



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Int. Cl.³: G 01 B 17/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



PATENTSCHRIFT A5

11

618 008

21 Gesuchsnummer: 16841/75

73 Inhaber:
Vsesojuzny nauchno-issledovatel'sky i
konstruktorsky institut 'Tsvetmetavtomatika',
Moskau (SU)

22 Anmeldungsdatum: 29.12.1975

72 Erfinder:
Nikolai Ivanovich Brazhnikov, Moskau (SU)

24 Patent erteilt: 30.06.1980

45 Patentschrift
veröffentlicht: 30.06.1980

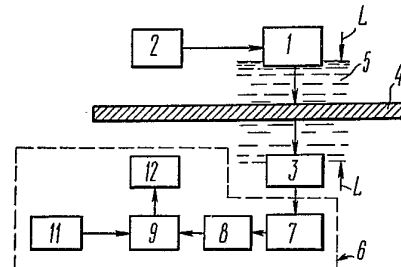
74 Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

54 Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterial mittels akustischer Schwingungen und Einrichtung zu seiner Durchführung.

57 Die Schallschwingungen, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial (4) durchgelassen werden, haben die Form von fortschreitenden Wellen. Die Dicke des zu kontrollierenden Bleches (4) wird dann aus dem Vergleich der Amplitude der genannten Welle, die durch das zu kontrollierende Blech (4) hindurchgegangen ist, mit der Amplitude eines Referenzsignals ermittelt.

Die Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens enthält einen Schallsender und einen Schallempfänger, zwischen denen das zu kontrollierende Blechmaterial angeordnet ist, und eine Messanordnung, die an den Empfänger angeschlossen ist. Die Messanordnung (6) enthält einen Verstärker (7), einen Spitzendetektor 8, einen Geber (11) des Referenzsignals und einen Vergleichler (9) für das Referenzsignal und das Nutzsignal.

Dies erlaubt eine Messung, die einen sehr weiten Bereich der Dicke von Blechen umfasst.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterial mittels Schallschwingungen, in welchem zunächst das zu kontrollierende Blechmaterial (4) in einem schalleitenden Medium (5) untergebracht wird, wonach Schallschwingungen durch dasselbe wiederholt und annähernd senkrecht zur Oberfläche des zu kontrollierenden Bleches (4) hindurchgeschickt werden und die Kennwerte der Schallschwingungen gemessen werden, die durch das zu kontrollierende Material (4) hindurchgegangen sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Schallschwingungen, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial (4) hindurchgegangen sind, die Form von fortschreitenden Wellen haben, und dass die Dicke des zu kontrollierenden Bleches (4) aus dem Vergleich eines von der Amplitude dieser Welle abgeleiteten Messsignals mit einem Referenzsignal ermittelt wird.

2. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem Schallsender und einem Schallempfänger, zwischen denen das zu kontrollierende Blechmaterial angeordnet ist, wobei die Arbeitsoberflächen des Senders und des Empfängers annähernd parallel zur Oberfläche des zu kontrollierenden Blechmaterials angeordnet sind, und mit einer Messanordnung, die an den Empfänger angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen den Arbeitsoberflächen vom Sender (1) und des Empfängers (3) grösser als die Wellenlänge der fortschreitenden Welle während einer Messung ist, dass die Messanordnung (6) einen Verstärker (7) enthält, dessen Eingang an den Ausgang des Empfängers (3) angeschlossen ist, einen Spitzendetektor (8), dessen Eingang an den Ausgang des Verstärkers (7) angeschlossen ist, einen Geber (11) des Referenzsignals, einem Vergleichler (9) für das Referenzsignal und das Messsignal, wobei der erste Eingang des Vergleichlers (9) an den Ausgang des Spitzendetektors (8) und der andere Eingang desselben mit dem Geber (11) des Referenzsignals elektrisch verbunden ist, und schliesslich ein Registriergerät (12), das an den Ausgang des genannten Vergleichlers (9) angeschlossen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz der Schallschwingungen so gewählt wird, dass die Wellenlänge der fortschreitenden Welle in dem zu kontrollierenden Blechmaterial (4) grösser ist als das Vielfache der maximalen Dicke des Bleches.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Referenzsignal eine fortschreitende Welle verwendet wird, die durch ein Blechmaterial (10) mit bekannter Dicke hindurchgegangen ist, und dass die Dicke des zu kontrollierenden Bleches (4) aus dem Unterschied zwischen der Amplitude der Referenzwelle und der Welle, die durch das zu kontrollierende Blech (4) durchgegangen ist, ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Referenzsignal eine fortschreitende Welle dient, die durch ein Blechmaterial (10) mit bekannter Dicke hindurchgegangen ist, und dass die Dicke des zu kontrollierenden Bleches (4) aus dem Verhältnis der Amplituden der Welle ermittelt wird, die durch das Blech (10) mit vorbekannter Dicke durchgegangen ist, und der Welle, die durch das zu kontrollierende Blech (4) durchgegangen ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des zu kontrollierenden Bleches (4) aus dem Verhältnis der Amplituden der Welle ermittelt wird, die diese Welle vor und nach dem Durchgang durch das zu kontrollierende Blech (4) aufweist.

7. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Geber (11) des Referenzsignals eine regelbare Gleichstromquelle (11) ist, und dass der Vergleichler (9) ein Substraktionsglied (9) ist, das an die regelbare Gleichstromquelle (11) unmittelbar angeschlossen ist.

8. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein zusätzlicher Schallsender (13) vorgesehen ist, dessen Wellen durch ein Blech (10) von bekannter Dicke hindurchtreten, dass diesem Sender ein zusätzlicher Empfänger (14) zugeordnet ist, dass die Arbeitsoberflächen des Senders (13) und des Empfängers (14) annähernd parallel zur Oberfläche dieses Bleches (10) verlaufen, dass der Abstand zwischen ihnen ungefähr dem Abstand zwischen den Arbeitsflächen des Hauptsenders (1) und des Hauptempfängers (3) gleich ist, wobei der Vergleichler des Referenzsignals und des Signals, dem die Information über die Dicke des zu kontrollierenden Bleches eingeprägt wird, ein Dividierglied (15) ist, und dass die elektrische Kopplung des genannten zusätzlichen Empfängers (14) mit dem Dividierglied (15) über einen zusätzlichen Verstärker (16) und einen Spitzendetektor (17) erfolgt.

9. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Geber (18) des Referenzsignals ein Schallempfänger ist, der zwischen dem Hauptsender (1) und dem zu kontrollierenden Blech (4) und zwar im Ausbreitungsweg der Messwelle angeordnet ist, derart, dass der Hauptteil der Welle durch das zu kontrollierende Blech (4) zum Hauptempfänger (3) gelangt, dass der Vergleichler ein Dividierglied (15) ist, und dass der Referenzempfänger (18) und das Dividierglied (15) über einen zusätzlichen Verstärker (19) und einen Spitzendetektor (17) miteinander verbunden sind.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterial mittels Schallschwingungen, in welchem zunächst das zu kontrollierende Blechmaterial in einem schalleitenden Medium untergebracht wird, wonach Schallschwingungen durch dasselbe periodisch und annähernd senkrecht zur Oberfläche des zu kontrollierenden Bleches hindurchgeschickt werden und die Kennwerte der Schallschwingungen gemessen werden, die durch das zu kontrollierende Material hindurchgegangen sind, sowie eine Einrichtung zu seiner Durchführung.

Solche Verfahren und Einrichtungen werden zur automatischen Kontrolle technologischer Prozesse und insbesondere zur Kontrolle der Dicke von Blech angewendet.

Die Erfindung kann in automatischen Steuerungssystemen von Walzwerken in der Schwarz- und Buntmetallurgie, im Maschinenbau, in der Polymere-, Zellstoff- und Papierindustrie und in anderen Zweigen der Industrie zur automatischen und kontaktlosen Kontrolle von Feiblechen und Folien (Blechdicke unter 0,5—1 mm) eingesetzt werden.

Bekannt ist ein Verfahren zur Messung der Dicke von Feiblechen.

In diesen Verfahren wird das zu kontrollierende Blechmaterial der Einwirkung von durch dieses durchdringender Strahlung ausgesetzt. Man ermittelt dann den Grad der Dämpfung der Wellen, die durch das Material durchgegangen ist und aus der Grösse dieser Dämpfung die Dicke des zu kontrollierenden Bleches bestimmt.

