



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.01.2004 Patentblatt 2004/02

(51) Int Cl.7: **B21B 38/04, G01B 17/02**

(21) Anmeldenummer: **03012968.8**

(22) Anmeldetag: **07.06.2003**

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

(72) Erfinder:
• **Sauerland, Martin**
41068 Mönchengladbach (DE)
• **Häusler, Karl Heinz**
41352 Korschenbroich (DE)

(30) Priorität: **03.07.2002 DE 10229771**

(74) Vertreter: **Valentin, Ekkehard**
Patentanwälte
Grosse-Valentin-Gihske
,Hammerstrasse 2
57072 Siegen (DE)

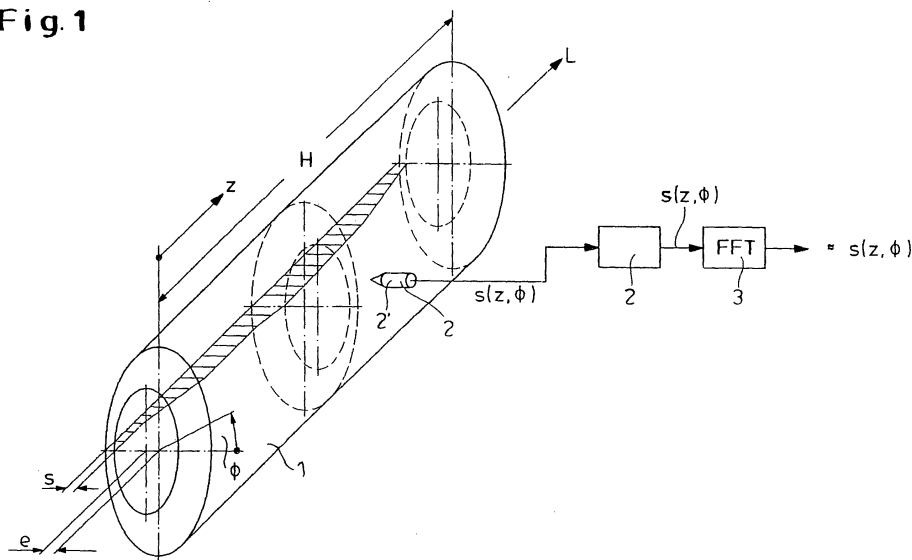
(71) Anmelder: **SMS Meer GmbH**
41069 Mönchengladbach (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Exzentrizität eines Hohlblocks**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Exzentrizität (e) eines Hohlblocks (1), vorzugsweise im Einlauf eines Walzwerkes, das einem Schrägwalzwerk nachfolgt, insbesondere im Einlauf eines Konti-Walzwerkes oder einer Stoßbankanlage, in das der Hohlblock (1) in Richtung der Längsachse (L) des Hohlblocks (1) eintritt, mittels mindestens einer Messvorrichtung (2), die die Wanddicke (s) des Hohlblocks (1) an einer Längen- (z) und Umfangsposition (ϕ) des Hohlblocks (1) ermitteln kann. Zur erleichterten Beurteilung der Qualität des Hohlblocks ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Verlauf der Exzentrizität (e) des Hohlblocks (1) annähernd abgebildet wird als Ver-

lauf der Wanddicke (s) als Funktion der sich in Richtung der Längsachse (L) des Hohlblocks (1) erstreckenden Längenkoordinate (z) und des Drehwinkels (ϕ) um die Längenkoordinate (z) gemäß der Beziehung $s(\phi, z) = s_0(z) + s_1(z) \cos(\phi + \delta(z))$, wobei die Messvorrichtung (2) beim Passieren des Hohlblocks (1) eine Anzahl Wanddickenmessungen vornimmt und die gemessenen Werte einem Rechnermittel (3) zuleitet, das diese einer Fourier-Transformation unterzieht, um für den funktionalen Verlauf der Wanddicke (s) als Funktion der Längenkoordinate (z) und des Drehwinkels (ϕ) eine Näherung zu ermitteln. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Exzentrizität eines Hohlblocks, vorzugsweise im Einlauf eines Walzwerkes, das einem Schrägwalzwerk nachfolgt, insbesondere im Einlauf eines Konti-Walzwerkes oder einer Stoßbankanlage, in das der Hohlblock in Richtung der Längsachse des Hohlblocks eintritt, mittels mindestens einer Messvorrichtung, die die Wanddicke des Hohlblocks an einer Längen- und Umfangsposition des Hohlblocks ermitteln kann. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Bestimmung der Exzentrizität eines Hohlblocks.

[0002] In vielen Bereichen der Technik werden Rohre aus Stahl benötigt, die beispielsweise durch ein Verfahren hergestellt werden können, bei dem zylindrisch geformtes Ausgangsmaterial in einem Schrägwalzwerk unter Einsatz eines axial feststehenden Lochdoms zu einem rohrförmigen Hohlblock umgeformt wird. Zur Umformung des zylindrisch geformten Ausgangsmaterials zu einem nahtlosen Rohr wird das Ausgangsmaterial über den Lochdom gewalzt. Ein solches Verfahren ist beispielsweise aus der EP 0 940 193 A2 bekannt.

