



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 281 675 A5

4(51) G 01 P 5/00

PATENTAMT der DDR

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	AP G 01 P / 320 246 1	(22)	29.09.88	(44)	15.08.90
(71)	Friedrich-Schiller-Universität Jena, August-Bebel-Straße 4, Jena, 6900, DD				
(72)	Walther, Heinz-Günter, Dr.; Welsch, Eberhard, Dr.; Eckardt, Peter, Dipl.-Phys., DD				
(73)	siehe (71)				
(54)	Verfahren zur Bestimmung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten von längs einer Oberfläche bewegten fluiden Medien				

(57) Verfahren zur Bestimmung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten von längs einer Oberfläche bewegten fluiden Medien. Durchflußmessungen an Flüssigkeiten und Gasen sind erfindungsgemäß möglich, ebenso Umströmungsmessungen von Körpern. Anwendung findet die photothermische Strahlablenkung. Dazu wird die Oberfläche zur Bildung von inhomogenen Veränderungen des Brechungsindex (thermische Linse) des über die Oberfläche strömenden fluiden Mediums lokal und periodisch erwärmt und in an sich bekannter Weise aus der im Vergleich zu der Strahlablenkung bei ruhendem Medium unterschiedlichen Ablenkung eines die thermische Linse durchlaufenden Prüfstrahles die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums bestimmt, Strömungsgeschwindigkeit, klein – Medium, fluid – Flüssigkeit – Gas – Strahlablenkung, photothermisch.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten von längs einer Oberfläche bewegten fluiden Medien unter Verwendung der photothermischen Strahlablenkung, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche zur Bildung von inhomogenen Veränderungen des Brechungsindex (thermische Linse) des über die Oberfläche strömenden fluiden Mediums lokal und periodisch erwärmt wird und daß in an sich bekannter Weise der im Vergleich zu der Strahlablenkung bei ruhendem Medium unterschiedlichen Ablenkung eines die thermische Linse durchlaufenden Prüfstrahles die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung der Oberfläche durch einen intensitätsmodulierten Laserstrahl vorgenommen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Erwärmung der Oberfläche durch eine in diese integrierte miniaturisierte elektrische Heizung vorgenommen wird.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur optischen Messung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten von Stoffen, die optisch homogen sind und längs einer Oberfläche bewegt werden. Die Erfindung ist geeignet, um Durchflußmessungen an Flüssigkeiten und Gasen vorzunehmen. Sie ermöglicht außerdem eine quantitative und qualitative Bewertung der Umströmung von Körpern durch homogene Flüssigkeiten und Gase. Die Kenntnis über diese Umströmung kann Rückschlüsse auf ablaufende technologische Prozesse oder zu erwartende Veränderungen der umströmten Körper ermöglichen. Damit ermöglicht die Erfindung Messungen zur Qualitätskontrolle und Prozeßüberwachung.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Optische Verfahren der Strömungsgeschwindigkeitsmessung arbeiten berührungslos, ohne Rückwirkung auf das Meßobjekt und schnell. Insbesondere Laser-Doppel-Verfahren werden häufig und universell benutzt (Appl. Opt. 9 [1970], 1026). Ihrer breiten Einsetzbarkeit steht ein beträchtlicher apparativer Aufwand zur Messung der Dopplerfrequenzverschiebung entgegen. Interferenzmethoden wie z. B. die Schlierentechnik (AIAA J. 6 [1968], 160) setzen das Vorhandensein meßbarer Dichtegradienten voraus, wie sie bei turbulenter Strömung, hohen Strömungsgeschwindigkeiten oder Temperaturgradienten im Fluidum auftreten. Eine weitere Klasse von bekannten Verfahren wertet das Korrelationsverhalten des an unterschiedlichen Orten des strömenden Stoffes gestreuten Lichtes aus (Ind. & Engineering Chem. Ind. 61 [1969], 8). Diese Verfahren, die besonders für große Strömungsgeschwindigkeiten geeignet sind, setzen das Vorhandensein von optischen Inhomogenitäten voraus. Ihre Auswertung erfordert einen beträchtlichen mathematischen Aufwand. Die bisher bekannten photothermischen Meßverfahren benutzen die durch einen Heizstrahl erzeugten absorptionsbedingte lokale Erwärmung im strömenden Stoff als Meßeffect, der durch die Auslenkung eines das Absorptionsgebiet kreuzenden Teststrahls nachgewiesen wird (Appl. Optics 23 [1984], 1586). Die so praktizierte photothermische Strahlablenkung funktioniert nur in merklich stark absorbierenden strömenden Stoffen. Für langsam strömende homogene und optisch transparente Stoffe sind die bekannten technischen Lösungen der Geschwindigkeitsmessung nur mit hohem meßtechnischen Aufwand einsetzbar und liefern dabei für kleine Strömungsgeschwindigkeiten nur mäßig genaue Resultate.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist ein Verfahren zur Bestimmung kleiner Strömungsgeschwindigkeiten.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Geschwindigkeit, mit der ein fluides Medium an einem Körper (Rohrinnenwand, Prüfkörper oder ähnliches) vorbeiströmt, zu bestimmen. Die Lösung dieser Aufgabe gelingt erfindungsgemäß durch Auswertung einer Kombination von photothermischer Deformations- und photothermischer Strahlablenkungsmessung. Dazu wird ein geeignet intensiver, zeitabhängig modulierter und geeignet fokussierter Lichtstrahl (Heizstrahl) mit einer solchen Wellenlänge, bei der die Eigenabsorption des strömenden Stoffes vernachlässigbar ist, auf den absorbierenden Körper gerichtet, dessen Oberfläche absorptionsbedingt und der zeitlichen Modulation des Heizstrahls folgend deformiert wird. Die absorptionsbedingten zeitabhängigen Oberflächentemperaturänderungen des Körpers führen gleichzeitig zu zeitverschobenen und ortsabhängigen Temperaturänderungen im strömenden Stoff. Der Reflex eines nicht vom strömenden Stoff absorbierten Prüfstrahls, der auf das vom Heizstrahl beleuchtete Gebiet des Körpers gerichtet wird, erfährt sowohl infolge der Oberflächendeformation aus auch infolge des temperaturinduzierten Brechzahlgradienten des strömenden Stoffes eine zeitabhängige Richtungs- und Strahlprofiländerung. Die Größe des Beitrages des Brechzahlgradienten in dem strömenden Stoff hängt von der Strömungsgeschwindigkeit ab. Mit wachsender Strömungsgeschwindigkeit verringert sich dieser Beitrag.