Ein solches Verfahren kann jedoch nur in einem engen Bereich der zu messenden Dicken verwendet werden, weil die Abhängigkeit der Dämpfung der Wellen von der Materialdicke exponentiell verläuft.

Ausserdem ist dieses Verfahren bei Kontrolle von dünnen Blechen mit grossen Fehlern behaftet. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Dämpfung der Wellen im dünnen Blech gering ist und dass sie mit der Dämpfung der Wellen im Reflektor der jeweiligen Strahlungsquelle vergleichbar ist.

Bekannt ist auch ein Dickenmesser zur Durchführung des genannten Verfahrens (siehe zum Beispiel das Informationsbulletin «Dickenmesser ITU-495 und ITSch-496», her-

ausgegeben durch die Allunionsvereinigung «Isotop», Moskau, 1963). Er enthält eine Quelle einer radioaktiven Strahlung und einen Empfänger für eine solche Strahlung, die auf den beiden Seiten des zu kontrollierenden Bleches angeordnet sind, sowie einen elektronischen Messblock, der an den Empfänger angeschlossen ist.

Bei Verwendung dieses Dickenmessers, zum Beispiel zur Kontrolle von Walzblechen, wird wegen den Anforderungen der Sicherheitstechnik nicht zugelassen, dass die Quelle der radioaktiven Strahlung unmittelbar an den Walzen eines Walzwerkes angebracht wird.

Das führt zu einer wesentlichen zeitlichen Verzögerung der Information über die Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials, was bei automatisch gesteuerten Walzwerken zur Beeinträchtigung der Qualität des Walzgutes führt.

Ausserdem müssen bei der Anwendung eines solchen Dickenmessers Schutzvorrichtungen, Lagerräume für die dazu erforderlichen Apparaturen und die dazugehörigen Quellen der radioaktiven Strahlung, Räume für die Einregulierung beziehungsweise Reparaturen dieser Bestandteile usw. vorgesehen sein.

Die in einem Dickenmesser zur Anwendung kommenden Quellen der radioaktiven Strahlung sind teuer und weisen zugleich eine kurze Lebensdauer auf, die sich aus einer beschränkten Halbwertszeit des verwendbaren Isotops ergeben. Das macht ein periodisches Ersetzen der Quellen der Strahlung erforderlich, was seinerseits den Betrieb des jeweiligen Dickenmessers kompliziert macht und seine Verwendung verteuert.

Bekannt ist auch ein Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien mittels akustischer Schwingungen (siehe Buch von W. S. Grebennik «Physikalische Grundlagen der Ultraschallverfahren zur Dickenmessung», Seiten 11 bis 12, Verlag «Maschinostrojenie», Moskau, 1968).

Dieses Verfahren besteht darin, dass man durch ein schalleitendes Medium, als solches wird ein Flüssigkeitsstrahl verwendet, akustische Schwingungen periodisch durch das zu kontrollierende Blechmaterial annähernd senkrecht zu seiner Oberfläche durchlässt. Es wird die Durchlaufzeit der Schallschwingungen durch das schalleitende Medium und durch das Material zum Beispiel mit Hilfe eines Phasennessers gemessen und danach die Dicke des Materials ermittelt.

Die Verwendung eines derartigen Verfahrens zur Kontrolle von Blechmaterial mit geringer Blechdicke führt jedoch auch zu bedeutenden Messfehlern. Das ist darauf zurückzuführen, dass die absoluten Grössen der zu registrierenden Durchlaufzeiten von Schallschwingungen durch das zu kontrollierende Material, das eine geringe Dicke aufweist, sehr gering sind (in einer Grössenordnung von 10^{-8} Sek).

Es sind ausserdem bei dem oben beschriebenen Verfahren Fehler bei Messung der Dicke von Blechmaterialien zu verzeichnen, die durch stehende Wellen verursacht werden. Diese stehenden Wellen entstehen als Folge der Reflexion von Schallschwingungen von der Oberfläche des Senders, Empfängers und des zu kontrollierenden Materials und als Folge einer Überlagerung von reflektierten Schallschwingungen auf Schwingungen, die durch das Blechmaterial durchgegangen sind. Zwecks Verminderung dieser Fehler ist es erforderlich, das zu kontrollierende Blechmaterial in der Knotenstelle beziehungsweise im Bauch der stehenden Welle anzubringen, was durch den Einsatz von speziellen Vorrichtungen erreicht wird, die eine automatische Verschiebung des Schallsenders und des Schallempfängers in bezug auf das zu kontrollierende Material gewährleisten. Das kompliziert und verteuert die Apparatur, die in diesem Verfahren zur Kontrolle der Dicke zum Einsatz kommt.

Zugleich entstehen spürbare Fehler bei Dickenmessungen infolge der Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit

von Schallschwingungen in einem Flüssigkeitsstrahl, mit dessen Hilfe Ultraschallschwingungen in die Messzone eingeführt werden können. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ist ausserdem auch abhängig sowohl von der Zeitspanne, die zur Fortpflanzung der Wellen im Strahl zur Verfügung steht, als auch von der Temperatur des Flüssigkeitsstrahls. Das führt zu einem starken Anstieg von Messfehlern, die wegen der Änderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallschwingungen bei Veränderung der Flüssigkeitstemperatur auftreten.

Die Ursache dafür liegt darin, dass die für den Durchgang der Wellen durch den Arbeitsspalt zwischen dem Schallsender und dem Schallempfänger erforderliche Zeit, wobei dieser Durchgang sich in einer Flüssigkeit vollzieht, die zu registrierende Zeit des Durchlaufens der Wellen durch das zu kontrollierende Feinblech- und beziehungsweise Folienmaterial um zwei Grössenordnungen übersteigt. Deshalb verursacht sogar eine relativ unwesentliche Veränderung der Zeit der Fortpflanzung der Wellen in einem Flüssigkeitsstrahl, welche durch eine Temperaturänderung der Flüssigkeit in diesem Strahl hervorgerufen ist, eine beträchtliche Änderung der Soll-Laufzeit, die mit der zu registrierenden Durchlaufzeit der Wellen durch das zu kontrollierende Blechmaterial vergleichbar ist. So zum Beispiel beträgt die Laufzeit der Wellen in Flüssigkeit bei Folienstärke von 0,06 mm und beim Arbeitsspalt von 60 mm $40 \mu\text{s}$, während die zu registrierende Laufzeit in der Folie $0,03 \mu\text{s}$ beträgt. Die temperaturbezogene Veränderung der Geschwindigkeit des Ultraschalls im Wasser, die $1,5 \text{ cm/s}^\circ\text{C}$ gleich ist, ruft die Vergrösserung der Zeit der Ausbreitung von Wellen in Flüssigkeit um $0,04 \mu\text{s}/^\circ\text{C}$ hervor, was etwa $1,3 \%$ des Fehlers je $0,01$ Grad der Temperaturänderung beträgt.

Durch Einführung der Temperaturkompensation kann dieser Fehler lediglich verringert werden. Es scheint aber nicht möglich zu sein, die erforderliche Genauigkeit zu erreichen, und zwar wegen einer ungleichmässigen und zeitabhängigen Temperaturverteilung über die Länge des Flüssigkeitsstrahls. Demzufolge ist die Anwendung dieses Verfahrens nur auf jene Fälle beschränkt, bei welchen keine wesentliche Veränderungen der Temperatur der Raumluft zu beobachten sind.

Bekannt ist auch eine Einrichtung, die zur Kontrolle der Dicke von Blechtafelmaterialien gemäss dem oben beschriebenen Verfahren angewendet wird (siehe zum Beispiel Urheberschein der UdSSR, Nr. 270 261).

Diese Einrichtung enthält einen Schallsender und einen Schallempfänger, zwischen denen das zu kontrollierende Material angeordnet wird. Die Arbeitsoberflächen des Senders und des Empfängers sind annähernd parallel zur Oberfläche des zu kontrollierenden Materials angeordnet. An den Sender wird ein Generator einer Erregerspannung angeschlossen. Diese Einrichtung enthält ebenfalls einen Messblock. Dieser Block enthält einen Verstärker, der an den Empfänger angeschlossen ist, eine Zeitmessvorrichtung, die nach der Phasenmethode oder nach der Methode der sogenannten Zeitmarken arbeitet, sowie ein Registriergerät. Er enthält weiterhin ein Zeitverzögerungsglied, das an die Zeitmessvorrichtung und an den Generator angeschlossen ist.

