

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: 89250129.7

Int. Cl.⁵: **B21B 37/02**

Anmeldetag: 22.12.89

Priorität: 22.12.88 DE 3843731
 22.12.88 DE 3843730

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
 27.06.90 Patentblatt 90/26

Benannte Vertragsstaaten:
 AT BE DE FR GB IT LU NL SE

Anmelder: **Stahlwerke Peine-Salzgitter AG**
 Gerhardstrasse 10
 D-3150 Peine(DE)

Erfinder: **Dorna, Reinhold**
 Am Hang 54
 D-3320 Salzgitter 51(DE)

Erfinder: **Klaffehn, Ulrich**
 Damm 16
 D-3342 Dornburg(DE)

Erfinder: **Köhler, Wolfgang**
 Reichsstrasse 4
 D-3342 Wolfenbüttel(DE)

Erfinder: **Kott, Bruno**
 Lindenstrasse 9
 D-3344 Flöthe(DE)

Erfinder: **Menzel, Günter**
 Am Laubberg 15
 D-3320 Salzgitter 51(DE)

Erfinder: **Speth, Winfried, Prof. Dr.**
 Alle Winderweg 15
 D-7900 Ulm(DE)

Vertreter: **Kaiser, Henning**
SALZGITTER AG Patente und Lizenzen
 Kurfürstendamm 32 Postfach 15 06 27
 D-1000 Berlin 15(DE)

Verfahren und Vorrichtung zum Warmbandwalzen.

EP 0 375 094 A2 (57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Regeln des Warmbandwalzens auf einer mehrgerüstigen Fertigstaffel einer Walzstraße bei der die Drehzahlen und die Walzspalthöhen der Arbeitswalzen jedes Gerüsts in Abhängigkeit vom augenblicklichen Betriebszustand geregelt werden, wobei für die Nachstellung der Walzspalthöhe nach Warmbandeinlauf in ein Gerüst von einer Sollbanddickenstellung zu einem Bandvorratsindikator umgeschaltet und auf einen Walzkraftindikator umgeschaltet wird, wenn das Band aus dem vorhergehenden Gerüst ausläuft, wobei für das erste Gerüst das Ergebnis einer vorhergehenden Dickenmessung ver-

wertet wird. Dadurch läßt sich die Banddicke - gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Bandbreiten-Schwankungen - sehr schnell und genau regeln.

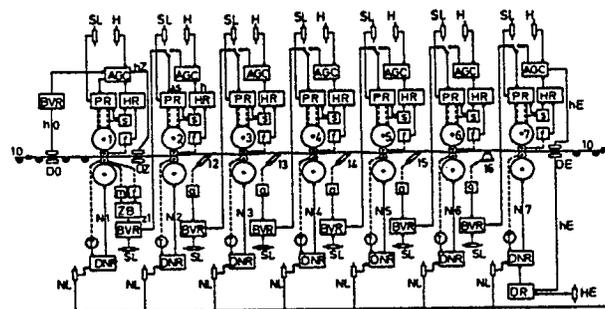


FIG. 2

Verfahren und Vorrichtung zum Warmbandwalzen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Regeln des Warmbandwalzens gemäß den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 14.

Durch Warmbandwalzen auf modernen kontinuierlichen Walzstraßen mit meist fünf oder mehr Walzgerüsten in der Fertigstaffel soll neben der Beeinflussung der technologischen Kennwerte des Bandes durch geregeltes thermomechanisches Walzen eine in engen Toleranzen vorbestimmte Fertiggeometrie des Bandes eingestellt werden.

Bei gegebenem Einlaufquerschnitt und bekannter Einlaufgeschwindigkeit eines Bandes sowie erwünschtem Auslaufquerschnitt des Bandes wird dessen zwangsläufige Streckung während des Walzens durch von Gerüst zu Gerüst kaskadenartig steigende Walzgeschwindigkeit und damit steigende Walzendrehzahl in Abhängigkeit von der in der Regel degressiv gestuften Stichabnahme kompensiert. Mit zunehmender Verweilzeit kühlt das Band vor und in der Fertigstaffel aus; daher wird die Basiswalzgeschwindigkeit und somit die Wärmeabgabe aufgrund erhöhter Formänderungsarbeit stetig gesteigert, um die metallurgisch wichtige Endwalztemperatur annähernd konstant zu halten (Temperatur-speed-up). Diese Vorgaben für die Geschwindigkeitsverhältnisse und die rechnerischen Leerwalzspalthöhen der Einzelgerüste gibt ein Solleitwertrechner vor.

Die Bandgeschwindigkeit und die Walzenumfangsgeschwindigkeit sind aber nur in der Fließscheide gleich. Das Material erfährt eine Vor- und Nacheilung im Walzspalt. Um dadurch entstehende Probleme zu vermeiden, können Walzstraßen mit einer Bandzugregelung durch Drehzahlenanpassung und/oder Schlingenheber ausgerüstet sein, die zusätzlich zu einer Walzspaltkontrolle und Walzkraftmessung sowie Banddickenmessung eine Steuerung der Walzstraße ermöglichen (Iron and Steel Engineer, 9/84, Seite 45-51). In dieser Veröffentlichung ist außerdem detailliert die Funktionsweise einer belastungsabhängigen Regelung der Walzspalthöhe (Lagerspiel- und Gerüstdehnungskompensation) und die Möglichkeit des Verzichtes auf Schlingenheber zwischen den ersten Gerüsten der Fertigstaffel dargestellt, wobei die Schlingenheber durch eine Minimalzugregelung aufgrund bekannter Walzkräfte und Motormomente und daraus resultierender Drehzahländerung der Arbeitswalzen ersetzt werden.

