN: 0340-4803**
- **P. SIXTENSSON ET AL: "New process technologies and automation systems for hot rolling mills" PROCEEDINGS OF ME FEC KONGRESS 99, 13. - 15. Juni 1999, Seiten 208-217, XP001011835 Düsseldorf in der Anmeldung erwähnt**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 244 816 B1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung der Kühlstrecke einer Warmbandstraße zum Walzen von Metallband, bei dem durch die Kühlung die Gefügeeigenschaften des gewalzten Metallbandes, insbesondere eines Stahlbandes, eingestellt werden. Daneben bezieht sich die Erfindung auch auf die zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

**[0002]** Speziell in der Stahlindustrie werden sogenannte Brammen im heißen Zustand in einer Warmbandstraße zu Bändern gewalzt. Nach dem Walzen durchläuft das Blech eine Kühlstrecke. Die Kühlstrecke der Warmbandstraße dient zum Einstellen der Gefügeeigenschaften der gewalzten Stahlbänder.

**[0003]** Die Gefügeeigenschaften der hergestellten Bänder werden bisher überwiegend aus der Haspeltemperatur abgeleitet, die durch die Kühlstreckenautomatisierung auf einem vorgegebenen Sollwert konstant gehalten wird.

**[0004]** Neue Werkstoffe, wie Mehrphasenstähle, TRIP-Stähle oder dergleichen, erfordern eine genaue definierte Wärmebehandlung, d.h. die Vorgabe und die Überwachung eines Temperaturverlaufes vom letzten Walzgerüst bis zum Haspel.

**[0005]** Aus "Proceedings of ME FEC Kongreß 99", Düsseldorf, June 13 - 15, 1999 (Verlag Stahl Eisen GmbH) ist ein Vorschlag bekannt geworden zur Automatisierung von Warmbandstraßen, bei der speziell für die Kühlstrecke eine modellgestützte Steuerung vorhanden ist. Dabei liegt der Kühlung die Vorstellung zugrunde, daß über die Länge der gesamten Kühlstrecke eine Referenztemperatur vorgebbar ist und daß die aktuell gemessene Temperatur über eine adaptive Steuereinheit an die vorgegebenen Werte angepaßt wird. Wesentlich ist dabei, daß über Enthalpie-Betrachtungen und Aufteilung des Abkühlungsprozesses in eine Serie von kleineren thermodynamischen Prozessen der Einfluß der Kühlung in longitudinaler und vertikaler Richtung erfaßt werden kann. Insbesondere erfolgt dabei eine Berechnung über die Methode der "Finite Elemente".

**[0006]** Von letzterem ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Automatisierung von Kühlstrecken in Warmwalzstraßen anzugeben und die zugehörige Vorrichtung zu schaffen.

**[0007]** Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Eine zugehörige Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist durch die Merkmale des Anspruches 10 gekennzeichnet.

**[0008]** Die eingangs dargestellte Problematik wird nunmehr nicht wie beim Stand der Technik durch eine Vorgabe des Temperaturprofils entlang der Kühlstrecke, sondern durch die Vorgabe eines für jeden Bandpunkt des Metallbandes individuellen zeitlichen Abkühlverlaufs gelöst. Vorteilhaft ist dabei insbesondere, daß eine solche Vorgabe unmittelbar aus den gewünschten Stahleigenschaften ermittelt werden kann und unabhängig von variablen Prozeßgrößen, wie beispielsweise die Bandgeschwindigkeit, bleibt.

**[0009]** Beim erfindungsgemäßen Verfahren ist also wesentlich, daß für jeden sogenannten Bandpunkt des zu kühlenden Materials ein eigener zeitlicher Abkühlverlauf vorgegeben wird. Damit können die so ermittelten Zeitfunktionen jederzeit für jeden Bandpunkt mit den vorgegebenen zeitlichen Abkühlkurven verglichen werden.

**[0010]** Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß Abkühlverhältnisse vorgegeben werden können, die den tatsächlichen Vorgaben der Praxis besser entsprechen. Vorteilhafterweise kann nunmehr auch eine variable Kühlung entlang des Bandes vorgegeben werden, womit im Walzband Bereiche bestimmter Qualität gezielt erzeugt werden können. Dadurch sind nunmehr auch sogenannte Dual-Phasen-Materialien erzeugbar, was beim Stand der Technik nicht möglich war.

**[0011]** Dadurch, daß der Abkühlverlauf für jeden Bandpunkt entlang der gesamten Kühlstrecke vorgegeben wird, ist die Steuerung und/oder Regelung nicht mehr an feste Schaltorte gebunden; es sind vielmehr jederzeit beliebige Ventile zur Kühlmittelzufuhr betätigbar. Damit die Einhaltung der vorgegebenen Abkühlung entlang der Kühlstrecke durch die Steuerung und/oder Regelung überprüft werden kann, wird erfindungsgemäß das Modell in Echtzeit mit dem Band in der Kühlstrecke mitgerechnet. Dies liefert die erforderlichen Bandtemperaturen auf der Kühlstrecke und wird durch gemessene Temperaturwerte ständig korrigiert.

**[0012]** Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt also insgesamt eine flexible Vorgabe der Wärmebehandlung für moderne Stähle. Damit wird den Forderungen der Praxis Rechnung getragen.

**[0013]** Bei entsprechenden Vorrichtungen, die jeweils eine Kühlstrecke beinhalten, welche über ihre gesamte Länge durch jeweils individuell einstellbare Ventile mit Kühlmitteln beaufschlagbar ist, sind Mittel zur Vorgabe von Abkühlkurven für die einzelnen Bandpunkte des Metallbandes vorhanden. Weiterhin sind Einheiten zur Berechnung der Abkühlkurven, zur Korrektur der ermittelten Abkühlkurven auf der Basis von gemessenen Temperaturen, zum Vergleich mit der Vorgabe der Abkühkurven und zur Generierung von Prozeßführungssignalen vorhanden. Diese Einheiten können softwaremäßig in einen Rechner implementiert werden.

