

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 364/2003

(22) Anmeldetag: 2003-03-10

(43) Veröffentlicht am: 2008-06-15

(51) Int. Cl.⁸: **B21B 37/66** (2006.01)
B23Q 17/12 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:

WO 1997/03832A1 US 4395904A
DE 19937790A1 US 6361483B1
WO 2001/50030A1 US 6471153B1
WO 2001/00346A1 EP 1068914A1

(73) Patentanmelder:

VOEST-ALPINE
INDUSTRIEANLAGENBAU GMBH & CO
A-4031 LINZ (AT)

(72) Erfinder:

EISENKÖCK NORMAN DIPL.ING.
GRIESKIRCHEN (AT)
KEINTZEL GEORG DIPL.ING.
LINZ (AT)
MAYRHOFFER KARL DIPL.ING. DR.
RIED IN DER RIEDMARK (AT)
SCHLACHER KURT DIPL.ING. DR.
GRAZ (AT)
HOLL JOHANN-MARTIN DIPL.ING.
HAAG (AT)

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR VERMEIDUNG VON SCHWINGUNGEN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Vermeidung von Schwingungen, insbesondere von 3. und 5. Oktav-Schwingungen, in einer Walzanlage (6) mit zumindest einem Walzgerüst mit Walzenanstellung und zumindest einem Walzensatz.

Auf Basis permanent gemessener Größen und einem Regler (3), ein Regelgesetz und Teilmodelle umfassend, wird in Echtzeit zumindest eine Stellgröße ermittelt und über zumindest einen Aktuator (5) zumindest eine Walze und/ oder das Walzgut permanent beaufschlagt. Es wurde ein Verfahren und eine Vorrichtung entwickelt, sodass die Entstehung von 3. und 5. Oktav-Schwingungen nicht nur verringert, sondern die Entstehung der Schwingungen verhindert werden, wobei die Schwingungsenergie im Walzwerk reduziert wird.

Die Anwendung des Verfahrens auf die Herstellung von Walzgut ermöglicht die Einhaltung engerer Toleranzen.

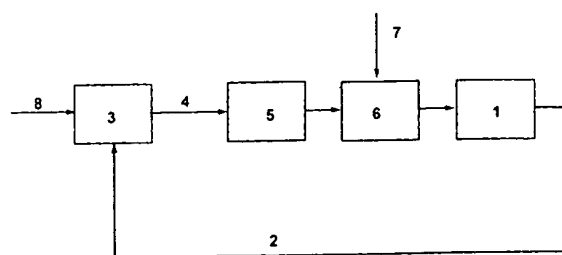


Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Vermeidung von Schwingungen, insbesondere 3. und 5. Oktav-Schwingungen, in einer Walzanlage mit zumindest einem Walzgerüst mit Walzenanstellung und zumindest einem Walzensatz.

Bei Walzanlagen ist es bekannt, dass es unter bestimmten Betriebszuständen zu unerwünschten Schwingungen bzw. Vibrationen kommt, die zu erheblichen Schäden an der Anlage, als auch zu Defekten am Walzprodukt führen können. Durch eine Überlagerung von Schwingungen, deren Ursachen im Detail noch nicht vollständig geklärt sind, können aufklingende Schwingungen, also Schwingungen mit einer negativen Dämpfung, entstehen. Eine Folge daraus sind instabile Schwingungszustände bzw. Vibrationen mit einem sehr hohen Energieinhalt. Neben den genannten Schäden an der Anlage können aber auch unzulässige Abweichungen bei den geometrischen Abmaßen und unerwünschte Oberflächenmuster bzw. Oberflächendefekte am Walzgut auftreten. Beides bedeutet für die Produktion erhebliche Kosten, da die fehlerhaften Walzprodukte als Ausschuss ausgeschieden werden müssen.

Dem Fachmann sind aus der Vielzahl bei Walzprozessen auftretenden Vibrationen zwei typische Gruppen bekannt, die nach ihren Merkmalen, wie z.B. der Frequenz und ihrer Wirkung in 3. und 5. Oktav-Schwingungen unterteilt werden. 3. Oktav-Schwingungen treten in einem Frequenzbereich von etwa 100 bis 350 Hz auf und sind von einem sehr hohen Energieinhalt gekennzeichnet, so dass auch erhebliche mechanische Schäden an der Walzanlage auftreten können. Diese Schwingungen werden von einem lauten Geräusch begleitet. Die angegebenen Frequenzen hängen dabei von der jeweiligen Anlagenkonfiguration und den Walzparametern ab und können daher auch davon abweichen. Am Walzensatz tritt zwischen den Walzen häufig eine entgegengesetzt gerichtete Schwingung auf, wobei es zu Dehnungen der Gerüstständer kommt. Stick-Slip Effekte können weitere Ursachen für die Schwingungen sein, wobei auch Unterschiede an den Antriebsmomenten der Walzen Ursache für die Vibrationen sein können. Ein besonderes Merkmal dieser Schwingungen stellt das Auftreten von instabilen Schwingungszuständen dar.

