



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 667 151 A5

⑤ Int. Cl.4: G 01 B 11/06
G 01 B 7/06

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

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer: 2241/85

㉒ Anmeldungsdatum: 28.05.1985

㉔ Patent erteilt: 15.09.1988

④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 15.09.1988

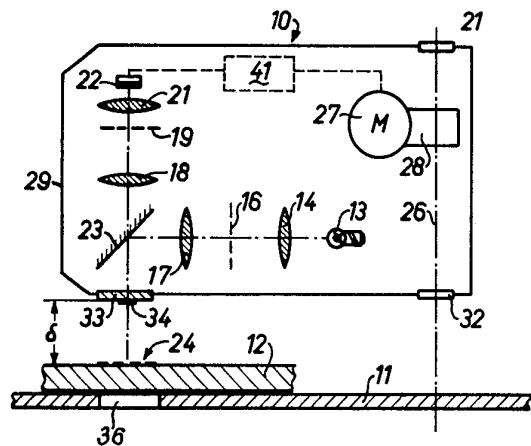
⑦③ Inhaber:
Dr. von Ballmoos AG, Horgen 2

⑦② Erfinder:
Von Ballmoos, Fritz, Dr., Horgen

⑦④ Vertreter:
Ritscher & Seifert, Zürich

⑤④ **Vorrichtung zum kontinuierlichen Messen der Dicke eines in seiner Längsrichtung verschiebbaren platten- oder strangförmigen Werkstücks.**

⑤⑦ Bei dieser Vorrichtung ist der Ober- und der Unterfläche des Werkstücks (12) je ein senkrecht zu diesen Flächen verfahrbarer Messkopf (10) zugeordnet. Jeder Messkopf (10) enthält eine Projektionseinrichtung (13, 14, 17), die ein erstes optisches Raster (16) auf die zugeordnete Werkstückoberfläche projiziert, und ein Objektiv (18), das das Bild des projizierten Rasters (16) auf einem zweiten gleichartigen Raster (19) abbildet. Hinter diesem zweiten Raster (19) ist ein fotoelektrischer Wandler (22) angeordnet, dessen Ausgangssignal an eine Steuerschaltung (41) geleitet wird, die einen Schrittmotor (27) steuert, der die Verschiebung des Messkopfs (10) bewirkt. Das zweite Raster (19) ist derart angeordnet, dass praktisch kein Licht auf den Wandler (22) fällt, wenn das erste Raster (16) scharf auf die Werkstückoberfläche projiziert wird und der Wandler (22) um so stärker beleuchtet wird, je weniger scharf die Projektion des ersten Rasters (16) ist. Die gesamte Anordnung bildet einen Regelkreis, der die Verschiebung des Messkopfs (10) auf optimale Schärfe des Bilds des projizierten ersten Rasters (16) regelt und aus der Anzahl der dafür erforderlichen Motorschritte den Abstand des Messkopfs (10) von der Werkstückoberfläche bzw. die Dicke des Werkstücks (12) bestimmt.



PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zum kontinuierlichen Messen der Dicke eines in der Längsrichtung verschiebbaren platten- oder strangförmigen Werkstücks, enthaltend zwei Messköpfe, die über bzw. unter der Verschiebebahn angeordnet sind und optische Einrichtungen aufweisen, um den Abstand zwischen dem Messkopf und der benachbarten Werkstückoberfläche zu bestimmen, sowie eine elektronische Schaltung, die aus den beiden Abstandsbestimmungen mindestens die Abweichung der Werkstückdicke vom Dicensollwert berechnet, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Messkopf (10) senkrecht zur Ebene des Werkstücks (12) verfahrbar ist und ein dafür vorgesehenes Fahrwerk (27, 28) aufweist, sowie eine erste optische Einrichtung (13, 14, 16, 17), die das Bild (24) eines ersten optischen Rasters (16) auf eine ausserhalb des Messknopfes liegende Fläche projiziert, und eine zweite optische Einrichtung (18, 19, 21), die das Bild des ersten optischen Rasters auf der Fläche auf einem zweiten gleichartigen optischen Raster (19) abbildet, sowie ein im Lichtweg hinter dem zweiten optischen Raster angeordnetes, opto-elektronisches Bauelement (22), das ein dem durch das zweite optische Raster hindurchtretenden Licht entsprechendes Ausgangssignal erzeugt, und dadurch, dass die elektronische Schaltung (41) mit dem Fahrwerk (27, 28), den beiden optischen Einrichtungen und dem opto-elektronischen Bauelement jedes Messkopfs je einen Regelkreis bildet, der das Verfahren jedes Messkopfs derart steuert, dass das Ausgangssignal des opto-elektronischen Bauelements einen Minimal- oder Maximalwert erreicht oder um diesen pendelt und aus der Summe der Fahrwege der beiden Messköpfe die Dicke des Werkstücks berechnet.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die jedem Messkopf zugeordnete elektronische Schaltung (41) einen Eingangverstärker (44), eine Sample-and-Hold-Schaltung (46) und einen Signalgenerator (47) enthält, der Antriebsimpulse für einen Schrittmotor (27) erzeugt, und einen Zähler (49), der die Antriebsimpulse unter Berücksichtigung ihrer Polarität zählt, sowie ein Addierwerk (52), das aus dem Inhalt der den beiden Messköpfen zugeordneten Zähler die Dicke des Werkstücks berechnet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Oszillator (48) vorgesehen ist, der die Frequenz der vom Signalgenerator (47) erzeugten Antriebsimpulse bestimmt und die Sample-and-Hold-Schaltung (46) die Polarität dieser Antriebsimpulse bestimmt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass weiter ein Steuerschalter (54) vorgesehen ist, um den Signalgenerator (47) vorrangig manuell oder nach einem Programm zu steuern.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Steuerschalter (54) die Einwirkung der Sample-and-Hold-Schaltung (46) auf die Polarität der Antriebsimpulse um eine einstellbare Impulsezahl verzögert.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum direkten Bestimmen der Dicke Null an jedem Messkopf ein Reflektor angeordnet ist, dessen zum anderen Messkopf gerichtete reflektierende Fläche (34) in der Bildebene der ersten optischen Einrichtung dieses anderen Messkopfs liegt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum indirekten Bestimmen der Dicke Null auf der Aussenfläche einer Abdeckplatte (33) jedes Messkopfs ein spiegelnder Bereich (34) aufgebracht ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zum Verfahren der Messköpfe jeder Schrittmotor (27) mit einer auf eine Gewindespindel aufgeschraubten Mutter oder einem in eine Zahnstange einkreisenden Zahnrad oder einem Keilriemen führenden Pulley zusammenwirkt.

BESCHREIBUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum kontinuierlichen Messen der Dicke eines in der Längsrichtung verschiebbaren platten- oder strangförmigen Werkstücks, enthaltend zwei Messköpfe, die über bzw. unter der Verschiebebahn angeordnet sind und optische Einrichtungen aufweisen, um den Abstand zwischen dem Messkopf und der benachbarten Werkstückoberfläche zu bestimmen, sowie eine elektronische Schaltung, die aus den beiden Abstandsbestimmungen mindestens die Abweichung der Werkstückdicke vom Dicensollwert berechnet.

Platten- oder strangförmige Werkstücke werden in Abhängigkeit von ihrer Endform und vom Werkstoff vorzugsweise in kontinuierlich ablaufenden Herstellverfahren auf die gewünschte Dicke gepresst, gewalzt, gespaltet, gemessert oder extrudiert. Um zu verhindern, dass der Istwert der Werkstückdicke mehr als zulässig vom Sollwert abweicht, was entweder teures Nacharbeiten erfordert oder zu noch teurerem Ausschuss führt, sind Vorrichtungen entwickelt worden, mit denen der Istwert der Dicke kontinuierlich überwacht werden kann.

Eine erste Art dieser Vorrichtung enthält einen Messkopf mit einer Rolle, die auf das Werkstück abgesenkt wird und die beim Verschieben des Werkstücks unter der Rolle auf- und/oder abbewegt wird, wenn sich die Dicke des Werkstücks ändert. Der Weg dieser Auf- oder Abbewegung wird mechanisch oder elektrisch bestimmt und mittels eines elektronischen Auswertegeräts angezeigt und/oder registriert. Es gibt auch Ausführungsformen dieser Vorrichtung mit zwei Messköpfen, wobei die Rolle des einen Messkopfs auf die Oberfläche des Werkstücks abgesenkt und die Rolle des anderen Messkopfs an die untere Fläche angehoben wird und bei denen das Auswertegerät die Differenz der Bewegungen der beiden Rollen anzeigt oder registriert. Bei Herstanlagen für sehr breite Werkstücke ist es auch üblich, mehrere quer zur Verschieberichtung des Werkstücks angeordnete Messköpfe zu verwenden.