**[0014]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit weiteren Unteransprüchen. Es zeigen

Figur 1 den Aufbau einer der Walzstraße nachgeschalteten Kühlstrecke,

Figur 2 ein dreidimensionales Temperatur-Zeit/ Bandlängen-Diagramm,

Figur 3 das Strukturbild der Steuerung/Regelung einschließlich Modellkorrektur für die Kühlstrecke gemäß Figur 1 und

Figur 4 im einzelnen die Berechnung der Modellkorrektur aus Figur 3.

**[0015]** Anhand Figur 1 wird die Abkühlung von Metallband als Teil der Warmwalztechnologie und dort im einzelnen die Funktion der Kühlstrecke verdeutlicht. Beim Warmwalzen von Stahl werden sogenannte Brammen mit einer Ausgangsdicke von ca. 200 mm zu einem Band von 1,5 bis 20 mm gewalzt. Die Verarbeitungstemperatur ist dabei 800 bis 1200°C. Das Prozeßende beinhaltet nach dem Walzen die Abkühlung des Bandes mit Wasser in einer Kühlstrecke auf 300 bis 800°C.

**[0016]** In Figur 1 ist dazu das letzte Walzgerüst einer Warmbandstraße mit 1 bezeichnet. Dem Walzgerüst 1 folgt ein Fertigstraßenmeßplatz 2, nach der Kühlung ein Haspelmeßplatz 3, an denen jeweils die Temperatur des Bandes gemessen wird, und anschließend eine Unterflurhaspel 4 zum Aufhaspeln des Metallbandes zu einem Coil. Zwischen Fertigstraßenmeßplatz 2 und Haspelmeßplatz 3 befindet sich die im vorliegenden Zusammenhang allgemein als Anlage bezeichnete Kühlstrekke 10.

**[0017]** Ein gewalztes Warmband aus Stahl ist in Figur 1 mit 100 bezeichnet. Es läuft durch die Kühlstrecke 10 und wird von beiden Seiten über Ventile mit einem Kühlmedium, insbesondere Wasser, gekühlt. Einzelne Ventile können zu Gruppen zusammengefaßt sein, beispielsweise sind die Ventilgruppen 11, 11', ..., 12, 12', ..., 13, 13', ... sowie 14, 14', ... dargestellt.

**[0018]** Der regeltechnisch zu erfassenden Abkühlung des Bandes 100 liegt üblicherweise eine eindimensionale instationäre Wärmeleitungsgleichung zugrunde. Bei der mathematischen Beschreibung wird von einem isolierten Stab, der nur am Anfang und Ende - entsprechend der Ober- und Unterseite des Bandes - einen Wärmeaustausch mit der Umgebung durchführt, ausgegangen.

**[0019]** Speziell zur Wärmeleitung im Band wird von der Modellannahme ausgegangen, daß die Wärmeleitung in Längs- und Querrichtung verschwindet und daß in der Breite des Bandes die Enthalpie konstant ist. Dadurch läßt sich die Problematik auf ein eindimensionales instationäres Wärmeleitungsproblem reduzieren, bei dem die Anfangsbedingungen und die Randbedingungen definiert werden müssen.

**[0020]** Nach letzterem Modell kann das Band 100 mit einzelnen Bandpunkten beschrieben werden, in denen eine Wärmeleitung im Stab erfolgt. Dies ist bekannt, wozu auf die diesbezügliche Fachliteratur verwiesen wird.

**[0021]** In der Kühlstrecke 10 sind im allgemeinen keine Temperaturen meßbar. Die Temperatur wird aber am Meßplatz 2 vor der Kühlstrecke und insbesondere am Haspelmeßplatz 3 gemessen. Über das mathematische Modell wird der Wärmeaustausch im Band 100 entsprechend obigen Voraussetzungen berücksichtigt. Es wird also ein Modell der Kühlstrecke erstellt, welches in Figur 1 mit 15 bezeichnet ist. Wenn über das Modell 15 die Temperaturen an jeder beliebigen Stelle verfügbar sind, läßt sich eine Regelung auf das vorgegebene Abkühlprofil realisieren.

**[0022]** In Figur 2 ist anhand eines dreidimensionalen Temperatur-Bandlängen/Zeit-Diagramms die Vorgabe eines Abkühlverlaufes dargestellt: Wenn man von einem Abkühlbeginn (t = 0)eines Bandpunktes ausgeht, so ergibt sich über die Zeit t ein vorgegebenes Akühlprofil 300 als Zeitfunktion. Aus Figur 2 ist für jeden Bandpunkt des Metallbandes 100 eine eigene Abkühlkurve entnehmbar. Beispielhaft ist für einen bestimmten Bandpunkt bei li die Kurve 300 dargestellt, wobei sich so für diesen Bandpunkt eine eigene Zeitfunktion ergibt.

**[0023]** Beispielsweise soll das Temperaturprofil für den Bandpunkt i nach einer bestimmten Abkühlzeit $t_i$ eine vorgegebene Temperatur Ti, insbesondere Haspeltemperatur $T_H$, aufweisen. Entsprechende Vorgaben gibt es auch für die übrigen Bandpunkte. Verbindet man alle vorgegebenen Haspeltemperaturen der einzelnen Bandpunkte, so erhält man die in Figur 2 eingezeichnete Kurve 400. Mit dieser Kurve 400 kann beispielsweise gewährleistet werden, daß Verfahrensschritte wie das Fassen des Bandes am Haspel mit ansonsten möglichst geringen Gefügeänderungen berücksichtigt werden.