5. Oktav-Schwingungen treten in einem Frequenzbereich von etwa 500 bis 800 Hz auf und führen zu Oberflächendefekten am Walzgut und werden tlw. erst durch diese Defekte am Walzgut detektiert. Dabei schwingen die Arbeitswalzen relativ zu den Stützwalzen.

Beiden Schwingungstypen ist gemein, dass es dabei zu Bewegungen des Walzensatzes und somit zu einer Abweichung vom Sollwalzspalt kommt. Je nach Schwingungstyp zeigen sich die Defekte am Walzgut unterschiedlich ausgeprägt als Oberflächendefekte, als geometrische Defekte oder auch als Kombinationen davon.

Aus dem Stand der Technik sind Monitoringsysteme bekannt. Diese Systeme beobachten bzw. messen den Schwingungszustand der Walzanlage bzw. der Walzgerüste und reduzieren im Falle auftretender Vibrationen die Walzgeschwindigkeit, um so die Vibrationen zu reduzieren bzw. Instabilitäten zu vermeiden. Nachteilig bei Verfahren, die Monitoringsysteme benutzen, ist ein erheblicher Produktivitätsrückgang, bedingt durch eine Reduktion der Walzgeschwindigkeit.

Weiters sind Walzanlagen mit passiven Schwingungsdämpfungssystemen bekannt. Dabei wird mittels Dämpfer die Energie einer auftretenden Schwingung reduziert und so die Gefahr von Schäden reduziert. Diese Systeme können aber Oberflächenfehler am Walzgut nur unzureichend vermeiden, sodass die Aufgabe, ein fehlerfreies Walzgut zu erzeugen, damit nicht gelöst wird.

Die US 5,724,846 beschreibt ein Verfahren zur Bekämpfung von Vibrationen (Oktav-Schwingungen) in einer Walzanlage zum Walzen von Band. Dabei wird der Walzanlage eine Schwingungskomponente aufgeprägt, die relativ zu einer vorliegenden Vibration asynchron ist, um vertikale Schwingungen der Walzen zu vermeiden. Die beschriebene Lösung geht dabei aber immer von einer existierenden Schwingung aus, die als Basis für die Gegenmaßnahme

herangezogen wird. Bei Walzwerken reicht diese Lösung nicht aus, da aufgrund von sich ändernden Betriebszuständen trotz der Gegenmaßnahme dennoch Defekte am Walzband auftreten können. Insbesondere für aufklingende Schwingungen, die sich durch eine negative Dämpfung charakterisieren, kann durch die in der US 5,724,846 beschriebene Erfindung keine Lösung gefunden werden.

Aus der US 6,387,214 B1 ist eine Vorrichtung zu entnehmen, wobei auf Basis einer gemessenen Vibration mittels eines Aktuators der Vibrationszustand einer Walze beeinflusst wird. Die Lösung bietet aber nur einen Hinweis darauf, wie die Vibrationen reduziert werden, nicht aber, wie sie vermieden werden können. Für den Fall instabiler Schwingungszustände wird keine Lösung geboten.

Aus der WO 97/03832 ist ein Verfahren zur Verminderung der Biegeschwingungen in rotierenden Systemen zu entnehmen, wobei aufgrund gemessener Kräfte, die z.B. durch Unwuchten entstehen, Aktuatoren zur Ausregelung gesteuert werden. Nachteilig ist dabei, dass erst nach dem Entstehen der Schwingungen eingegriffen werden kann.

Die US 4,395,904 beschreibt Vorrichtungen zur Dämpfung von Schwingungen in elektromechanischen und automatischen Regelsystemen. Das Regelsystem versucht über Eingriffe in Antriebe die Schwingungen zu beseitigen. Nachteilig ist dabei, dass dabei zumeist die Antriebsgeschwindigkeit reduziert werden muss, sodass die Produktivität der Anlage sinkt.

Aus der DE 19937790 ist es bekannt, ein Kompensationssignal auf Basis gemessener Drehzahlen, Amplituden und Schwingungsphasen zu erzeugen, das zur Kompensation einer Schwingung herangezogen wird. Nachteilig ist dabei, dass erst auf Basis bereits vorliegender Schwingungen eingegriffen werden kann.