[0003] Beim Streckreduzierwalzen und beim Reduzier- und Maßwalzen nahtloser Stahlrohre passiert das zu bearbeitende Rohr eine Walzstraße, in der in Förderichtung des Rohres hintereinander eine Anzahl Walzgerüste angeordnet sind. In jedem Walzgerüst sind Walzen gelagert, die beim Walzvorgang das Rohr jeweils um einen definierten Umfangsabschnitt kontaktieren. Insgesamt wirken dabei in jedem Walzgerüst mehrere, beispielsweise drei Walzen so zusammen, dass das Rohr im wesentlichen über seinen gesamten Umfang von den Walzen kontaktiert wird. Das Rohr wird damit auf einen reduzierten Durchmesser gewalzt und dabei auf eine genaue Form gebracht.

[0004] Das Rohr soll nach dem Walzen eine ideale Form haben, d. h. die zylindrische Kontur des Außenumfangs und die des Innenumfangs sollen zwei konzentrische Kreise bilden. Tatsächlich gibt es indes stets Toleranzen im Fertigerohr, so dass eine gewisse Exzentrizität der Kreiskontur des Innenumfangs relativ zu derjenigen des Außenumfangs vorliegt.

[0005] Ein entscheidender Qualitätsparameter bei der Rohrerstellung ist die Rohrwanddicke, die im Produktionsprozess gemessen und überwacht wird. Zur Ermittlung der Wanddicke des Rohres sind Ultraschall-Messverfahren bekannt. Ultraschall-Dicken-Messverfahren nach der Impuls-Echo-Methode ermitteln über die Laufzeitmessung eines Ultraschallimpulses die Wanddicke.

[0006] Eine weitere sehr wichtige Kenngröße bzw. ein weiteres wichtiges Qualitätskriterium von Hohlblöcken und deren Vorprodukten ist die Exzentrizität des Hohlblocks. Zur Gewinnung dieser Kenngröße in einem möglichst frühzeitigen Produktionsstadium werden die erwähnten Wanddickenmessgeräte eingesetzt, wobei beispielsweise im Auslauf eines Schrägwalzwerkes ein

solches Wanddickenmessgerät positioniert wird. Damit ist es mit relativ geringem Aufwand möglich, im Prozess die Wanddicke zu ermitteln. Nachdem der Hohlblock im Auslauf des Schrägwalzwerkes rotiert, kann mit einem solchen Wanddickenmessgerät eine Anzahl Wanddicken-Messpunkte über dem Umfang des Hohlblocks ermittelt werden, die der Bestimmung der Exzentrizität zugrunde gelegt werden können.

[0007] Bei der in Rede stehenden Exzentrizität handelt es sich nicht nur um einen exzentrischen Versatz des Außendurchmessers des Hohlblocks relativ zum Innendurchmesser des Hohlblocks, wobei dieser Versatz entlang der Längenkoordinate des Hohlblocks konstant bzw. ortsfest bliebe, sondern die Exzentrizität "wandert" in Richtung der Längenkoordinate des Hohlblocks in einer solchen Weise, dass sich ein wellenartiger Verlauf der inneren Oberfläche des Hohlblocks relativ zur äußeren Oberfläche des Hohlblocks ergibt. Dieser Exzentrizitätsverlauf ist durch den Walzprozess im Schrägwalzwerk bedingt, so dass sich der Umlaufcharakter ähnlich wie der Verlauf eines Korkenziehers ergibt. Der Verlauf dieser Exzentrizität wird durch die sog. Haupt-Innenwendel bestimmt, deren Ganghöhe bzw. Schlaglänge sich aus dem Prozess im Schrägwalzwerk und dort aus dem Vorschubwinkel des Schrägwalzwerkes ergibt. Der Exzentrizitätsverlauf wiederholt sich periodisch mit der Schlaglänge. Weitere Exzentrizitäten umlaufenden Charakters mit großer Ganghöhe bzw. niedriger Frequenz entstehen überlagert z. B. durch ungleichförmige Durchwärmung des Blockes im Drehherdofen.

[0008] Die Messung des Exzentrizitätsverlaufs über der Längenkoordinate des Hohlblocks, also die Erfassung der inneren Oberfläche des Hohlblocks relativ zur äußeren Oberfläche des Hohlblocks über die Längenkoordinate des Hohlblocks, ist am Auslauf eines Schrägwalzwerkes aus folgenden Gründen problematisch:

[0009] Zunächst ist hier nur ein sehr geringer Raum für die Messeinrichtung vorhanden, so dass ein nicht ausreichender Einbauplatz für die Messeinrichtung vorliegt. Zum anderen ist es nicht möglich, die volle Länge des Hohlblocks rotierend zu erfassen. Gerade der letztgenannte Aspekt ist aus walztechnischer Sicht bedeutsam, weil Hohlblöcke gerade an den Enden besonders ausgeprägte Exzenter aufweisen.

[0010] Das hat dazu geführt, dass auch andere Messkonzeptionen ins Auge gefasst wurden. Es wurden zusätzliche Messrollgänge bzw. Messmanipulatoren eingesetzt, auf denen der Hohlblock rotiert und der Messkopf am Hohlblock in Längsrichtung vorbeibewegt wird. Aus Gründen der Taktzeit sowie aufgrund der damit verbundenen Kosten sind diese Vorgehensweisen jedoch mit Nachteilen verbunden. Weiterhin wurde es auch als nachteilig erkannt, dass derartige Systeme nur schwer an vorhandenen Walzlinien nachgerüstet werden können.

