Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie E. V., Frankfurt am Main

DK 531.252.08:535.551.08 August 1960

H V G - Mitteilung Nr. 847

Spannungsmessung nach einem Vorschlag von A c l o q u e

Vortrag von Dipl.-Phys. A. K r i n g s , Wertheim(Main), im Fachausschuß III der DGG am 24. März 1960

Die spannungsoptischen Methoden arbeiten normalerweise mit polarisiertem Licht, welches senkrecht auf eine Ebene trifft, die durch zwei Hauptspannungsrichtungen definiert ist.

Fällt linear polarisiertes Licht senkrecht durch eine Glasplatte, in deren Ebene die beiden Hauptspannungen p und q liegen, so wird dieses in zwei Teilschwingungen aufgespalten, die in Richtung der beiden Hauptspannungen schwingen. Der Brechungsindex in Richtung von p sei n_1, derjenige in Richtung von q n_2. Damit ergibt sich der Gangunterschied d der beiden Teilschwingungen nach Durchlaufen der Glasplatte zu:

$$d = e \cdot (n_1 - n_2), \qquad (1)$$

wobei e die Dicke der Glasplatte ist. Anstelle des Brechungsindex können hier die Hauptspannungen eingeführt werden:

$$d = e \cdot K \cdot (p - q). \qquad (2)$$

Dabei ist K die spannungsoptische Konstante.

Nehmen wir an, in der Platte existiere ein isotroper Spannungszustand. Diesen kann man realisieren, wenn man die Ränder einer quadratischen Platte in den beiden zueinander senkrechten Richtungen dem gleichen Druck aussetzt. In einem kleinen Bereich in der Mitte dieser Platte entstehen dann um eine zur Oberfläche senkrechten Achse Spannungen, die in jeder Richtung gleich groß sind. Somit ist p = q und damit p - q = 0. Obwohl hier hohe Spannungen herrschen können, kann man keine messen, ja man kann sogar zu dem Schluß kommen, daß keine vorhanden sind. Aber selbst wenn $p \neq q$, kann man aus Gleichung (2) den Wert von p und q nicht ermitteln. Man müßte auf die Isoklinen-Methode zurückgreifen, deren Auswertung langwierig und nicht sehr genau ist.

A c l o q u e hat in VERRES ET REFRACTAIRES (1955) Seite 3-12 eine neue Methode beschrieben, diese Spannungen schnell und exakt zu messen. Hierbei fällt das linear polarisierte Licht schräg durch die Glasplatte. Es wird normalerweise die Phasenverschiebung des an der Rückseite reflektierten Lichtes beim Austritt auf der Lichteinfallseite gemessen. Der Strahlengang ist in Bild 1 an einem Plattenelement dargestellt. In der Ebene P, in der die Hauptspannung p liegt, befindet sich der einfallende Lichtstrahl. Er bildet mit der Flächennormalen den Einfallswinkel 0 und ist linear polarisiert. Die Polarisationsrichtung schließt mit der q-Achse einen Winkel von 45 Grad ein. In einer Ebene Q, die senkrecht zum einfallenden Lichtstrahl liegt und in der die Hauptspannung q liegt, wird dieser in zwei Teilschwingungen, die in oy- und ox-Richtung schwingen, aufgespalten. Die eine wird von q, die andere von σ_x beeinflußt. σ_x ist eine Komponente von p und ergibt sich zu $p \cdot \cos^2 0$.

Damit ergibt sich für die Phasenverschiebung der beiden Teilschwingungen:

$$d_1 = K \cdot \varepsilon \cdot (q - p \cos^2 \theta), \qquad (3)$$

wo ε die zurückgelegte geometrische Weglänge ist. Wählt man als Einfallsrichtung diejenige parallel zu q, so ergibt sich

$$d_2 = K \cdot \varepsilon \cdot (p - q \cos^2 \theta), \qquad (4)$$

Liegt nun ein isotroper Spannungszustand vor, von dem vorher die Rede war, so ist p = q. Es ergibt sich für:

$$p = q = \frac{d}{K \cdot \varepsilon} \cdot \frac{1}{\sin^2 \theta} \qquad (5)$$