Es ist ein grundsätzliches Merkmal, dass instabile Schwingungszustände nur durch Regelungen, also durch Rückführungen des Informationssignals beseitigt und damit stabilisiert werden können. Eine ausführliche Erläuterung dieser Tatsache findet sich in den untenstehenden Veröffentlichungen wieder:

- Kailath T.: „*Linear Systems*“, Prentice Hall, 1980.
- Franklin G., Powell D., Emami-Naeini A.: „*Feedback Control of Dynamic Systems*“, Fourth Edition, Prentice Hall, 2002.
- Vidyasagar M.: „*Nonlinear Systems Analysis*“, Second Edition, Prentice Hall, 1993.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung ein Verfahren, entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1, weiter zu entwickeln, sodass Schäden an der Walzanlage bzw. Defekte am Walzgut aufgrund von Schwingungen bzw. Vibrationen vermieden bzw. ausgeschlossen werden.

Die Aufgabe wird entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren nach dem kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 gelöst. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird die Entstehung von Vibrationen, die zu Störungen des Walzbetriebes bzw. zu Defekten am Walzgut führen können, vermieden und ein vibrations- und störungsfreier Betrieb sichergestellt. Auf Basis wenigstens eines permanent gemessenen Anlagenparameters der Walzanlage, der einem Regler zugeführt wird, der ein mathematisches Regelgesetz, basierend auf einem System linearer und nichtlinearer Gleichungen und/oder Differential- und/oder Differenzgleichungen und den Anlagenzustand charakterisierende Teilmodelle, mit einem hydraulischen und/oder einem mechanischen und/oder einem Walzkraftmodell, umfasst, erfolgt mit Hilfe dieses Reglers die Ermittlung zumindest einer zeitlich veränderlichen Stellgröße in Echtzeit, wobei die Stellgröße als Eingangssignal für wenigstens einen Aktuator zur Beaufschlagung mindestens einer Walze des Walzensatzes eines Walzgerüsts und/ oder des Walzgutes dient. Dabei werden die Regelgrö-

ßen als Indikator für den Anlagenzustand herangezogen und permanent bei definierten Sollwerten gehalten.

Durch den Regler wird unter Berücksichtigung der wesentlichen System-Nichtlinearitäten, wie z.B. das Walzkraftmodell, Aktuator etc., die Energie, die zum Aufklingen der Schwingung führt, entzogen bzw. es wird erreicht, dass die im System Walzwerk gespeicherte Energie ein Minimum annimmt. Mit dem mathematischen Regelgesetz wird basierend auf linearen und/ oder nichtlinearen Gleichungen und/ oder Differenzialgleichungen und/ oder Differenzengleichungen die Stellgröße(n) als Funktion der Messgröße(n) ermittelt. Ein Regelschema dazu ist in Fig. 1 dargestellt.

Entsprechend den Baugruppen und dem Anlagenverhalten, umfassen die Teilmodelle ein hydraulisches und/ oder ein mechanisches und/ oder ein Walzkraftmodell. Mittels der Teilmodelle wird die Walzanlage hinreichend beschrieben und im Regelgesetz abgebildet, wobei neben dem Verhalten der Anlagenteile und der Anlagenbelastung das Verhalten der gesamten Walzanlage mit hoher Genauigkeit abgebildet wird.

Ein mögliches hydraulisches Teilmodell ist in der untenstehenden Veröffentlichung im Detail beschrieben.

- Kugi A.: „*Nonlinear Control Based on Physical Models*“, Lecture Notes in Control and Information Sciences 260, Springer, 2000.
- Merritt H. E.: „*Hydraulic Control Systems*“, John Wiley & Sons 1967.

Weitere Beschreibungen zu möglichen Modellen zur Hydraulik und zur Walzkraftermittlung finden sich in der Veröffentlichung:

- Kugi A., Schlacher K., Keintzel G.: „*Position Control and Active Eccentricity compensation in Rolling Mills*“, at - Automatisierungstechnik S. 342-349, Oldenbourg, 1999.

Ausführliche Hinweise auf die Walzkraftmodelle und den spezifischen Aufgabenstellungen bei gekoppelten Walzgerüsten in Walzwerksanlagen finden sich in den Literaturstellen:

- Grabmair G., Schlacher K., Kugi A.: „*Coupling effects in multi stand rolling mills*“, Metal Forming 2000, pp. 295-301, 2000.
- Bland D., Ford H., Ellis F.: „*Cold rolling with strip tension*“, Part I, Journal of the Iron and Steel Institute, pp. 57-72, 1951.
- Bland D., Ford H., Ellis F.: „*Cold rolling with strip tension*“, Part II, Journal of the Iron and Steel Institute, pp. 239-245, 1952.
- Bland D., Ford H.: „*Cold rolling with strip tension*“, Part III, Journal of the Iron and Steel Institute, pp. 245-249, 1952.
- Jortner D., Osterle J., Zorowski C.: „*An analysis of cold strip rolling*“, Int. J. Mech. Sci., Vol.2, pp. 179-194, 1960.