Es ist auch schon versucht worden, eine größtmögliche Genauigkeit der Banddicke zu erreichen, indem für die aus dem Stichplan resultierenden Walzspalthöhen jedes Gerüstes eine Korrektur der gemessenen Dickentoleranzen durch Verstellen des Lastwalzspaltes während des Walzens zu reali-

sieren (DE-OS 36 37 043) oder den gesamten Materialstrom durch eine Walzstraße durch eine Minimalzugregelung allein mittels Drehzahlkorrektur der Arbeitswalzen sowie eine Dickenregelung am ersten Gerüst zu beeinflussen (DE-OS 27 21 973). Ein Drehzahlregelkreis ist aber wegen der großen Ansprechzeit aufgrund der Schwungmassen der Walzen sehr träge.

Von daher ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Regeln des Warmwalzens von Bändern in der Fertigstaffel einer Walzstraße vorzuschlagen, die ein sehr genaues Einstellen der Banddicke ermöglichen bei relativ geringem Aufwand für eine praxisnahe Regeloptimierung.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Ansprüche 1 und 14 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen erfaßt.

Verfahrensbedingt sind die Massenströme am Einlauf und Auslauf der Fertigstaffel gleich groß. In der bekannten Kontinuitätsgleichung ändern sich jedoch während des Verfahrensablaufs die Parameter Breite, Dicke, Geschwindigkeit und Wichte des Bandes. Mit Ausnahme der Wichte lassen sich die Parameter an der Walzstraße direkt messen. Die Wichte als Funktion von Walztemperatur und Materialart wird nur als implizite statistische Größe während des Walzens erfaßbar. Die Wichteänderung von ca. 0,1 % während des Warmwalzens ist vernachlässigbar.

Die Erfindung berücksichtigt die Erkenntnis, daß der Bandvorrat zwischen den Gerüsten geregelt werden muß, um einen stabilen Betriebszustand beim Warmwalzen zu erreichen.

Außerdem wird berücksichtigt, daß zumindest in erster Näherung die während des Walzens auftretende Breitung oder Einschürung des Bandes entweder konstant bleibt oder sich in bekannter Weise ändert; somit in eine Materialflußrechnung als Faktor rechnerisch einfließen kann.

Wenn man sich die Walzstraße als Regelstrecke, der die Regelkreise für die Soll-Leitwerte Drehzahlen und Leerwalzspalte beziehungsweise Lastwalzspalte zugeordnet sind, vorstellt, erhält man als wichtige Ausgangssignale die Walzkräfte, die Walzmomente, die Schlingenheberwinkel, die auslaufende Banddicke und die Auslaufgeschwindigkeit. Als Stellgrößen stehen die Drehzahlen der Walzen und die Walzspaltzustellungen zur Verfügung. Die Drehzahlen beeinflussen die Schlingenheberwinkel und die Materialflußgeschwindigkeit; die Walzspaltzustellung beeinflußt ebenfalls die Schlingenheberwinkel, die Materialflußgeschwindigkeit sowie die resultierenden Banddicken. Als Störgröße wirkt in

erster Linie in dieser Regelstrecke die Variation der Formänderungsfestigkeit des Bandes als Funktion von Materialart und Temperatur. Dazu gehören auch sogenannte Skidmarks (Schienenschatten) aus der Brammenerwärmung. Auch Unregelmäßigkeiten beim Längsteilen oder Vorwalzen von Brammen sowie fehlende seitliche Stauchaggregate in der Vorwalzstraße lassen Bandgeometrieschwankungen entstehen.

Da genügend Stellgrößen zur Beeinflussung des Regelsystems zur Verfügung stehen, kann primär auf eine Drehzahlverstellung der Walzen verzichtet werden. Eine Walzspalthöhenänderung kann wesentlich schneller geschehen als eine Änderung der Walzendrehzahl, so daß sich die Zustellung des Walzenspaltes als Stellgröße für eine Bandvorratsregelung und zur Korrektur der Banddicke an den Gerüsten am besten eignet.

Erfindungsgemäß wird dazu der übliche Leit-Sollwert für den Positionsregelkreis "Leer-Walzspalt" nach Einlauf des Bandes in das erste Gerüst gerüstweise durch Stellsignale der einzelnen Bandvorratsregler abgelöst. Die Bandvorratsregler steuern in der Folge den Massenfluß, rechnerisch den Volumenfluß, in der Fertigstaffel für die Warmbandstrecke mit Ausnahme des Bandendes. Kurz bevor das Bandende ein Gerüst erreicht, löst die bekannte automatische Lastwalzspaltkontrollereinrichtung die Bandvorratsregelung wieder ab. Bei diesem Umschaltverfahren werden die momentanen Istwerte der Banddicke beziehungsweise der Walzspalte stoßfrei als Sollwerte übernommen, um ein erneutes Einschwingen der Regelkreise zu vermeiden. Für die einzelnen primär unabhängig voneinander wirkenden Bandvorratsregler werden unterschiedliche Indikatoren als Regelgröße verwendet.

Eine Sollwertabweichung beziehungsweise den Istwert für einen bestimmten Bandvorrat eines Abschnittes der Fertigstaffel liefert entweder die Bandzugermittlung oder die Winkelmessung des Schlingenheberausschlagelages.

Davon unterscheidet sich die Regelung des ersten Gerüstes. Hier kann die Dicke und die Geschwindigkeit des einlaufenden Bandes - unter der zulässigen Annahme, daß momentan eine konstante Bandbreite vorliegt - also ein Massenstromäquivalent gemessen werden. Bei Änderung der Dicke oder Geschwindigkeit des Bandes kann der Walzspalt so am ersten Gerüst eingestellt werden, daß der Massenstrom, rechnerisch vereinfacht als Produkt aus Dicke und Geschwindigkeit, durch Rückstau des Materials konstant bleibt.

