



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
27.02.2002 Patentblatt 2002/09

(51) Int Cl.7: **B21B 37/28**

(21) Anmeldenummer: **01119908.0**

(22) Anmeldetag: **17.08.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- **Ullrich Müller**
40789 Monheim am Rhein (DE)
- **Gerd Thiemann**
44879 Bochum (DE)
- **Andreas Wolff**
40479 Düsseldorf (DE)

(30) Priorität: **18.08.2000 DE 10041181**

(71) Anmelder: **BFI VDEh- Institut für angewandte
Forschung GmbH**
40237 Düsseldorf (DE)

(74) Vertreter:
König, Gregor Sebastian, Dipl.-Biol. et al
König - Palgen - Schumacher - Kluin
Patentanwälte Lohengrinstrasse 11
40549 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• **Mohieddine Jelali**
47053 Duisburg (DE)

(54) **Mehrgrößen-Planheitsregelungssystem**

(57) Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Planheit beim Walzen, bei dem die Planheitsfehler in unabhängige Komponenten zerlegt werden.

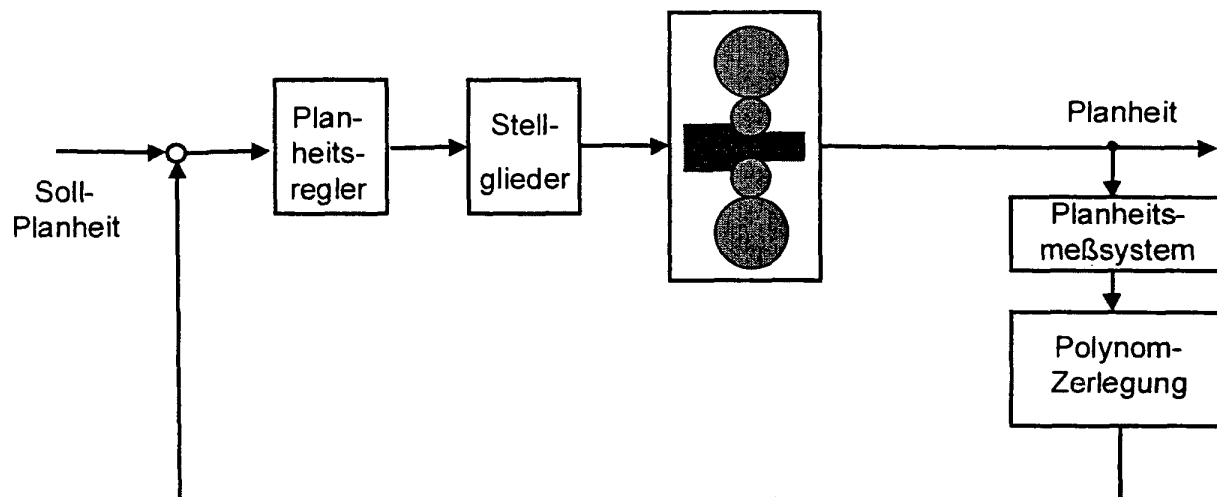


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Planheit von Bändern beim Walzen und nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung 100 41 181.9 in Anspruch, auf die inhaltlich Bezug genommen wird.

[0002] Beim Walzen von Bändern stellt es ein besonderes Problem dar, eine optimale Planheit und Form des Bandes zu erhalten. Dazu ist es vorteilhaft, daß das Vorband bereits weitgehend das vorgesehene Bandprofil besitzt und zentrisch in die Fertigstraße einläuft. Des weiteren sollten die Stichabnahmen in den einzelnen Gerüsten so erfolgen, daß in allen Gerüsten eine jeweils gleichmäßige Bandlänge über die gesamte Bandbreite erhalten wird. Darüber hinaus wird eine Verringerung der Bandlänge (im Fertigprodukt) angestrebt, deren Planheit außerhalb der Toleranz liegt. Dies gilt insbesondere für den Bandkopf und Bandfuß.

[0003] Dazu ist es bekannt, die Längenverteilung des gewalzten Blechs mittels eines Planheitsmeßsystems zu ermitteln (siehe Figur 1). Die verschiedenen Arten von Fehlern - z.B. Mittenwellen, Randwellen, Viertelwellen oder Unplanheiten höherer Ordnung - werden durch eine mathematische Analyse der gemessenen Längenverteilung bestimmt, um gezielt die geeigneten Stellglieder zur Fehlerkorrektur einzusetzen.

[0004] Die Darstellung der Längenverteilung erfolgt mit Hilfe eines üblichen Polynoms:

$$p(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4$$

[0005] Dabei werden durch die Koeffizienten a_1 und a_3 einseitige Randwellen an der linken oder rechten Seite des Bandes beschrieben. Die Koeffizienten a_2 und a_4 beschreiben entweder symmetrische Mittenwellen oder symmetrische Randwellen an der linken und rechten Seite des Bandes. Die Koeffizienten a_1 und a_3 bzw. a_2 und a_4 enthalten somit gemeinsame Informationskomponenten.