Bei einer zweiten Art dieser bekannten Vorrichtungen wird das Werkstück nicht mechanisch berührt, sondern es wird ein Messkopf verwendet, der eine Lichtquelle enthält, die die Werkstückoberfläche punkteförmig beleuchtet. Weiter ist ein optisches System vorgesehen, das den Lichtpunkt auf einem Fotodioden-Array abbildet. Bei einer Änderung der Dicke oder einer Verwerfung des unter dem Lichtpunkt verschobenen Werkstücks wandert der Lichtpunkt senkrecht zur Werkstückoberfläche und damit auch das Bild des Lichtpunkts auf dem Fotodioden-Array. Diese letztere Wanderung wird elektronisch ausgewertet und gibt ein Mass für die Dickenänderung oder Verwerfung. Auch bei dieser zweiten Art der bekannten Vorrichtungen werden vorzugsweise zwei Messköpfe verwendet, um Dickenänderungen von einer Verwerfung bei konstanter Werkstückdicke zu unterscheiden, und es gibt Vorrichtungen mit mehreren quer zur Verschieberichtung des Werkstücks angeordneten Messkopfpaaaren.

Die erste Art dieser Vorrichtungen, bei denen die Fühlerrollen auf dem Werkstück ablaufen, ist nicht für alle Werkstoffe geeignet, ist weniger genau als die zweite Art und ist insbesondere gegen Schwingungen des Werkstücks empfindlich bzw. benötigt zusätzliche Einrichtungen zum Kompensieren solcher Schwingungen. Bei den Vorrichtungen der zweiten Art wird das Bild des Lichtpunkts auf dem Fotodioden-Array von der Struktur und Farbe der reflektierenden Oberfläche beeinflusst, was die Konstanz und Genauigkeit der Bestimmung beeinträchtigt. Nachteilig ist bei beiden Arten, dass sie keine Absolutmessung ermöglichen, sondern entweder nur die Abweichung von einem Mittelwert anzeigen oder nach der Einstellung des Nullpunkts auf einen vorgegebenen Sollwert den Istwert als die Summe aus diesem Sollwert und den Abweichungen bestimmen.

Der vorliegenden Erfindung lag darum die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zu schaffen, mit der die Dicke eines Werk-

stücker kontinuierlich und mit einer bisher nicht erreichbaren Genauigkeit, dazu berührungslos und ohne schwieriges und zeitaufwendiges Einstellen des Nullpunkts, direkt gemessen werden kann.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe mit einer Vorrichtung 5 der eingangs beschriebenen Art gelöst, die dadurch gekennzeichnet ist, dass jeder Messkopf senkrecht zur Ebene des Werkstücks verfahrbar ist und ein dafür vorgesehenes Fahrwerk aufweist, sowie eine erste optische Einrichtung, die das Bild eines ersten optischen Rasters auf eine ausserhalb des Messkopfs liegende Fläche projiziert, und eine zweite optische Einrichtung, die das Bild des ersten optischen Rasters auf der Fläche auf einem zweiten gleichartigen optischen Raster abbildet, sowie ein im Lichtweg hinter dem zweiten optischen Raster angeordnetes, opto-elektronisches Bauelement, das ein dem durch das zweite optische Raster hindurchtretenden Licht entsprechendes Ausgangssignal erzeugt, und dadurch, dass die elektronische Schaltung mit dem Fahrwerk, den beiden optischen Einrichtungen und dem opto-elektronischen Bauelement jedes Messkopfs je einen Regelkreis bildet, der das Verfahren jedes Messkopfs derart steuert, dass das Ausgangssignal des opto-elektronischen Bauelements einen Minimal- oder Maximalwert erreicht oder um diesen pendelt und aus der Summe der Fahrwege der beiden Messköpfe die Dicke des Werkstücks berechnet.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung ermöglicht erstmalig eine berührungslose Dickenmessung, bei der die Messköpfe ab der Dicke Null auseinandergefahren werden und auch grossen Dickenänderungen folgen können. Das Verfahren der Messköpfe ermöglicht auch beim Messen der Dicke aufeinanderfolgend verschiebbarer und voneinander beabstandeter Platten, z.B. von Spanplatten, ab einer Etagenpresse, zwischen den aufeinanderfolgenden Platten den Nullpunkt zu verifizieren. Durch das relativ grossflächige Bild des ersten Rasters auf der Werkstückoberfläche können durch die Oberflächenstruktur bewirkte Fehler der Dickenmessung vermieden werden. Die Verwendung von zwei Messköpfen ermöglicht auch, die Dicke bzw. Dickenänderung solcher Werkstücke zu messen, die während des Verschiebens durch die Vorrichtung schwingen.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit Hilfe der Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Darstellung eines Messkopfs,

Fig. 2 eine grafische Darstellung der Intensität des durch das zweite optische Raster hindurchtretenden Lichts in Abhängigkeit von der Entfernung der Gegenstandsebene der zweiten optischen Einrichtung von der Oberfläche mit dem Bild des ersten optischen Rasters und

Fig. 3 das Blockschema einer elektronischen Schaltung zum Steuern des Fahrwerks für den Messkopf und zum Auswerten des Fahrwegs.