In Verknüpfung mit dem Regelgesetz gelingt es, auf Basis einer präzisen Vorhersage des Anlagenverhaltens, eine oder mehrere Stellgrößen zu ermitteln und über wenigstens einen Aktuator den Betriebszustand der Walzanlage derart zu beeinflussen, dass die Entstehung von 3. und 5. Oktav-Schwingungen für alle Betriebszustände der Anlage verhindert werden. Damit wird sichergestellt, dass beispielsweise für hohe Walzgeschwindigkeiten und geringe Walzgutdicken die Entstehung von Oktav-Schwingungen verhindert wird.

Zur Vorhersage des Verhaltens der Regelstrecke ist neben einer hinreichend präzisen Erfassung des Betriebszustands auch eine präzise Beschreibung der Anlage bzw. des Anlagenverhaltens nötig. Erfindungsgemäß wird das Anlagenverhalten durch eine mathematische Beschreibung, die alle maßgeblichen physikalische Einflüsse und Zusammenhänge und das Werkstoffverhalten von Anlagenkomponenten und Walzgut berücksichtigt, durch lineare oder nichtlineare bzw. aus Kombinationen von linearen und nichtlinearen Teilmodellen beschrieben, wodurch eine für die Regelstrecke hinreichend genaue Simulation erreicht wird.

Bei instabilen Arbeitspunkten nimmt die im System gespeicherte Energie und damit auch die Amplituden der Schwingungen im zeitlichen Verlauf zu. Ohne Einwirken auf das System durch einen gezielten Regeleingriff, oder wie bei bekannten Systemen durch eine Reduktion der Bandgeschwindigkeit, können Bandrisse, schwere Schäden an der Anlage, Anlagenstillstände und damit sehr hohe Kosten auftreten. Durch eine Reduktion der Bandgeschwindigkeit wird erreicht, dass das System wieder stabil wird und die Amplitude abnimmt, jedoch unter dem bereits beschriebenen Nachteil einer verringerten Produktivität.

Nach einer besonderen Ausführungsform wird als gemessener Anlagenparameter die vertikale Beschleunigung des Walzensatzes herangezogen. Die vertikale Beschleunigung hat sich als guter Indikator für den Schwingungszustand im Walzgerüst herausgestellt, da dadurch Auskunft über die aktuelle Bewegungssituation der Walzen und damit des Lastwalzspaltes gegeben wird. Über eine einfache Messinstallation kann der Betriebszustand präzise und kostengünstig erfasst werden.

Eine weitere einfache Ausführung der Erfindung sieht als gemessener Anlagenparameter die Verwendung des Zylinderdrucks der Walzenanstellung vor. Durch diese Ausgestaltung wird der aktuelle Betriebszustand sehr gut über die Zylinderdrücke, beispielsweise der Anstellzylinder, abgebildet, sodass auf Basis der Messung eine exakte Vorhersage des Anlagenverhaltens und über einen Regeleingriff die Vermeidung von Oktav-Schwingungen möglich ist.

In einer besonderen Ausführungsform des Verfahrens wird als gemessener Anlagenparameter die vertikale Position des Kolbens der Walzenanstellung herangezogen. Da die vertikale Position des Walzensatzes bzw. der Walzen des Walzensatzes den Lastwalzspalt definieren, ist aus Abweichungen von einer Anstellposition das Schwingungsverhalten gut ableitbar.

Eine weitere Ausführungsform wird durch die Verwendung des Zugspannungszustands im Walzgut als gemessener Anlagenparameter erreicht. Damit wird insbesondere auch die Kopplung der Gerüste der Walzanlage über das Walzgut und der sich überlagernden Schwingungen in den Walzgerüsten abgebildet.

In einer bevorzugten Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden mehrere permanent gemessene Anlagenparameter als Eingangsgrößen für den Regler herangezogen. Durch die Kombination zweier oder mehrerer gemessener Anlagenparameter wird der aktuelle Betriebszustand sehr präzise erfasst, sodass über die Regelstrecke eine bestmögliche Beeinflussung des Schwingungsverhaltens erzielt wird. Dabei werden Kombinationen zumindest zweier gemessener Anlagenparameter wie z.B. der vertikalen Beschleunigung und/ oder des Zylinderdrucks der Walzenanstellung und/ oder der vertikalen Position des Kolbens der Walzenanstellung und/ oder des Zugspannungszustands im Walzgut herangezogen, wobei die Ausführung den Bedürfnissen der Walzanlage entsprechend gewählt wird. Eine Anpassung der erfindungsgemäßen Regelung an die jeweilige Anlagensituation ist damit noch präziser möglich.

Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Beaufschlagung der Walze des Walzensatzes in der oder den Anstellrichtungen des Walzensatzes. Durch diese Maßnahme wird unmittelbar eine gezielte Beeinflussung des Schwingungsverhaltens und damit des Lastwalzspaltes erreicht. Vorteilhaft ist auch die Möglichkeit die bestehende Anstellung in den jeweiligen Gerüsten zu nutzen, zusätzliche Aggregate können damit vermie-

den werden.

Bei Anwendungen mit besonders hohen Ansprüchen kann die Beaufschlagung der Walze des Walzensatzes in mehreren Richtungen erfolgen. Da die 3. und 5. Oktav-Schwingungen sich tlw. nicht einer einzelnen Bewegungsrichtung zuordnen lassen, sondern dreidimensionale Wirkbewegungen verursachen, gelingt durch das Einwirken der Aktuatoren in mehreren Richtungen eine noch effizientere Vermeidung von Schwingungen. Insbesondere können damit für beliebige Walzenanordnungen bzw. Walzgerüstkfigurationen 3. und 5. Oktav-Schwingungen vermieden werden.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht die Beaufschlagung wenigstens einer Walze über die Anstellvorrichtung des Walzensatzes vor. Aufgrund dieses Merkmals wird durch die Kopplung von Anstellung und Eingriff zur Vermeidung von Schwingungen in einem überlagerten Prozess eine sehr einfache und kostengünstige Lösung gefunden.

Eine weitere mögliche Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht eine Beaufschlagung der Walze über die axiale Walzenverschiebevorrichtung des Walzensatzes vor. Durch die Nutzung eines, in vielen Walzgerüsten standardgemäß bereits vorhandenen, Aktuators kann eine sehr einfache Lösung gefunden werden. Durch die Kombination dieser Lösung mit einer Beaufschlagung über die Walzenanstellung wird eine sehr flexible Lösung erreicht, die allen Ansprüchen gerecht wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht die Vermeidung von 3. und 5. Oktav-Schwingungen durch eine laufende Reduktion der Schwingungsenergie, also einer kontinuierlichen Energieabfuhr aus dem schwingungsfähigen System Walzgerüst, insbesondere dem Walzensatz, vor. Durch die permanente Beaufschlagung der Walze und einer einhergehenden kontinuierlichen Energieabfuhr wird sichergestellt, dass sich keine Schwingungen bzw. Vibrationen, insbesondere solche mit hohem Energieinhalt ausbilden, die zu erheblichen Anlagenschäden oder auch zu Fehlern am Walzgut führen können.

Eine besondere Ausführungsform sieht die laufende Reduktion von Schwingungen insbesondere in Anstellrichtung der Walzen vor. Diese vereinfachte Lösung lässt Schwingungen mit anderer Richtung als der Anstellrichtung außer Acht. Damit wird eine einfache Lösung für das Verfahren gefunden, die der Forderung nach sicherer Vermeidung von 3. und 5. Oktav-Schwingungen gerecht wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Vermeidung von Schwingungen, wie z.B. 3. und 5. Oktav-Schwingungen, in einer Walzanlage mit zumindest einem Walzgerüst mit Walzenanstellung und zumindest einem Walzensatz umfasst wenigstens eine Messeinrichtung, zum permanenten Messen einer Größe der Walzanlage, einen Regler, der ein mathematisches Regelgesetz und den Anlagenzustand charakterisierende Teilmodelle umfasst, dem die gemessene Größe zuführbar ist, wobei mit Hilfe dieses Reglers in Echtzeit zumindest eine zeitlich veränderliche Stellgröße ermittelbar ist, und weiters zumindest einen Aktuator, dem die Stellgröße zuführbar ist und über den mindestens eine der Walzen des Walzensatzes und/ oder das Walzgut beaufschlagbar sind/ ist.

Durch diesen einfachen Aufbau wird eine kostengünstige Lösung gefunden, die weitgehend auf robusten und betriebssicheren Komponenten aufsetzt. Durch die erfindungsgemäße Reglerlösung wird erreicht, dass die Walzanlage das gewünschte, durch die Sollgröße vorgegebene, Verhalten zeigt.

Nach einer besonderen Ausführungsform wird als Aktuator ein servo-hydraulisches Stellelement eingesetzt. Durch die Kombination mit, in Gerüsten bereits vorhandenen, weiteren hydraulischen Stellgliedern, wie z.B. die hydraulische Walzenanstellung bzw. die axiale Walzenverschiebung wird eine robuste und sichere Lösung mit hoher Flexibilität, unabhängig vom Anla-

gentyp, erreicht.