Da erfindungsgemäß die Schlingenregelung zwischen den vorderen Gerüsten durch eine Zugregelung des Bandes ersetzt werden kann, erreicht man eine relativ gute Planlage des Bandes. Dies ermöglicht den Einsatz einer Dickenmeßanlage hinter dem ersten Gerüst und damit die zusätzliche

Möglichkeit der Dickenregelung des Warmbandes am ersten Gerüst.

Es hat sich in Versuchen überraschend die Annahme bestätigt, daß man auf teure schwenkbare Schlingenheber zwischen den ersten Gerüsten ganz verzichten kann und den Schlingenheber vor dem letzten oder mehreren der letzten Gerüste als einfache, vertikal verfahrbare Umlenkrolle gestalten kann, wenn man die erfindungsgemäße Verfahrenskonzeption anwendet. Die Wirksamkeit der vorderen Schlingenheber ist sowieso durch die Bandsteifigkeit relativ gering, und der gleiche Effekt kann durch ein aus gemessenen Wellenmomenten der Arbeitswalzen und Walzkräften errechneten Bandzug mittels Bandvorratsregelung des folgenden Gerüstes erreicht werden.

Bei der Ermittlung der Bandzugspannung zwischen den Gerüsten kann erfindungsgemäß die Methode der Funkübertragung von DMS-Drehmomentmessungen angewendet werden. Gegenüber der Momentermittlung aus den Strom- und Spannungswerten der Walzantriebe erfaßt die DMS-Methode verlustfrei die Torsionsmomente direkt an der Arbeitswalzenwelle. Die Ergebnisse stehen dann durch die Funkübertragung verzögerungsfrei für die Zugberechnung zur Verfügung.

Die Auswahl der geeignetsten Indikatoren, die eine Variation des Massenflusses bzw. Bandvorrates vor dem Gerüst anzeigen, wird jeweils nach deren günstigsten Eigenschaften hinsichtlich der Bedingungen getroffen: geringster Aufwand an Investitionen, größte Regelgeschwindigkeit und beste Wirkung auf die Bandgeometrie. Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, den Schlingenheberwinkel möglichst konstant zu halten, weil dadurch Schwierigkeiten, die aus der nicht winkelproportionalen Kraftwirkung der Schlingenheber auf das Band resultieren, bei der Ausregelung verhindert werden.

Sollte die Banddicke hinter der Fertigstaffel trotz Bandvorratsregelung noch außerhalb der gewünschten Toleranzen liegen, kann erfindungsgemäß eine die Bandvorratsregelung ergänzende Dickenregelung eingesetzt werden. Angestrebt werden maximale Abweichungen von der Sollbanddicke von kleiner 0,05 mm. Dazu wird der beispielsweise mit einem Durchstrahlungsmeßgerät - Gammastrahler Caesium 137 - gemessene Dicken-Istwert einem Dickenregler zugeführt, der gegebenenfalls zwei Stellsignale korrelierend zu dem Maß der Abweichung von der Sollbanddicke erzeugen kann.

Eine Dickenänderung läßt sich als Trend im Dickenmeßgerät hinter der Fertigstaffel erfassen und somit kann durch Änderung des Drehzahl-trends (Temperatur-speed-up) der Arbeitswalzen zwischen zwei Gerüstgruppen der Fertigstaffel örtlich der Bandvorrat erhöht oder verringert werden mit dem Effekt, daß der Bandvorratsregler eingreift und die Banddicke ändert. Gleichzeitig kann ein

Korrektursignal - zeitverzögert zur Anpassung an die höhere Regelgeschwindigkeit des Walzspaltregelkreises - an den Walzspaltregler des betroffenen Gerüsts geleitet werden, damit sich der Bandvorrat tatsächlich nicht ändert.

Eine noch genauere Steuerung der Banddicke kann erreicht werden, wenn die näherungsweise rechnerisch in die Volumenflußregelung bzw. Massenstromregelung einbezogene Bandbreitenänderung ebenfalls regelungstechnisch weitgehend kompensiert wird. Dazu wird erfindungsgemäß bei der letzten Stichabnahme eine Regelung der Bandbreite vorgenommen, in dem die Bandbreite gemessen und die Meßwerte in einem Breitenregler mit Sollwerten für die Bandbreite verglichen werden. Sobald Sollwertabweichungen entstehen, wird daraus nach vorgegebenem Rechenschema eine neue Bandzugspannung errechnet, die zur Breitenänderung des Bandes vor der letzten Stichabnahme führen muß. Dazu gibt der Breitenregler ein Signal an den Bandvorratsregler des letzten Gerüsts, der dann wiederum die Zugspannungsänderung durch Verstellung des Walzspaltes erzeugt. Mit dieser schnellen Regelung lassen sich örtliche Breitenschwankungen, die u. a. aus Skidmarks (Schienenschatten bei der Brammenerwärmung) herrühren können, korrigieren, ohne daß die langsamere Dickenregelung für Kompensation sorgt.

Ansonsten muß der Dickenregler ebenfalls eine Störgrößenaufschaltung erhalten.

Die letzte Stichabnahme muß für diese Regelung so gestaltet werden, daß sie prozentual größer ist als die auszuregelnde Bandbreitenschwankung.

Prinzipiell funktioniert die Breitenregelung, wenn die Bandbreite hinter der letzten Stichabnahme gemessen wird. Der Zeitverzug bei der Regelung läßt es jedoch günstiger erscheinen, die Bandbreite schon vor der vorletzten Stichabnahme zu messen oder zwei Meßgeräte einzusetzen, damit der Breitenregler schon vorgesteuert werden kann. Das gleiche Verfahren läßt sich auch für eine Breitenregelung durch Änderung der Zugspannung des Bandes zwischen den ersten Gerüsten durchführen, sofern dort entsprechende Breitenmeß- und Regelgeräte eingesetzt werden.