**[0024]** Betrachtet man nun in einem Augenblick die Vorgaben aller momentan in der Kühlstrecke 10 liegenden Bandpunkte und verbindet man diese Bandpunkte, so erhält man eine Kurve 500, welche das Abkühlprofil über die Kühlstreckenlänge darstellt. Diese Abkühlkurve ist auch in Figur 1 in Einheit 30 eingezeichnet. Wesentlich ist dabei, daß gemäß der angegebenen technischen Lehre die Kurve 500 bei Störungen im Fertigungsprozeß, beispielsweise bei variabler Bandgeschwindigkeit, selbsttätig dynamisch angepaßt wird. Dadurch bleiben solche Störungen - im Gegensatz zum Stand der Technik - ohne jegliche Auswirkungen auf den vorgegebenen Abkühlverlauf eines jeden Bandpunktes.

**[0025]** Wichtig ist also beim beschriebenen Verfahren, daß für jeden Bandpunkt eigene Abkühlkurven 300, 310, 311, 312 etc. vorgegeben werden. Beispielsweise wird für den ersten Punkt eine Abkühlkurve mit einem zunächst steilem Abfall und anschließend einem flacherem Abfall vorgegeben, während sich im Mittenbereich Abkühlkurven mit nahezu konstantem Temperaturgradienten ergeben. Damit wird insgesamt das beschriebene Profil 400 erreicht.

**[0026]** Auch andere Abkühlprofile können erzeugt werden. Insbesondere wenn man von dem Gefüge als Zielgröße ausgeht, kann das Profil so vorgegeben werden, daß weitestgehend konstante Gefügeeigenschaften am Fertigband vorliegen. Es kann aber auch bewußt eine Änderung der Gefügeeigenschaften für bestimmte Bandbereiche vorgesehen werden. Z.B. können auch Gefügeänderungen bedingt durch die größere Liegezeit

der hinteren Bandabschnitte vor dem weiteren Walzen wieder ausgeglichen werden.

**[0027]** Da die Gefügeeigenschaften die mechanischen Eigenschaften und damit die Qualität insbesondere von Stahlband bestimmen, lassen sich durch gezielte Gefügeänderungen gewünschte Materialeigenschaften erzielen. Insofern ergibt sich durch das beschriebene Verfahren ein erhöhtes Potential bei der Erzeugung von Fertigband.

**[0028]** In Figur 3 ist die Kühlstrecke als eigentliche Anlage mit 10 bezeichnet. Die Modellbildung der Figur 1 wird hier durch ein sogenanntes Echtzeitmodell 20 ausgedrückt, mittels dem die Temperaturen $T_i$ an den einzelnen Bandpunkten i des Bandes 100 ermittelt werden.

**[0029]** Die berechnete Haspeltemperatur $\hat{T}_H$, die mit einem Fehler behaftet ist, wird mit der an der Haspel 3 gemessenen Temperatur $T_H$ verglichen und der resultierende Fehler einer Einheit 25 zur Modellkorrektur zugeführt. Letzterer Einheit 25 wird weiterhin der gesamte, vom Echtzeitmodell 20 berechnete Abkühlvorgang zugeführt. Die Einheit 25 ermittelt aus diesen Daten eine Korrektur des Abkühlverlaufes, die auf den berechneten Abkühlverlauf aufgeschaltet wird. Der so ermittelte korrigierte Abkühlverlauf wird mit der Sollabkühlung verglichen und die resultierende Regelabweichung dem Regler 33 zugeführt. Dieser erzeugt daraus und mittels der von der Einheit 25 ermittelten Verstärkungsfaktoren die Ventilstellungen als Prozeßführungssignale, die sowohl auf der Anlage umgesetzt als auch dem Echtzeitmodell 20 wieder als Information zugeführt werden.

**[0030]** Falls kein gültiger Meßwert vorliegt, entfällt die Berechnung eines korrigierten Abkühlverlaufes. Die Korrektur wird dann zu Null angenommen.

**[0031]** Der Regler 33 kann aufgrund der eingegebenen Regelabweichung und der weiteren Werte mit einem vorgegebenen Algorithmus betrieben werden. Solche Algorithmen werden softwaremäßig vorgegeben und lassen die Ansteuerung beliebiger Muster von Ventilen zu. Insbesondere sind mit dem Regler jederzeit jedes der Ventile 11, 11', ..., 12, 12', ...,13,13',..., 14, 14', ... gleichzeitig in beliebiger Kombination vom Regler aktivierbar.

**[0032]** Die Abkühlung längs des Metallbandes wird im einzelnen anhand der Enthalpie und des Temperaturverlaufs in Abhängigkeit von der Enthalpie betrachtet.

**[0033]** In Figur 4 ist die Berechnung der Modellkorrektur für den Regler im einzelnen verdeutlicht: Es werden die Enthalpien e und die Temperaturen T in Abhängigkeit von der Enthalpie e ermittelt. Das Echtzeitmodell 20 liefert einen berechneten Enthalpiewert $\hat{e}$, woraus in einer Einheit 21 der Wert $T(\hat{e})$ gebildet wird. Daraus lassen sich also die Temperaturwerte $T$ für beliebige Bandpunkte berechnen. Speziell der berechnete Temperaturwert $\hat{T}_H$ für die Haspeltemperatur wird mit der gemessenen Haspeltemperatur $T_H$ verglichen, woraus sich ein Wert $\Delta T_H$ ergibt.

**[0034]** Vom Echtzeitmodell 20 werden Enthalpiesignale gleichermaßen einer Einheit 22 zugeführt, in der die partielle Ableitung der Enthalpie nach dem Wärmeleitungskoeffizienten $\frac{\partial \hat{e}}{\partial \kappa}$ gebildet wird. Der Wärmeleitungskoeffizient stellt gewissermaßen einen Korrekturfaktor dar. In beide Einheiten 20 und 22 gehen weiterhin die Ventilstellungen der Anlage ein.

**[0035]** Als Ausgangssignal der Einheit 22 ergeben sich berechnete Werte $\frac{\partial \hat{e}}{\partial \kappa}$. In der Einheit 23 wird das Signal mit $\frac{dT}{d\hat{e}}$ beaufschlagt, woraus sich über die Bildung von partiellen Ableitungen nach der Kettenregel ein Signal $\frac{\partial T}{\partial \kappa}$ bestimmen läßt.

