DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTSCHRIFT

(12) Wirtschaftspatent

(19) DD (11) 278 675 A1

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) H 01 K 3/00

PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP H 01 K / 323 878 6 (22) 23.12.88 (44) 09.05.90

(71) Kombinat VEB NARVA „Rosa Luxembrug", Ehrenbergstraße 11–14, Berlin, 1017, DD
(72) Günther, Klaus, Prof. Dr.; Kloss, Hans-Georg, Dr.; Schade, Martin, Dipl.-Phys., DD

(54) Meßverfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Steigung von Wendeln für elektrische Lampen und zur Erfassung kurzperiodischer Steigungsfehler

(55) berührungsloses Meßverfahren, Wendel, Steigung, Steigungsfehler, Fraunhofersche Beugung, optoelektronische Bauelemente, Sensorzeile, Abtastvorrichtung, elektronische Auswertung, Prozeßsteuerung

(57) Die Erfindung betrifft ein Meßverfahren und eine Vorrichtung zur berührungslosen und zerstörungsfreien Bestimmung der Steigung an ruhenden oder laufenden Wendeln für elektrische Lampen sowie zur quantitativen Erfassung kurzperiodischer Steigungsfehler. Die Erfindung nutzt zur Messung die Fraunhofersche Beugung bei Beleuchtung des Meßobjektes mit monochromatischem Licht. Dazu wird die örtliche Intensitätsverteilung des Beugungsmusters durch ein optoelektronisches Bauelement oder eine Abtastvorrichtung erfaßt und elektronisch hinsichtlich der Lage der Beugungsmaxima und des Auftretens eventueller Zwischenmaxima mit hoher Geschwindigkeit ausgewertet. Das Verfahren kann sowohl für statische Einzelmessungen als auch zur kontinuierlichen Kontrolle und Steuerung technologischer Prozesse eingesetzt werden. Fig. 1

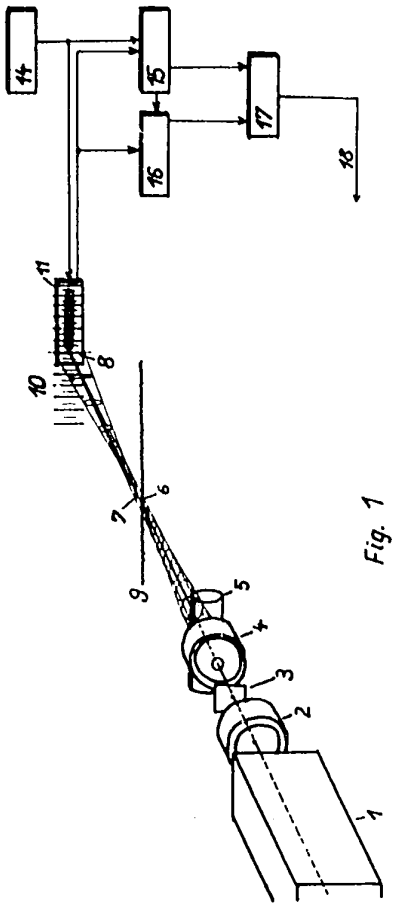


Fig. 1

ISSN 0433-6461

7 Seiten

Patentansprüche:

1. Meßverfahren zur Bestimmung der Steigung von Wendeln für elektrische Lampen und zur Erfassung kurzperiodischer Steigungsfehler mit Hilfe der Fraunhoferschen Beugung bei Beleuchtung des Meßobjektes mit monochromatischem Licht, **gekennzeichnet dadurch,** daß
   - das von der Lichtquelle kommende Lichtbündel über eine Abbildungsoptik geführt wird, die die Größe des aus dem Meßobjekt ausgeblendeten Meßfeldes bestimmt, welches zwischen der Abbildungsoptik und einer Detektoranordnung oder zwischen den optischen Bauelementen der Abbildungsoptik angeordnet ist,
   - das Meßobjekt im Meßfeld ein optisches Beugungsmuster erzeugt, dessen örtlicher Intensitätsverlauf von einer Detektoranordnung aufgefangen wird,
   - mittels der Detektoranordnung eine Umwandlung des optischen Signals in ein elektrisches Signal erfolgt,
   - durch elektronische Auswertung die Lage der Hauptmaxima sowie die Lage der Zwischenmaxima und deren Relativintensität bestimmt werden,
   - daraus die Wendelsteigung und die kurzperiodischen Steigungsfehler ermittelt werden und
   - anschließend diese Informationen über eine digitale oder analoge Ausgabeeinheit für die Kontrolle und Steuerung schnell ablaufender technologischer Prozesse bei der Fertigung ausgegeben werden.
2. Meßverfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Lichtquelle eine punktförmige Lichtquelle oder eine paralleles Licht aussendende Lichtquelle ist.
3. Meßverfahren nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch,** daß das Lichtbündel mit Hilfe einer Abbildungsoptik auf die Detektoranordnung fokussiert wird.
4. Meßverfahren nach Punkt 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Fokussierung astigmatisch in der Weise vorgenommen wird, daß das Lichtbündel in der Schnittebene parallel zur Achse des Meßobjektes auf die Detektoranordnung, in der Schnittebene senkrecht dazu auf das Meßobjekt fokussiert wird.
5. Meßverfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch,** daß das optische Beugungsmuster zusätzlich auf einen Schirm oder eine Mattscheibe projiziert wird.
6. Meßverfahren nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch,** daß Zwischen- oder Endergebnisse der Auswertung digital oder analog angezeigt oder auf einem Datenträger registriert werden.
7. Vorrichtung zur Bestimmung der Steigung von Wendeln für elektrische Lampen und zur Erfassung kurzperiodischer Steigungsfehler, bestehend aus einer Beleuchtungsanordnung mit monochromatischer Lichtquelle und einer Detektoranordnung, vor der sich das Meßobjekt befindet, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Beleuchtungsanordnung eine Abbildungsoptik enthält, daß die Detektoranordnung optoelektronisch arbeitet und daß eine elektronische Auswerteeinheit, die eine Ausgabeeinheit für Prozeßsteuersignale enthält, angeschlossen ist.
8. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Lichtquelle ein Laser ist.
9. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Abbildungsoptik eine oder mehrere Linsen zur Erzeugung einer optischen Abbildung enthält.
10. Vorrichtung nach Punkt 7 und 9, **gekennzeichnet dadurch,** daß wenigstens eine der Linsen als zylindrische oder torische Linse ausgeführt oder mit einer solchen kombiniert ist, so daß in aufeinander senkrecht stehenden Schnittebenen zwei unterschiedliche Brennweiten realisiert werden.
11. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Abbildungsoptik eine Meßfeldblende zur Einstellung der Länge des Meßfeldes enthält.
12. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Detektoranordnung eine Sensorzeile oder eine Sensormatrix zur simultanen Erfassung des örtlichen Intensitätsverlaufs enthält.
13. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß die Detektoranordnung eine Vorrichtung zur sequentiellen Abtastung des örtlichen Intensitätsverlaufs und einen Fotoempfänger enthält.
14. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß die elektronische Auswerteeinheit einen Positionsermittler zur Bestimmung der Lage der Haupt- und Zwischenmaxima enthält.
15. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß die elektronische Auswerteeinheit einen Spitzenwertmesser mit Quotientenbildner zur Bestimmung relativer Intensitäten der Zwischenmaxima enthält.

