

Spitzen sind jeweils um etwa 10 min verschoben. Solange braucht das Glas, um vom Ort des Viskosimeters an den Ort der Rohrdurchmesser-Meßeinrichtung zu gelangen.

Bild 19 ist ein Ausschnitt aus einem Original-Meßstreifen, auf dem die Wirkung einer Zähigkeitsveränderung auf Durchmesser und Wanddicke des Rohres bei sonst konstanten Ziehbedingungen zu sehen ist. Es handelt sich hier um einen Teil systematischer Untersuchungen über die Arbeitsweise eines Danner-Zuges. Die Auswertung aller Messungen ergibt lineare Zusammenhänge zwischen Zähigkeit einerseits und Durchmesser sowie Wanddicke andererseits. Danach vermindert sich der Durchmesser von 37,3 auf 35,8 mm, also um 4%, und die Wanddicke von 0,800 auf 0,755 mm, also 6%, der Rohrquerschnitt um 10%, wenn die Zähigkeit um 10% erhöht wird. Die Aufteilung der Querschnittsänderung in Änderung der Wanddicke und Änderung des Rohrdurchmessers ist vom Ziehwerkzeug abhängig.

3. Zusammenfassung

Zur Kontrolle der Arbeitsweise von fünf Speiserkanälen werden Betriebsviskosimeter eingesetzt, deren Meßwerte bei 1000 bis 1500 P Zähigkeit auf ± 2 P, d. h. 0,2% genau gemessen werden. Die absolute Genauigkeit beträgt $\pm 10\%$. Die bisher erreichte maximale Lebensdauer ist 4,5 Monate. Die Messungen zeigen Zähigkeitsschwankungen bis zu $\pm 17\%$ bei unregelmäßigen, bis zu $\pm 5\%$ bei temperaturgeregelten Kanälen. Statistische Auswertung von Zusammensetzungsschwankungen im Glase bei konstanter Temperatur ergeben als Standardabweichung für die Zähigkeit Werte um $\pm 3\%$. Einsatz von Viskosimetern beim maschinellen Röhrenziehen führen zu quantitativen Beziehungen zwischen den Schwankungen der Glaszähigkeit und denen der Rohrabmessungen. Die erprobten Viskosimeter werden zum Einsatz in den Betriebsöfen empfohlen.

Der Autor dankt seinem Mitarbeiter, Herrn HEINZ WALTER HILLER, für die Durchführung der Versuche und der notwendigen Reparaturen.

4. Literatur

- [1] KASANSKIJ, M. S.: Die Anwendung eines dynamischen Viskosimeters bei einer Betriebswanne. *Stekl. Prom.* 14 (1938) Nr. 10, S. 27–29. [Ref. *Glastechn. Ber.* 17 (1939) S. 52.]
 KUMANIN, K. G.: Über die Anwendung eines Viskosimeters bei Wannenöfen. *Stekl. Prom.* 15 (1939) Nr. 1, S. 19–21. [Ref. *Glastechn. Ber.* 17 (1939) S. 153.]
- [2] POOLE, J. P.: Molten glass viscosity measuring apparatus. USA.-Pat. Nr. 2679749. 1. 6. 1954. [Ref. *Glastechn. Ber.* 29 (1956) S. P 8.]
- [3] OCHOTIN, M. V., VILENSKAJA, E. I. und TUSIKOV, A. I.: Über Verfahren zur Messung der Zähigkeit von Glasmassen in Schmelzöfen. (Orig. russ.). *Steklo i Keram.* 19 (1962) Nr. 5, S. 12–14. [Ref. *Glastechn. Ber.* 36 (1963) S. 415.] (46396)

DK 621.317.799:531.717.1:666.15:666.1.036.4-55

Meßeinrichtung zur kontinuierlichen Dickenkontrolle bei Flachglas

VON RAINER KIENLE UND KARL HERMANN BOLEY, Porz am Rhein

(Mitteilung aus der Rheinischen Ziehglas AG, Porz am Rhein)

(Eingegangen am 1. September 1967)

Ein besonderes Charakteristikum des Tafelglases ist die Welligkeit, die sich teils mehr oder weniger stark ausgeprägt quer zur Ziehrichtung bemerkbar macht. Diese Welligkeit spiegelt Dickenänderungen wieder, die durch Viskositätsunterschiede in dem Bereich, in dem das Glasband seine Form annimmt, entstanden sind. Durch lokale Temperaturänderungen könnte eine gleichmäßige Viskositätsverteilung quer zur Ziehrichtung erreicht werden. Dies setzt eine genaue Dickenmessung quer zur Ziehrichtung voraus. Unter den möglichen Meßmethoden wählten die Autoren das Meßverfahren mit induktiven Wegaufnehmern aus, weil bei dieser Methode sowohl mit großer Geschwindigkeit gemessen werden kann, als auch kurzzeitige Dickenänderungen in ihrer vollen Größe erfaßt werden. Die induktiven Wegaufnehmer wurden in ein handliches, tragbares Gerät gebaut, welches eine Messung während des Maschinenlaufes am Glasband ermöglicht.