**[0036]** Speziell der Wert für die Haspel $\frac{\partial \hat{T}_H}{\partial \kappa}$ wird betrachtet und es wird der vorher ermittelte Temperaturfehler $\Delta T_H$ durch diesen Wert dividiert, woraus sich der $\Delta\kappa$ ergibt. Letzterer Wert $\Delta\kappa$ wird mit $\frac{\partial \hat{e}}{\partial \kappa}$ multipliziert, so daß sich als Ausgangswert die Modellkorrektur $\Delta e$ vorliegt. Somit ist die Modellkorrektur der Einheit 25 aus Figur 3 realisiert.

**[0037]** Bei der Berechnung der Modellkorrektur $\Delta e$ gemäß Figur 4 stellt also $\frac{\partial \hat{e}}{\partial \kappa}$ ein Sensitivitätsmodell dar.

**[0038]** Es hat sich gezeigt, daß bei obiger Vorgehensweise und Berücksichtigung der Abkühlkurven für die einzelnen Bandpunkte die Verhältnisse für die Praxis besser modellierbar sind. Dabei liegt der Vorgehensweise die Erkenntnis zugrunde, daß die Wärmebehandlung moderner Stähle durch direkte Vorgabe der Sollkurven für den Temperaturverlauf des tatsächlichen Abkühlverlaufs für jeden Bandpunkt individuell vorgegeben werden kann. Insofern ist die Schnittstelle für die Steuer- und/oder Regelung das in Echtzeit gerechnete Modell und ist der zugehörige Korrekturalgorithmus wesentlicher Bestandteil des beschriebenen Verfahrens.

**[0039]** Diese Vorgehensweise berücksichtigt in idealer Weise die Vorgabe für den gefertigten Werkstoff, da sie im Rahmen der Anlagegrenzen - unabhängig von der gefahrenen Bandgeschwindigkeit - die Einstellung der geforderten Qualität gewährleistet.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung der Kühlstrecke einer Warmbandstraße zum Walzen von Metallband, insbesondere eines Stahlbandes, wobei durch Kühlung die Gefügeeigenschaften des gewalzten Metallbandes, insbesondere des Stahlbandes, eingestellt werden, mit folgenden Verfahrensschritten:

   - es wird für jeden Bandpunkt des Metallbandes ein zeitlicher Abkühlverlauf vorgegeben,
   - daneben wird für jeden Bandpunkt des Metallbandes die tatsächliche Abkühlkurve als Funktion der Zeit ermittelt,
   - die ermittelte Zeitfunktion des tatsächlichen Abkühlverlaufes wird mit der Vorgabe des zeitlichen Abkühlverlaufes für jeden Bandpunkt des Metallbandes verglichen;

- aus den Abweichungen der ermittelten Zeitkurven vom tatsächlichen Abkühlverlauf werden Prozeßführungssignale zur Steuerung und/oder Regelung der Kühlstrecke abgeleitet.

**2.** Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** für einzelne Bandpunkte des Metallbandes unterschiedliche Abkühlkurven vorgegeben werden.

**3.** Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** angestrebte Gefügeeigenschaften aufgrund der vorgegebenen Abkühlkurven für jeden Bandpunkt des Metallbandes eingestellt werden.

**4.** Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die einzelnen Bandpunkte des Metallbandes solche Abkühlkurven vorgegeben werden, daß aufgrund äußerer Einflüsse auftretende, unerwünschte Änderungen der Gefügeeigenschaften ausgeglichen werden.

**5.** Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Abkühlkurven für die einzelnen Bandpunkte des Metallbandes derart vorgegeben werden, daß sich für unterschiedliche Bandpunkte des Metallbandes vorbestimmte, gegebenenfalls unterschiedliche, Gefügeeigenschaften ergeben.

**6.** Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die mechanischen Eigenschaften des Metallbandes aufgrund der gezielten Beeinflussung der Gefügeeigenschaften vorgegeben werden.

**7.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Zeitfunktionen oder einzelne Werte zum augenblicklichen Zeitpunkt des Abkühlverlaufes der einzelnen Bandpunkte einem Regler zugeführt und zur Generierung der Prozeßführungssignale führen.

**8.** Verfahren nach Anspruch 7, wobei mit dem Regler Ventile für Kühlmittel zur Abkühlung des Metallbandes aktivierbar sind, **dadurch gekennzeichnet, daß** durch den Regler zu jedem Zeitpunkt beliebige Ventile gleichzeitig aktivierbar sind.

**9.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Vergleichstemperatur zu den Abkühlkurven der einzelnen Bandpunkte die gemessene Zeitfunktion der Haspeltemperatur herangezogen wird.

**10.** Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 9, mit einer Kühlstrecke, in welcher das durchlaufende Metallband über einstellbare Ventile (11, ..., 14) mit Kühlmittel beaufschlagbar ist, sowie einer Einheit zur Ermittlung der Temperatur-Zeit-Funktionen jedes einzelnen Bandpunktes des Metallbandes und mit einer Prozeßführungseinheit (30) zur Gewinnung von Prozeßführungssignalen zur Steuerung und/oder Regelung der Abkühlung entsprechend vorgegebener Kriterien, wobei der Prozeßführungseinheit zur Steuerung und/oder Regelung der Abkühlung ein Echtzeitmodell (20) mit einer Modellkorrektur (25) zugrunde liegt, woraus die Eingangssignale für einen Regler (33) zur Ansteuerung der einzelnen Ventile (11, 11', ... bis 14, 14', ...) abgeleitet werden..

**11.** Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** mit der Prozeßführungseinheit (30) jedes der einzelnen Ventile (11, 11', ... bis 13, 13', ...) zur Kühlmittelzufuhr jederzeit aktivierbar ist.

**12.** Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kriterien ein Abkühlprofil entlang des Metallbandes entsprechend gewünschter Gefügeeigenschaften beinhaltet.