[0006] Bisher werden zumindest in den meisten praktischen Realisierungen zur Planheitsregelung primär die Koeffizienten (nachfolgend auch Komponenten genannt) a_1 und a_2 benutzt.

[0007] Für das Regeln der Planheit an der Fertigtafel werden meist die Stellgrößen der Arbeitswalzenbiegung zur Ausregelung der Komponenten a_2 und a_4 sowie die hydraulischen Anstellungen an der Bediener- und Antriebsseite (Schwenken) zur Beseitigung der Fehlerkomponenten a_1 und a_3 genutzt. Zum Zwecke der Regelung werden also für das Schwenken die Koeffizienten a_1 und a_3 und für das Biegen die Koeffizienten a_2 und a_4 als Regelgröße verwendet.

[0008] Bei einigen Walzgerüsten dient die Axialverschiebung der Arbeitswalzen vorrangig zur Voreinstellung der Walzspaltkontur und nur fallweise innerhalb des Regelkreises in Kombination mit der Biegung zur

Korrektur der Viertelwellen. Schließlich kann die selektive Mehrzonenkühlung der Arbeitswalzen die Korrektur der Planheitsfehler höherer Ordnung ermöglichen. Eine derartige Regelung ist beispielsweise aus der deutschen Patentanmeldung DE 197 58 466 A1 bekannt.

[0009] Dabei werden jeweils um eine durch eine Setup-Berechnung vorgegebene Einstellung der Walzkraft und der Biegekraft die Stellgrößen berechnet. Als Regler kommen bekannte PI-Regler zum Einsatz, die allerdings die Totzeiten der Strecke nicht explizit berücksichtigen können. Folglich muß eine schwache Einstellung der Reglerv Verstärkungen, insbesondere des I-Anteils, vorgenommen werden, um Instabilitäten des Regelkreises zu vermeiden.

[0010] Dieses Regelungssystem kann den steigenden Qualitätsanforderungen an die Planheit nicht gerecht werden, da die Planheitsregelung erst nach relativ großer Zeit ihre Sollkurve erreicht. Das hat zur Folge, daß zunächst eine große Bandlänge in Kauf genommen werden muß, deren Planheit außerhalb der Toleranz liegt. Oftmals wird jedoch die Sollkurve gar nicht, sondern nur in Annäherung erreicht, so daß große Rand- bzw. Mittenwellen entstehen können.

[0011] Des weiteren ist es nachteilig, daß sich die Komponenten a_0 , a_1 , a_2 , a_3 und a_4 gegenseitig beeinflussen und die Totzeiten nicht berücksichtigt, d.h. nicht kompensiert werden. Darüber hinaus werden die Stellglieder-Charakteristika (Einflußfunktionen) nur einmal pro Band berechnet und konstant angenommen, da zur Berechnung iterative Modellgleichungen verwendet werden.

[0012] Ausgehend von der zuvor beschriebenen klassischen Planheitsregelung wurden bereits Erweiterungen des klassischen Regelungskonzeptes vorgeschlagen, um die bestehenden Nachteile teilweise zu beheben.

[0013] Eine Zerlegung der gemessenen Planheit in Richtung von Einflußfunktionen, die nicht orthogonal zu einander stehen, wird in Schneider, A.; Kern, P.; Stefens, M.: Model Supported Profile and Flatness Control Systems, Proc. of 49^o Congresso Internaciona de Tecnologia Metalurgica e de Materials - International Conference, 9-14 October 1994, São Paulo, Vol. 6, p. 49/60 und McDonald, I. R.; Mason, J. D.: Advances in flatness control technology, Proc. of the Conf. on the Control of Profile and Flatness, 25-27 March 1996, The Institute of Materials, Birmingham, p. 161/70 beschrieben. Hierdurch können verbesserte Resultate erreicht werden, aber bei redundanten und sehr ähnlichen Stellgrößen treten aufgrund der schlechten Konditionierung des Systems (schlecht invertierbare Systeme) sehr große Stellgrößen auf. Eine sehr starke Beanspruchung kann hieraus resultieren.

[0014] In Grimble, M.J.; Fotakis, J.: The Design of Strip shape Control Systems for Sendzimir Mills, IEEE Trans. on Automatic Control 27 (1982) no. 3, p. 656/666 und Ringwood, J. V.: Shape Control Systems for Sendzimir Steel Mills, IEEE Trans. on Control Systems Te-

gnology 8 (2000) no. 1, p. 70/86 wird eine Planheitsregelung für Sendzimirgerüste mit einer orthogonalen Zerlegung der Planheitswerte in Chebyshev-Polynome vorgeschlagen, um die Planheitsregelung zu verbessern, dabei werden aber Totzeitkompensation und Stellgrößenbeschränkungen nicht berücksichtigt. Die Stellgrößen werden dabei mittels eines Mehrgrößenreglers bestimmt. Der Mehrgrößenregler ist nicht für eine online fähige dynamische Optimierung ausgelegt.