Diese Einrichtung kann jedoch nicht zur Kontrolle von Blechmaterialien eingesetzt werden, welche bei ihrer Herstellung verbogen worden sind oder wenn eine vertikale Verschiebung des Senders gegenüber dem Empfänger erfolgt. Dies wegen einem geringen Arbeitsspalt, der durch den Abstand zwischen dem Sender und dem Empfänger besteht. Eine Vergrösserung des Arbeitsspalt führt dagegen zu einer starken Vergrösserung der Fehler bei Dickenmessungen von Blechmaterialien. Das ist dadurch verursacht, dass der oben beschriebene Messblock jede Veränderung der Laufzeit der

Wellen zwischen dem Sender und dem Empfänger registriert. Die Veränderung der Laufzeit kann sowohl durch eine Veränderung der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials als auch durch eine Veränderung des Arbeitsspalt der Einrichtung hervorgerufen werden. Dadurch kann sogar eine äusserst geringe relative Änderung des Spaltes zu einem bedeutenden Fehler bei Dickenmessung führen. Zum Beispiel wird für den Spalt mit einer Breite von 60 mm seine relative Veränderung lediglich um einen $1/10\,000$ Teil, das heisst um 0,006 mm, einen Messfehler von etwa 10 % bei Dickenmessung einer 0,06 mm starken Folie nach sich ziehen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Kontrolle von Blechmaterialien mittels Schallschwingungen zu entwickeln sowie eine betriebsmässig einfache Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens zu entwickeln, die durch eine Erhöhung der Messempfindlichkeit im Bereich der geringeren Dicken, der Genauigkeit der Dickenmessung infolge der Verringerung der Messfehler, die durch Veränderung der Temperatur des schalleitenden Mediums, durch Veränderung des Arbeitsspalt der Einrichtung und die Bildung von stehenden Wellen, die durch Reflexion der Schallschwingungen von der Oberfläche des Senders, des Empfängers der Wellen und des zu kontrollierenden Materials verursacht sind, einen breiten Bereich der Dickenmessung sowie die Messung der Dicke der Blechmaterialien mit einer wesentlichen Veränderung der Durchbiegung in ihrer Länge sichern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch das Verfahren gelöst, das im Anspruch 1 definiert ist.

Die oben gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäss auch durch die Vorrichtung gelöst, die im Anspruch 2 definiert ist.

Das Verfahren und die Einrichtung weisen eine Reihe von Vorteilen gegenüber den bekannten Verfahren und Einrichtungen auf.

Sie ermöglichen, dass die Fehler bei Dickenmessung der zu kontrollierenden Blechmaterialien wesentlich verringert und damit die Genauigkeit der Messungen und die Zuverlässigkeit der Kontrolle wesentlich erhöht werden können. Sie schliessen jene Fehler vollständig aus, die durch stehende Wellen verursacht werden, die durch Reflexion der Wellen von den Oberflächen des Senders, des Empfängers und des zu kontrollierenden Materials durch ihre Überlagerung auf Schallschwingungen, die durch das Material hindurchgegangen sind, hervorgerufen werden. Dies wird im Prinzip dadurch erreicht, dass gemäss dem oben beschriebenen Verfahren die Schallschwingungen als eine fortschreitende Welle durch das zu kontrollierende Blechmaterial hindurchgehen. Die fortschreitende Welle wird in der oben beschriebenen Einrichtung dadurch erzeugt, dass der Abstand zwischen den Arbeitsflächen des Schallsenders und des Schallempfängers so gewählt ist, dass er die räumliche Länge der fortschreitenden Welle während einer Messung übertrifft. Dadurch werden die von den Oberflächen des zu kontrollierenden Blechmaterials und des Empfängers reflektierten Wellen mit den Wellen, die durch das Blechmaterial durchgegangen sind, sich nicht überlagern, und es können somit keine stehenden Wellen entstehen. Demzufolge sind in der Einrichtung keine speziellen Mittel erforderlich, die die automatische Versetzung des Senders und des Empfängers gegenüber dem zu kontrollierenden Material hervorrufen, um diesen in die Knotenstelle oder in den Bauch der stehenden Welle zu versetzen. Das vereinfacht den Betrieb der oben beschriebenen Einrichtung zur Kontrolle der Dicke der Blechmaterialien.

Zum zweiten ermöglichen die oben beschriebenen Verfahren und Einrichtung, dass jene Fehler bei der Dickenmessung wesentlich verringert werden können, die durch die Veränderung des Arbeitsspalt und auch durch die Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Ausbreitung von Wellen in

einem schalleitenden Medium und demzufolge auch durch die Abhängigkeit der Zeit ihrer Fortpflanzung in demselben von der Temperatur dieses Mediums entstehen. Die Verringerung dieser Fehler ist besonders bei Kontrolle von

5 Feinblech- und Folienmaterialien von Bedeutung.

Dies wird im Prinzip dadurch erreicht, dass als der Parameter, der über die Dicke des Materials die Aussage liefert, die Amplitude der Wellen gewählt wird, die durch das Blechmaterial hindurchgegangen sind und die mit dem oben beschriebenen Messblock der Einrichtung gemessen wird. Die Amplitude der Schallschwingungen ist nicht von der Veränderung der Grösse des Arbeitsluftspalt der Einrichtung abhängig, sondern hängt lediglich von der Geschwindigkeit der Ausbreitung von Wellen im schalleitenden Medium ab. Dadurch wird der Fehler infolge der Veränderung der Geschwindigkeit der Ausbreitung der Wellen im schalleitenden Medium auf das 5- bis 10fache verringert. Zur Erläuterung werden nachfolgende Beziehungen angeführt:

$$\delta d_1 = K_0 \cdot \frac{H}{d_0} \cdot \frac{\Delta C}{C_0},$$

worin δd_1 -Fehler bei Dickenmessung bei einer Dicke d_0 des zu kontrollierenden Materials, wenn sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen um eine Grösse ΔC ändert
 H — Arbeitsspaltgrösse
 K_0 — konstanter Koeffizient.

Bei Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien wird der Fehler δd_2 bei Messung der Dicke d_0 , die durch die Veränderung ΔC der Geschwindigkeit C_0 hervorgerufen ist, durch folgende Beziehung ermittelt:

$$\delta d_2 = K_0 \cdot \frac{\Delta C}{C_0}.$$

Demzufolge:

$$\frac{\delta d_1}{\delta d_2} = \frac{H}{d_0}.$$

40 Üblicherweise ist das Verhältnis $\frac{H}{d_0} = 5 \dots 10$ und folglich $\frac{\delta d_1}{\delta d_2} = 5 \dots 10$.

Ausserdem wird die Genauigkeit der Dickenmessung des zu kontrollierenden Materials durch die Wahl einer derartigen Frequenz der Schallschwingungen erhöht, bei der die Länge der fortschreitenden Welle in dem zu kontrollierenden Blechmaterial das Vierfache seiner maximalen Dicke übertrifft.

Das ist darauf zurückzuführen, dass die Abhängigkeit der Amplitude der fortschreitenden Welle, die durch das Blechmaterial hindurchgeschickt worden ist, von der Dicke dieses Materials lediglich in ihrem Anfangsteil eine lineare ist. Bei einer Vergrößerung der Dicke des Blechmaterials bis zu einer Grösse, die sich dem Viertel der Länge der fortschreitenden Welle in dem zu kontrollierenden Material nähert, wird die genannte Abhängigkeit nichtlinear, und bei weiterer Vergrößerung dieses Wertes wird sie ausserdem nicht eindeutig. Die Wahl einer Frequenz der Schallschwingungen, bei der die maximale Dicke des Blechmaterials das Viertel der Länge der fortschreitenden Welle in dem zu kontrollierenden Material nicht übertrifft, sichert die Möglichkeit der Messung der Amplitude bei Veränderung der Dicke des Blechmaterials im linearen Teil der genannten eindeutigen Abhängigkeit. Das erhöht eben die Genauigkeit der Messungen der Dicke nach dem oben beschriebenen Verfahren.