**13.** Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Modellkorrektur die gemessene Haspeltemperatur ($T_H$) herangezogen wird.

**14.** Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Regelabweichung für den Regler (33) aus einem korrigierten Abkühlverlauf und der Sollabkühlung gebildet wird.

**Claims**

**1.** Method for the open-loop and/or closed-loop control of the cooling section of a hot strip rolling mill for rolling metal strip, in particular a steel strip, the microstructural properties of the rolled metal strip being adjusted by cooling, with the following method steps:

- for each strip point of the metal strip, a course of cooling over time is specified,
- in addition, for each strip point of the metal strip, the actual cooling curve is determined as a function of time,
- the determined time function of the actual course of cooling is compared with the specification of the course of cooling over time for each strip point of the metal strip;
- process control signals for the open-loop and/or closed-loop control of the cooling section are derived from the deviations of the determined time curves from the actual course of cooling.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** different cooling curves are specified for individual strip points of the metal strip.

3. Method according to Claim 1 or Claim 2, **characterized in that** desired microstructural properties are adjusted on the basis of the specified cooling curves for each strip point of the metal strip.

4. Method according to Claim 3, **characterized in that** such cooling curves that undesired changes in the microstructural properties occurring on account of external influences are offset are specified for the individual strip points of the metal strip.

5. Method according to Claim 3, **characterized in that** the cooling curves for the individual strip points of the metal strip are specified in such a way that predetermined, possibly different, microstructural properties are obtained for different strip points of the metal strip.

6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the mechanical properties of the metal strip are specified on the basis of the specifically selective influencing of the microstructural properties.

7. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the time functions or individual values at the given instant in time of the course of cooling of individual strip points are fed to a controller and lead to the generation of the process control signals.

8. Method according to Claim 7, it being possible to use the controller for activating valves for coolant for cooling the metal strip, **characterized in that** any desired valves can be simultaneously activated by the controller at any point in time.

9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the measured time function of the coiling temperature is used as the comparison temperature with respect to the cooling curves of individual strip points.

10. Device for carrying out the method according to Claim 1 or one of Claims 2 to 9, with a cooling section, in which the metal strip running through can be subjected to coolant by means of adjustable valves (11, ..., 14), and a unit for determining the temperature-time functions of each individual strip point of the metal strip and with a process control unit (30) for obtaining process control signals for the open-loop and/or closed-loop control of the cooling in accordance with specified criteria, where the process control unit for the open-loop and/or closed-loop control of the cooling is based on a real-time model (20) with a model correction (25), from which the input signals for a controller (33) for activating the individual valves (11, 11', ... to 14, 14 ', ...) are derived.

11. Device according to Claim 10, **characterized in that**, with the process control unit (30), each of the individual valves (11, 11', ... to 13, 13', ...) for supplying coolant can be activated at any time.

12. Device according to Claim 10, **characterized in that** the criteria comprise a cooling profile along the metal strip in accordance with desired microstructural properties.

13. Device according to Claim 10, **characterized in that** the measured coiling temperature ($T_H$) is used for the model correction.

14. Device according to Claim 10, **characterized in that** the system deviation for the controller (33) is formed from a corrected course of cooling and the setpoint cooling.

**Revendications**

1. Procédé de commande et/ou de réglage de la section de refroidissement d'un train à feuillards à chaud destiné à laminer du feuillard métallique, notamment un feuillard d'acier, dans lequel on règle par refroidissement les propriétés de structure du feuillard métallique laminé, notamment du feuillard d'acier, comprenant les stades de procédé suivants :

   - on prescrit pour chaque point du feuillard métallique une courbe de refroidissement dans le temps ;
   - on détermine en outre pour chaque point du feuillard métallique la courbe réelle de refroidissement en fonction du temps ;
   - on compare la variation déterminée de la courbe de refroidissement réelle en fonction du temps à la prescription de la courbe de refroidissement en fonction du temps pour chaque point du feuillard métallique ;
   - on déduit des écarts entre les courbes déterminées de la variation de refroidissement réelle en fonction du temps des signaux pour mener les opérations de commande et/ou de régulation de la section de refroidissement.

2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on prescrit des courbes de refroidissement différentes pour divers points du feuillard métallique.

3. Procédé suivant la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'on règle les propriétés de structure que l'on vise sur la base des courbes de refroidissement prescrites pour chaque point du feuillard métallique.

4. Procédé suivant la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'on prescrit pour les divers points du feuillard métallique des courbes de refroidissement telles que l'on compense des variations peu souhaitées des propriétés de structure qui se produisent en raison d'influences extérieures.

5. Procédé suivant la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'on prescrit les courbes de refroidissement pour les divers points du feuillard métallique de façon à obtenir pour des points différents du feuillard métallique des propriétés de structure déterminées à l'avance, le cas échéant différentes.

6. Procédé suivant la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on prescrit les propriétés mécaniques du feuillard métallique sur la base de l'influence visée des propriétés de structure.

7. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on envoie des variations en fonction du temps ou des valeurs à l'instant présent de la courbe de refroidissement des divers points du feuillard à un régulateur et on les envoie afin de générer les signaux permettant de mener les opérations.

8. Procédé suivant la revendication 7, dans lequel on peut activer par le régulateur des vannes pour du fluide de refroidissement du feuillard métallique, **caractérisé en ce que** n'importe quelle vanne peut être activée simultanément par le régulateur à n'importe quel instant.

9. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on utilise comme température de comparaison pour les courbes de refroidissement des divers points du feuillard la variation en fonction du temps de la température de l'enrouleuse bobineuse.