16. Vorrichtung nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch,** daß zusätzlich im Abstand der Sensorzeile oder der Sensormatrix oder des Fotoempfängers hinter dem Meßobjekt ein Schirm oder eine Mattscheibe zur visuellen Kontrolle des Beugungsmusters angeordnet ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Meßverfahren und eine Vorrichtung zur berührungslosen und zerstörungsfreien Bestimmung der Steigung von Wendeln für elektrische Lampen sowie zur quantitativen Erfassung kurzperiodischer Steigungsfehler bei ruhrendem oder laufendem Meßgut.
Mit dem Verfahren lassen sich über einen weiten Meßbereich hohe Genauigkeiten bzw. Empfindlichkeiten erreichen, und es kann sowohl für statische Einzelmessungen als auch besonders vorteilhaft zur Kontrolle und Steuerung schnell ablaufender technologischer Prozesse bei der Fertigung eingesetzt werden.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bei einer allgemein bekannten elementaren Methode wird die Steigung von Wendeln durch Ausmessung unter dem Meßmikroskop oder in der Projektion bestimmt. Diese Methode ist jedoch nur für ruhende Wendeln anwendbar und erfordert eine sorgfältige Positionierung der Wendel in der Schärfenebene des abbildenden Objektivs.
Um auch an gleichförmig bewegten Wendeln, etwa unmittelbar nach Verlassen der Wickelmaschine, Messungen durchführen zu können, wird diese Methode durch eine stroboskopische Beleuchtung der Wendeln ergänzt. Wählt man die Blitzfolge so, daß sich die Wendel zwischen zwei Stroposkopblitzen stets um eine ganze Anzahl von Windungen verschiebt, so erhält man bei fehlerfreien Wendeln ein stehendes Bild, das in derselben Weise wie das einer ruhenden Wendel ausgemessen werden kann. Die dazu notwendige genaue Führung der laufenden Wendel und die synchrone Nachführung der Blitzfrequenz bereiten jedoch Schwierigkeiten. Die visuelle Art der Ausmessung macht die Methode für einen Einsatz in automatischen Kontroll- und Steuerungssystemen prinzipiell ungeeignet. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß Steigungsfehler im allgemeinen zu instationären Bildern führen, deren Ausmessung erschwert ist, und daß über das Auftreten derartiger Fehler nur qualitative Auskunft gegeben werden kann.
In einer weiteren bekannten technischen Lösung (DE-1 124719) wird von der Periodizität der Wendelstruktur Gebrauch gemacht, indem das von der Wendel erzeugte Beugungsmuster mit Hilfe einer optisch-mechanischen Anordnung aus Lichtquelle mit Kondensor, Kollimator und Beobachtungsfernrohr mit einem Okularschraubenmikrometer ausgemessen wird. Aus der Lage der Intensitätsmaxima des Beugungsmusters wird auf die Steigung der Wendel geschlossen. Probleme bereitet in dieser Anordnung die sehr hohe Intensität des Maximums nullter Ordnung, die durch eine spezielle Blende zwischen Wendel und Fernrohr unwirksam gemacht werden muß. Außerdem haftet auch dieser Lösung der Nachteil an, aufgrund des manuellen Aufwandes bei den Einstell- und Ablesevorgängen nicht automatisierungsfähig zu sein.
Den Mangel mechanisch bewegter Einstellelemente weist auch ein Verfahren zur Abtastung des Beugungsmusters mit Hilfe zweier an speziellen Hebelarmen befestigter Detektoren (DE-3 103494) auf, das zur Ermittlung der Streifenbreite von gitterähnlich in bekanntem Abstand angebrachten Strukturbestandteilen integrierte Schaltkreise aus dem Intensitätsverhältnis beider Detektorsignale vorgeschlagen wurde.
Räumliche Frequenzfilter sind in einem Verfahren (DE-3031816) zur Feststellung von Fehlstellen eines regelmäßigen Musters vorgeschlagen worden. Dieses rein optische Verfahren zeigt nach Wiederherstellung der Abbildung des Untersuchungsobjektes dessen fehlerhafte Stellen auf, gestattet aber keine quantitativen Messungen.
Eine andere technische Lösung (DE-2421851) zur Bestimmung der Steigung von gedrehten Fäden nutzt die Beugung kohäronter Strahlung aus. Dabei wird das Beugungsmuster von einer Empfangsfläche, z.B. einer Mattscheibe, aufgefangen, hinter der sich eine Abtastvorrichtung befindet. Ein Mangel dieses Verfahrens besteht in der ausschließlichen Bestimmung eines Mittelwertes der Steigung über die Länge des Meßfeldes. Damit sind kurzperiodische Steigungsfehler – das sind Steigungsfehler, welche die Form periodischer Änderungen der Steigung innerhalb des Meßfeldes haben – nicht nachweisbar. Außerdem liefert dieses Verfahren aufgrund seines einfachen optischen Aufbaus eine Signalunschärfe, welche sich negativ auf die Auflösung und damit auf die Genauigkeit auswirkt.
Prozeßsteuersignale werden nicht ausgegeben.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, ein schnell und von menschlicher Mithilfe unabhängig arbeitendes, für Prozeßkontrolle und -steuerung geeignetes Meßverfahren mit großem Meßbereich und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Meßverfahrens zu entwickeln, mit deren Hilfe die Steigung von ruhenden oder laufenden Wendeln für elektrische Lampen mit hoher Genauigkeit kontinuierlich gemessen und zusätzlich das Auftreten kurzperiodischer Steigungsfehler mit hoher Empfindlichkeit quantitativ erfaßt werden kann.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Meßverfahren und eine zur Durchführung dieses Meßverfahrens geeignete Vorrichtung anzugeben, mit denen es möglich ist, ein für die Erfassung und nachfolgende Auswertung besonders geeignetes, störlichtarmes und lichtstarkes Beugungsmuster von Wendeln für elektrische Lampen zu erzeugen, dieses optoelektronisch zu

erfassen und so auszuwerten, daß Informationen über die Steigung der Wendeln und über das Auftreten kurzperiodischer Steigungsfehler innerhalb von Meßfeldern unterschiedlicher Größe mit hoher Genauigkeit bzw. Empfindlichkeit gewonnen werden, die sowohl direkt angezeigt als auch registriert und für eine Prozeßsteuerung zur Verfügung gestellt werden.
Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Meßverfahren gelöst, bei dem