Anhand schematischer Zeichnungen soll die Erfindung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 die Kraftwirkung eines Schlingenhebers;

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Regelung für eine Fertigstaffel als Blockschaltbild.

Fig. 3 eine erfindungsgemäße Regelung am ersten Gerüst einer Fertigstaffel als Blockschaltbild und

Fig. 4 eine weitere erfindungsgemäße Regelung an den letzten Gerüsten einer Fertigstaffel als Blockschaltbild.

Das Diagramm in Fig. 1 zeigt die Änderung der

spezifischen Zugspannung im Warmband 10 über der Winkelstellung (Looperwinkel) eines Schlingenhebers (Looper) bei 4 bis 10 bar Fluidruck (Looperdruck) des Hubzylinders des Schlingenhebers. Jede Winkeländerung des Schlingenhebers verursacht also Zugschwankungen im Band. Bei der Bandvorratsregelung und sind die Bandzugänderungen wesentlich geringer als bei der konventionellen Schlingenregelung.

Fig. 2 zeigt die Verhältnisse an der Fertigstaffel einer Walzstraße für Warmbreitband 10 mit sieben Walzgerüsten 1...7, vier schwenkbaren Schlingenhebern 12...15 und einer vertikal verstellbaren und arretierbaren Umlenkrolle 16 mit Kraftmeßeinrichtung 9. Die Antriebe, Meßgeräte und Stellorgane sind der besseren Übersicht wegen nicht alle dargestellt. Jedes Gerüst verfügt über einen Bandvorratsregler BVR und am letzten Gerüst ist zusätzlich ein Dickenregler DR installiert. Gemäß dem Stand der Technik verfügt jedes Gerüst außerdem über einen Positionsregler PR und eine automatische Last-Walzspaltkontrolle AGC, der von einem Walzspaltrechner HR die aktuell aus Walzkraft f und der angezeigten Position s der Walzen errechneten Walzspalte h erhält.

Bei der folgenden Funktionsbeschreibung sollen große Buchstaben Sollwerte und kleine Buchstaben Istwerte kennzeichnen.

Alle Sollwerte für die Walzendrehzahlen NL werden von einem nicht dargestellten Leit-Sollwertrechner fest vorgegeben und während des Walzens entsprechend dem gewünschten Stichplan rampenförmig und dem gewünschten Temperature-speed-up tendenziell erhöht. Drehzahlregler DNR sorgen dafür, daß die Drehzahlen ihre momentanen Sollwerte $N 1...N 7$ einhalten.

Die Sollwerte der Walzspalthöhen SL werden ebenfalls vor Walzbeginn vom Leit-Sollwertrechner vorgegeben. Sie müssen während des Walzens ständig nachgeregelt werden, um sich an den Materialstrom beziehungsweise Bandvorrat anzupassen. Die nötigen Stellsignale δS liefern die Bandvorratsregler BVR . Jeder Bandvorratsregler BVR bezieht seinen Istwert aus dem in das jeweilige Gerüst 1...7 einlaufenden Bandstück, während sein Sollwert SL konstant ist. Die als Istwert verwendete physikalische Größe ist in allen Fällen ein Maß für den Vorrat an Bandvolumen (Massenvorrat) vor dem Gerüst und nach dem Vorgängergerüst. Die Bandvorratsregler BVR regeln also auf konstanten Bandvorrat zwischen den Gerüsten 1...7.

Beim ersten Gerüst wird die nicht dargestellte nominelle Dicke $H Z$ als Sollwert und die aktuelle Dicke $h Z$ als Istwert verwendet. Streng genommen ist dieser Bandvorratsregler BVR also lediglich ein Dickenregler. Er kann durch die Dicke $h 0$ vorgesteuert werden.

Bei den Gerüsten 3 bis 6 dienen Schlingenheberwinkel $a_{12} \dots a_{15}$ als Istwert für die Bandvorratsregler BVR. Jeder Winkel ist ein Maß für die vorrätige Bandlänge.

Bei den Gerüsten 2 bzw. 7 wird die im einlaufenden Bandstück vorhandene Zugkraft z_1 beziehungsweise z_6 als Istwert für den jeweiligen Bandvorratsregler BVR verwendet. Die Zugkraft gibt den Bandvorrat an, der verfügbar ist, wenn sich das Material plastisch verformt. Bei kleiner Zugkraft ist der Vorrat größer als bei großer Zugkraft. Sehr unterschiedlich sind bei den Gerüsten 2 und 7 die Methoden zur Ermittlung der Zugkräfte z_1 und z_6 . Die Zugkraft z_1 vor dem Gerüst 2 wird aus den Meßwerten der Walzkraft f und des Drehmomentes m der Arbeitswalzenwelle im Gerüst 1 vor und nach dem Einlaufen des Bandes 10 im Gerüst 2 im Bandzugrechner ZB berechnet.

Das Drehmoment m wird durch nicht dargestellte Dehnungs-Meß-Streifen festgestellt und per Funk an den Bandzugrechner ZB übertragen.

Um die Zugkraft z_6 vor dem Gerüst 7 zu bestimmen, wird eine mit einem Kraftsensor 9 ausgerüstete Umlenkrolle 16 benutzt. Sie wird dazu unmittelbar nach dem Anstich des Gerüsts 7 hydraulisch vertikal in ihre Sollposition eingefahren und dort blockiert.