10. Installation pour la mise en oeuvre du procédé suivant la revendication 1 ou l'une des revendications 2 à 9 comprenant une section de refroidissement dans laquelle le feuillard métallique qui passe peut être soumis par des vannes (11, ..., 14) réglables à du fluide de refroidissement, ainsi qu'une unité de détermination des variations température-temps de chaque point du feuillard métallique, et d'une unité (30) permettant de mener les opérations et destinée à recevoir des signaux de menée d'opérations afin de commander et/ou de régler le refroidissement suivant des critères prescrits dans laquelle, il y a à la base de l'unité permettant de mener les opérations pour la commande et/ou le réglage du refroidissement, un modèle (20) en temps réel ayant une correction (25) de modèle, les signaux d'entrée pour un régulateur (33) étant dérivés pour la commande des diverses vannes (11, 11', ..., à 14, 14', ...).

11. Installation suivant la revendication 10, **caractérisée en ce que** chacune des diverses vannes (11, 11', ..., à 13, 13', ...) peut être activée à tout instant pour l'apport de fluide de refroidissement par l'unité (30) permettant de mener les opérations.

12. Installation suivant la revendication 10, **caractérisée en ce que** les critères comprennent un profil de refroidissement le long du feuillard métallique correspondant à des propriétés de structure souhaitées.

13. Installation suivant la revendication 10, **caractérisée en ce qu'**on utilise pour la correction du modèle la température ($T_H$) mesurée de l'enrouleuse bobineuse.

14. Installation suivant la revendication 10, **caractérisée en ce que** l'on forme l'écart de régulation pour le régulateur (33) à partir d'une courbe corrigée de refroidissement et du refroidissement de consigne.