- das von der Lichtquelle kommende Lichtbündel über eine Abbildungsoptik geführt wird, die die Größe des aus dem Meßobjekt ausgeblendeten Meßfeldes bestimmt, welches zwischen der Abbildungsoptik und einer Detektoranordnung oder zwischen den optischen Bauelementen der Abbildungsoptik angeordnet ist,
- das Meßobjekt im Meßfeld ein optisches Beugungsmuster erzeugt, dessen örtlicher Intensitätsverlauf von einer Detektoranordnung aufgefangen wird,
- mittels der Detektoranordnung eine Umwandlung des optischen Signals in ein elektrisches Signal erfolgt,
- durch elektronische Auswertung die Lage de Hauptmaxima sowie die Lage der Zwischenmaxima und deren Relativintensität bestimmt werden,
- daraus die Wendelsteigung und die kurzperiodischen Steigungsfehler ermittelt werden und
- anschließend diese Informationen über eine digitale oder analoge Ausgabeeinheit für die Kontrolle und Steuerung schnell ablaufender technologischer Prozesse bei der Fertigung ausgegeben werden.

Dabei wird als Lichtquelle eine punktförmige Lichtquelle verwendet oder eine Lichtquelle, die paralleles Licht aussendet. Das Lichtbündel wird mit Hilfe einer Abbildungsoptik auf die Detektoranordnung fokussiert. Dabei wird vorteilhafterweise die Fokussierung astigmatisch in der Weise vorgenommen, daß das Lichtbündel in der Schnittebene parallel zur Achse des Meßobjektes auf die Detektoranordnung, in der Schnittebene senkrecht dazu auf das Meßobjekt fokussiert wird. Das optische Beugungsmuster kann zusätzlich auf einen Schirm oder eine Mattscheibe projiziert werden. Zwischen- oder Endergebnisse der Auswertung werden digital oder analog angezeigt oder auf einem Datenträger registriert.
Im Detail wird dazu ein ausgewählter Bereich des Meßobjektes, der eine größere Anzahl von Windungen umfaßt (das Meßfeld), mit monochromatischem Licht so beleuchtet, daß das beleuchtende Lichtbündel auf die Detektoranordnung fokussiert wird. Das geschieht durch eine Abbildungsoptik, die eine oder mehrere Linsen und ggf. eine Meßfeldblende enthält. Durch Veränderung der Brennweite der Abbildungsoptik oder durch Anwendung der Meßfeldblende läßt sich die Länge des Meßfeldes in weiten Grenzen den Anforderungen der Meßaufgabe anpassen.
Von besonderem Vorteil ist es, wenn möglichst wenig Licht ungebeugt seitlich an dem Meßobjekt vorbeigeht. Das wird erreicht, indem man das Licht einer punktförmigen Lichtquelle oder ein paralleles Lichtbündel durch eine astigmatische Abbildung in der Schnittebene senkrecht zur Wendelachse zunächst in einer Bildlinie von der Länge des gewünschten Meßfeldes sammelt und diese auf das Meßobjekt justiert. Durch diese Konzentration des Lichtes auf das Meßobjekt wird die sonst außerordentlich hohe und die Erfassung des Beugungsmusters durch Überstrahlung störende Intensität des am Ort des nullten Beugungsmaximums gesammelten Lichtes wesentlich verringert und die Intensität der übrigen Teile des Beugungsmusters erheblich vergrößert. Infolgedessen werden die Anforderungen an den Dynamikbereich der Detektoranordnung stark gemildert und ein lichtstarkes und kontrastreiches Beugungsmuster erhalten.
Dabei ist es z.B. für Messungen an laufenden Wendeln zweckmäßig, auch eine gewisse Mindestbreite des Meßfeldes senkrecht zur Wendelachse nicht zu unterschreiten, innerhalb deren seitliche Auslenkungen der Wendel zulässig sind. Das läßt sich realisieren, indem anstelle der punktförmigen eine spaltförmige Lichtquelle verwendet wird, indem anstelle des parallelen Lichtbündels ein in der Schnittebene senkrecht zur Wendelachse leicht divergierendes Lichtbündel zum Einsatz kommt oder auch durch eine geringfügige Defokussierung der Bildlinie gegenüber der Ebene des Meßfeldes.