Die Fig. 1 zeigt schematisch einen Messkopf 10, der über einem Messtisch 11, über den das zu messende Werkstück 12 verschoben wird, angeordnet ist. Der Messkopf enthält eine erste optische Einrichtung mit einer Lichtquelle 13, einem Kondensator 14 zum gleichmässigen Beleuchten eines ersten optischen Rasters 16 sowie einem Projektionsobjektiv 17. Der Messkopf enthält weiter eine zweite optische Einrichtung mit einem Fotoobjektiv 18, einem zweiten optischen Raster 19, einer Sammellinse 21 und einem opto-elektronischen Wandler 22. Die beiden optischen Raster können einfacherweise als Kreuzgitter ausgebildet sein, bei dem die Breite der Stege und der freie Abstand zwischen benachbarten Stegen gleich sind. Den beiden optischen Einrichtungen ist ein halbdurchlässiger Spiegel 23 zugeordnet, und die Brennweiten der einzelnen Linsen bzw. Linsensysteme, die Abmessungen und Form der beiden optischen Raster sowie die Abstände der Bauelemente voneinander sind derart gewählt, dass die Projektionsebene des ersten und die Gegenstandsebene des zweiten optischen Gitters ineinander lie-

gen. Das hat zur Folge, dass beim scharfen Abbilden des projizierten Bilds 24 des ersten optischen Rasters 16 auf dem zweiten optischen Raster 19 praktisch kein Licht durch dieses zweite optische Raster hindurchtritt.

Der Messkopf ist in vertikaler Richtung verfahrbar an einem Träger 26 befestigt. Zum Fahrwerk gehören ein Schrittmotor 27 mit einem Getriebe 28, das eine (nicht gezeigte) Schraubenmutter antreibt, die mit dem mindestens teilweise als Gewindespindel ausgebildeten Träger zusammenwirkt. Die beschriebenen 10 Teile des Messkopfs sind in einem Gehäuse 29 möglichst staubdicht eingeschlossen, wozu im Bereich des Trägers Lederdichtungen 31, 32 und für die Projektion und Abbildung des ersten optischen Rasters eine transparente, planparallele Platte 33 vorgesehen ist. Die Mitte der Aussenfläche dieser Platte ist verspiegelt (34).

Der Messtisch 11 weist in der Verlängerung der optischen Achse, die der ersten und der zweiten optischen Einrichtung gemeinsam ist, eine Öffnung 36 auf, durch die ein Bild des ersten Rasters eines (nicht gezeigten) unter dem Messtisch angeordneten Messkopfs auf der unteren Oberfläche des Werkstücks erzeugt werden kann.

Die Fig. 2 zeigt in einer grafischen Darstellung die Intensität E des durch das zweite optische Raster 19 hindurchtretenden Lichts bzw. die Beleuchtungsstärke auf dem opto-elektronischen Wandler 22, in Abhängigkeit von der Entfernung δ des Bilds 24 des ersten optischen Rasters 16 von der Projektionsebene der ersten bzw. der Gegenstandsebene der zweiten optischen Einrichtung. Wie jeder Fachmann sofort erkennt, ist bei der oben beschriebenen Anordnung der beiden optischen Einrichtungen die Beleuchtungsstärke E auf dem opto-elektronischen Wandler minimal, wenn das erste optische Raster 16 mit optimaler Schärfe auf eine Fläche projiziert und das dabei entstehende Bild 24 wieder mit optimaler Schärfe auf dem zweiten Raster 19 abgebildet wird, so dass das zwischen den Stegen des ersten Rasters hindurchtretende Licht auf die Stege des zweiten Rasters fällt. Diese optimale, scharfe Projektion und Abbildung werden erreicht, wenn der optische Abstand des Bilds 24 vom Projektionsobjektiv 17 gleich der Bildweite dieses Objektivs ist und wenn zugleich der optische Abstand des Bilds 24 vom Fotoobjektiv 18 gleich der Gegenstandsweite dieses letzten Objektivs ist. Wenn der Abstand des Bilds 24 vom Projektionsobjektiv 17 kleiner oder grösser als dessen Bildweite ist, dann entsteht ein unscharfes Bild, dessen Helligkeitskontraste mit zunehmender Entfernung vom optimalen Abstand abnehmen. Bei der beschriebenen Anordnung bewirkt die Änderung des Bildabstands vom Projektionsobjektiv zugleich eine Änderung des Abstands zwischen dem Bild und dem Fotoobjektiv, was weiter zur Folge hat, dass das unscharfe Bild des ersten Rasters noch unschärfer auf dem zweiten Raster abgebildet und der Kontrast dort noch weiter verringert wird. Dann wird das zwischen den Stegen des ersten Rasters hindurchtretende Licht nicht mehr von den Stegen des zweiten Rasters aufgefangen, sondern fällt zwischen diesen hindurch auf den fotoelektrischen Wandler 22. Wegen der multiplikativen Wirkung der 55 zweifachen Unschärfe verlaufen die beiden Äste der Kurve 37 unterhalb und oberhalb des Minimums bei D etwa parabelförmig.