[0015] Eine Planheitsregelung mittels Beobachter und klassischem Zustandsregler wird in Hoshino, I.; Kimura, H.: Observer-based multivariable control of rolling mills, Preprints of the IFAC Workshop on Automation in Mining, Mineral and Metal Processing, 1-3 September 1998, Cologne, p. 251/256 vorgestellt. Eine Erweiterung auf nichtlineare Modelle und dynamische Optimierung ist in Pu, H.; Nern, H.-J.; Roemer, R.; Nour Eldin, H. A.; Kern, P.; Jelali, M.: State-observer design and verification towards developing an integrated flatness-thickness control system for the 20 roll sendzimir cluster mill, Proc. Intern. Conf. on Steel Rolling (Steel Rolling '98), 9-11 November 1998, The Iron and Steel Institute of Japan, Chiba, p. 124/29 und Pu, H.; Nern, H.-J.; Nour Eldin, H. A.; Jelali, M.; Totz, O.; Kern, P.: The Hardware-in-Loop simulations and on-line tests of an integrated thickness and flatness control system for the 20 rolls sendzimir cold rolling mill, Proc. Intern. Conf. on Modeling of Metal Rolling Processes, 13-15 December 1999, London, p. 208/16 zu finden. Bei diesen Lösungen wird aber keine Zerlegung der Planheit in orthogonale Polynome vorgenommen. Die Totzeiten werden auch in diesen Ansätzen nicht kompensiert.

[0016] Eine Verbesserung der Planheitsregelung durch Kompensation der Totzeit mittels Smith-Prädiktor wird in Soda, K.; Amanuma, Y.; Tsuchii, K.; Ohno, S.; N.: Improvement in Flatness Control Response for Tandem Cold Strip Mill, Proc. Intern. Conf. on Steel Rolling (Steel Rolling '98), 9-11 November 1998, The Iron and Steel Institute of Japan, Chiba, p. 760/765 beschrieben. Dabei berechnet der Prädiktor die Regelungsgrößen, die im ersten Abtastschritt nach Verstreichen der Totzeit auftreten und kompensiert damit die Totzeit. Die Planheit wird entlang der Einflußfunktionen zerlegt. Bei redundanten und sehr ähnlichen Stellgrößen treten aufgrund der schlechten Konditionierung des Systems (schlecht invertierbare Systeme) sehr große Stellgrößen auf. Dadurch kann die Anlage übermäßig beansprucht werden. Im Smith-Prädiktor ist ein klassischer Mehrgrößenregler (PID-Regler) integriert. Es fehlt eine dynamische Optimierung mit über die Totzeit hinausgehende Prädiktion des Regelgrößenverlaufes. Hier wird eine Regelgröße vorhergesagt, die unmittelbar im ersten Abtastschritt nach der Totzeit auftritt.

[0017] In vielen herkömmlichen Planheitsmeßsystemen werden Meßwerte zu vorbestimmten Abtastzeitpunkten geliefert. Bei Verwendung von zeitdiskreten Reglern, beispielsweise PI-Reglern, wird vorausgesetzt, daß die Abtastzeit konstant ist. Wird die Abtastzeit

nicht konstant gehalten, verschlechtert sich das Regelergebnis oder der Regelkreis wird sogar instabil.

[0018] Der Erfindung liegt demnach die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, daß das Messen und/oder Regeln der Planheit eines Bandes beim Walzen zuverlässig ermöglicht. Des weiteren soll eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens bereitgestellt werden.

[0019] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1, eine Vorrichtung nach Anspruch 9 und ein Planheitsregelungssystem nach Anspruch 14. Vorteilhafte Weiterentwicklungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0020] Der Erfindung liegt dabei der Gedanke zugrunde, die Planheitsregelung nach dem Stand der Technik durch ein orthogonales modellgestütztes Mehrgrößen-Planheits-Regelungssystem mit Erfassung der Planheit und deren Zerlegung in orthogonale Komponenten zu verbessern. Bevorzugt weist das Mehrgrößen-Planheitsregelungssystem eine Bestimmung der Stellgrößen mittels einer dynamischen Online-Optimierung unter Berücksichtigung von Stellgrößen Beschränkungen auf und eine Prädiktion der Regelgrößen (Planheitswerte) auf, die in eine dynamische Optimierung einbezogen wird. Die Prädiktion der Regelgrößen geht über die Totzeit hinaus. Bei dem modellbasierten prädiktiven Ansatz wird eine Vorhersage der Regelgrößen vom ersten Abtastschritt nach der Totzeit bis zu einem Prädiktionshorizont verwendet. Hierdurch werden zu jedem Zeitpunkt optimale Stellgrößen berechnet, auch wenn die Zeitkonstanten der einzelnen Stellglieder stark unterschiedlich sind. Diese Informationen gehen vorteilhafterweise in die dynamische Optimierung ebenfalls mit ein.