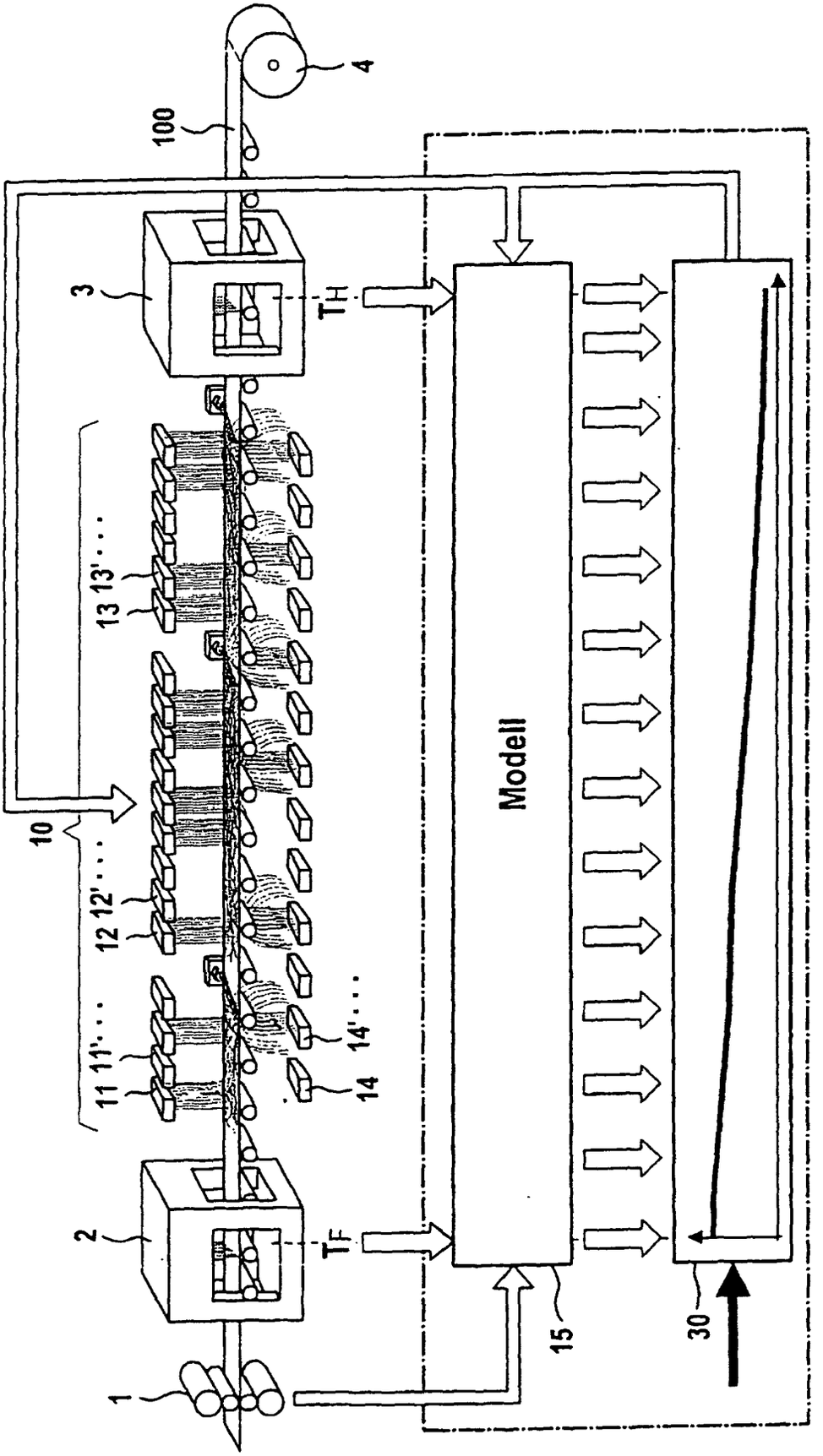



FIG 1

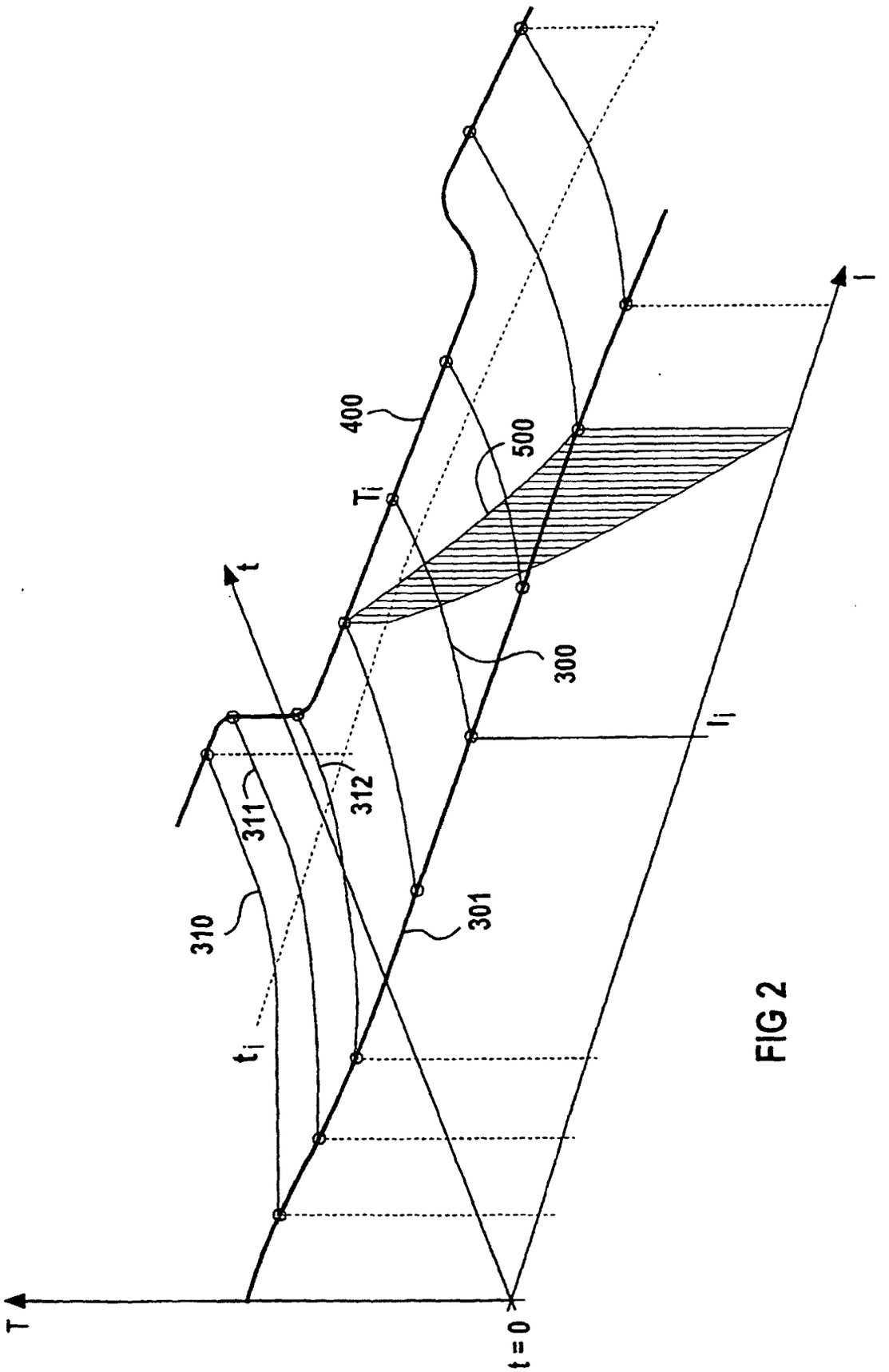



FIG 2

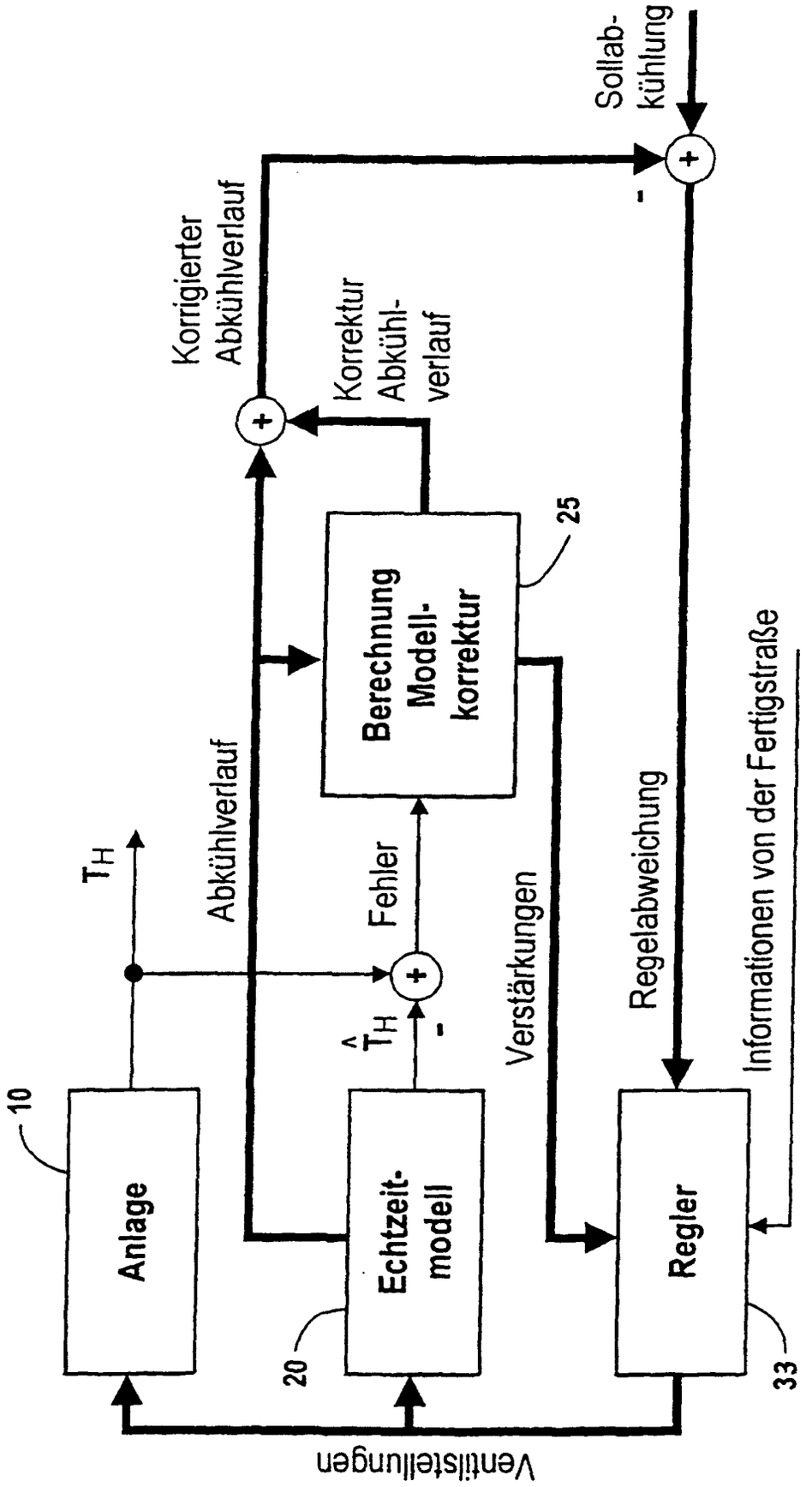

Sollab-
kühlung
+
-
Korrigierter
Abkühlverlauf
Korrektur
Abkühl-
verlauf
+
Berechnung
Modell-
korrektur
25
$T_H$
Abkühlverlauf
Fehler
+
$\hat{T}_H$
-
Verstärkungen