[0011] Mit den vorbekannten Verfahren und Einrich-

tungen ist es also nur sehr schwer bzw. aufwendig möglich, insbesondere im Einlauf eines nachfolgenden Walzwerkes, also beispielsweise eines Konti-Walzwerkes oder einer Stossbankanlage, die Exzentrizität eines Hohlblocks in ihrer räumlichen Erstreckung entlang der Hohlblock-Längenkoordinate zu erfassen und damit ein für die Praxis sinnvoll verwertbares Maß für die Exzentrizität anzugeben.

[0012] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine zugehörige Vorrichtung zu schaffen, mit dem bzw. mit der die genannten Nachteile überwunden werden können.

[0013] Die Lösung dieser Aufgabe durch die Erfindung ist verfahrensgemäß dadurch gekennzeichnet, dass der Verlauf der Exzentrizität des Hohlblocks annähernd abgebildet wird als Verlauf der Wanddicke s als Funktion der sich in Richtung der Längsachse z des Hohlblocks erstreckenden Längenkoordinate und des Drehwinkels ϕ um die Längenkoordinate gemäß der Beziehung

$$s(\phi, z) = s_0(z) + s_1(z) \cos(\phi + \delta(z)),$$

wobei

s_0 die mittlere Wanddicke des Hohlblockes,
 s_1 die der mittleren Wanddicke S_0 überlagerte Wanddickenamplitude und
 δ der von der Längenkoordinate z abhängige Lagewinkel ist,

wobei ferner die Messvorrichtung beim Passieren des Hohlblocks eine Anzahl Wanddickenmessungen vornimmt und die gemessenen Werte einem Rechnermittel zuleitet, das diese einer Fourier-Transformation unterzieht, um für den funktionalen Verlauf der Wanddicke s als Funktion der Längenkoordinate z und des Drehwinkels ϕ eine Näherung der Form

$$s(\phi, z) \cong s_0^* + \sum s_{i,1} \cos(\phi + 2\pi/p_i z + \xi_{i,1})$$

zu ermitteln, wobei

s_0^* und
 $s_{i,1}$ die ermittelten Fourier-Koeffizienten für die Wanddicke des Hohlblocks bei Summation über die Anzahl der Fourier-Reihenelemente und
 p_i und
 $\xi_{i,1}$ die Fourier-Koeffizienten für die Ganghöhen bzw. für die Anfangslagewinkel bei Summation über die Anzahl der Fourier-Reihenelemente sind.

[0014] Bevorzugt dreht sich der Hohlblock während der Messung nicht um seine Längsachse. Weiterhin kann vorgesehen werden, dass mehr als eine Messvorrichtung zum Einsatz kommt. Zur Ermittlung der Wand-

dicke des Rohres hat sich das Laser-Ultraschall-Wanddicken-Messverfahren bewährt, das fortbildungsgemäß vorgesehen ist. Gerade bei letztgenanntem Verfahren ist es vorteilhaft möglich, die Messung der Wanddicke des Hohlblocks bei einem im Hohlblock angeordneten Werkzeug, insbesondere bei im Hohlblock angeordneter Domstange, vorzunehmen, was dem Verfahren eine große Flexibilität verleiht.

[0015] Die Vorrichtung zur Bestimmung der Exzentrizität des Hohlblocks weist mindestens eine Messvorrichtung auf, die die Wanddicke des Hohlblocks an einer Längen- und Umfangsposition des Hohlblocks ermitteln kann. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die mindestens eine Messvorrichtung zur Durchführung einer Anzahl Wanddickenmessungen beim Passieren des Hohlblocks geeignet ist, wobei die mindestens eine Messvorrichtung mit einem Rechnermittel in Verbindung steht, das geeignet ist, aus den gemessenen Wanddickendaten über eine Fourier-Transformation einen näherungsweise funktionalen Verlauf der Wanddicke als Funktion der Längenkoordinate und des Drehwinkels des Hohlblocks zu ermitteln.

[0016] Weiterbildungsgemäß ist mindestens eine Messvorrichtung im Bereich des Auslaufs eines Walzwerkes, insbesondere eines Schrägwalzwerkes, angeordnet.

[0017] Die fortbildungsgemäß mit Vorteil eingesetzte Ultraschall-Wanddicken-Messvorrichtung hat ein Mittel zum Einleiten eines Ultraschallsignals in die Oberfläche des Hohlblocks. Dabei kann es sich bei diesem Mittel um einen Laser, insbesondere um einen blitzlampen-gepumpter Nd:YAG-Laser, handeln. Ferner kann die Messvorrichtung Mittel zum Messen eines Zeitintervalls zwischen zwei Echo-Ultraschallsignalen aufweisen, die der Hohlblock infolge der Einleitung des Ultraschallsignals emittiert; diese Mittel können einen Laser, insbesondere einen dioden-gepumpten Nd:YAG-Laser, und einen optischen Analysator, insbesondere ein Fabry-Pérot-Interferometer, aufweisen.

[0018] Mit dem erfindungsgemäßen Vorschlag ist es möglich, die Exzentrizität in einem Hohlblock in einfacher Weise zu bestimmen und darzustellen und damit eine schnelle und praxisgerechte Aussage über die Qualität des Hohlblocks zu machen. Es ist mit der Erfindung also in einfacher Weise möglich, sich ein Bild über den räumlichen Verlauf der Exzentrizität über der Längenkoordinate des Hohlblocks zu verschaffen und hieraus eine praxistaugliche Aussage über die Größe und Lage der Exzentrizität zu gewinnen. Die zum Einsatz kommenden Näherungen ermöglichen es insbesondere, in sehr einfacher Weise praktisch verwertbare Beurteilungskriterien für die Qualität des Hohlblocks abzuleiten.