[0021] Vorteilhafterweise können die Komponenten mit Werten verglichen werden, die ein online-fähiges Modell der Anlage liefert. Die resultierende Differenz kann als Regelgröße dienen und anschließend mit der in unabhängige Komponenten zerlegten Sollplanheitskurve verglichen werden. Die resultierende Regeldifferenz kann über eine optimale Entkopplung einem Mehrgrößenregler zugeführt werden.

[0022] In dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es besonders vorteilhaft, daß die Totzeit durch den Internal Model Control (IMC) Ansatz berücksichtigt werden kann. Dadurch kann die Ausregelzeit verkürzt und die Bandlänge verringert werden, die außerhalb des Toleranzbereichs liegt.

[0023] Durch das Zerlegen der Planheitsmeßwerte in unabhängige Komponenten können des weiteren die jeweiligen Planheitsfehler eindeutig identifiziert werden, wodurch eine deutliche Verbesserung der Regelgüte ermöglicht wird.

[0024] Ebenso stellt es einen Vorteil dar, daß durch die orthogonale Zerlegung der Planheit die Anzahl und die Form der erforderlichen Stellgrößen bestimmbar werden.

[0025] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht

des weiteren die Berücksichtigung der Änderung der Walzkraft, der thermischen Bombierung und der einlaufenden Bandeigenschaften zu jedem Zeitschritt durch eine Störgrößenaufschaltung.

[0026] Darüber hinaus hat es den Vorteil, daß es eine explizite online-Berücksichtigung der Nichtlinearitäten der Anlage durch ein parallel zur Strecke liegendes online-fähiges Modell der Anlage ermöglicht.

[0027] Vorteilhafterweise berücksichtigt das erfindungsgemäße Verfahren und das zugehörige System Planheitsmeßsysteme mit zeitvarianter Abtastzeit durch einen IMC (Internal Model Control)-Ansatz mit einem Ereignisgenerator und ereignisgetriggerten Abtasthaltegliedern.

[0028] In einer vorteilhaften Ausführungsform umfaßt das erfindungsgemäße Mehrgrößen-Planheitsregelungssystem folgende Schritte:

- Erfassung der Planheit des Bandes mit einem Meßsystem,
- Zerlegen der Planheitsfehler (Längenverteilung) in orthogonale Komponenten,
- einem expliziten, linearen oder nichtlinearen online-fähigen Profil- und Planheitsmodell, das alle wesentlichen am Walzprozeß beteiligten Größen (Biegen, Schwenken, Verschieben thermische Bombierung usw.) berücksichtigt;
- einem expliziten online-fähigen Modell, das Sollwerte für die Planheitsregelung berechnet,
- einen Mehrgrößenregler für die Regelung der Planheit des Bandes
- einer Prädiktion der Regelgrößen (Planheitswerte), die in die dynamische Optimierung einbezogen wird, die über die Totzeit hinausgeht,
- einer Störgrößenaufschaltung, die die Eigenschaften des einlaufenden Bandes, die Variation von Walzkraft und thermischer Bombierung berücksichtigt und
- einem ereignisgetriggerten Abtastsystem zur Berücksichtigung von Planheitsmeßsystemen mit variabler Abtastzeit.

[0029] Das Zerlegen der Komponenten kann vorteilhafterweise mit orthogonalen Polynomen, beispielsweise mit Hilfe von Chebyshevpolyomen oder Gram-Polynomen erfolgen, wie sie in W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery: Numerical Recipes in C, Cambridge University Press (1992) oder A. Ralston, P. Rabinowitz: A first course in numerical analysis, International series in pure applied mathematics, McGraw-Hill (1978) beschrieben sind.

[0030] Die Planheit des auslaufenden Bleches kann durch Biegen, Schwenken und Axialverschiebung der Walzen sowie durch selektive Mehrzonenkühlung beeinflusst werden. Die einzelnen Stellgrößen können mit Hilfe eines Mehrgrößenreglers aus oben beschriebener Regeldifferenz bestimmt werden. Dabei kann der Einfluß der Walzkraft, der einlaufenden Bandeigenschaften

und der thermischen Bombierung durch eine Störgrößenaufschaltung kompensiert werden.