Regelabweichung
Informationen von der Fertigstraße
10
Anlage
Echtzeit-
modell
Regler
20
33
Ventilstellungen

FIG 3

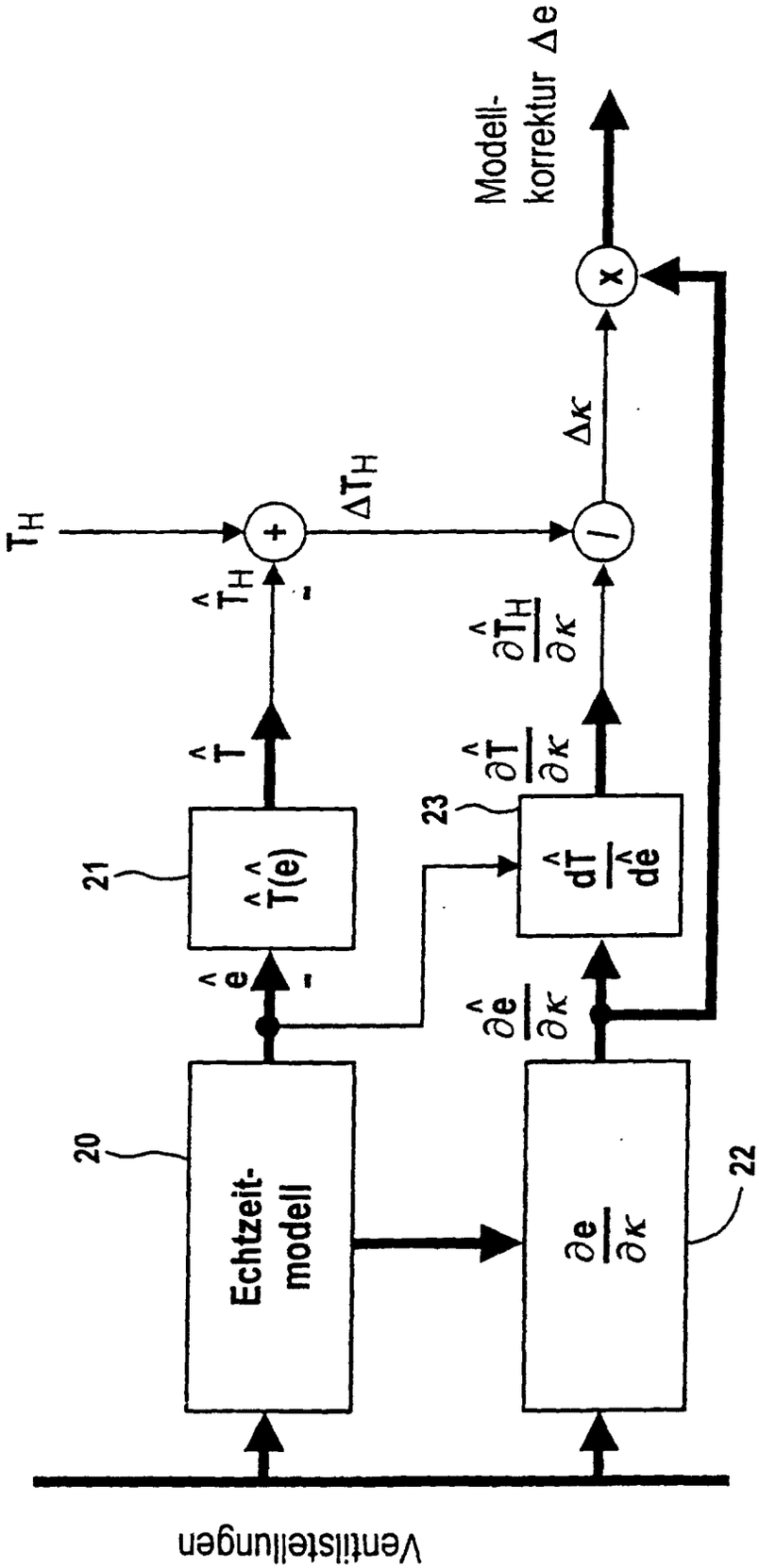

Modell-
korrektur Δe
x
Δκ
/
ΔTH
+
TH
-
T̂H
T̂
ê
T̂(e)
21
20
Echtzeit-
modell
∂ê/∂κ
∂T̂/∂κ
∂T̂H/∂κ
dT̂/dê
23
∂e/∂κ
22
Ventilstellungen

FIG 4