Führt man anstelle von ε die Plattendicke e ein ($\varepsilon = e/\cos\theta$ für durchfallendes, $\varepsilon = 2e/\cos\theta$ für reflektiertes Licht), so ergibt sich

$$p = q = \frac{d}{K \cdot e} \cdot \frac{\operatorname{ctg} \theta}{\sin \theta}, \qquad (6)$$

wenn man in durchfallendem Licht arbeitet. Verwendet man die Reflektion, so kommt man zu

$$p = q = \frac{d}{K \cdot 2e} \cdot \frac{\operatorname{ctg} \theta}{\sin \theta} + \varphi(\theta), \qquad (7)$$

wo $\varphi(\theta)$ die Phasenverschiebung bei der Reflektion berücksichtigt, wenn sie existiert. Man kann diese leicht eleminieren, wenn man eine O-Bestimmung an einem unverspannten Objekt macht.

Ist $p \neq q$, so folgen aus (3) und (4)

$$p = \frac{1}{K \cdot \varepsilon} \cdot \frac{d_2 + d_1 \cos^2 \theta}{1 - \cos^4 \theta} \qquad (8)$$

$$q = \frac{1}{K \cdot \varepsilon} \cdot \frac{d_1 + d_2 \cos^2 \theta}{1 - \cos^4 \theta} \qquad (9)$$

Führt man die Plattendicke e hier ein, so ergibt sich:

$$p = \frac{a}{K \cdot e} \cdot \frac{\cos \theta}{1 - \cos^4 \theta} \cdot (d_2 + d_1 \cos^2 \theta) \qquad (10)$$

$$q = \frac{a}{K \cdot e} \cdot \frac{\cos \theta}{1 - \cos^4 \theta} \cdot (d_1 + d_2 \cos^2 \theta) \qquad (11)$$

a = 1/2 für Reflektion, a = 1 für Durchstrahlung.

Wählt man den Einfallswinkel zu 45 Grad, so vereinfachen sich die Gleichungen.

$$p_{45} = a \cdot \frac{0{,}94}{K \cdot e} \cdot (d_2 + 0{,}5\, d_1) \qquad (12)$$

$$q_{45} = a \cdot \frac{0{,}94}{K \cdot e} \cdot (d_1 + 0{,}5\, d_2) \qquad (13)$$

Hier sind also d_1 und d_2 die gemessenen Gangunterschiede, e ist die Glasdicke und K die spannungsoptische Konstante, die für die meisten Gläser bekannt ist. Man hat also zwei einfache Gleichungen zur Ermittlung der Hauptspannungen in der Fläche. Setzt man den Gangunterschied d_n in mμ, k in $cm^2 kp^{-1}$, e in cm ein, so erhält man die Spannungen in kp/cm^2.

Die Firma Dr. Heinrich S c h n e i d e r in Bad Kreuznach hat ein Gerät zur Messung der Spannungen in der Fläche nach dem beschriebenen Prinzip entwickelt. Im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Geräten besteht hier die Möglichkeit, die Messungen gleichzeitig in den beiden Hauptspannungsrichtungen durchzuführen. In dem Gerät existieren zwei senkrecht zueinander angeordnete Strahlengänge, die im Okular-Gesichtsfeld getrennt erscheinen. Auf Grund dieser Anordnung ist es nicht mehr erforderlich, durch eine Drehung von 90 Grad um die Flächennormale die Messungen in der p- und in der q-Richtung getrennt durchzuführen. In Bild 2 ist der prinzipmäßige Verlauf einer der beiden Strahlengänge aufgezeichnet. Durch einfaches Umschalten ist eine senkrechte Durchstrahlung möglich, um die Richtung der Hauptspannungen zu bestimmen. Hierzu dreht man das Gerät um die senkrechte Achse, bis die dunkle Interferenzlinie im Babinet'schen Kompensator den größten Abstand vom Null-Punkt hat. Damit ist das Gerät richtig bezüglich der Hauptspannungsrichtungen justiert. Zur Messung der Gangunterschiede wird der Babinet'sche Kompensator verwendet. Er hat den Vorteil, daß er die Größe und das Vorzeichen der Spannung angibt. Weiterhin ist eine Zentrieroptik vorhanden, mit der man den zu vermessenden Ort genau einstellen kann.