Das oben beschriebene Verfahren ermöglicht auch, den Bereich der Dickenmessungen von Blechmaterialien bei ge-

ringen Dicken mittels Erhöhung seiner Empfindlichkeit auszuweiten. Das wird dadurch erreicht, dass als der Parameter, nach dem die Dicke des zu kontrollierenden Materials bewertet wird, die Amplitude der Schallschwingungen gewählt ist. Die Amplitude der Schallschwingungen, die durch das zu kontrollierende Material hindurchgeschickt worden sind, ist der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials umgekehrt proportional und hängt vom Arbeitsspalt der Einrichtung praktisch nicht ab. Deswegen ist die Grösse der Veränderung der Amplitude der Schallschwingungen bei ihrem Hindurchgehen durch das Blechmaterial mit geringer Blechdicke üblicherweise ausreichend für ihre Messung mit Hilfe des oben beschriebenen Messblocks der Einrichtung.

Das Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien und die Einrichtung für seine Durchführung, in denen als Referenzsignal eine fortschreitende Welle benutzt wird, die durch das Blechmaterial mit vorgegebenem Wert der Dicke hindurchgegangen ist, wobei als Geber des Referenzsignals eine regelbare Gleichstromquelle benutzt wird, ermöglichen es, besonders einfach und mit ausreichender Genauigkeit die Dicke von Blechmaterialien in einem Bereich von Dicken zu messen, die 20 . . . 40 % von dem gegebenen Wert betragen. Zur Erweiterung des Messbereiches ist eine Abstimmung der Gleichstromquelle notwendig.

Die Anwendung einer fortschreitenden Welle als Referenzsignal, die durch das Blechmaterial mit gegebenem Wert von Dicke hindurchgegangen ist, wobei als Geber des Referenzsignals ein zusätzlicher Schallempfänger der Wellen verwendet wird, die durch das genannte Material hindurchgegangen sind, und wobei als Vergleich ein Dividierglied verwendet wird, sichert einen breiten Bereich der Dickenmessungen von Blechmaterialien ohne die Notwendigkeit jeglicher Neuabstimmung des Gebers des Referenzsignals.

Ausserdem werden in der oben beschriebenen Ausführungsvariante des Verfahrens und der Einrichtung die Fehler bei der Dickenmessung von Blechmaterialien verringert, die durch Instabilität des Koeffizienten des Durchgehens von Schallschwingungen durch das zu kontrollierende Blechmaterial verursacht sind. Das wird dadurch gesichert, dass die Instabilität des genannten Koeffizienten, die zum Beispiel durch Veränderung der Dichte der Raumluft, ihrer Temperatur, beziehungsweise des Atmosphärendrucks hervorgerufen wird, für das zu kontrollierende Blechmaterial und für das Blechmaterial mit vorgegebener Dicke gleich sein wird, weil sie in unmittelbarer Nähe voneinander angebracht sind.

Diese Ausführungsvariante des Verfahrens und der Einrichtung ermöglicht ausserdem, die Messgenauigkeit durch die Absicherung der linearen und direkt proportionalen Abhängigkeit des Ausgangssignals des Dividiergliedes von der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials zu erhöhen. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Amplitude der Schallschwingungen, die durch das Blechmaterial hindurchgegangen sind, umgekehrt proportional zu seiner Dicke ist, und demzufolge wird der Quotient bei ihrer Anwendung als Teiler direkt proportional von der Dicke abhängig sein.

Die Anwendung der fortschreitenden Welle als Referenzsignal, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial hindurchgelassen wird, und eines zusätzlichen Empfängers der genannten Schwingungen als Geber des Referenzsignals sichert die Beseitigung von Fehlern bei Messung, die durch die Instabilität der Ausgangsleistung des Generators und durch die Instabilität des Schallsenders hervorgerufen werden. In diesem Fall werden sich die genannten Instabilitäten gleichermaßen sowohl auf die Schallschwingungen, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial hindurchgelassen werden, als auch die Schallschwingungen, die durch das genannte kontrollierende Material hindurchgegangen sind, auswirken.

In dieser Ausführungsvariante des Verfahrens und der

Einrichtung wird auch eine direkt proportionale Abhängigkeit des Ausgangssignals des Dividiergliedes von der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials gewährleistet.

Die Ziele und Vorteile dieser Erfindung werden nachstehend bei der Beschreibung der Beispiele ihrer Ausführung und der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Blockschaltbild der vorliegenden Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien mittels Schallschwingungen;

Fig. 2 das Blockschaltbild einer anderen Ausführungsvariante der vorliegenden Einrichtung;

Fig. 3 eine dritte Ausführungsvariante der vorliegenden Einrichtung;

Fig. 4 ein Diagramm der Beziehung der Amplitude von Wellen, die durch unterschiedliche Materialien hindurchgelassen werden, und zwar vom Produkt der Materialdicke und der Frequenz dieser Wellen.

Die Einrichtung enthält einen Schallsender 1 (Fig. 1) mit einem an ihn angeschlossenen Generator 2 sowie einen Schallempfänger 3. Der Sender 1 ist ein bekannter Schallsender vom piezoelektrischen Typ. Der Generator 2 enthält eine bekannte Schaltung mit einer Stosserregung vom Stromkreis. Der Empfänger 3 kann eine bekannte Ausbildung aufweisen, die der Konstruktion des Senders analog ist.

Zwischen dem Sender 1, auch Strahler genannt, und dem Empfänger 3 ist das zu kontrollierende Blechmaterial 4 angeordnet, das sich in einem schalleitenden Medium 5 befindet. Als solches wird in dieser Ausführungsvariante ein auf 70—80° C erwärmtes Wasser verwendet. Wasser wird in die Einrichtung als ein Strahl in jenen Richtungen eingeführt, die in der Zeichnung mit Pfeilen angedeutet sind.

Die Arbeitsflächen des Strahlers 1 und des Empfängers 2 sind annähernd parallel zur Oberfläche des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 orientiert. Das ergibt die Möglichkeit, dass Schallschwingungen im schalleitenden Medium 5 durch das zu kontrollierende Material 4 annähernd senkrecht zu seiner Oberfläche hindurchgehen können.

Der Abstand zwischen den Arbeitsflächen des Strahlers 1 und des Empfängers 3 ist so gewählt, dass er die räumliche Länge der fortschreitenden Welle während einer Messung übersteigt. Dadurch wird das Hindurchgehen der Wellen, die vom Strahler 1 ausgestrahlt werden, durch das zu kontrollierende Material 4 in Form einer fortschreitenden Welle gewährleistet. Infolgedessen können keine stehende Wellen entstehen und folglich werden Fehler bei Dickenmessung von Blechmaterialien 4 ausgeschlossen, die durch stehende Wellen verursacht werden. Gleichzeitig ist es nicht mehr notwendig, dass man spezielle Mittel einsetzt, die eine automatische Verschiebung des Strahlers 1 und des Empfängers 3 in bezug auf das Material 4 bewirken, um dieses in einen Knotenpunkt oder in einen Bauch der stehenden Welle zu versetzen.

An den Empfänger 3 der Schallschwingungen ist eine Messanordnung 6 angeschlossen. Diese enthält einen Verstärker 7, der eine bekannte Transistorschaltung aufweist und dessen Eingang an den Ausgang des Empfängers 3 angeschlossen ist. An den Ausgang des Verstärkers 7 ist ein Spitzendetektor 8 angeschlossen, der eine Transistoren- und Dioden enthaltende Schaltung aufweist. Die Zeitkonstante dieses Detektors 8 ist um mehr als eine Grössenordnung grösser als die Taktdauer der auszustrahlenden Schallschwingungen.