Eine weitere besondere Ausführungsform sieht ein piezo-elektrisches Stellelement als Aktuator vor, das sich durch eine hohe Dynamik und eine hohe Energiedichte auszeichnet, sodass eine sehr hohe Präzision beim Stelleingriff erreicht wird. Der Aktuator wird derart in der Walzanlage installiert, dass sehr wohl dynamische, nicht aber statische Lasten auf das piezo-elektrische Stellelement einwirken können. Dies stellt sicher, dass Überlasten nicht zu Schäden am piezo-elektrischen Stellelement führen können.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Vorrichtung wird durch die Kombination von verschiedenen Stellgliedern erreicht, da durch die unterschiedlichen Charakteristika der Stellglieder Teilfrequenzen jeweils sehr gut abgedeckt werden können.

Schwingungen bzw. Vibrationen stellen für Walzprozesse einen Störeffekt dar, der sich als Defekt am Walzgut abbildet. Meist treten insbesondere Oberflächendefekte und Dickenabweichungen am Walzgut auf.

Abweichungen von der Solldicke des Walzgutes verursachen große Kosten, da stets eine Mindestdicke vom Hersteller gewährleistet werden muss. Alle positiven Dickenabweichungen, also Dicken größer als die garantierte Mindestdicke, stellen somit einen sehr erheblichen Kostenfaktor dar, da dies auf die Gesamtproduktionsmenge des Walzwerkes umgelegt werden muss. Eine Verringerung der Dickenabweichungen, also engere Dickentoleranzen, bedeutet für den Walzwerksbetreiber ein sehr hohes Einsparungspotential. Für viele Weiterverarbeitungsschritte verursachen zu große Dickenabweichungen am Walzgut, insbesondere beim Umformen, nicht akzeptable Störungen, sodass größere Dickenabweichungen ein Ausscheiden des Walzgutes nötig machen. Dies führt zu sehr hohen Ausschusskosten.

Durch die Anwendung des beschriebenen Verfahrens und der Vorrichtung auf Walzprozesse zur Herstellung von Walzgut können neben der Vermeidung von Schäden an der Anlage und Defekten am Walzgut ein insgesamt stabilerer Walzprozess erreicht werden. Dadurch können engere Dickentoleranzen am Walzgut eingehalten und Ausfälle durch Oberflächendefekte vermieden werden. Unter Dickentoleranz versteht man dabei jene Walzgutdicken, die eine zulässige Abweichung von einer Solldicke darstellen, also bestimmte vordefinierte Abweichungen nicht überschreiten. Übliche Angaben dazu erfolgen als Prozentangabe der Walzgutdicke oder absolut mit Angabe der zulässigen Abweichungen in $\pm$ Betrag von der Solldicke, wobei die Angabe häufig in μm erfolgt.

Die erreichbaren Dickentoleranzen stellen einen wesentlichen Entwicklungsschritt dar, da diese mit heute verfügbaren Verfahren und Einrichtungen nicht dargestellt werden können.

Gegenüber dem Stand der Technik gelingt es, durch die stabileren Walzbedingungen, Dickentoleranzen einzustellen, die zumindest um 20% enger, als heute technisch übliche Toleranzen wie z.B. in Tandemkaltwalzanlagen zu erreichen. Tab. 1 zeigt typische Dickentoleranzen einer Tandemkaltwalzanlage. Diese Dickentoleranzen gelten für bandförmiges Walzgut ausgenommen kurzer Abschnitte am Bandkopf und am Bandfuß, wobei die Längen dieser Abschnitte durch Garantieförmulierungen definiert werden, die die spezifischen Besonderheit einer Anlage berücksichtigen und daher variieren können.

Banddicke	Toleranz
0,25 - 0,50 mm	$\pm 1,2\%$
0,50 - 0,89 mm	$\pm 1,0\%$
0,89 - 1,60 mm	$\pm 0,9 \%$
1,60 - 2,54 mm	$\pm 0,8 \%$

Insbesondere für dünne und breite Bänder, die technologisch die höchsten Anforderungen stellen, bietet die erfindungsgemäße Lösung, eine gegenüber dem Stand der Technik vollkommen neue Idee und technische Ausführungsform.

5 Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren beispielhaft erläutert.

Fig.: 1 Regelschema der Regelstrecke

Fig.: 2 Anlagenschema

10 Figur 1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau der Regelstrecke, wobei hier nicht auf die Reglermathematik bzw. die Teilmodelle eingegangen wird.