Der Verfahrensablauf beim Fertigwalzen eines Warmbandes ist wie folgt geregelt:

Nach Einlauf des Bandes 10 in Gerüst 1 werden die Dicken h_0 und h_Z mit den Dickenmessern DO, DZ sowie das Drehmoment m und die Walzkraft f bzw. der Quotient m/f ermittelt. Die Dicke wird dem BVR zugeleitet, der die weitere Regelung an Gerüst 1 übernimmt. Nach Einlauf des Bandes 10 in Gerüst 2 ändern sich die Meßwerte m und f sowie deren Quotient. Aus der Änderung wird im Bandzugrechner ZB die Bandspannung beziehungsweise Zugkraft z_1 ermittelt und damit der Bandvorratsregler BVR an Gerüst 2 beaufschlagt, der im folgenden die Lastwalzspalthöhe s_2 steuert. Die Kontrolle erfolgt dabei über den Positionsregler PR. Nach Anstich des Gerüsts 3 wird der Schlingenheber 12 in Sollposition gefahren, eine Sollwertabweichung von a_{12} führt durch den Bandvorratsregler BVR an Gerüst 3 zu einer Änderung der Lastwalzspalthöhe s_3 . Das gleiche Verfahren gilt für die Gerüste 4, 5, 6. Nach Anstich des Gerüsts 7 wird die Umlenkrolle 16 in die Sollposition gefahren und dort arretiert. Kraftsensor 9 ermittelt die Zugkraft z_6 und beaufschlagt damit den Bandvorratsregler BVR an Gerüst 7. Alle Bandvorratsregler BVR sorgen durch gegebenenfalls notwendige Änderung der Walzspalte für einen konstanten Bandvorrat zwischen den Gerüsten, mit der Folge, daß die Schlingenheber 12...15 nur in engen Grenzen schwingen. Dadurch werden bei "richtiger" Voreinstellung der Banddicke H_Z sehr geringe auszure-

gelnde Abweichungen erzielt, die dann noch durch die sehr schnelle Walzspaltverstellung korrigiert werden.

Trotzdem können durch Störungen, beispielsweise resultierend aus Temperatur- oder Dickendifferenzen des Vorbandes, die gewünschten Dicken-toleranzen hinter der Fertigstaffel überschritten werden. Dies wird durch eine abschließende Dickenmessung festgestellt. Zur Korrektur wird die Bandvorratsregelung ergänzt durch eine Regelung der Austrittsdicke h_E . Die Wirkungsweise der Dickenregelung mit Hilfe des Dickenreglers DR ist aus folgender Überlegung abgeleitet worden:

Bei jedem Walzvorgang erhält man die Dicke h des aus dem Walzspalt austretenden Bandes 10, in dem die Eintrittsdicke in das Gerüst durch den Verlängerungsfaktor dividiert wird, um den sich die Bandlänge vergrößert. Die Breite des Bandes 10 ist dabei vernachlässigbar. Für die Gerüste 1 bis 7 gilt also die Beziehung:

$$h_0 \cdot v_0 / v_7 = h_E$$

Dabei sind h_0 die Eintrittsdicke und h_E die Austrittsdicken, v_0 die Eintrittsgeschwindigkeit in Gerüst 1 und v_7 die Austrittsgeschwindigkeit aus Gerüst 7. Der Quotient v_0 / v_7 ist der reziproke Verlängerungsfaktor. Um die Austrittsdicke h_E zu beeinflussen eignen sich nach der Gleichung die Größen h_0 , v_0 und v_7 . Diese drei Größen wirken in diesem Regelkreis jedoch verschieden schnell auf die Austrittsdicke h_E ein. Die Gleichung beschreibt nur den stationären Gleichgewichtsstand; das dynamische Verhalten ist anders. Am langsamsten wirkt sich die Eintrittsdicke h_0 auf die Austrittsdicke h_E aus. Verzögernd wirkt hier die Laufzeit des Bandes 10 durch alle Gerüste. Mindestens zehnmal schneller ist der Einfluß der Geschwindigkeit v_0 . Ihre Wirkung wird nur verzögert durch das Einschwingen der sechs nacheinander eingreifenden Bandvorratsregelkreise. Am schnellsten wird die Austrittsdicke h_E durch die Geschwindigkeit v_7 beeinflusst, weil hier nur der letzte Bandvorratsregelkreis einschwingen muß. Als Stellglied für einen Dickenregelkreis eignet sich daher am besten die Geschwindigkeit v_7 . Im Regelkonzept der Walzstraße gemäß Fig. 2 liefert der Dickenregler DR ein Korrektursignal δv_7 , das zu der vom Rechner über die Walzendrehzahl N_7 vorgegebenen Geschwindigkeit positiv oder negativ addiert wird. Stattdessen könnte man auch den Temperature-speed-up für die Gerüste 1 bis 6 um den Wert δv_7 verändern.

Große Regelhübe des Dickenreglers DR sind unerwünscht, denn sie bedeuten eine Lastumverteilung unter den Gerüsten. Um dem Dickenregler DR Arbeit abzunehmen, kann deshalb am Eingang der Walzstraße entweder das aus den Meßwerten h_0 und v_0 berechnete Produkt durch den Bandvorratsregler von Gerüst 1 auf einen konstanten Wert

geregelt werden, oder es kann, wie in Fig. 2 dargestellt, das Produkt $h \cdot Z \cdot v_1$ konstant gehalten werden, indem v_1 näherungsweise durch den Drehzahlregler und $h \cdot Z$ durch den Bandvorratsregler des ersten Gerüsts konstant gehalten wird.

Die Messung der Dickenwerte h_0 und h_Z könnte daher auch gemäß Fig. 3 durch die Messung der aktuellen Dicke h_0 mit Dickenmesser DO und der aktuellen Einlauf-Geschwindigkeit v_0 ersetzt werden, ohne das Regelprinzip zu ändern.