Der Anwendung des Spitzendetektors 8 in der Messanordnung 6 soll vor der Anwendung eines Amplituden- oder Amplituden-Phasen-Detektors der Vorzug gegeben werden, die in den bekannten Einrichtungen zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien verwendet werden. Dies deswegen, weil der Spitzendetektor ermöglicht, dass die Registrierung der

mehrfach von der Oberfläche des Strahlers 1, des Empfängers 3 und des Materials 4 reflektierten Schallschwingungen ausbleibt, deren Amplitude geringer als die Amplitude der Schwingungen ist, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurchgegangen sind. An den Ausgang des Spitzendetektors 8 ist einer der Ausgänge eines Vergleichers 9 des Referenzsignals und des die Information über die Dicke des zu kontrollierenden Materials 4 tragenden Signals angeschlossen, der in der beschriebenen Variante als ein Substraktionsglied 9 ausgeführt ist. Das Substraktionsglied 9 ist als ein bekannter Diskriminator ausgeführt. Als das Signal, das die Information über die Dicke des zu kontrollierenden Materials 4 trägt, dient eine fortschreitende Welle, die durch dieses Material 4 hindurchgegangen ist. Als das Referenzsignal dient in dieser Ausführungsvariante die fortschreitende Welle, die durch ein Blechmaterial 10 (Fig. 2) mit gegebener Dicke hindurchgegangen ist. Dieses Material 10 wird vor Beginn der Kontrolle der Dicke des Blechmaterials 4 (Fig. 1) zwischen dem Strahler 1 und dem Empfänger 3 gleich wie das zu kontrollierende Material 4 angeordnet. Durch das Referenzmaterial 10 werden Schallschwingungen geleitet, die vom Strahler 1 als eine fortschreitende Welle ausgestrahlt werden, und ihre Amplitude wird gemessen.

An den anderen Ausgang des Substraktionsgliedes 9 ist ein Geber 11 des Referenzsignals angeschlossen, der als eine Gleichstromquelle ausgeführt ist. Die Höhe der Ausgangsspannung der Quelle 11 ist der gemessenen Amplitude der fortschreitenden Welle direkt proportional eingestellt, die durch das Referenzmaterial 10 mit vorgegebener Dicke hindurchgegangen ist. An den Ausgang des Substraktionsgliedes 9 ist ein Registriergerät 12 angeschlossen, das als Selbstschreiber einer bekannten Konstruktion ausgeführt ist. Die Selbstschreiberskala ist in Dickeneinheiten geeicht.

Diese Ausführung der Einrichtung ist die einfachste. Sie kann jedoch einen nur relativ engen Bereich von Dickenwerten messen. Dieser Messbereich liegt zwischen 20 % und 40 % einer gegebenen Dicke. Zur Erweiterung des Messbereiches ist eine Änderung der Ausgangsspannung der Gleichstromquelle 11 notwendig.

Aus diesen Gründen kann diese Einrichtung in jenen automatischen Steuersystemen für technologische Prozesse eingesetzt werden, bei deren Durchführung eine Information lediglich über die Abweichung der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials von einem vorgegebenen Wert erforderlich ist. Dabei ist es zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Kontrolle notwendig, die Beständigkeit der Eigenschaften des schalleitenden Mediums 5 und die Stabilität der Wellen zu sichern. Das kann durch die Verwendung einer in einem Thermostaten untergebrachten Flüssigkeit, wie z. B. Wasser, als das schalleitende Medium 5, und durch den Einsatz eines hochstabilen Senders 1 erreicht werden.

Eine Erweiterung des Bereiches der Dickenmessung von Blechmaterialien und eine Verringerung des Einflusses der Veränderung der Eigenschaften des schalleitenden Mediums 5 und der Instabilität des Senders 1 können durch die Anwendung einer weiteren Ausführungsvariante der vorliegenden Einrichtung erreicht werden, die in Fig. 2 gezeigt wird.

Die Einrichtung gemäss dieser Ausführungsvariante enthält ausser dem oben beschriebenen Schallsender 1, Generator 2, Schallempfänger 3, Verstärker 7, Spitzendetektor 8 und Registriergerät 12 einen zusätzlichen Sender 13 von Wellen, die durch ein Blechmaterial 10 mit gegebener Dicke hindurchgeschickt werden. Der Sender 13 weist eine bekannte Ausführung auf, die der Konstruktion des Hauptsenders 1 analog ist. Er ist an den Generator 2 angeschlossen. Das Vorhandensein des zusätzlichen Senders 13 ermöglicht es, die Fehler bei der Dickenmessung zu reduzieren, die durch die Instabilität des Senders 1 verursacht werden.

Als Geber eines Referenzsignals dient ein zusätzlicher Schallempfänger 14, wobei als Referenzsignal in dieser Ausführungsvariante eine fortschreitende Welle benutzt wird, die durch das Blechmaterial 10 mit gegebener Dicke hindurchgegangen ist. Der Empfänger 14 ist ein bekannter Empfänger, dessen Konstruktion jener des Empfängers 3 analog ist. Das Blechmaterial 10 mit gegebener Dicke ist zwischen dem zusätzlichen Sender 13 und dem zusätzlichen Empfänger 14 in der unmittelbaren Nähe des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 angeordnet. Dadurch wird sichergestellt, dass die Temperatur, der Druck und die Dichte des schalleitenden Mediums 5, als solches wird in dieser Ausführungsvariante Luft verwendet, im Wirkungsbereich des Hauptsenders 1 und -empfängers 3 und des zusätzlichen Senders 13 und Empfängers 14 ausreichend ähnlich oder sogar gleich sind. Das bewirkt eine Verminderung der Fehler, die durch die Veränderung der Eigenschaften des schalleitenden Mediums verursacht werden.

Die Arbeitsflächen des zusätzlichen Senders 13 und Empfängers 14 sind annähernd parallel zur Oberfläche des Blechmaterials 10 mit gegebener Dicke orientiert. Der Abstand zwischen den Arbeitsflächen des Senders 13 und des Empfängers 14 ist nahe dem Abstand zwischen dem Hauptsender 1 und -empfänger 3 gewählt. Dadurch wird der Durchgang der Wellen, die vom zusätzlichen Sender 13 ausgestrahlt werden, durch das Blechmaterial 10 in Form einer fortschreitenden Welle gesichert.

In dieser Ausführungsvariante ist der Vergleich der Referenzsignals und des Signals, das die Information über die Dicke des zu kontrollierenden Materials 4 trägt, als ein bekanntes Dividierglied 15 ausgeführt. Die elektrische Verbindung des zusätzlichen Empfängers 14 mit dem einen Eingang des Dividiergliedes 15 wird mittels eines zusätzlichen Verstärkers 16 und eines Spitzendetektors 17 durchgeführt, die hintereinander geschaltet sind und die dem Hauptverstärker 7 und dem Spitzendetektor 8 analog ausgeführt sind.

Ein anderer Eingang des Dividiergliedes 15 ist an den Ausgang des Spitzendetektors 8 angeschlossen. Der Ausgang des Dividiergliedes 15 ist an das Registriergerät 12 angeschlossen.

Beim Betrieb der oben beschriebenen Einrichtung brauchen die Eigenschaften des schalleitenden Mediums nicht unveränderlich zu sein und es besteht auch keine Notwendigkeit, einen komplizierten und hochstabilen Sender 1 anzuwenden. Infolgedessen kann als das schalleitende Medium ein gasförmiges Medium verwendet werden, dem vor dem Flüssigkeitsmedium Vorzug gegeben werden kann. Das gasförmige Medium erhöht die Schnellwirkung der Einrichtung wegen einer schnelleren Dämpfung von Schallschwingungen, die von den Oberflächen der Sender 1, 13 der Empfänger 3, 14 und der Materialien 4, 10 reflektiert werden. Ausserdem schliesst es die Instabilität des Schallkontaktes der Sender 1, 13 und der Empfänger 3 bzw. 14 mit dem zu kontrollierenden Material 4 bzw. mit dem Blechmaterial 10 mit vorgegebener Dicke aus, die bei Unterbrechung des Flüssigkeitsstrahles entsteht. Die Anwendung eines gasförmigen Mediums erlaubt ausserdem, den Anwendungsbereich der Einrichtung dadurch wesentlich zu erweitern, dass die Dichte des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 um das Mehrfache die Dichte des gasförmigen Mediums übertrifft. Zugleich braucht man für die Erzeugung der fortschreitenden Welle im gasförmigen Medium einen geringeren Abstand zwischen den Sendern 1, 13 und den Empfängern 3 bzw. 14, da die Laufzeit der Wellen im gasförmigen Medium um eine Grössenordnung kleiner ist als die Laufzeit in einer Flüssigkeit. Die Anwendung des gasförmigen Mediums schliesst ebenfalls eine Korrosion der Bauelemente eines Produktionsaggregates, zum Beispiel eines Walzwerkes, aus.