[0019] In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch in dreidimensionaler Ansicht einen Hohlblock mit Exzentrizität samt einer

Messvorrichtung zu deren Erfassung; und

Fig. 2 schematisch das Prinzip der Messung der Wanddicke eines Hohlblocks.

[0020] Zunächst sei auf Fig. 2 Bezug genommen, wo zu sehen ist, wie die Messung der Wanddicke s eines Hohlblocks 1 erfolgen kann.

[0021] Es kommt das Laser-Ultraschall-Wanddickenmessverfahren zum Einsatz, das auf das klassische Prinzip der Ultraschall-Laufzeitmessung abstellt. Aus der Zeit für das - zweimalige - Durchlaufen eines Ultraschallimpulses durch die Wand des Hohlblocks 1 ergibt sich bei bekannter Schallgeschwindigkeit im Material des Hohlblocks die gesuchte Wanddicke s . Die Ankopplung des Ultraschalls bei der Heißwanddickenmessung mit Temperaturen im Bereich von ca. 1.000 °C erfordert sowohl auf der Anregungs- als auch auf der Detektionsseite berührungslose, optische Methoden, bei denen der Messkopf (2' in Fig. 1) selber in einem thermisch sicheren Abstand zum Hohlblock 1 verbleiben kann.

[0022] Hochenergetische Licht-Pulse im Infrarotbereich werden in der Oberfläche des Hohlblocks 1 absorbiert. Sie werden von einem auf die Wand des Hohlblocks ausgerichteten, blitzlampen-gepumpten Nd:YAG-Laser 4 (Anregungslaser) erzeugt, der eine Wellenlänge von 1.064 nm bei einer Pulsdauer von weniger als 10 ns haben kann. Die vom Laser 4 auf die Oberfläche des Hohlblocks 1 aufgebrachte Energie (Ultraschallsignal), die von der Wand des Hohlblocks absorbiert wird, führt teilweise zur Verdampfung einer sehr dünnen Oberflächenschicht (Materialablation im nm-Bereich). Durch den Verdampfungs-Impuls entsteht - wegen der Impulserhaltung - im Hohlblock 1 ein Ultraschall-Impuls, der senkrecht zur Oberfläche des Hohlblocks in die dessen Wand läuft. Der Ultraschall-Impuls wird an der Innenoberfläche des Hohlblocks reflektiert, läuft zurück zur Außenoberfläche des Hohlblocks, wird erneut reflektiert usw., so dass in der Wand des Hohlblocks eine Ultraschall-Echofolge abnehmender Amplitude entsteht.

[0023] Der reflektierte Ultraschallimpuls erzeugt auf der Außenoberfläche des Hohlblocks 1 Schwingungen (im Sub-Miniaturbereich), die mittels eines zweiten Lasers 5 (Beleuchtungs- oder Erfassungslaser) berührungslos unter Nutzung des Doppler-Effekts erfasst werden. Dieser Laser 5 kann ein CW-Laser sein (Continuous Wave Laser), namentlich ein in der Frequenz verdoppelter, diodengepumpter Nd:YAG-Laser, der mit einer Wellenlänge von 532 nm arbeitet und auf den Punkt der Anregung ausgerichtet ist. Die im Vergleich zur Lichtfrequenz niederfrequente Ultraschallschwingung führt zu einer Frequenz-Modulation des an der Materialoberfläche reflektierten Lichts.

[0024] Der reflektierte Lichtkegel, der jetzt "Träger" des Ultraschallsignales ist, wird über eine lichtstarke Sammeloptik 6 und einen Lichtwellenleiter 9 einem optischen Analysator 7, d. h. einem Demodulator, zuge-

führt, wobei insbesondere ein konfokales Fabry-Pérot-Interferometer zum Einsatz kommt; dessen Ausgangssignal beinhaltet bereits die Ultraschall-Echofolge.

[0025] Die weitere Verstärkung, Filterung und Signalauswertung der Ultraschall-Echofolge kann mit einer üblichen elektronischen Ultraschall-Auswerteeinheit 8 (Auswerterechner) erfolgen. Das Ausgangssignal des Auswerterechners 8 ist die Wanddicke s des Hohlblocks 1, die aus dem Produkt von Schallgeschwindigkeit und gemessenem Zeitintervall bestimmt wird.

[0026] In Fig. 1 ist dargestellt, wie die Exzentrizität e des Hohlblocks 1 über dem Verlauf der Längenkoordinate z des Hohlblocks 1 ermittelt wird. Aufgrund des Walzprozesses im Schrägwalzwerk verläuft - wie es in Fig. 1 angedeutet ist - die Exzentrizität e wendelförmig nach Art eines Korkenziehers in Richtung der Längenkoordinate z des Hohlblocks 1. Schematisch dargestellt sind drei Schnitte, anhand derer zu sehen ist, dass sich die Wanddicke s mit der Periode der Ganghöhe bzw. Schlaglänge H periodisch wiederholt.

[0027] Zur Erfassung der Exzentrizität e als Funktion der Längenkoordinate z und des Drehwinkels ϕ werden eine Anzahl Wanddickenmessungen vorgenommen, wozu die Messvorrichtung 2 bzw. deren Messkopf 2' entlang der Längenkoordinate z relativ zum Hohlblock 1 bewegt wird. Die Wanddicken s werden ermittelt und in einem Rechnermittel 3 gespeichert.