Die Fig. 3 zeigt das vereinfachte Blockschema einer elektronischen Schaltung zum Steuern der Fahrwerke der beiden Messköpfe und zum Berechnen der Werkstückdicke aus dem Fahrweg. Die Schaltung enthält zwei gleichartig aufgebaute Schaltkreise 41, 42, von denen jeder einem der Messköpfe zugeordnet ist, und einen Messkreis 43, der Steuersignale für die beiden Schaltkreise erzeugt und deren Ausgangssignale verarbeitet. Der einfachen Übersicht wegen sind nur die Baugruppen des einen der beiden Schaltkreise sowie des Messkreises gezeigt.

Jeder der beiden gleichartig aufgebauten Schaltkreise enthält einen Eingangsverstärker 44, der mit dem Ausgang des zu-

geordneten fotoelektrischen Wandlers 22 verbunden ist. Vom Eingangverstärker führt eine Leitung zu einer Sample-and-Hold-Schaltung 46, deren Ausgangssignal positiv ist, wenn das analoge Eingangssignal grösser wird, und negativ ist, wenn das Eingangssignal kleiner wird. Der Ausgang dieser Schaltung ist mit einem ersten Eingang eines Signalgenerators 47 verbunden, dessen Ausgangssignale als Antriebsimpulse für den Schrittmotor 27 verwendet werden, der den Messkopf längs des Trägers 26 verschiebt. Der Messkreis 43 enthält einen Oszillator 48, dessen Ausgang an einen zweiten Eingang des Signalgenerators 47 in jedem der beiden Schaltkreise 41, 42 geführt ist. Weiter sind im Messkreis zwei Zähler 49, 51 vorgesehen, deren Eingänge mit dem Ausgang der zugeordneten Signalgeneratoren in den Schaltkreisen verbunden sind. Der Ausgang jedes der beiden Zähler ist an einen Eingang eines Addierwerks 52 geführt, dessen Ausgang mit einer Anzeigeeinrichtung 53 verbunden ist. Der Messkreis enthält auch eine Steuerschaltung 54, mit der der Signalgenerator 47 direkt, d.h. mit einem eingespeicherten Programm oder mit manuell eingegebenen Signalen, beeinflusst werden kann.

Beim Betrieb der beschriebenen Vorrichtung wird davon ausgegangen, dass die Bild- und die Gegenstandsweite der ersten bzw. zweiten optischen Einrichtung bekannt sind, dass die Bild- und die Gegenstandsebene ineinanderliegen und der Abstand dieser gemeinsamen Ebene von dem Spiegel 34 auf der Abdeckplatte 33 bekannt ist. Weiter sind die Steigung der Gewindespindel am Träger 26, die Untersetzung des Getriebes 28 und der Drehwinkel für jeden Schritt des Schrittmotors 27 und darum die jedem Schritt entsprechende Verschiebung des Messkopfs längs des Trägers bekannt.