Die oben beschriebene Einrichtung kann zur Messung der absoluten Dicke eines Blechmaterials in einem weiten Bereich während des gesamten technologischen Prozesses ohne jegliche Neuabstimmung des Gebers des Referenzsignals mit Vorteil eingesetzt werden.

In der oben beschriebenen Ausführungsvariante der Einrichtung kann der Vergleich des Referenzsignals und des Signals, das die Information über die Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials trägt, auch als ein Dividienglied (nicht dargestellt) ausgeführt werden, das an die Spitzendetektoren 8, 17 und an das Registriergerät 12 ähnlich wie das Dividienglied 15 angeschlossen ist. In diesem Fall kann die Einrichtung in Systemen für automatische Steuerung von technologischen Prozessen eingesetzt werden, indem dem ausführenden Glied ein Steuersignal zugeführt werden kann, das der Abweichung der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials von ihrem vorgegebenen Wert proportional ist.

Bei der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsvariante der Einrichtung ist der Geber des Referenzsignals — als solches wird eine fortschreitende Welle genutzt, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurchgeschickt wird — als ein zusätzlicher Empfänger 18 ausgeführt. Der zusätzliche Empfänger 18 kann ein bekanntes Kleinmikrophon von piezoelektrischem Typ sein. Der Empfänger 18 ist zwischen dem Sender 1 und dem zu kontrollierenden Blechmaterial 4 im Bereich der fortschreitenden Welle derart angeordnet, dass dabei der Durchtritt des Hauptteils der fortschreitenden Welle durch das zu kontrollierende Material 4 bis zum Hauptempfänger 3 unter Ausschluss des zusätzlichen Empfängers 18 gesichert wird.

Der Vergleich des Referenzsignals und des Signals, das die Information über die Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 trägt, ist als ein Dividienglied 15 ausgeführt. Dieses Dividienglied 15 ist an den Spitzendetektor 8 und an das Registriergerät 12 angeschlossen sowie mit dem zusätzlichen Empfänger 18 elektrisch gekoppelt. Diese elektrische Verbindung wird mittels der hintereinander an den Empfänger 18 geschalteten Verstärker 19 und des Spitzendetektors 17 verwirklicht. Der Verstärker 19 ist mit einem Temperaturregler (nicht dargestellt) des Verstärkungskoeffizienten versehen, der die Verringerung der Fehler sichert, die durch Veränderung der Temperatur der Luft entstehen, die in dieser Ausführungsvariante als schalleitendes Medium 5 dient.

Die oben beschriebene Einrichtung schließt jene Fehler bei einer Dickenmessung von Blechmaterialien 4 aus, die durch die Instabilität des Schallsenders verursacht werden. In diesem Fall werden sich die genannten Instabilitäten gleichermaßen auf Wellen auswirken, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurchgegangen sind, und auf Wellen, die durch dasselbe hindurchgegangen sind, und diese werden die Ausgangsspannung des Dividiengliedes 15 nicht beeinflussen. Dadurch wird die Genauigkeit der Dickenmessung des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 erhöht.

Die oben beschriebene Einrichtung kann zur Dickenmessung von Blechmaterialien 4 in einem weiten Bereich während des gesamten technologischen Prozesses ohne jegliche Neuabstimmung des Gebers der Referenzsignale erfolgreich eingesetzt werden.

Zur Erläuterung der Messung der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4, das mit Hilfe der oben beschriebenen Einrichtungen durchgeführt wird, ist auf Fig. 4 zu verweisen, wo sich das Diagramm der Abhängigkeit der Beziehung der Amplitude A der Schallschwingungen, die durch das Material hindurchgeschickt werden, zur Amplitude A_0 der Schallschwingungen, die durch dasselbe hindurchgegangen sind, vom Produkt der Dicke d des Materials 4 (Fig. 1) und der Frequenz f der Schallschwingungen befindet. Die

Linien I, II und III stellen die genannte Abhängigkeit für Aluminium, Kupfer bzw. Wolfram dar.

Analytisch kann diese Abhängigkeit durch folgende Beziehung veranschaulicht werden:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\rho^2 C^2}{4\rho_0^2 C_0^2} \cdot \sin^2 \left(\frac{2\pi fd}{C} \right)}} \quad (1)$$

worin bedeuten ρ_0 und C_0 die Dichte des schalleitenden Mediums 5 (Fig. 1) bzw. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in demselben; ρ und C Dichte des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen in demselben.

Aus der oben angeführten Beziehung und aus den auf Fig. 4 angeführten Diagrammen ist zu ersehen, dass die Amplitude A der Schallschwingungen, die durch das Blechmaterial 4 hindurchgegangen sind (Fig. 1) seiner Dicke d umgekehrt proportional ist.

Das Verfahren zur Kontrolle wird in den oben beschriebenen Einrichtungen wie folgt durchgeführt:

Das zu kontrollierende Blechmaterial 4 (Fig. 1) wird zwischen Schallsender 1 und Empfänger 3 in auf 70—80° Celsius angewärmtes Wasser eingebracht, das als schalleitendes Medium 5 in dieser Ausführungsvariante des Verfahrens dient.

Der Generator 2 erzeugt elektrische Impulse, die mit einem konstanten Zeitabstand an den Sender 1 gelangen. Die Periode der Impulse wird in Abhängigkeit von der erforderlichen Genauigkeit der Dickenmessung gewählt, die ihrerseits von der Häufigkeit der durchzuführenden Messungen abhängig ist.

Der Sender 1 sendet, wegen der Erregung durch die elektrischen Impulse, die vom Generator 2 zu ihm gelangen, kurze schmalspektrale Impulse der Schallschwingungen in Form fortschreitender Wellen ins Wasser aus. Die Anwendung von Schallschwingungen in Form fortschreitender Wellen erlaubt, die Fehler der Dickenmessung des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 auszuschließen, die durch stehende Wellen verursacht werden, die durch Reflexion der Wellen von der Oberfläche des Senders 1, des Empfängers 3 und des zu kontrollierenden Materials 4 und durch die Überlagerung derselben über jene Wellen, die durch das Material 4 hindurchgegangen sind, hervorgerufen sind.

Der Arbeitszustand der fortschreitenden Welle wird durch die Wahl des Abstandes zwischen dem Strahler 1 und Empfänger 3 gewährleistet, der die räumliche Länge der fortschreitenden Welle während einer Messung übersteigt.

Die Frequenz der Schallschwingungen wird so gewählt, dass die Länge der fortschreitenden Welle in dem kontrollierten Blechmaterial 4 das Vierfache der maximalen Dicke desselben übertrifft. Das sichert eine eindeutige lineare Abhängigkeit der Amplitude der fortschreitenden Welle der Schallschwingungen, die durch das Material 4 hindurchgegangen sind, von seiner Dicke, was es erlaubt, den Bereich der Messungen bei geringen Dicken zu erweitern. Die Erfüllung des genannten Verhältnisses zwischen der Länge der fortschreitenden Welle und der maximalen Länge des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 wird durch die Anwendung der Schallschwingungen mit Ultraschallfrequenz zur Kontrolle von Folienmaterialien (Blechdicke unter einem Zehntel Millimeter) und der Schallschwingungen gesichert, die im unteren Dickenbereich im Ultraschallbereich und im oberen Dickenbereich im Tonfrequenzbereich liegen.

Die fortschreitende Welle der Impulse der Schallschwingungen geht durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 annähernd senkrecht zu seiner Oberfläche durch und tritt auf der entgegengesetzten Seite des Materials 4 in Form von

amplitudengedämpften Impulsen, gemäss der früher angeführten Beziehung (1) ins Wasser ein.

Der Durchgang der fortschreitenden Welle durch das zu kontrollierende Material 4 annähernd senkrecht zu seiner Oberfläche wird durch die Orientierung der Arbeitsoberflächen des Strahlers 1 und des Empfängers 3 parallel zur Oberfläche des Materials 4 gewährleistet.