[0028] Zur Darstellung der Exzentrizität der Längenkoordinate z und des Drehwinkels ϕ wird ein funktionaler Ansatz verwendet, wie er durch die Beziehung

$$s(\phi, z) = s_0(z) + s_1(z) \cos(\phi + \delta(z))$$

definiert ist, wobei

s_0 die mittlere Wanddicke des Hohlblockes 1,
 s_1 die der mittleren Wanddicke s_0 überlagerte Wanddickenamplitude und
 δ der von der Längenkoordinate z abhängige Lagewinkel ist.

[0029] Der Ansatz geht also von der Annahme aus, dass sich die Exzentrizität mit einer Ganghöhe bzw. Schlaglänge H periodisch wiederholt.

[0030] Die gemessenen Wanddicken werden, wie bereits gesagt, in einem Rechnermittel 3 hinterlegt. In diesem erfolgt eine Fourier-Transformation (in Fig. 1 mit FFT markiert: Fast Fourier Transformation), um für den funktionalen Verlauf der Wanddicke s als Funktion der Längenkoordinate z und des Drehwinkels ϕ eine Näherung der Form

$$s(\phi, z) \cong s_0^* + \sum s_{i,1} \cos(\phi + 2\pi/p_i z + \xi_{i,1})$$

zu ermitteln. Hierbei sind:

s_0^* und
 $s_{i,1}$ die ermittelten Fourier-Koeffizienten für die Wanddicke des Hohlblocks 1 bei Summation (i) über die Anzahl (n) der Fourier-Reihenelemente und
 p_i und
 $\xi_{i,1}$ die Fourier-Koeffizienten für die Ganghöhen bzw. für die Anfangslagewinkel bei Summation (i) über die Anzahl (n) der Fourier-Reihenelemente.

[0031] Mittels der Fourier-Analyse werden also die Fourier-Koeffizienten ermittelt, um den Verlauf der Exzentrizität des Hohlblocks 1 näherungsweise als Superposition harmonischer Schwingungen mit unterschiedlicher Amplitude und unterschiedlichen Anfangslagewinkeln abzubilden.

[0032] Die in Fig. 1 im Rechnermittel 3 vermerkte "FFT" - "Fast Fourier Transformation"-weist auf eine bevorzugte Durchführung der Fourier-Transformation hin. Details hierzu finden sich beispielsweise in "Hütte - Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften", 29. Auflage, S. B 34 ff.

[0033] In der obengenannten Näherung wird die Wanddicke s bei "idealer Exzentrizität" durch die von der Längenkoordinate z des Hohlblocks 1 abhängige Exzenteramplitude $s_1(z)$ beschrieben. Die zugehörige Umfangsverteilung ist durch die Cosinus-Funktion wiedergegeben und der Umlaufcharakter einschließlich der Umlaufgeschwindigkeit ist mit dem aktuellen Exzenterlagenwinkel (δ) hinreichend formuliert. Als mathematische Näherung wird der Wanddickenverlauf mit einem Gesamt-Mittelwandwert mit überlagerten "Schlag-schwingungen" angesetzt. Für einen festen Winkel ϕ erhält man eine herkömmliche Fourier-Reihe in "z". Dabei sind die Anfangslagewinkel $\xi_{i,1}$ der Längsschwingungen abhängig von der Hohlblocklage während der Messung (Anfangswinkel). Variiert man zu jeder Längs-Koordinate der Näherung entsprechend den Winkel ϕ , ist der gesamte Verlauf der Exzentrizität im Hohlblock 1 beschrieben.

[0034] Die beschriebene Auswertung der gemessenen Werte für die Wanddicke läuft damit darauf hinaus, dass an sich bekannte Interpretations- bzw. Auswertemethoden herangezogen werden, wie sie in der Nachrichtentechnik Verwendung finden, wie die der Frequenzverschiebung und Modulation.

[0035] Zu erwähnen ist noch, dass die Messung der Wanddicke mittels des erläuterten Ultraschall-Messverfahrens auch bei sich im Hohlblock befindlicher Dornstange erfolgreich erfolgen kann.

[0036] Es wurde bereits erwähnt, dass mehr als eine Wanddickenmessvorrichtung 2 zum Einsatz kommen kann. Dann wird das System nicht nur einkanalig, sondern mehrkanalig realisiert. Es können namentlich mehrere Wanddickenmessvorrichtungen äquidistant über den Umfang des Hohlblocks angeordnet werden.

[0037] Für eine hinreichend genaue Abbildung der sich räumlich erstreckenden Exzentrizität als Funktion

der Längenkoordinate z und des Drehwinkels ϕ ist es auch wichtig, dass eine genügend hohe Abtastfrequenz eingehalten wird. Hier geht es namentlich darum, minimale Abtastfrequenzen gemäß dem Shannonschen Abtasttheorem einzuhalten. Details hierzu finden sich in "Hütte - Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften", 29. Auflage, S. H 68 f. So kann beispielsweise bei 50 Hz-Abtastrate die Schlagfrequenz einer Vorschubspirale im Hohlblock mit 40 mm Ganghöhe noch bestimmt werden, wenn ein Hohlblock mit weniger als 1 m/s ohne Rotation am Messkopf vorbei bewegt wird.

[0038] Es sei noch folgendes angemerkt: In obigen Ausführungen wurde speziell darauf eingegangen, dass die zu vermessende und abzubildende "Wendel" im Hohlblock als wendelartiger Verlauf der inneren Oberfläche des Hohlblocks ausgebildet ist. Genauso kann das beschriebene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung auch zum Einsatz kommen, wenn sich die "Wendel" auf der äußeren Oberfläche des Hohlblocks befindet.