Über Messaufnehmer bzw. die dazu nötige Sensorik 1 werden Größen 2 der Walzanlage erfasst. Diese Messgrößen 2 werden einem Regler 3 zugeführt. Der Regler 3 enthält ein mathematisches Regelgesetz und den Anlagenzustand charakterisierende Teilmodelle. Mit Hilfe des Reglers 3 wird in Echtzeit wenigstens eine zeitlich veränderliche Stellgröße 4 ermittelt und der Aktuatorik 5 zugeführt. Durch die Aktuatorik 5 erfolgt eine Beaufschlagung der Walzanlage (der Strecke) 6, wobei der Schwingungszustand der Walzanlage 6 gezielt beeinflusst wird. Einwirkende Störgrößen 7 werden über die gemessenen Größen 2 berücksichtigt. In einem Vergleich der gemessenen Größen 2 mit den Sollgrößen 8 erfolgt die Einstellung des Sollzustandes bzw. der Regeleingriff in das schwingungsfähige System der Walzanlage 6.

In Fig. 2 ist ein Gerüst einer Walzanlage 6 mit den schematisch angedeuteten wichtigsten Bauelementen dargestellt. Über einen Regler 3 und ein Servoventil 12 wird ein Aktuator 5, hier als Hydraulikzylinder angedeutet, beaufschlagt. Damit erfolgt neben der Anstellbewegung auch die Beaufschlagung zur Vermeidung von Schwingungen. Als Eingangsgrößen für einen Regler 3 sind Signale einer Weg- oder Positionsmessung 9, einer Druckmessung 10 oder einer Beschleunigungsmessung 11 mit einem Beschleunigungsaufnehmer 13 angedeutet. Darüber hinaus können Eingangsgrößen, die das Walzgut betreffen, wie z.B. Spannungszustände im Walzgut 14, 15 oder auch Kombinationen dieser Größen zur Anwendung kommen. Zur Bestimmung der Spannungszustände im Walzgut können z.B. hier nicht dargestellte Messeinrichtungen, die berührend am Walzgut messen, verwendet werden. Aktuatoren zur Beaufschlagung z.B. des Hydraulikzylinders sind hier nicht näher dargestellt, deren entsprechende Anordnung stellt für den Fachmann aufgrund seines Wissens jedoch kein Problem dar. In einer möglichen Ausführungsform, wie hier dargestellt, wird der Hydraulikzylinder zur Walzenanstellung zusätzlich zur Vermeidung von Schwingungen beaufschlagt.

Patentansprüche:

- 40
1. Verfahren zur Vermeidung von Schwingungen, insbesondere 3. und 5. Oktav-Schwingungen, in einer Walzanlage mit zumindest einem Walzgerüst mit Walzenanstellung und zumindest einem Walzensatz, *dadurch gekennzeichnet*, dass wenigstens ein permanent gemessener Anlagenparameter der Walzanlage einem Regler (3), der ein mathematisches Regelgesetz basierend auf einem System linearer und nichtlinearer Gleichungen und/oder Differential- und/oder Differenzgleichungen, und den Anlagenzustand charakterisierende Teilmodelle mit einem hydraulischen und/oder einem mechanischen und/oder einem Walzkraftmodell, umfasst, zugeführt, mit Hilfe dieses Reglers (3) in Echtzeit zumindest eine zeitlich veränderliche Stellgröße (4) ermittelt, zumindest einem Aktuator (5) zugeführt und durch den Aktuator (5) mindestens eine der Walzen des Walzensatzes und/oder das Walzgut beaufschlagt wird, wobei die Regelgrößen permanent bei definierten Sollwerten gehalten werden.
 2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass lineare und/ oder nichtlineare Teilmodelle Einsatz finden.
- 55