Die Impulse der fortschreitenden Welle, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurchgegangen sind, kommen im Empfänger 3 an, der diese in elektrische Impulse mit einer Trägerfrequenz, die der Frequenz der Schallschwingungen gleich ist, umwandelt. Die Amplitude dieser elektrischen Impulse, die eine Information über die Dicke des zu kontrollierenden Materials 4 tragen, wird durch den Verstärker 7 verstärkt und sie gelangen dann in den Spitzendetektor 8. Der Spitzendetektor 8 erzeugt eine Spannung, die der Amplitude der Hüllkurve der elektrischen Impulse, die an seinem Eingang ankommen, gleich ist.

An den einen Eingang des Substraktionsgliedes 9 gelangt vom Ausgang des Detektors 8 eine Spannung, die der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 umgekehrt proportional ist. An den anderen Eingang des Substraktionsgliedes 9 gelangt eine Gleichspannung vom Ausgang der Quelle 11 des Gleichstroms, die der gegebenen Dicke des Blechmaterials 10 umgekehrt proportional ist. Am Ausgang des Substraktionsgliedes 9 entsteht eine Spannung, die der Differenz der Spannungen gleich ist, die an seinen Eingängen ankommen und der Differenz der gegebenen Dicke des Blechmaterials 10 und der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 direkt proportional ist.

Die Ausgangsspannung des Substraktionsgliedes 9 wird dem Registriergerät 12 zugeführt, das die Grösse der Abweichung der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 von der vorgegebenen Dicke des Blechmaterials 4 anzeigt.

Vor Beginn des beschriebenen Betriebes der Einrichtung, gemäss Fig. 1, wird die Abstimmung der Quelle 11 des Gleichstromes vorgenommen, die als Geber des Referenzsignals dient. Zu diesem Zweck wird zwischen dem Sender 1 und Empfänger 3 anstelle des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 das Blechmaterial 10 mit vorgegebener Dicke angeordnet. Durch dieses Material 10 wird die fortschreitende Welle der Schallschwingungen durchgeschickt und die Ausgangsspannung der Quelle 11 (Fig. 1) bis zu einer Grösse geregelt, bei der die Anzeige des Registriergerätes 12 gleich Null ist.

Als die vorgegebene Dicke wird üblicherweise der Beginn des Teilbereiches der Messungen gewählt.

Beim Betrieb der Einrichtung bleibt die Ausgangsspannung der Quelle 11 des Gleichstromes unveränderlich.

Das oben beschriebene Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien ist einfach und es ermöglicht, Messungen in einem relativ engen Bereich durchzuführen, der etwa 20 ÷ 40 % der vorgegebenen Dicke beträgt. Eine Vergrösserung der zu messenden Dicke führt zum Entstehen einer nichtlinearen Abhängigkeit der Anzeigen des Registriergerätes 12 von der Dicke des Materials 4 und deswegen muss die Neuabstimmung der Quelle 11 des Gleichstromes auf den nächstfolgenden Teilbereich der Messungen durchgeführt werden.

Der Messbereich der Dicke kann durch die Anwendung des Verfahrens zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien erweitert werden, das mit Hilfe der in Fig. 2 abgebildeten Einrichtung durchgeführt werden kann.

Gemäss diesem Verfahren wird das zu kontrollierende Blechmaterial 4 zwischen dem Strahler 1 und Empfänger 3 im schalleitenden Medium 5 untergebracht, das in diesem Fall Luft ist. Zwischen dem zusätzlichen Strahler 13 der Schallschwingungen und dem zusätzlichen Empfänger 14

wird das Blechmaterial 10 (Fig. 2) mit vorgegebener Dicke angeordnet. Dieses Material 10 wird in unmittelbarer Nähe des zu kontrollierenden Materials 4 angeordnet. Dadurch wird die Verringerung der Fehler bei der Dickenmessung gesichert, die durch Veränderung der Eigenschaften des schalleitenden Mediums auftreten.

Der Generator 2 erzeugt elektrische Impulse, die mit konstanter Taktdauer beim Hauptstrahler 1 und dem zusätzlichen Strahler 13 ankommen.

Der Sender 1 sendet Impulse von Schallschwingungen in den Spalt, die sich als eine fortschreitende Welle fortpflanzen. Diese Impulse gehen durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurch, das die Verringerung ihrer Amplitude gemäss der früher angeführten Beziehung (1) hervorruft. Bei Anwendung von Luft als schalleitendes Medium ist die Dichte ρ_0 derselben um vier Grössenordnungen kleiner als die Dichte ρ des zu kontrollierenden Blechmaterials 4, und die Beziehung ist:

$$\frac{\rho^2 C^2}{4\rho_0^2 C_0^2} \cdot \sin^2 \left(\frac{2\pi f d}{C} \right) \gg 1.$$

Ausserdem wird zwecks Vermeidung einer überflüssigen Dämpfung der Amplitude A der Schallschwingungen ihre Frequenz f so gewählt, dass die Grösse $\frac{2\pi f d}{C}$ wesentlich

kleiner als $\frac{\pi}{2}$ ist. Dann ergibt die Beziehung (1) den folgenden Ausdruck:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{\rho_0 C_0}{\pi f \rho d} \quad (2)$$

Da $\frac{C_0}{f} = \lambda_0$, worin λ_0 die Länge der fortschreitenden Welle in der Luft ist, so nimmt die Beziehung (2) folgende Gestalt an:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{\rho_0 \cdot \lambda_0}{\pi \rho d} \quad (3) \text{ oder } A = \frac{K}{d} \quad (4), \text{ worin}$$

$$K = \frac{A_0 \cdot \rho_0 \lambda_0}{\pi \rho}.$$

Aus der oben angeführten Beziehung (4) ergibt sich, dass die Amplitude der Schallschwingungen, die durch das zu kontrollierende Material 4 hindurchgegangen sind, eine lineare und umgekehrt proportionale Abhängigkeit von der Dicke des zu kontrollierenden Materials 4 praktisch in jedem Dickenbereich aufweist.

Die durch das zu kontrollierende Material 4 hindurchgegangenen Schallwellen kommen im Empfänger 3 an und werden durch diesen in elektrische Impulse umgewandelt. Diese elektrischen Impulse werden vom Verstärker 7 verstärkt und gelangen in den Spitzendetektor 8. Der Spitzendetektor 8 erzeugt eine Gleichspannung, die der Amplitude der Hüllkurve der elektrischen Impulse, die an seinem Ausgang angekommen sind, gleich ist. Die Spannung gelangt vom Ausgang des Detektors 8 an den einen Eingang des Dividiergliedes 15.

Gleichzeitig mit den oben beschriebenen Prozessen erfolgt die impulsartige Aussendung der Schallwellen in die Luft in Form einer fortschreitenden Welle vom zusätzlichen Strahler 13 aus. Diese Impulse gehen durch das Blechmaterial 10 mit vorgegebener Dicke hindurch, werden von demselben amplitudenmässig gemäss Gleichung $A_1 = \frac{K}{d}$ gedämpft, worin A_1 Amplitude der Schallschwingungen ist, die durch das Blechmaterial 10 mit vorgegebener Dicke hindurchgegangen sind.

Der Empfänger 14 empfängt gedämpfte Impulse und wandelt diese in elektrische Impulse mit der Trägerfrequenz um, die der Frequenz der Schallschwingungen gleich ist. Die elektrischen Impulse werden amplitudenmässig durch den Verstärker 16 verstärkt und gelangen an den Spitzendetektor 17.

Der Spitzendetektor 17 erzeugt eine Gleichspannung, die

der Amplitude der Hüllkurve der elektrischen Impulse gleich ist. Die Ausgangsspannung vom Detektor 17 liegt am zweiten Eingang des Gliedes 15. Dabei tritt am Ausgang des Dividiergliedes 15 eine Spannung auf, die dem Quotient der Spannung, die an seinem Eingang vom Ausgang des Detektors 17 angekommen ist, zur Spannung, die an seinem anderen Eingang vom Ausgang des Detektors 8 angekommen ist, entspricht und damit der Dicke des zu kontrollierenden Materials 4 proportional ist. Die Ausgangsspannung des Dividiergliedes 15 wird dem Registriergerät 12 zugeführt, das die Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 anzeigt.