Weil die mechanische Aufhängung des Messkopfs relativ zum Messtisch durch äussere Einflüsse und beispielsweise Vibrationen oder mechanische Dilatation Änderungen erleiden können, die grösser sind als die angestrebte Messgenauigkeit und auch die Einstellung der elektronischen Komponenten nicht absolut stabil ist, wird vorzugsweise vor jeder Inbetriebnahme der Vorrichtung die Nulleinstellung kontrolliert. Dazu wird der Signalgenerator 47 jedes Schaltkreises durch Befehle vom Steuerschalter 54 zum Erzeugen von Antriebsimpulsen für den zugeordneten Schrittmotor 27 erregt, wobei die Impulse eine Polarität aufweisen, derzufolge die Drehung des Schrittmotors den Messkopf in Richtung auf den Messtisch verschiebt. Die beiden Messköpfe fahren dann gegeneinander, bis der Spiegel 34 auf der Abdeckplatte 33 des einen Messkopfs das Licht der ersten optischen Einrichtung des anderen Messkopfs in die zweite optische Einrichtung dieses anderen Messkopfs reflektiert. Mit zunehmender gegenseitiger Näherung der beiden Messköpfe beginnt sich auf dem Spiegel der Abdeckplatte jedes einen Messkopfs das Bild des Rasters in der ersten optischen Einrichtung jedes anderen Messkopfs abzubilden, wobei die Schärfe des Bilds und damit der Verlauf der von der Spiegelfläche bewirkten Beleuchtungsstärke auf dem fotoelektronischen Wandler des anderen Messkopfs der Kurve 37 in Fig. 2 entspricht. Das Ausgangssignal des opto-elektronischen Wandlers ist (mindestens im Bereich des Minimums der Kurve 37) der Beleuchtungsstärke E proportional und wird nach Verstärkung im Verstärker 44 in der Sample-and-Hold-Schaltung 46 auf die Richtung seiner Änderung getastet. Am Ausgang dieser Sample-and-Hold-Schaltung erscheint dann ein digitales Signal, dessen Polarität oder Eins- oder Null-Signal anzeigt, ob das Ausgangssignal des fotoelektronischen Wandlers bzw. dessen Beleuchtungsstärke zu- oder abnimmt. Das digitale Signal bestimmt die Polarität der vom Signalgenerator erzeugten Antriebsimpulse und damit die Drehrichtung des Schrittmotors.

Bei der beschriebenen Anordnung fahren die beiden Messköpfe aufeinander zu, bis der Spiegel jedes Messkopfs in der Bildebene des anderen Messkopfs liegt. Der Signalgenerator 47 ist derart programmiert, dass er die Messköpfe um mindestens

einen Schritt ihrer Schrittmotoren in der ursprünglichen Fahr- richtung weiter verfährt (z.B. in Fig. 2 über den Abstand D hinaus zum Abstand D'), was gemäss den obigen Ausführungen die Polarisation der Antriebsimpulse umkehrt und eine Verschiebung des Messkopfs wieder um mindestens einen Schaltschritt in entgegengesetzter Richtung über den optimalen Abstand hinaus bewirkt (z.B. in Fig. 2 zum Abstand D'). Auf diese Weise pendelt der Messkopf mit der Frequenz der Antriebsimpulse um den optimalen Messabstand, wobei die beim Pendeln durchfahrene Strecke dem Weg entspricht, um den der Messkopf von zwei Schaltschritten des Schrittmotors verfahren wird. Zugleich werden die beiden Zähler 49, 51 auf einen Wert eingestellt, der der Anzahl Motorschritte entspricht, die zum Durchfahren der Strecke zwischen dem Spiegel auf der Abdeckplatte und der Bildebene benötigt werden.

Nach dieser Kontrolle der Nullstellung der Vorrichtung werden die beiden Messköpfe beim Einschleiben eines Werkstücks wieder auseinander gefahren, bis das Bild des Rasters der ersten optischen Einrichtung jedes Messkopfs auf der zugeordneten Oberfläche des Werkstücks erscheint und, wie bereits beschrieben, das Raster der zweiten optischen Einrichtung bzw. den dahinter angeordneten opto-elektronischen Wandler beleuchtet. Sobald der Messkopf in eine Position gefahren ist, in der das Bild 24 optimal auf dem zweiten Raster 19 abgebildet ist, wird das Verfahren des Messkopfs in einer Richtung weg vom Werkstück unterbrochen, und es folgt das beschriebene Pendeln um den optimalen Abstand. Die das Verfahren des Messkopfs bewirkenden Antriebsimpulse werden in den zugeordneten Zähler eingezählt, dessen voreingestellter Wert Null zurückgezählt ist, wenn die Bildebenen der beiden Messköpfe ineinander liegen. Die Inhalte der beiden Zähler 49, 51 werden in der Summierschaltung 52 summiert und die Gesamtzahl der Antriebsimpulse in Längeneinheiten umgerechnet und mit der Anzeigeeinrichtung 53 angezeigt.