Die Bandvorratsregler BVR können natürlich ihre Stellsignale δs für den Positionsregler PR nur solange liefern, solange die Bandvorratsindikatoren von dem jeweiligen Meßgebern fließen. Wenn das Bandende einen Meßgeber erreicht, muß also der entsprechende Bandvorratsregler BVR außer Funktion gesetzt werden. Dann übernimmt erfindungsgemäß die durch Walzkraft f beaufschlagte Lastwalzspaltkontrolle AGC die weitere Regelung des Walzspaltes in an sich bekannter Weise. Beim Umschalten von dem Bandvorratsregler BVR zur Kontrolleinrichtung AGC wird der augenblickliche Walzspaltwert stoßfrei übernommen. Aus der Darstellung in Fig. 2 ergibt sich, daß die Umschaltung von Gerüst 2 auf AGC erfolgt, sobald das Band 10 das Gerüst 1 verläßt, weil dann der Bandvorratsregler BVR keine Zugspannungswerte z_1 mehr erhält. Für die Gerüste 3 bis 6 gilt dies analog, da die Schlingenheber außer Funktion gesetzt werden müssen; für das Gerüst 7 kann an Umlenkrolle 16 entsprechend keine wahre Kraftwirkung mehr gemessen werden.

Für ein neues Band 10 beginnt der Verfahrensablauf wieder wie beschrieben.

Fig. 4 zeigt die Möglichkeit, den Verfahrensablauf dadurch zu optimieren, indem die Fertigstaffel zusätzlich eine Breitenregelung erhält.

Der Breitenmesser 11 erfaßt die Bandbreite b_7 nach der letzten Stichabnahme in Gerüst 7. Im Breitenregler BR wird der Meßwert mit der Sollbreite BE verglichen. Bei einer Abweichung errechnet der Breitenregler BR ein Stellsignal δZ und beaufschlagt damit den Bandvorratsregler BVR des Gerüsts 7. Sollte die Bandbreite b_7 zu groß sein, wird das Signal δZ zur Aufschaltung eines Zugspannungswertes auf den mit der Zugspannung z_6 beaufschlagten Regler BVR führen, der dann einen zu großen Bandvorrat feststellt und den Walzspalt an Gerüst 7 um den Wert δS öffnet mit der Folge, daß die Zugspannung im Band vergrößert wird und die Bandbreite sich verringert. Die Regelwirkung ist schneller, wenn wie dargestellt, ein weiterer Breitenmesser 8 vor Gerüst 6 die aktuelle Bandbreite BR vorsteuert, so daß Breitenunterschiede ortsgetreu ohne Zeitverlust durch Einschwingen des Regelkreises ausgeregelt werden können.

Somit ist der Verfahrensablauf an der Walzstra-

ße optimal regelbar und der Aufwand für Schlingenheber, Meßgeräte und Regelsysteme wird in Grenzen gehalten. Versuche mit diesem Regelsystem haben eine Verbesserung der Toleranzen für die Banddicke h_E auf Werte von plus/minus 0,02mm zur Solldicke von 1,5 mm ergeben.

Ansprüche

1. Verfahren zum Regeln des Walzens von Warmband auf einer mehrgerüstigen Fertigstaffel einer Walzstraße, bei dem die Walzspalthöhe gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, daß für die Nachstellung der Walzspalthöhe (s) nach Warmbandeinlauf in ein Gerüst von einer Sollbanddickeneinstellung zu einem Bandvorratsindikator umgeschaltet und auf einen Walzkraftindikator umgeschaltet wird, wenn das Band (10) aus dem vorhergehenden Gerüst (1...6) ausläuft, wobei für das erste Gerüst (1) das Ergebnis einer vorhergehenden Dickenmessung verwertet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Walzspalthöhe (s) gerüstweise in Abhängigkeit von

- der gewünschten Solldicke vor dem Einlaufen des Warmbandes (10),

- dem momentanen Bandvorrat vor einem Gerüst (1...7) während des Durchlaufes des Warmbandes (10) durch die Fertigstaffel und

- der momentanen Walzkraft (f), sobald das Ende des Warmbandes (10) das vorhergehende Gerüst (1...6) verlassen hat, eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bandvorrat vor einem Gerüst durch Verstellung der Walzspalthöhe (s) geregelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß für die Bandvorratsregelung die Zugspannung (Z) im Warmband durch Messung der Walzkraft (f) und des Drehmomentes (m) an der Antriebswelle der Arbeitswalze ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß für die Bandvorratsregelung eines Gerüsts die Auslenkung (a) eines Schlingenhebers (12...15) vor dem Gerüst (3...6) gemessen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß hinter der Fertigstaffel die Dicke (h_E) des Warmbandes (10) gemessen wird und bei Abweichungen vom Sollwert die Dicke derart geregelt wird, daß zwischen zwei der Gerüste (1...7) der Bandvorrat durch Ändern der Drehzahlen ($N_1...N_7$) aller folgenden oder vorhergehenden Arbeitswalzen geändert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß Signale zum Regeln der Dicke

des Warmbandes (10) als zeitverzögerte Signale zum Nachstellen der Walzspalthöhe (s) des hinteren der beiden Gerüste benutzt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß am ersten Gerüst (1) die Indikatoren Dicke (h0) und Geschwindigkeit (v0) des Warmbandes (10) vor oder die Dicke des Warmbandes vor (h0) und hinter (hZ) dem Gerüst (1) bestimmt und danach die Walzspalthöhe (s) eingestellt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem letzten Gerüst (7) als Bandvorratsindikator die Reaktionskraft (z6) des Warmbandes (10) auf eine feststellbare Umlenkrolle (16) verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich die Bandbreite (b7) geregelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß

- die Bandbreite nach (b7) der letzten Stichabnahme und/oder vor (b5) der vorletzten Stichabnahme in der Fertigstaffel gemessen wird,
- die Meßergebnisse einem Breitenrechner (BR) zugeführt werden, der gegebenenfalls eine Sollwertabweichung feststellt und daraus einen Wert für eine Änderung der Bandzugspannung zwischen den beiden letzten Stichabnahmen errechnet und damit den Bandvorratsregler (BVR) des letzten Gerüsts (7) beaufschlagt.