[0031] In den nachfolgenden Abbildungen zeigen:

5 **Fig. 1** ein Schaubild einer Planheitsregelung nach dem Stand der Technik und

Fig. 2 ein Schaubild des erfindungsgemäßen Verfahrens zur modellgestützten prädiktiven Mehrgrößen-Planheitsregelung eines Bandes mit Zerlegung der gemessenen Planheit in orthogonale Komponenten, eine Störgrößenaufschaltung und einer dynamischen Optimierung unter Berücksichtigung von Beschränkungen,

15 **Fig. 3a** Diagramm eines Regelergebnisses bei einem herkömmlichen Regelsystem,

20 **Fig. 3b** Diagramm eines Regelergebnisses bei einem erfindungsgemäßen Regelsystem,

Fig. 4a Stellgrößenverlaufs-Diagramme bei einem herkömmlichen Regelungssystem,

25 **Fig. 4b** Stellgrößenverlaufs-Diagramm bei einem erfindungsgemäßen Regelungssystem.

[0032] Wie in Figur 2 dargestellt wird die Planheitsabweichung mittels eines Meßsystems bestimmt und anschließend in orthogonale (unabhängige) Komponenten zerlegt. Die Komponenten werden mit Werten verglichen, die ein online-fähiges Modell der Anlage liefert. Die resultierende Differenz wird als Regelgröße verwendet. Diese wird anschließend mit der in unabhängige Komponenten zerlegten Sollplanheitskurve verglichen und die resultierende Regeldifferenz wird einem Mehrgrößenregler, bestehend aus einem online-fähigen Modell und einer dynamischen Optimierung unter Einbeziehung von Stellgrößenbeschränkungen und vorhergesagtem Regelgrößenverlauf, zugeführt. Zur Berücksichtigung von Planheitsmeßsystemen mit variabler Abtastzeit ist ein ereignisgetriggertes Abtastsystem mit einem mit zwei Abtasthaltegliedern zusammenwirkenden Ereignisgenerator vorgesehen.

[0033] Die Planheit des auslaufenden Bleches wird durch Biegen, Schwenken und Axialverschiebung der Walzen sowie durch selektive Mehrzonenkühlung beeinflusst. Die einzelnen Stellgrößen werden mit Hilfe eines Mehrgrößenreglers aus oben beschriebener Regeldifferenz bestimmt. Dabei wird der Einfluß der Walzkraft, der einlaufenden Bandeigenschaften und der thermischen Bombierung durch eine Störgrößenaufschaltung kompensiert.

55 **[0034]** Beispielhaft sind die Vorteile des neuen Konzeptes gegenüber dem Stand der Technik anhand von Simulationen in Figuren 3a, 3b, 4a und 4b dargestellt. Dabei wird ein Modell eines Sendzimiergerüsts ver-

wendet mit stark unterschiedlichen Zeitkonstanten in den Stellgliedern. Es wird ein Planheitsfehler durch falsches gegensinniges Verschieben der Konuswalzen angenommen. Das neue Konzept regelt den Planheitsfehler nach etwa 30 m Bandlänge aus (siehe Figur 3b), während bei dem jetzigen Konzept ein Restplanheitsfehler von 10 IUnits bleibt (siehe Figur 3a). Dieser Restfehler verschwindet erst nach etwa 300m Bandlänge. Die Ursache hierfür liegt darin, daß beim jetzigen Konzept keine dynamische Optimierung mit Berücksichtigung der über die Totzeit hinausgehenden und vorhergesagten Regelgrößen verwendet wird.

[0035] An dem Verlauf der Stellgrößen in Figur 4b kann man ersehen, daß das erfindungsgemäße Mehrgrößen-Planheitssystem zunächst das Biegen bzw. Schwenken anspricht und anschließend die langsamen Konuswalzen nachfährt, um die Planheitsfehler auszuregulieren und damit zu jedem Zeitpunkt optimale Stellgrößen bestimmt. Das jetzige Konzept (siehe Figur 4a) schafft es nicht die Konuswalzen mit der notwendigen Geschwindigkeit anzusprechen und damit den Planheitsfehler auszuregulieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Planheit eines Bandes beim Walzen, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Meßwerte in unabhängige Komponenten zerlegt werden.
2. Verfahren zum Messen und/oder Regeln der Planheit eines Bandes beim Walzen umfassend folgende Schritte:
 - Erfassen von Meßwerten
 - Zerlegen der Meßwerte in unabhängige Komponenten und
 - Regeln von Stellgrößen.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** eine Zerlegung der Meßwerte mit Hilfe orthogonaler Polynome.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die unabhängigen Komponenten mit Sollwerten aus einem Sollwert-Planheitsmodell verglichen werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **gekennzeichnet durch** die Ermittlung einer Regeldifferenz zwischen Sollwerten und unabhängigen Komponenten.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **gekennzeichnet durch** eine Störgrößenaufschaltung.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **ge-**