Bei einer praktisch erprobten Ausführungsform der Vorrichtung wurden die Schrittmotoren in den beiden Messköpfen mit einer Frequenz von 10 kHz erregt, und die Untersetzung des Getriebes sowie die Steigung der Gewindespindel waren derart gewählt, dass jeder Messkopf bei jedem Schritt des Schrittmotors um 0,01 mm verschoben wurde. Damit der vom opto-elektronischen Wandler, dem Schaltkreis mit dem Schrittmotor und den beiden optischen Einrichtungen jedes Messkopfs gebildete Regelkreis auch bei einer sprunghaften Änderung der Dicke, beispielsweise einem Riss im Werkstück, den Istwert nicht verliert, wurde die vorstehend beschriebene, sehr vereinfachte Schaltung etwas abgeändert. Bei dieser abgeänderten Schaltung wurde die Polarisierung der vom Signalgenerator erzeugten Antriebsimpulse für den Schrittmotor nicht gleichzeitig mit einer Änderung des Ausgangssignals der Sample-and-Hold-Schaltung geändert, sondern mit einer Verzögerung von 100 Impulsen. Auf diese Weise wurde die Pendelung des Messkopfs um den Istwert auf ± 1 mm vergrössert und damit das Erfassen sprunghafter Istwertänderungen ermöglicht. Die Bestimmung des Istwerts erfolgte jeweils bei der Änderung des Ausgangssignals der Sample-and-Hold-Schaltung, d.h. bei einem Werkstück mit praktisch konstanter Dicke, mit zeitlichen Abständen von 100 Impulsen oder 0,02 sec. Die Messgenauigkeit betrug $\pm 0,01$ mm.

Es versteht sich, dass die beschriebene Vorrichtung auf vielerlei Weisen abgeändert und an spezielle Betriebsbedingungen angepasst werden kann. Beispielsweise kann die räumliche Anordnung der beiden optischen Einrichtungen im Messkopf ohne Nachteil gegenüber der in Fig. 1 gezeigten Anordnung umgekehrt werden. Anstelle der als optische Raster beschriebenen Kreuzgitter können beliebige andere Raster verwendet werden. Weiter kann das Raster in der zweiten optischen Einrichtung derart plziert werden, dass beim scharfen Abbilden des Bilds des Rasters der ersten optischen Einrichtung auf dem Raster

der zweiten optischen Einrichtung der opto-elektronische Wandler nicht vollständig abgedunkelt, sondern maximal beleuchtet wird. Dann verläuft die Kurve der Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Werkstückdicke spiegelbildlich zur Kurve 37 in Fig. 2, und die Linie D schneidet diese Kurve nicht im Minimum, sondern im Maximum.

Es versteht sich weiter, dass auch die Einrichtung zum Verfahren des Messkopfs anders als beschrieben ausgebildet werden kann. Beispielsweise ist es möglich, anstelle einer Mutter und einer Gewindespindel ein Zahnrad und eine Zahnstange oder noch einfacher einen Keilriemen zu verwenden, der am Träger befestigt ist und mit dem ein Pulley des Getriebes in Eingriff steht.

Die nur schematisch gezeigten und beschriebenen Schaltkreise sowie der Steuerkreis können mit handelsüblichen Bauelementen realisiert werden. Vorzugsweise ist das Addierwerk so ausgebildet, dass es nicht nur die Summe der Wege der beiden Messköpfe und daraus die Dicke des Werkstücks berechnet, sondern auch feststellt, ob nur ein Messkopf oder beide Messköpfe in der gleichen Richtung oder gegeneinander verfahren werden. Auf diese Weise können Dickenänderungen von Verwerfungen bei konstanter Dicke und die Richtung der Verwer-

fung unterschieden werden. Die Auswahl der für vorgegebene Betriebsbedingungen am besten geeigneten Bauelemente liegt im Bereich fachmännischen Könnens, ebenso wie die Anpassung der Schaltkreise an solche Bedingungen, weshalb auf eine detaillierte Beschreibung hier ausdrücklich verzichtet wird.