Vor Beginn des Betriebes der Vorrichtung, die in Fig. 2 dargestellt ist, wird die Abstimmung der Einrichtung vorgenommen. Dafür wird zwischen dem Strahler 1 und Empfänger 3 ein Probestück aus dem zu kontrollierenden Blechmaterial 4 (nicht dargestellt) mit bekannter Dicke angeordnet. Durch dieses Probestück und durch das Blechmaterial 10 werden Schallschwingungen in Form fortschreitender Welle hindurchgeschickt und der Verstärkungskoeffizient des zusätzlichen Verstärkers 16 bis auf einen Wert einreguliert, bei dem am Ausgang des Dividiergliedes 15 eine Spannung auftritt, die der bekannten Dicke des genannten Probestücks direkt proportional ist, und bis die Anzeige des Registriergerätes 12 dieser Dicke gleich ist.

Das beschriebene Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien sichert die Messung der Dicke der Blechmaterialien 4 mit hoher Genauigkeit und in einem weiten Bereich infolge der linearen und direkt proportionalen Abhängigkeit des Ausgangssignals des Dividiergliedes 15 von der Dicke. Zugleich ermöglicht das genannte Verfahren, dass die Messfehler verringert werden können, die durch die Instabilität der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallschwingungen durch das Blechmaterial 4 sowie durch die Instabilität der Ausgangsleistung des Generators 2 und durch die Instabilität der Strahler 1, 13 verursacht werden. Dieses Verfahren ist jedoch kompliziert. Eine Vereinfachung ermöglicht das Verfahren zur Kontrolle der Dicke von Blechmaterialien, das mit Hilfe der in Fig. 3 gezeigten Einrichtung durchgeführt werden kann.

Nach diesem Verfahren werden die Schallschwingungen durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurchgeschickt, von dem Empfänger 3 empfangen, von dem Verstärker 7 verstärkt, von dem Detektor 8 umgewandelt und dem Eingang des Dividiergliedes 15, ähnlich wie in den oben beschriebenen Verfahren, die mit Hilfe der in Fig. 1 und 2 gezeigten Einrichtungen durchgeführt werden, zugeführt.

Zugleich kommen die Impulse der fortschreitenden Welle, die vom Sender 1 ausgestrahlt werden und die als Referenzsignal in dieser Ausführungsvariante des Verfahrens dienen, im zusätzlichen Empfänger 18 an.

Der Empfänger 18 wandelt diese Impulse in elektrische Impulse mit einer Trägerfrequenz um, die der Frequenz der Schallschwingungen gleich ist. Diese elektrischen Impulse werden durch den Verstärker 19 verstärkt. Durch das Vorhandensein eines Temperaturreglers des Verstärkungskoeffizienten im Verstärker 19 werden in diesem Verfahren jene Fehler verringert, die durch Veränderung der Lufttemperatur hervorgerufen werden. Die verstärkten elektrischen Impulse gelangen in den Spitzendetektor 17, der eine Spannung erzeugt, die der Amplitude der Hüllkurve der elektrischen Impulse gleich ist und an den Eingang des Dividiergliedes 15 gelangt.

Infolge der oben beschriebenen Prozesse gelangt an den einen Eingang des Dividiergliedes 15 eine Spannung, die der Amplitude A_0 der fortschreitenden Welle, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurchgeschickt wird, direkt proportional ist. An den anderen Eingang gelangt eine Spannung, die der Amplitude der fortschreitenden Welle direkt proportional ist, die durch das zu kontrollierende Blechmaterial 4 hindurchgegangen ist. Am Ausgang des Dividiergliedes 15 tritt eine Spannung auf, die die Beziehung der Spannung angibt, die direkt proportional der Amplitude A_0 der fortschreitenden Welle ist, die durch das Material 4 hindurchgeschickt wird, zur Spannung, die direkt proportional der Amplitude A der fortschreitenden Welle ist, die durch das Material 4 hindurchgegangen ist. Am Ausgang des Dividiergliedes 15 tritt gemäss der früher angeführten Beziehung (2) eine Spannung auf, die der Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 direkt proportional ist. Diese Spannung wird an das Registriergerät 12 angelegt, das die Dicke des zu kontrollierenden Blechmaterials 4 anzeigt.

Vor dem Beginn des Betriebes der Einrichtung, die in Fig. 3 gezeigt ist, wird ihre Abstimmung analog der früher beschriebenen Abstimmung der in Fig. 2 abgebildeten Einrichtung durchgeführt.

Das Verfahren zur Kontrolle von Blechmaterialien mit Hilfe der in Fig. 1, 2 und 3 abgebildeten Einrichtungen sichert eine hocheffektive kontaktlose automatische Kontrolle der Dicke und der Oberflächendichte von Materialien an den technologischen Fließstrassen verschiedener Produktionsbetriebe in der metallurgischen, chemischen, Zellstoff- und Papierindustrie sowie in anderen Industriezweigen.

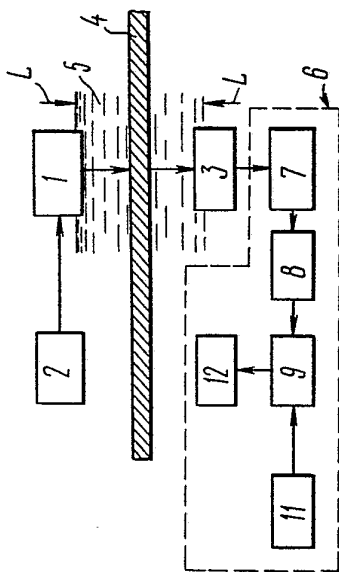


FIG. 1

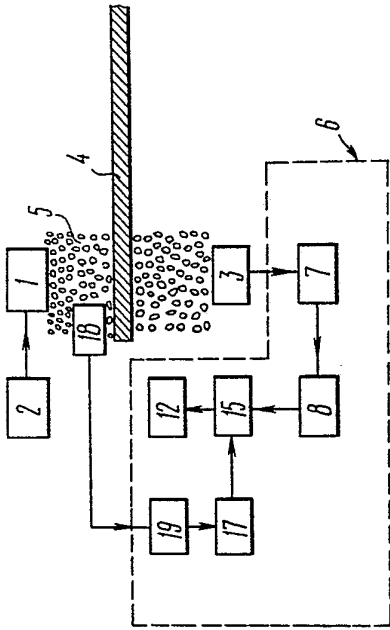


FIG. 3

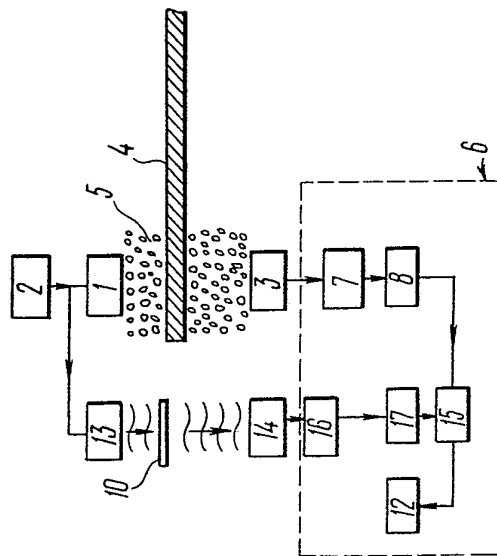


FIG. 2

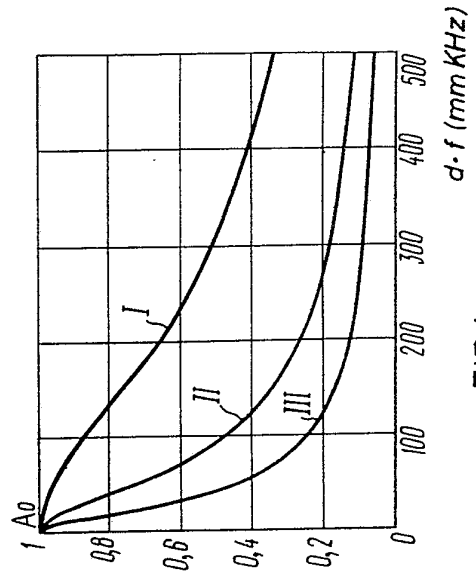


FIG. 4