In der Schnittebene parallel zur Achse des Meßobjektes wird das Licht dann auf eine hinter dem Meßobjekt angebrachte Detektoranordnung fokussiert. Dort entsteht ein Bild des Fraunhoferschen Beugungsmusters. Die Größe des Beugungsmusters wird durch den Abstand zwischen Meßobjekt und Detektor bestimmt und läßt sich dadurch leicht dem geforderten Meßbereich anpassen. Dabei ist es zur Verbesserung der Meßgenauigkeit zweckmäßig, das Lichtbündel in dieser Schnittebene zunächst bis zum Meßobjekt parallel zu führen und die Fokussierung erst danach mit Hilfe einer zusätzlichen Sammellinse vorzunehmen.
Das Fraunhofersche Beugungsmuster wird in seiner örtlichen Intensitätsverteilung von der Detektoranordnung entweder simultan erfaßt oder sequentiell abgetastet und in ein elektrisches Signal umgewandelt.
Es ist von Vorteil, die Intensität des Detektorsignals zusätzlich zur Helligkeitssteuerung der Lichtquelle in der Beleuchtungsanordnung oder zur Empfindlichkeitssteuerung des Detektors in der Weise zu verwenden, daß die Höhe der elektrischen Signale in den Haupt- und Zwischenmaxima des Beugungsmusters auch bei seitlicher Verschiebung des Meßobjektes innerhalb der Breite des Meßfeldes konstant gehalten wird.
Das elektrische Signal wird nun einer elektronischen Auswertung unterzogen, indem zunächst aus der Lage der Hauptmaxima, d.h. ihrem Ablenkungswinkel gegenüber dem ungebeugten Licht, die Wendelsteigung ermittelt wird. Speziell der Winkelabstand des ersten Hauptmaximus ist bis auf einen von der Wellenlänge des Lichtes und von den Daten des optischen Aufbaus abhängigen konstanten Faktor gleich dem Kehrwert der Wendelsteigung.
Zusätzlich wurde gefunden, daß die vom Meßfeld erfaßten kurzperiodischen Steigungsfehler zum Auftreten von Zwischenmaxima im Beugungsmuster führen, aus deren Lage und Relativintensität im Vergleich zur Intensität des ersten Hauptmaximums auf Art und Stärke des Steigungsfehlers geschlossen werden kann. Diese Daten werden ermittelt, angezeigt, registriert und als Signale für eine Prozeßsteuerung zur Verfügung gestellt.
Außerdem kann das optische Beugungsmuster gleichzeitig auf einen Schirm oder eine Mattscheibe projiziert und dadurch zur visuellen Kontrolle der Führung des Meßobjektes im Meßfeld und zur Übersichtskontrolle bezüglich der Steigung und des Auftretens kurzperiodischer Steigungsfehler herangezogen werden.
Neben Einfachwendeln ohne Kerndraht lassen sich nach diesem Meßverfahren auch Einfachwendeln mit Kerndraht ausmessen. Sie ergeben ein zweidimensionales Beugungsmuster, das in einer Richtung die Information über die Wendelsteigung und senkrecht dazu die Information über den Kerndrahtdurchmesser enthält. Doppelwendeln können ebenfalls vermessen werden. Auch sie erzeugen ein zweidimensionales Beugungsmuster, das in einer Richtung die Information über die Steigung der Sekundärwendel und senkrecht dazu die Information über die Primärwendel enthält.
Das Meßverfahren läßt sich auch zur Bestimmung der Steigung von Außengewinden und zur Erfassung von deren kurzperiodischen Steigungsfehlern anwenden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet dadurch, daß die Beleuchtungsanordnung eine Abbildungsoptik enthält, daß die Detektoranordnung optoelektronisch arbeitet und daß eine elektronische Auswerteeinheit, die eine Ausgabeeinheit für Prozeßsteuersignale enthält, angeschlossen ist. Dabei wird vorteilhafterweise als Lichtquelle ein Laser verwendet. In der Abbildungsoptik sind eine oder mehrere Linsen, wobei wenigstens eine der Linsen als zylindrische oder torische Linsen ausgeführt oder mit einer solchen kombiniert ist, und eine Meßfeldblende angeordnet. In der Detektoranordnung wird eine Sensorzeile oder -matrix oder eine Vorrichtung zur sequentiellen Abtastung des örtlichen Intensitätsverlaufs und ein Fotoempfänger verwendet. Die Auswerteeinheit enthält einen Positionsermittler und einen Spitzenwertmesser