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass als gemessener Anlagenparameter die vertikale Beschleunigung des Walzensatzes herangezogen wird.
- 5 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass als gemessener Anlagenparameter der Zylinderdruck der Walzenanstellung herangezogen wird.
- 10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass als gemessener Anlagenparameter die Kolbenposition der Walzenanstellung herangezogen wird.
- 15 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass als gemessener Anlagenparameter der Zugspannungszustand im Walzgut herangezogen wird.
- 20 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass als gemessener Anlagenparameter Kombinationen der vertikalen Beschleunigung und/ oder des Zylinderdrucks der Walzenanstellung und/ oder der vertikalen Position des Walzensatzes und/ oder des Zugspannungszustands herangezogen werden.
- 25 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Beaufschlagung der Walze des Walzensatzes in Anstellrichtung erfolgt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Beaufschlagung der Walze über die Anstellvorrichtung des Walzensatzes erfolgt.
- 30 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Beaufschlagung der Walze über eine axiale Walzenverschiebevorrichtung des Walzensatzes erfolgt.
- 35 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet*, dass durch die permanente Beaufschlagung der Walze der Energieinhalt von Schwingungen in Anstellrichtung laufend reduziert und/oder eliminiert wird.
- 40 12. Vorrichtung zur Vermeidung von Schwingungen, insbesondere 3. und 5. Oktav-Schwingungen, in einer Walzanlage mit zumindest einem Walzgerüst mit Walzenanstellung und zumindest einem Walzensatz zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass wenigstens eine Messeinrichtung (9, 10, 11), zum permanenten Messen einer Größe der Walzanlage, und ein Regler (3), der ein mathematisches Regelgesetz und den Anlagenzustand charakterisierende Teilmodelle umfasst, dem die gemessene Größe (2) zuführbar ist, vorgesehen sind und mit Hilfe dieses Reglers (3) in Echtzeit zumindest eine zeitlich veränderliche Stellgröße (4) ermittelbar ist, und weiters zumindest einen Aktuator (5) umfasst, dem die Stellgröße (4) zuführbar ist und über den mindestens eine der Walzen des Walzensatzes und/ oder das Walzgut beaufschlagbar ist/ sind.
- 45 13. Vorrichtung nach Anspruch 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Aktuator (5) als hydraulisches und/ oder servo-hydraulisches Stellelement ausgebildet ist.
- 50 14. Vorrichtung nach Anspruch 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Aktuator als piezoelektrisches Stellelement ausgebildet ist.
- 55 15. Vorrichtung nach Anspruch 14 bis 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Aktuator Kombinationen von verschiedenen Stellelementen umfasst.

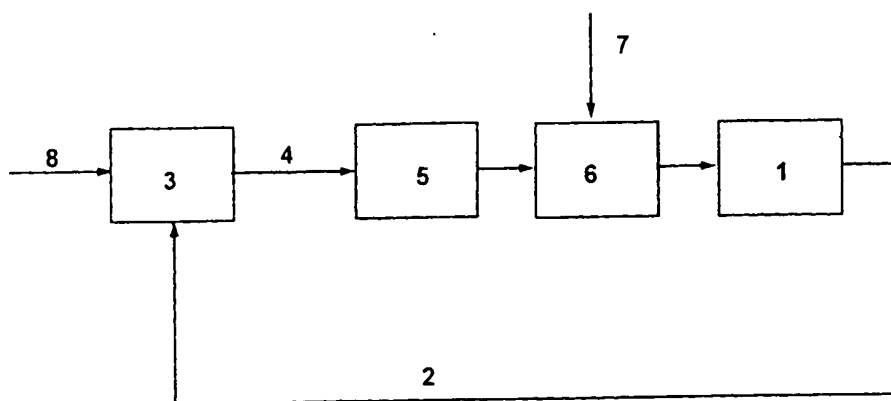


Fig. 1

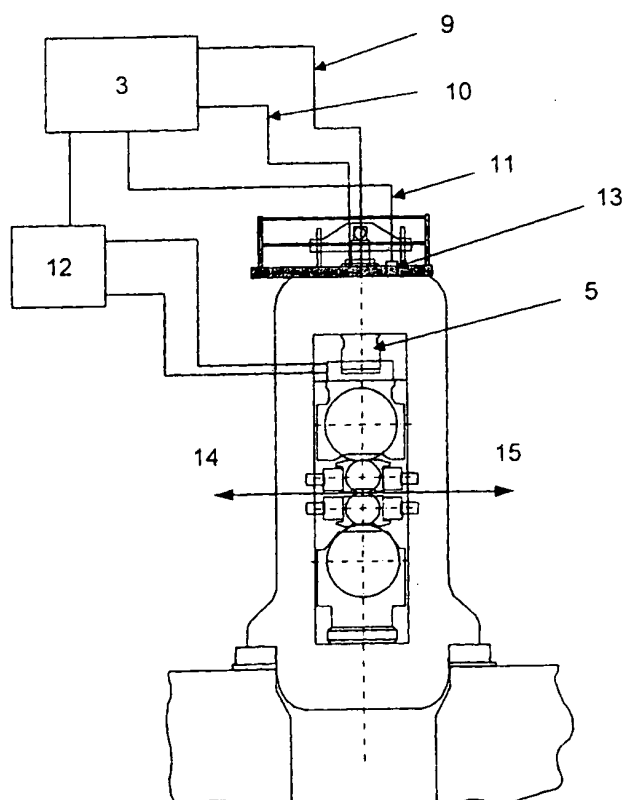


Fig. 2