Bezugszeichenliste:

[0039]

1	Hohlblock
2	Messvorrichtung
2'	Messkopf
3	Rechnermittel
4	Mittel zum Einleiten eines Ultraschallsignals (Anregungslaser)
5	Beleuchtungslaser
6	Sammeloptik
7	Fabry-Pérot-Interferometer
8	Auswerterechner
9	Lichtwellenleiter
e	Exzentrizität
L	Längsachse
s	Wanddicke
H	Ganghöhe, Schlaglänge
z	Längenkoordinate des Hohlblocks
(ϕ)	Drehwinkel (Umfangsrichtung des Hohlblocks)
s_0	mittlere Wanddicke des Hohlblockes
s_1	überlagerte Wanddickenamplitude
δ	Lagewinkel
n	Anzahl der Fourier-Reihenelemente
s_0^*	Fourier-Koeffizient für die Wanddicke
$s_{i,1}$	Fourier-Koeffizient für die Wanddicke ($i = 1, \dots, n$)
p_i	Fourier-Koeffizient für die Ganghöhe ($i = 1, \dots, n$)
$\xi_{i,1}$	Fourier-Koeffizient für den Anfangslagewinkel ($i = 1, \dots, n$)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Exzentrizität (e) ei-

nes Hohlblocks (1), vorzugsweise im Einlauf eines Walzwerkes, das einem Schrägwalzwerk nachfolgt, insbesondere im Einlauf eines Konti-Walzwerkes oder einer Stoßbankanlage, in das der Hohlblock (1) in Richtung der Längsachse (L) des Hohlblocks (1) eintritt, mittels mindestens einer Messvorrichtung (2), die die Wanddicke (s) des Hohlblocks (1) an einer Längen- (z) und Umfangsposition bzw. Drehwinkel (ϕ) des Hohlblocks (1) ermitteln kann, **dadurch gekennzeichnet,**

dass der Verlauf der Exzentrizität (e) des Hohlblocks (1) annähernd abgebildet wird als Verlauf der Wanddicke (s) als Funktion der sich in Richtung der Längsachse (L) des Hohlblocks (1) erstreckenden Längenkoordinate (z) und des Drehwinkels (ϕ) um die Längenkoordinate (z) gemäß der Beziehung

$$s(\phi, z) = s_0(z) + s_1(z) \cos(\phi + \delta(z)),$$

wobei s_0 die mittlere Wanddicke des Hohlblockes (1) ist, wobei s_1 die der mittleren Wanddicke s_0 überlagerte Wanddickenamplitude ist und wobei δ der von der Längenkoordinate (z) abhängige Lagewinkel ist,

wobei die Messvorrichtung (2) beim Passieren des Hohlblocks (1) eine Anzahl Wanddickenmessungen vornimmt und die gemessenen Werte einem Rechnermittel (3) zuleitet, das diese einer Fourier-Transformation unterzieht, um für den funktionalen Verlauf der Wanddicke (s) als Funktion der Längenkoordinate (z) und des Drehwinkels (ϕ) eine Näherung der Form

$$s(\phi, z) \equiv s_0^* + \sum S_{i,1} \cos(\phi + 2\pi/p_i z + \xi_{i,1})$$

zu ermitteln, wobei s_0^* und $s_{i,1}$ die ermittelten Fourier-Koeffizienten für die Wanddicke des Hohlblocks (1) bei Summation (i) über die Anzahl (n) der Fourier-Reihenelemente sind und wobei p_i und $\xi_{i,1}$ die Fourier-Koeffizienten für die Ganghöhen bzw. für die Anfangslagewinkel bei Summation (i) über die Anzahl (n) der Fourier-Reihenelemente sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** sich der Hohlblock (1) während der Messung nicht um seine Längsachse (L) dreht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Wanddicke (s) des Hohlblocks (1) mittels des Laser-Ultraschall-Wanddicken-Messverfahrens gemessen wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,**

dass die Wanddicke (s) des Hohlblocks (1) bei einem im Hohlblock (1) angeordneten Werkzeug, insbesondere bei im Hohlblock (1) angeordneter Domstange, gemessen wird.

5. Vorrichtung zur Bestimmung der Exzentrizität (e) eines Hohlblocks (1), vorzugsweise im Einlauf eines Walzwerkes, das einem Schrägwalzwerk nachfolgt, insbesondere im Einlauf eines Konti-Walzwerkes oder einer Stoßbankanlage, in das der Hohlblock (1) in Richtung der Längsachse (L) des Hohlblocks (1) eintritt, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Vorrichtung mindestens eine Messvorrichtung (2) aufweist, die die Wanddicke (s) des Hohlblocks (1) an einer Längen- (z) und Umfangsposition (ϕ) des Hohlblocks (1) ermitteln kann, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Messvorrichtung (2) zur Durchführung einer Anzahl Wanddickenmessungen beim Passieren des Hohlblocks (1) geeignet ist, wobei die Messvorrichtung (2) mit einem Rechnermittel (3) in Verbindung steht, das geeignet ist, aus den gemessenen Wanddickendaten (s) über eine Fourier-Transformation einen näherungsweise funktionalen Verlauf der Wanddicke (s) als Funktion der Längenkoordinate (z) und des Drehwinkels (ϕ) des Hohlblocks (1) zu ermitteln.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** mindestens eine Messvorrichtung (2) im Bereich des Auslaufs eines Walzwerkes, insbesondere eines Schrägwalzwerkes, angeordnet ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die mindestens eine Messvorrichtung (2) als Ultraschall-Wanddicken-Messvorrichtung ausgebildet ist, die ein Mittel (4) zum Einleiten eines Ultraschallsignals in die Oberfläche des Hohlblocks (1) aufweist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Messvorrichtung (2) Mittel (5, 6, 7, 8) zum Messen eines Zeitintervalls zwischen zwei Echo-Ultraschallsignalen aufweist, die der Hohlblock (1) infolge der Einleitung des Ultraschallsignals emittiert.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,** **dass** die Mittel (5, 6, 7, 8) einen Laser (5), insbesondere einen dioden-gepumpten Nd:YAG-Laser, und einen optischen Analysator (7), insbesondere ein Fabry-Pérot-Interferometer, aufweisen.