mit Quotientenbildner. Zusätzlich kann im Abstand der Sensorzeile oder -matrix oder des Fotoempfängers hinter dem Meßobjekt ein Schirm oder eine Mattscheibe zur visuellen Kontrolle des Beugungsmusters angeordnet sein. Die Beleuchtungsanordnung erfüllt die Funktion, zunächst ein monochromatisches und paralleles bzw. von einem Punkt ausgehendes Lichtbündel zu erzeugen. Dazu wird vorzugsweise ein Laser verwendet. Dieser kann zusätzlich mit einer Vergrößerungs- und Filtervorrichtung, bestehend aus zwei ein nahezu konfokales System bildenden Sammellinsen und einer in der Brennebene der ersten Linse angeordneten Aperturblende, versehen sein.
Weiterhin enthält die Beleuchtungsanordnung eine Abbildungsoptik, deren Funktion auch teilweise oder vollständig von der zweiten Linse der Vergrößerungs- und Filtervorrichtung mit übernommen werden kann. Die Abbildungsoptik ist mit einer Meßfeldblende zur Einstellung der Länge des Meßfeldes versehen. Sie kann weiterhin mit einer zylindrischen oder torischen Linse ausgestattet sein, mit deren Hilfe dieses Lichtbündel dann in einer Schnittebene auf das Meßobjekt, in der dazu senkrechten Schnittebene auf die Detektoranordnung fokussiert wird. Zusätzlich kann noch eine weitere Sammellinse hinter dem Meßobjekt vorhanden sein, die es gestattet, das Lichtbündel in der Schnittebene parallel zur Achse des Meßobjektes zunächst bis zu diesem parallel zu führen und erst dann auf die Detektoranordnung zu fokussieren.
Das Meßobjekt befindet sich zwischen der Abbildungsoptik und der Detektoranordnung oder zwischen den optischen Bauelementen der Abbildungsoptik.
Die Detektoranordnung wandelt die örtliche Intensitätsverteilung des Beugungsmusters in ein elektrisches Signal um. Dazu enthält sie als Detektor entweder ein optoelektronisches Bauelement zur simultanen Erfassung des Intensitätsverlaufs, z.B. eine Sensorzeile, oder eine Vorrichtung zu dessen sequentieller Abtastung, z.B. einen Drehspiegel und einen Fotoempfänger als Detektor. Zur simultanen Erfassung beider Informationen eines zweidimensionalen Beugungsmusters kann auch eine Sensormatrix als Detektor verwendet werden. Zusätzlich kann die Detektoranordnung eine Blende zur Ausblendung des ungebeugten Lichtes enthalten oder so ausgeführt sein, daß sie die Funktion einer solchen Blende erfüllt.
Der Detektor ist elektrisch mit der Auswerteeinheit verbunden, die die Aufgabe hat, aus dem elektrischen Signal zunächst die Lage der Hauptmaxima im Beugungsmuster zu bestimmen, wobei in der einfachsten Ausführung bereits die Bestimmung der Lage des ersten und stärksten Hauptmaximums (Beugungsmaximum erster Ordnung) ausreicht. Dazu enthält sie einen Positionsermittler, der z.B. durch einen Schwellwertschalter in Kombination mit digitalen Zählern realisiert sein kann, welche starr mit dem Takt der Auslesung der Sensorzeile oder der Bewegung des Drehspiegels in der Detektoranordnung gekoppelt sind.
Zusätzlich wird die Höhe eines Hauptmaximums durch einen Spitzenwertmesser bestimmt. Weiterhin hat die elektronische Auswerteeinheit die Aufgabe, das Auftreten von Zwischenmaxima im Beugungsmuster und ihre Lage festzustellen und mit Hilfe eines Spitzenwertmessers mit Quotientenbildner deren Relativintensität, etwa im Vergleich zum Hauptmaximum erster Ordnung, zu bestimmen. Letzteres kann z.B. unter Verwendung von Sample-and-Hold- und Divisionsschaltungen realisiert werden. Aus den so ermittelten Daten werden die Wendelsteigung sowie die Art und Stärke kurzperiodischer Steigungsfehler ermittelt und einer analogen oder digitalen Anzeige und einer Registriervorrichtung zugeführt.
Schließlich werden die Ergebnisse über eine analoge oder digitale Ausgabeeinheit als Prozeßsteuersignale für die Kontrolle und Steuerung technologischer Prozesse bei der Fertigung ausgegeben.