Der Zusammenhang zwischen dem aus der Richtungs- und Strahlprofiländerung des Probenstrahls abgeleiteten komplexwertigen Meßsignal sowie der Strömungsgeschwindigkeit ist experimentell bestimmbar und als Eichwert zu benutzen. Aus der Messung des komplexwertigen Meßsignals bei einer unbekannten Strömung kann damit deren Geschwindigkeit berechnet werden.

Die Erfindung besitzt gegenüber den bisher bekannten Verfahren der Messung der Strömungsgeschwindigkeit die Vorteile,

- daß sie einfach realisierbar und leicht auszuwerten ist;
- daß ihre größte Empfindlichkeit im Bereich kleiner Strömungsgeschwindigkeiten liegt,
- daß sie vollständig rückwärtungsfrei auf die Strömung arbeitet und
- daß der strömende Stoff bei den verwendeten Wellenlängen des Heiz- und Probestrahls absorptionsfrei sein kann.

Ausführungsbeispiel

Das Wesen der Erfindung soll an einem Beispiel erläutert werden, in dem die Umströmung erhitzter Körper, insbesondere optischer Bauelemente wie Linsen und Prismen, nachgewiesen werden soll. Optische Bauelemente werden beispielsweise bei der Vergütung ihrer Oberflächen in einer Bearbeitungsapparatur – etwa einem Rezipienten – prozeßbedingt auf Temperaturen gebracht, die einige hundert °C betragen. Die Ökonomie des technologischen Fertigungsablaufes erfordert es, die Bauelemente dem Rezipienten nach erfolgtem Arbeitsgang zu entnehmen und an der Atmosphäre auf die Umgebungstemperatur abkühlen zu lassen. In dieser Phase reicht geringste Zugluft aus, um besonders in Bauelementen großer Glasmassen innere mechanische Spannungen hervorzurufen, die am Ende einer aufwendigen Fertigungskette zur völligen Zerstörung des Bauelementes führen. Erfindungsgemäß wird das Auftreten solch schwacher Luftbewegungen 1 dadurch nachgewiesen, daß die Strahlung eines Ar^+ -Lasers 2 mit $\lambda = 514 \text{ nm}$ auf das optische Bauelement 3 mittels einer Abbildungsvorrichtung 4 fokussiert und damit in der beschriebenen Weise eine lokale Mikrodeformation 5 des Bauelementes 3 erzeugt wird. Wegen der Fokussierung der Laserleistung auf einige $100 \mu\text{m}$ kommt es, im Gegensatz zu der großflächig angreifenden Luftströmung, nicht zur Ausbildung innerer Spannungen.

Die entstandene Deformation 5 wird mit Hilfe eines He-Ne-Lasers 6 bei $\lambda = 633 \text{ nm}$ abgetastet, wobei der Prüfstrahl so auf die Flanke der Aufwölbung gerichtet wird, daß der reflektierte Strahl auf einen räumlich fest angebrachten, positionsempfindlichen Empfänger 7 fällt.

Der Empfänger 7 gestattet es, Auslenkungen des reflektierten Strahles zu registrieren, die auf Veränderungen in dem der Probe 3 vorgelagerten Medium 1, insbesondere strömungsbedingte Brechzahländerungen, zurückzuführen sind. Die Abbildung des reflektierten Strahles auf den Empfänger 7 erfolgt mit einer Fokussierungsvorrichtung 8. Ein vor dem Empfänger 7 angebrachtes Schmalbandfilter 9, das für die Wellenlänge des Prüfstrahles transparent ist, sorgt für die Abschirmung von störendem Fremdlicht. Zur Erhöhung der Nachweisempfindlichkeit wird die bekannte Lock-in-Technik eingesetzt, wobei der Heizstrahl 10 mit einem Zerknacker 11 periodisch unterbrochen und die Detektorspannung phasenempfindlich gleichgerichtet wird 12.