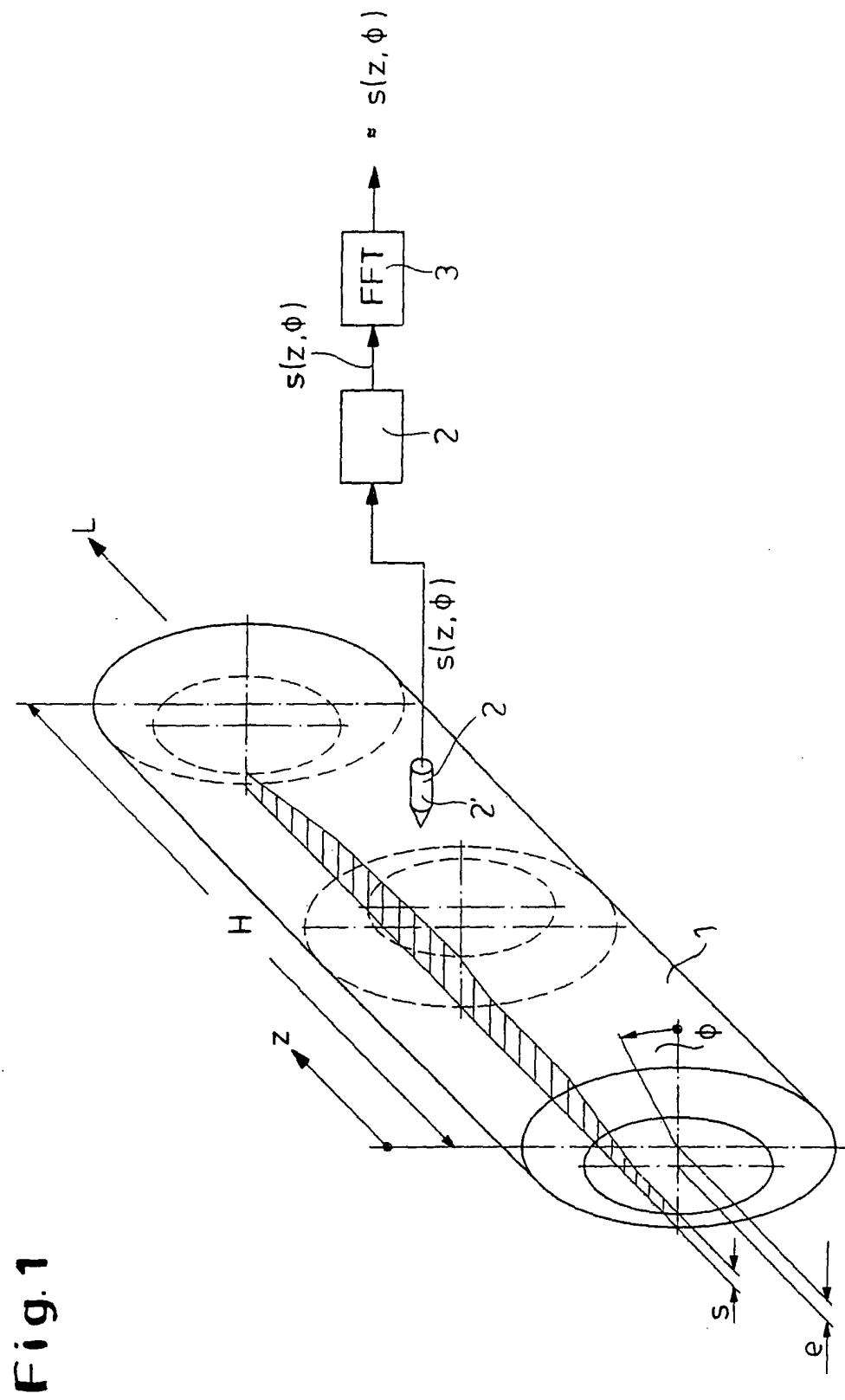
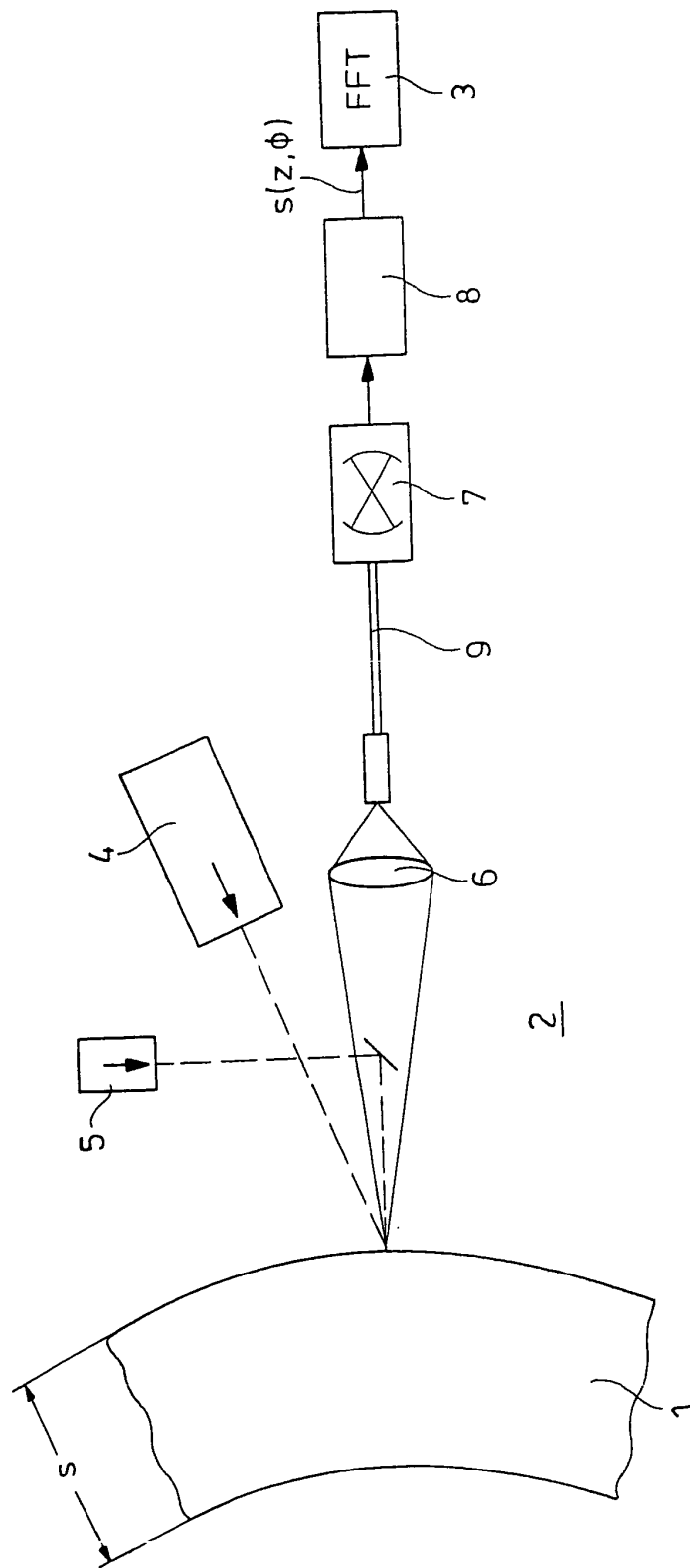