kennzeichnet durch die Verwendung eines Mehrgrößenreglers.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Regeldifferenz dem Mehrgrößenregler über eine Entkopplung zugeführt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stellgrößen mittels einer dynamischen Optimierung unter Berücksichtigung von Beschränkungen bestimmt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine über die Totzeit hinausgehende Prädiktion der Regelgrößen in die dynamische Optimierung einbezogen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Berücksichtigung von Meßsystemen mit zeitvarianter Abtastzeit ein IMC (Internal Mode Control)-Ansatz mit ereignisgetriggerten Abtasthaltegliedern verwendet wird.
12. Vorrichtung zum Messen und/oder Regeln der Planheit eines Bandes, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 8, beim Walzen mit
 - einem Meßsystem zum Erfassen der Planheitsabweichung (Meßwerte) und
 - einer Einheit zum Zerlegen der Meßwerte in unabhängige Komponenten.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **gekennzeichnet durch** eine Einheit zur Ermittlung einer Regeldifferenz.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 und 10, **gekennzeichnet durch** einen Mehrgrößenregler.
15. Planheitsregelungssystem mit
 - Erfassung der Planheit des Bandes mit einem Meßsystem,
 - Zerlegen der Planheitsfehler (Längenverteilung) in orthogonale Komponenten,
 - einem expliziten online-fähigen Profil- und Planheitsmodell, das alle am Walzprozeß beteiligten Größen berücksichtigt,
 - einem expliziten online-fähigen Modell, das Sollwerte für die Planheitsregelung berechnet,
 - einen Mehrgrößenregler für die Regelung der Planheit des Bandes,
 - einer Prädiktion der Regelgrößen (Planheitswerte), die in die dynamische Optimierung einbezogen wird, die über die Totzeit hinausgeht, sowie einer Störgrößenaufschaltung, die die Eigenschaften des einlaufenden Bandes, die

Variation von Walzkraft und thermischer Bombierung berücksichtigt.

16. System nach Anspruch 15, **gekennzeichnet durch** eine Berücksichtigung von Meßsystemen mit zeitvarianter Abtastzeit **durch** Verwendung eines IMC (Internal Model Control)-Ansatz mit ereignisgetriggerten Abtasthaltegliedern.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