Ausführungsbeispiel

Das erfindungsgemäße Meßverfahren zur Bestimmung der Steigung von Wendeln für elektrische Lampen und zur Erfassung kurzperiodischer Steigungsfehler und eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Meßverfahrens sollen anhand eines Ausführungsbeispiels und einer Zeichnung erläutert werden. Fig. 1 zeigt den optischen Aufbau und das Blockschema der elektronischen Auswerteeinheit. In Fig. 2 ist die Anordnung des Meßobjektes, im Beispiel eine laufende Wendel mit Kerndraht, im Meßfeld vergrößert herausgezeichnet. Fig. 3 deutet die örtliche Intensitätsverteilung des Beugungsmusters an.
Die Teile 1 bis 5 bilden die Beleuchtungsanordnung. Der Strahl eines He-Ne-Lasers 1 wird durch eine Vergrößerungs- und Filtervorrichtung, bestehend aus den Sammellinsen 2 und 4 und der im Brennpunkt der Linse 2 angeordneten Aperturblende 3, auf die zur Ausleuchtung des Meßfeldes notwendige Größe aufgeweitet. Die Linse 4 bildet gemeinsam mit der Zylinderlinse 5 die Abbildungsoptik, durch die eine astigmatische Abbildung der Aperturblende in die Bildlinien 7 und 8 parallel bzw. senkrecht zur Wendelachse realisiert wird. Die Linse 4 enthält weiterhin die Meßfeldblende in Gestalt einer eingebauten einstellbaren Irisblende, mit der die Bildfeldlänge auf das gewünschte Maß begrenzt werden kann.
In geringem Abstand von der Ebene, in der die Bildlinie 7 entsteht, befindet sich im Meßfeld 6 die auszumessende Wendel 9. Sie erzeugt in der Ebene der Bildlinie 8 das Fraunhofersche Beugungsmuster 10, dessen örtliche Intensitätsverteilung in Fig. 3 angedeutet ist.
Das Beugungsbild wird von einer Detektoranordnung in Form der CCD-Sensorzeile 11 aufgefangen, welche so angeordnet ist, daß das Beugungsmaximum erster Ordnung 12 und die bei kurzperiodischen Steigungsfehlern auftretenden Zwischenmaxima 13 über den gesamten Meßbereich von der Sensorzeile erfaßt werden, während das in der Bildlinie 8 gesammelte ungebeugte Licht einschließlich des Beugungsmaximums nullter Ordnung ausgeblendet wird.
Das aus der Sensorzeile mit Hilfe des Taktgenerators 14 ausgelesene elektrische Signal wird der aus den Teilen 15 und 16 bestehenden elektronischen Auswerteeinheit zugeführt. Der Positionsermittler 15 bestimmt die Lage des ersten und stärksten Hauptmaximums. Beim Auftreten von Zwischenmaxima ermittelt er auch deren Lage und steuert den Spitzenwertmesser mit dem Quotientenbildner 16 zur Bestimmung ihrer Relativintensitäten im Vergleich zum ersten Hauptmaximum.

Die Berechnung der Wendelsteigung und die Ermittlung der Art und Stärke der kurzperiodischen Steigungsfehler werden vom Positionsermittler und vom Quotientenbildner mit erledigt. So ist der Winkelabstand des ersten Hauptmaximums von der Bildlinie 8 bis auf einen Faktor gleich dem Kehrwert der Wendelsteigung. Das Auftreten von Zwischenmaxima z. B. genau in der Mitte zwischen den Hauptmaxima läßt auf einen Steigungsfehler mit einer Periode von 2 Windungen schließen. Erreichen dabei die Zwischenmaxima bezüglich ihrer Intensität z. B. die Höhe einer Hüllkurve durch die Hauptmaxima, so bedeutet das, daß der Steigungsfehler ein solches Maß erreicht hat, daß zwischen den eng benachbarten Windungspaaren kein Licht mehr hindurchtreten kann.

Die so ermittelten Informationen werden der mit einer Anzeige- und Registriervorrichtung kombinierten Ausgabeeinheit 17 zugeführt, dort zur Darstellung gebracht, auf Registrierstreifen oder andere Datenträger aufgezeichnet und über die Rückführung 18 als Prozeßsteuersignale für die Kontrolle und zur Steuerung technologischer Prozesse bei der Wendelherstellung zur Verfügung gestellt. Diese kann im einfachsten Falle durch automatisches Abschalten der Anlage bei erkannter Toleranzüberschreitung realisiert werden.