Schliesslich sei noch vermerkt, dass beim Messen der Dicke von Werkstücken, die voneinander beabstandet zwischen den Messköpfen verschoben werden, dieser Abstand genutzt wird, um die Messköpfe zusammenzufahren und die Nullstellung zu kontrollieren. Um den dafür erforderlichen Weg zu verkürzen, kann für die Nulleinstellung anstelle der beschriebenen teilweisen Verspiegelung der transparenten Abdeckplatte eine vorzugsweise verspiegelte und von der Abdeckplatte beabstandete, d.h. näher zum gegenüberliegenden Messkopf angeordnete Platte verwendet werden. Schliesslich sei noch erwähnt, dass die Vorrichtung auch in relativ staubiger Umgebung zuverlässig arbeitet, weil beim Verschmutzen der Abdeckplatte oder anderer optischer Bauelemente bzw. bei Werkstücken mit einer optisch ungünstigen Oberfläche die in Fig. 2 gezeigte Kurve für die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Werkstückdicke nur in Richtung der Ordinate verschoben wird, was durch entsprechende Einstellung der elektronischen Kreise ausgeglichen werden kann.

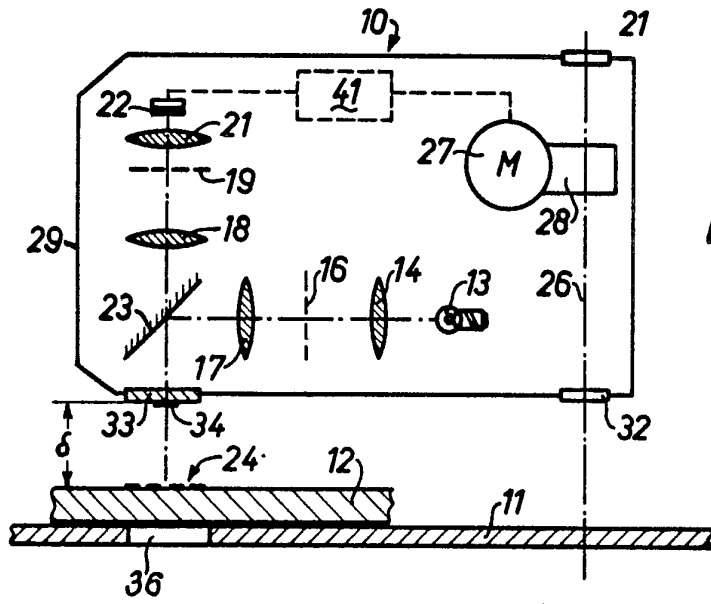


Fig. 1

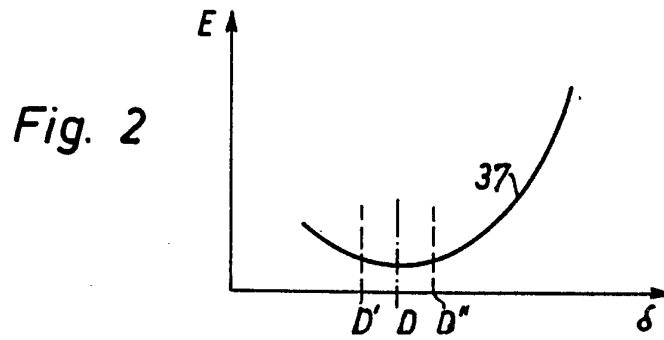


Fig. 2

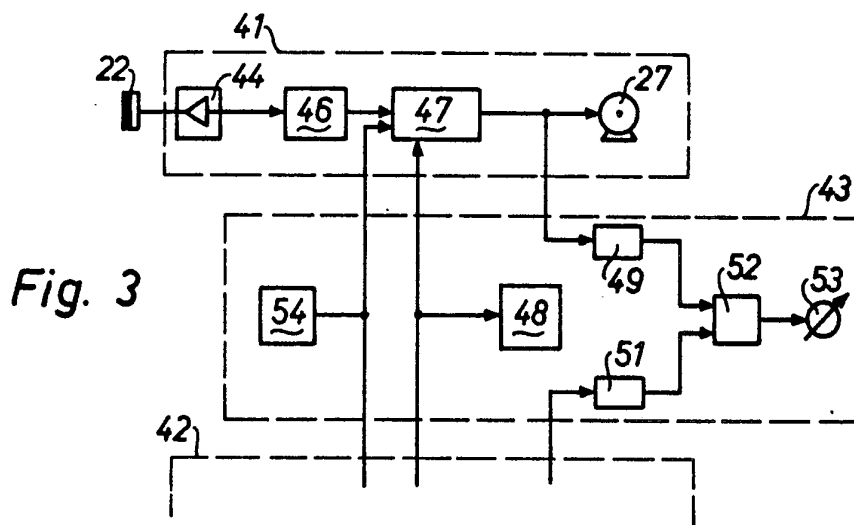


Fig. 3