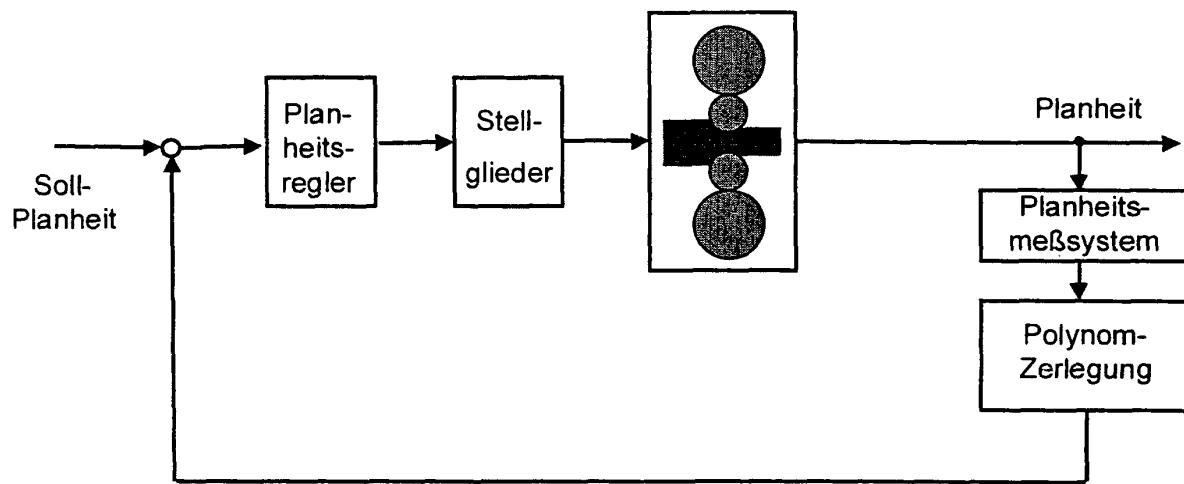


Fig. 1

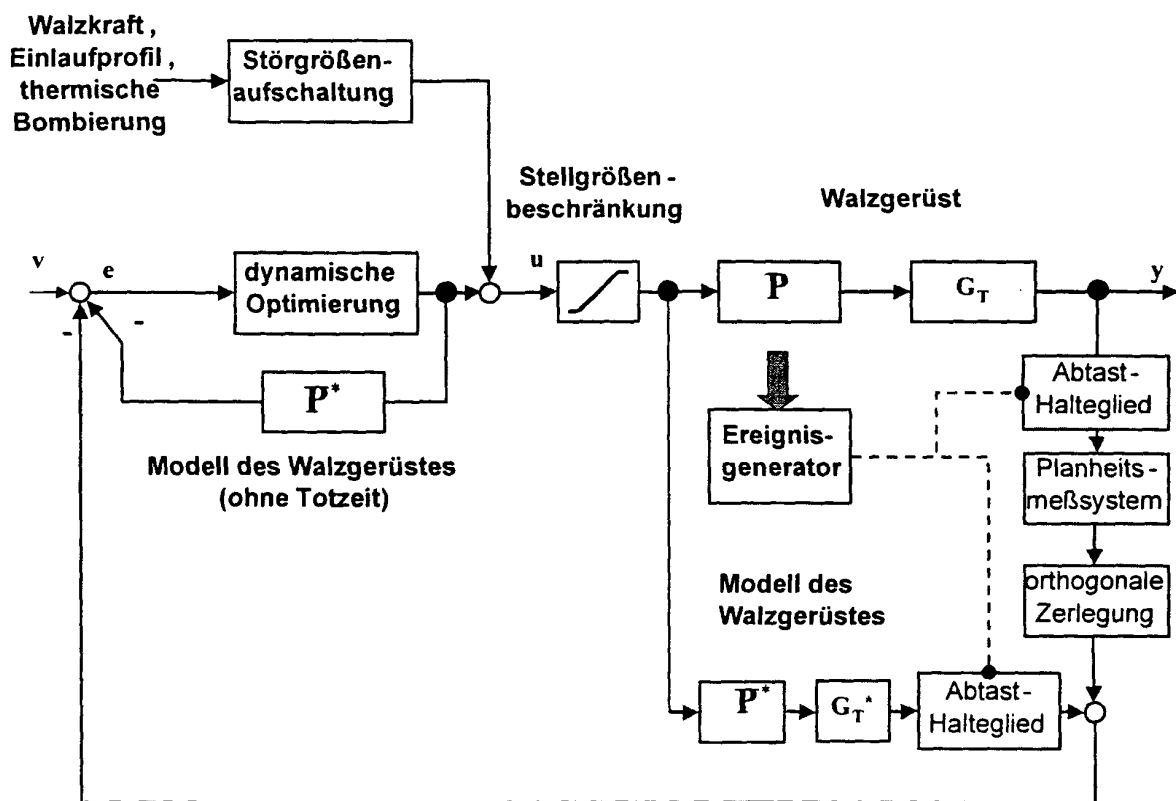


Fig. 2

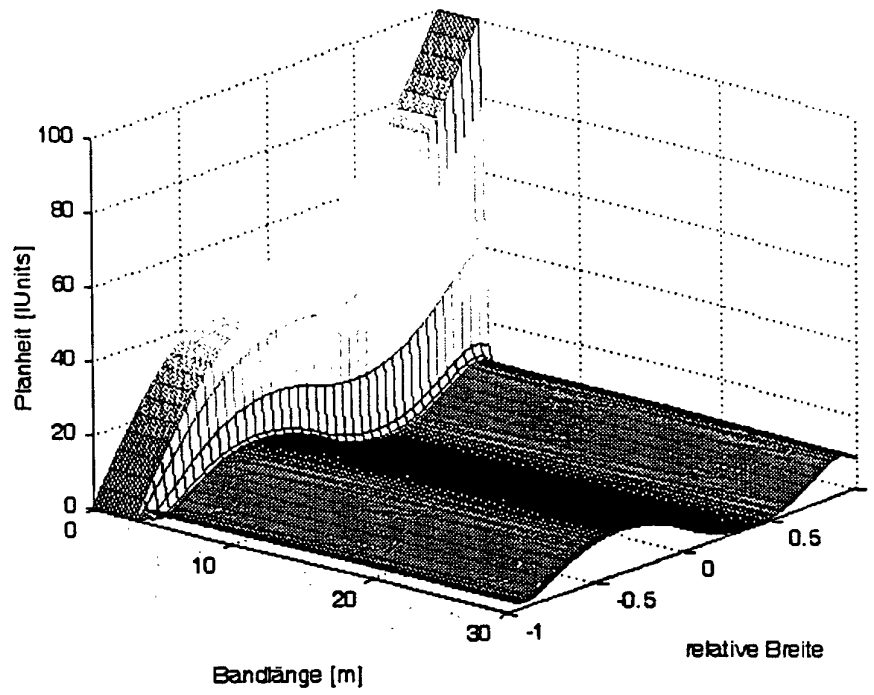


Fig. 3a