Mit diesem Ausführungsbeispiel lassen sich Steigungen an ruhenden oder laufenden Wendeln mit und ohne Kerndraht über einen Meßbereich von 1 bis 100 Windungen pro Millimeter mit hoher Genauigkeit sowie die innerhalb eines Meßfeldes im Bereich von etwa einem Millimeter bis zu einigen Zentimetern auftretenden periodischen Änderungen der Steigung (kurzperiodische Steigungsfehler) bis herab zu Steigungsdifferenzen von wenigen Prozent, bezogen auf die mittlere Steigung der Wendel bei Meßzeiten von weniger als 1 ms, kontinuierlich und berührungslos bestimmen.

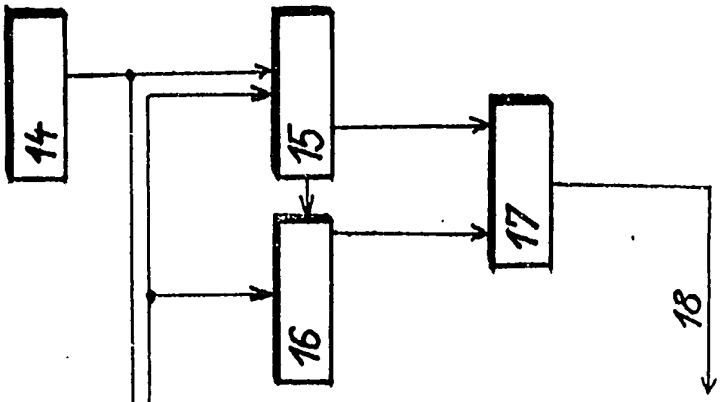
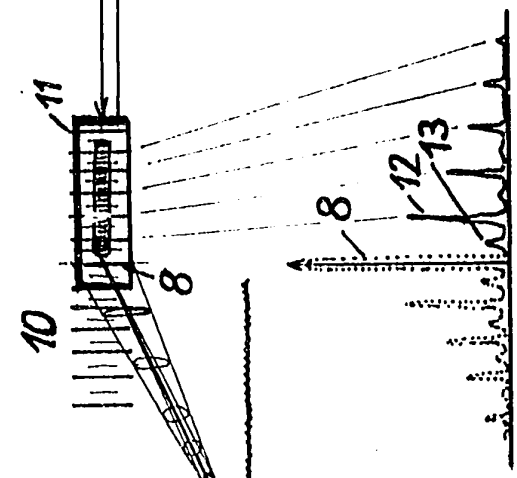


Fig. 3



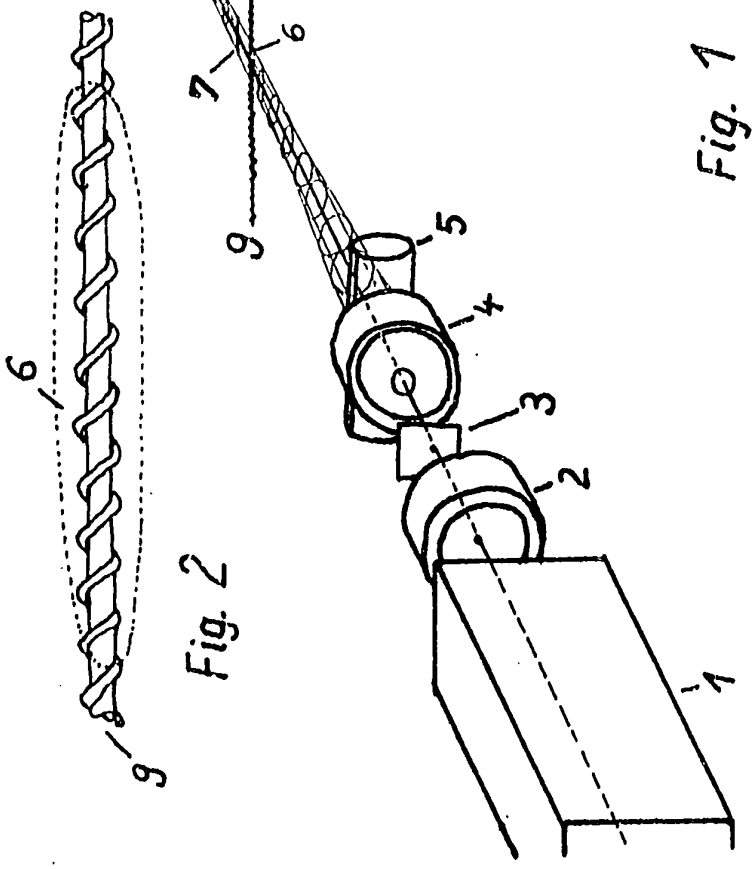


Fig. 1

Fig. 2