12. Verwendung einer Kombination unterschiedlicher Indikatoren für die Bestimmung des momentanen Bandvorrates an den Gerüsten (1...7) einer Fertigstaffel eines Warmbandwalzwerkes, wobei

- für das erste Gerüst (1) die Geschwindigkeit (v0) sowie die Banddicke (h0) vor oder die Banddicke (h0) vor und hinter (h7) dem Gerüst (1),
- für ein oder mehrere folgende Gerüste (2) das Drehmoment (m) der Arbeitswalzenwelle und die Walzkraft (f) im vorhergehenden Gerüst (1) gemessen,
- für mindestens das letzte Gerüst (7), die Zugkraft im Band (z6) vor dem Gerüst (7) durch Kraftmessung an einer feststellbaren Umlenkrolle (16) bestimmt,
- für die sonstigen Gerüste (3...6) die Auslenkung (a) eines vor dem Gerüst angeordneten Schlingenhäbers (12...15) ermittelt wird,

zur gerüstweisen Regelung des Bandvorrates durch Ändern der Walzspalthöhe (s) und einer zusätzlichen Regelung der Enddicke des Warmbandes (10) durch Messen der Dicke (hE) des Warmbandes hinter der Fertigstaffel und Ändern des Bandvorrates an einer Stelle der Fertigstaffel durch blockweise Korrektur der Drehzahlen (N1...N7) der vorhergehenden oder nachfolgenden Arbeitswalzen, sofern eine Abweichung zwischen Soll- und

Istwert der Enddicke (hE) des Warmbandes (10) festgestellt wurde.

13. Anwendung der Funkübertragung von Ergebnissen bei der direkten Drehmoment-Messung mittels Dehnungs-Meß-Streifen an den Antriebswellen der Arbeitswalzen von Fertigstaffelgerüsten (1...7) einer Walzstraße zur verzögerungsfreien Ermittlung der Zugspannung (Z1) im Warmband vorzugsweise zum Regeln der Walzspalthöhe während des Warmbandwalzens.

14. Fertigstaffel einer Warmbandwalzstraße mit Meß-, Steuer- und Regeleinrichtung zum Erfassen und Beeinflussen der Verfahrensparameter, vorzugsweise zum Anwenden des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet durch die Kombination folgender Bauteile:

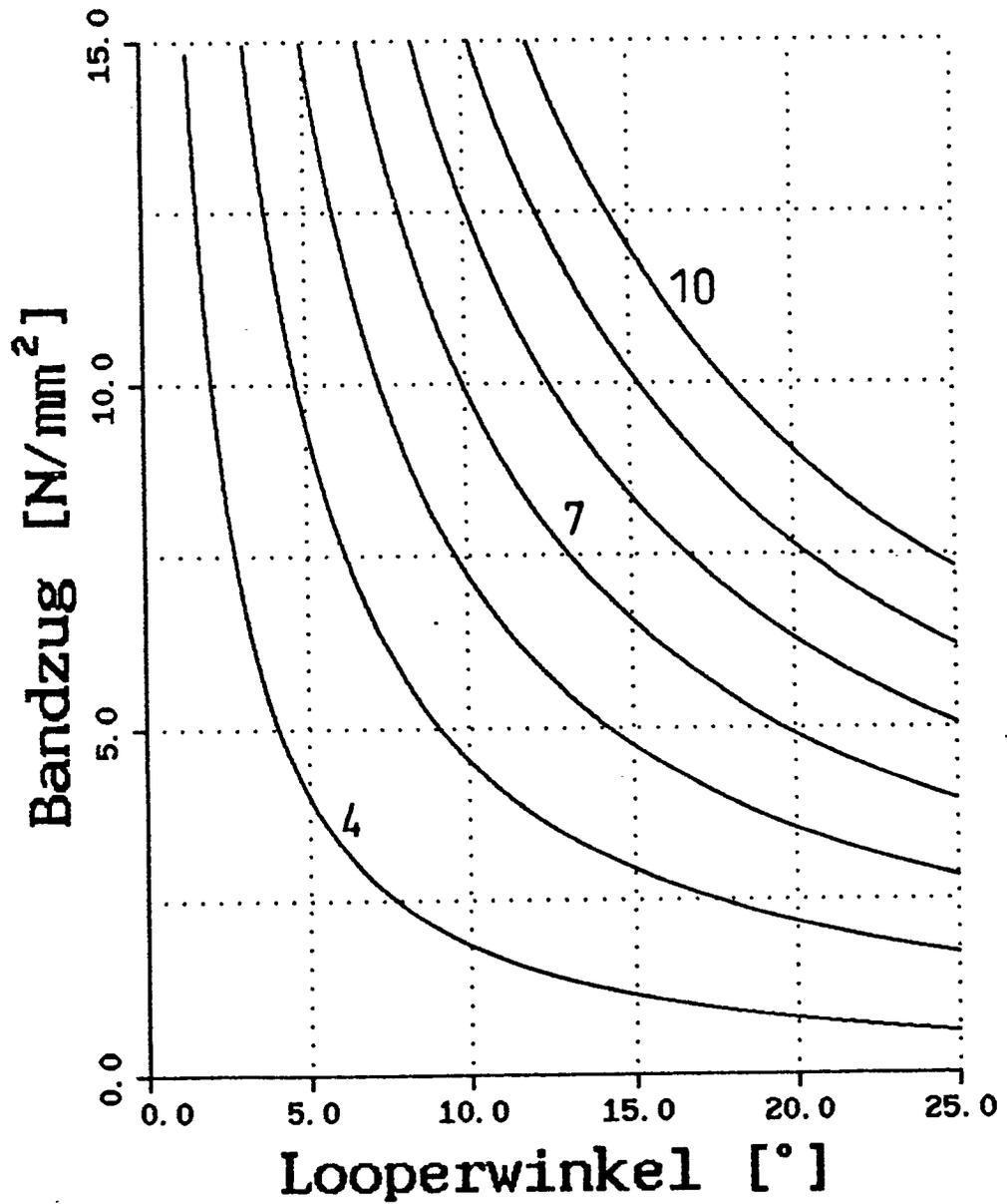
- einen die Walzspalthöhe (s) beeinflussenden Bandvorratsregler (BVR) je Gerüst (1...7) sowie
- ein Dickenmeßgerät (DO, DZ) für das Warmband (10) vor und/oder hinter dem ersten Gerüst (1) und einem Geschwindigkeitsmeßgerät vor dem ersten Gerüst und
- mindestens eine höhenverstellbare, in der Position verharrende Umlenkrolle (16) vor dem letzten Gerüst (7),
- die mit dem jeweiligen Bandvorratsregler (BVR) verbunden sind.