Die oben beschriebene Methode hat den Vorteil, daß sie durch einfache Messungen Auskunft über die Spannungen in der Fläche (Global-Spannungen) gibt, die über die Dicke nicht im Gleichgewicht stehen. Sie ist auch zur Ermittlung eines isotropen Spannungszustandes anwendbar.

Bilder 1 und 2 umseitig!

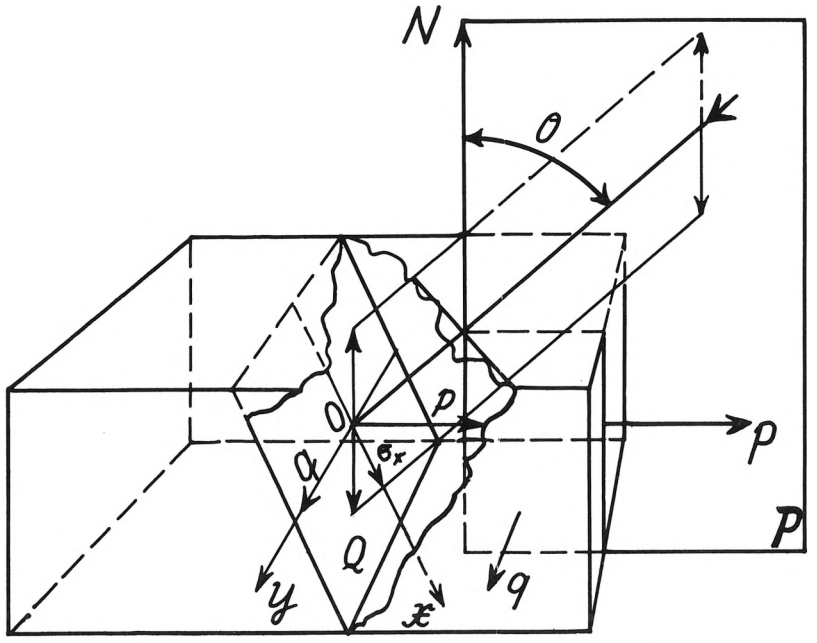

Bild 1: Strahlenverlauf beim Spannungsmeß-verfahren nach A c l o q u e

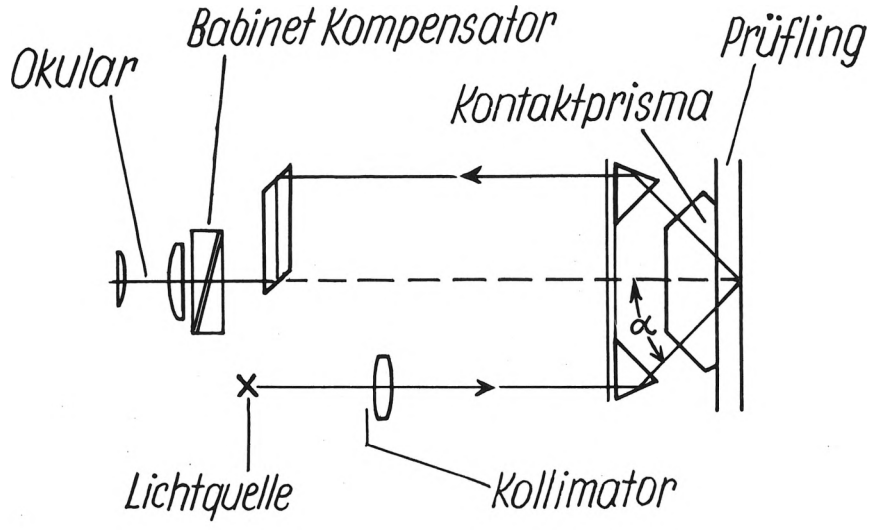

Bild 2: Aufbau des Spannungsmessers nach A c l o q u e