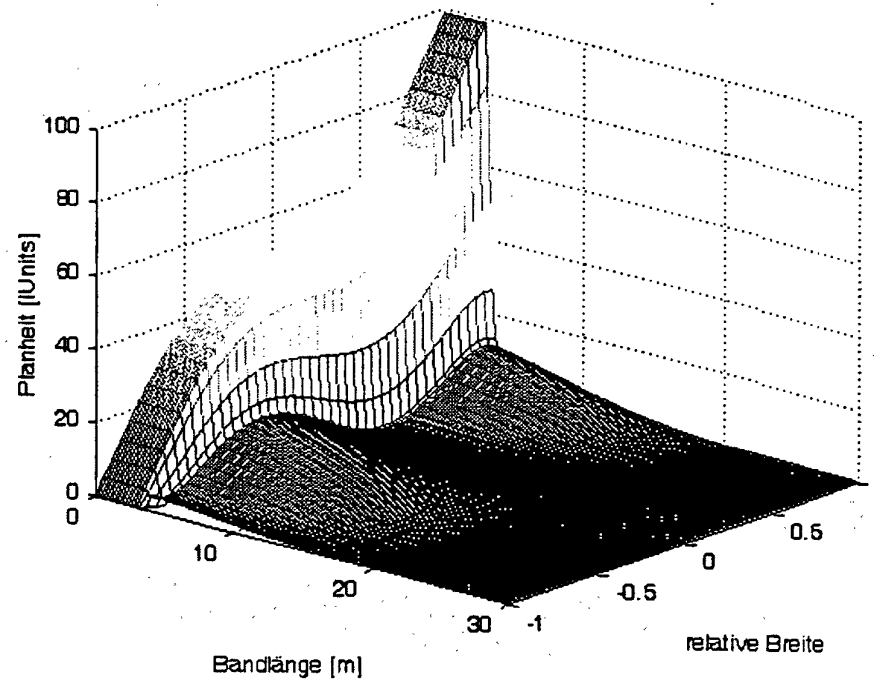


Fig. 3b

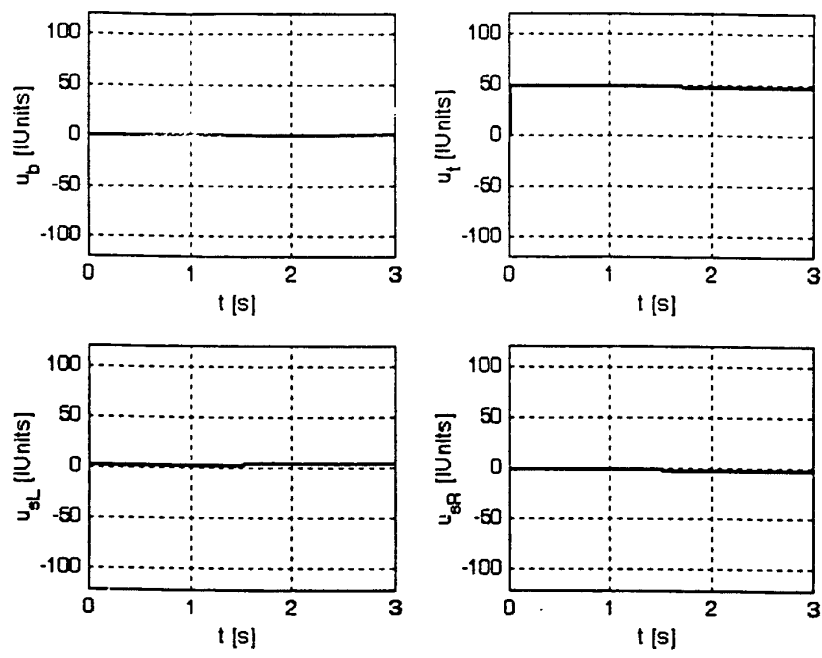


Fig. 4a

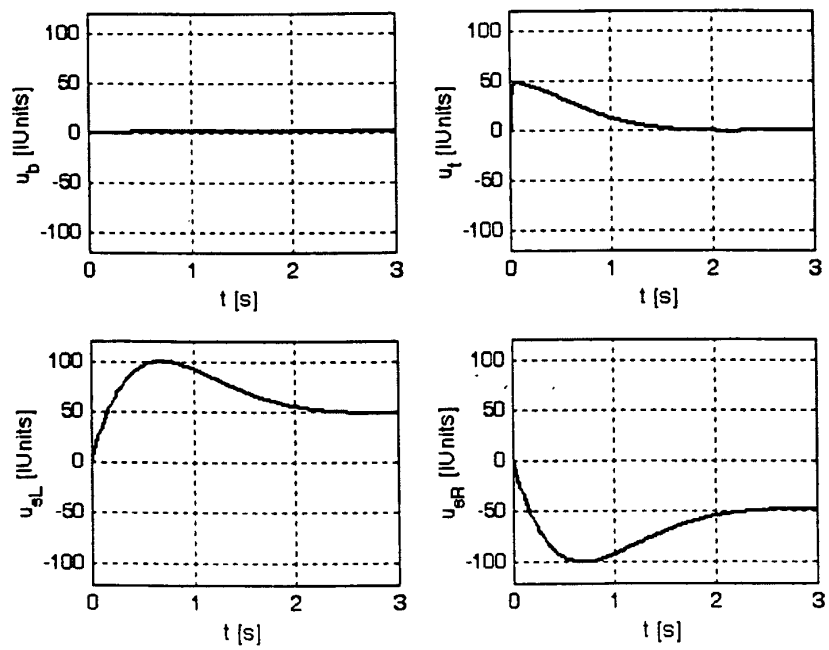


Fig. 4b