Fig. 2





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 01 2968

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 6 078 397 A (MONCHALIN JEAN-PIERRE ET AL) 20. Juni 2000 (2000-06-20)	5-9	B21B38/04
A	* das ganze Dokument *	1,3	G01B17/02
X	MONCHALIN J-P ET AL: "WALL THICKNESS MEASUREMENT OF TUBES AND ECCENTRICITY DETERMINATION BY LASER-ULTRASONICS" MWSP CONFERENCE PROCEEDINGS, XX, XX, Bd. 35, 1997, Seiten 927-931, XP000912211	5-9	
A	* das ganze Dokument *	1-3	
A	US 6 057 927 A (MONCHALIN JEAN-PIERRE ET AL) 2. Mai 2000 (2000-05-02)	1,5,7-9	
	* Anspruch 1; Abbildungen *		
A	EP 1 102 033 A (SMS DEMAG AG) 23. Mai 2001 (2001-05-23)	1-3,5,7-9	
	* das ganze Dokument *		
A	GB 2 081 152 A (SUMITOMO METAL IND) 17. Februar 1982 (1982-02-17)	1,5	
	* Abbildungen *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			B21B G01B
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
MÜNCHEN	17. Juli 2003	Meritano, L	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 03 01 2968

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

17-07-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6078397	A	20-06-2000	AU	4604200 A	02-11-2000
			BR	0009831 A	15-01-2002
			CN	1357100 T	03-07-2002
			EP	1171751 A1	16-01-2002
			WO	0063641 A1	26-10-2000
			JP	2002542468 T	10-12-2002

US 6057927	A	02-05-2000	AU	1272199 A	15-09-1999
			WO	9944051 A1	02-09-1999

EP 1102033	A	23-05-2001	DE	19955136 A1	31-05-2001
			CA	2326269 A1	17-05-2001
			EP	1102033 A2	23-05-2001
			JP	2001194136 A	19-07-2001

GB 2081152	A	17-02-1982	JP	1632454 C	26-12-1991
			JP	57137009 A	24-08-1982
			JP	61002448 B	24-01-1986
			JP	57025209 A	10-02-1982
			AT	385923 B	10-06-1988
			AT	317981 A	15-11-1987
			AU	530920 B2	04-08-1983
			AU	7309781 A	08-04-1982
			CA	1159686 A1	03-01-1984
			DE	3128055 A1	04-03-1982
			FR	2486831 A1	22-01-1982
			IT	1144404 B	29-10-1986
			SE	446434 B	15-09-1986
			SE	8104419 A	19-01-1982
			US	4416134 A	22-11-1983
			BE	889674 A1	16-11-1981
			US	4409810 A	18-10-1983

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82