15. Fertigstaffel nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch ein von einem Meßgerät (DE) für die Enddicke (hE) des Warmbandes (10) beaufschlagten und mit einem Drehzahlregler (DNR) einer oder mehrerer Arbeitswalzen verbundenen Dickenregler (DR).

16. Fertigstaffel nach Anspruch 14 oder 15, gekennzeichnet durch ein Bandbreitenmeßgerät (8, 11) hinter dem letzten Gerüst (7) und/oder vor dem vorletzten Gerüst (6) sowie einen Breitenregler (BR), der mit dem Bandvorratsregler (BVR) für das letzte Gerüst (7) verbunden ist.

FIG. 1

Looperdruck: 4.00 bar bis 10.00 bar in 6 Stufen
Blechdicke: 10.00 mm
Blechbreite: 1200 mm



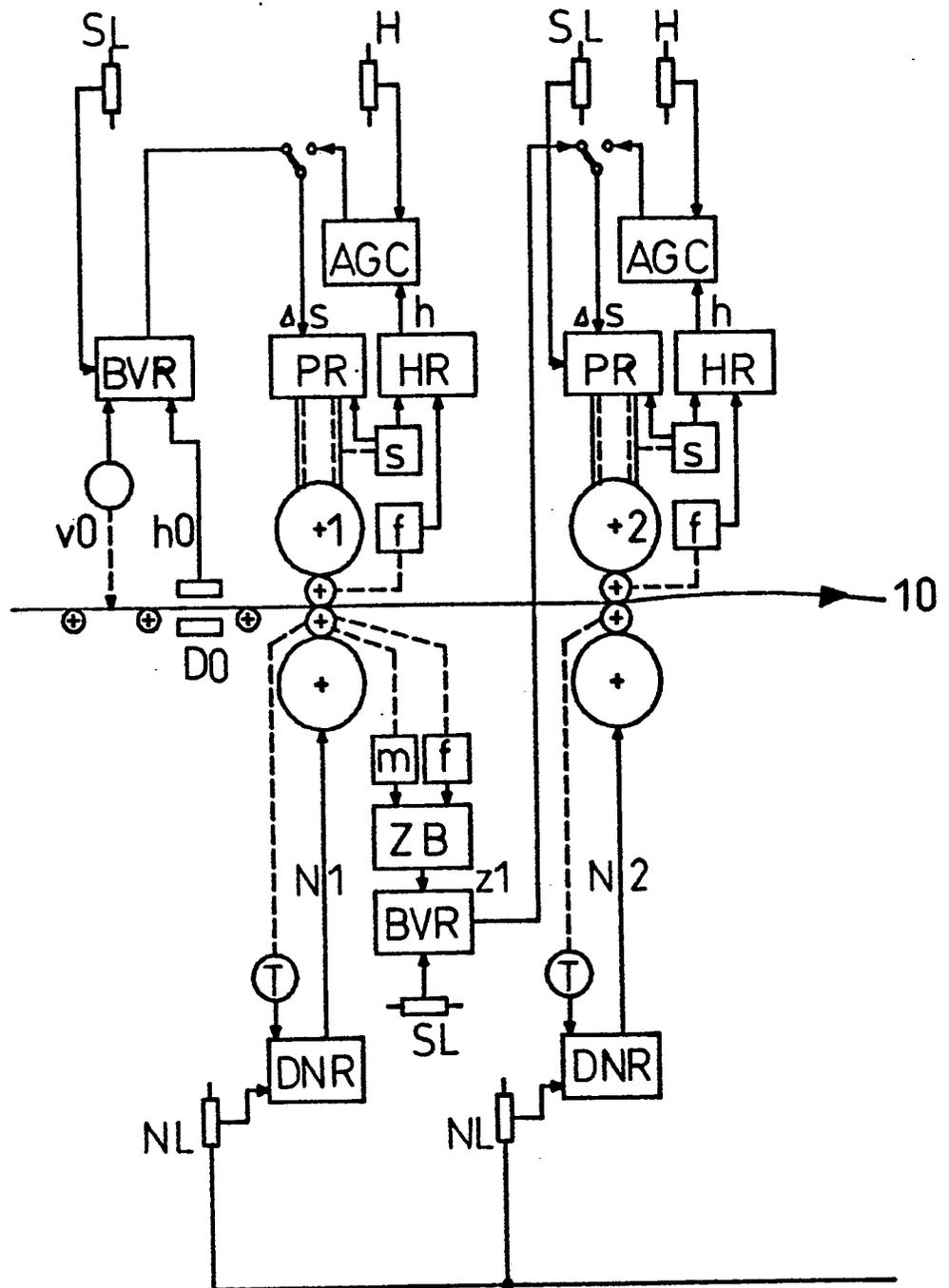


FIG.3