Tafelglas unterscheidet sich von Spiegelglas durch die leicht wellige Struktur der Oberfläche. Bedingt durch Viskositätsunterschiede des Glases entlang der Zwiebel über die Blattbreite entstehen lokal unterschiedliche Blattdicken. Durch eine Beeinflussung der Kühlung an diesen Stellen wird versucht, die Glasoberflächen möglichst plan und parallel zu formen. Diese Regelung setzt allerdings eine gute Kenntnis dessen voraus, was geregelt werden soll. Im allgemeinen wird heute die Dickenverteilung durch Abtasten des Glasbandes mit einer Mikrometerschraube ermittelt. Es werden alle 5 bzw. 10 cm die Dicken gemessen, wobei nicht immer Minimum und Maximum erfaßt werden. Es kann durchaus der Fall sein, daß bei einer Probe die Meßwerte gerade die Mittelwerte der Dickenschwankung bilden, daß also eine plane Fläche vorgetäuscht wird, wo es sich in Wirklichkeit um ein ausgeprägt welliges Glas handelt. Außer diesem methodischen Fehler kann es zu Ablese- und Übertragungsfehlern kommen.

Es mußte also eine Methode gefunden werden, die eine einfache kontinuierliche Registrierung der Dickenverteilung erlaubt. Eine optische Messung über die Transmission schied aus, da der Absorptionskoeffizient bei Tafelglas nicht genügend konstant ist und da eine Messung am warmen Schacht durch thermische Luftschlieren verfälscht würde.

Möglich wäre diese Messung mit γ -Strahlen oder Neutronen. Jedoch war zu der Zeit die Meßeinrichtung hierfür zu kostspielig, zumal diese Messung an allen Maschinen zu erfolgen hatte.

Als brauchbare Lösung bot sich das induktive Verfahren an.

1. Elektrischer Aufbau

Mit induktiven Wegaufnehmern lassen sich in Verbindung mit Trägerfrequenz-Meßbrücken statische und dynamische Wegänderungen messen.

Verwendet wurde ein Wegaufnehmer vom Typ PR 9314/01 (Philips). Er besteht aus einer induktiven

Differentialdrossel und einem freibeweglichen Taststift, der mit dem ferromagnetischen Kern verbunden ist. Die beiden Spulen der Differentialdrossel bilden eine induktive Halbbrücke. Steht der Taststift genau in Mittelstellung des Spulenkörpers, so ist der Scheinwiderstand beider Spulen gleich. Bei Verschiebung des Taststiftes aus seiner Mittellage wird der Scheinwiderstand in der einen Spule größer, in der anderen kleiner. Ergänzt man die induktive Halbbrücke mittels OHMScher Widerstände zu einer WHEATSTONSchen Brücke und speist diese mit einer Trägerfrequenz, in diesem Falle mit 6 kHz, so erhält man eine dem Meßweg des Taststiftes proportionale Diagonalspannung. Damit keine Verbiegungen der Scheibe als Dickenunterschiede gemessen werden, tasten zwei gegenüberliegende Wegaufnehmer beide Seiten der Glasscheibe ab. Beide Wegaufnehmer bilden, parallel geschaltet, die induktive Halbbrücke. Soll die Verbiegung der Scheibe gemessen werden, so ist jeweils ein induktiver Wegaufnehmer abzuschalten.

Der verwendete Wegaufnehmer besitzt einen Meßweg von ± 1 mm. Gespeist wird er mit einer Spannung von maximal 12 V eff. und einer Frequenz von 4 bis 6 kHz, bei der die Impedanz $245 \Omega \pm 10\%$ bzw. $335 \Omega \pm 10\%$ beträgt. Die nominale Empfindlichkeit in einer Brückenschaltung bei 6 kHz beträgt ± 50 mV/V Speisespannung bei nominaler Verlagerung des Taststiftes, d. h. bei $1/100$ mm Dickenänderung. Die Diagonalspannung wird von einem Linienschreiber aufgezeichnet.

Ebenfalls von Philips wurde ein Trägerfrequenz-Oszillator-Demodulator zur Messung mit induktiven Aufnehmern entwickelt. Dieses Bauteil enthält Oszillator (etwa 5,6 kHz), Demodulator, Widerstände zur Ergänzung der Halbbrücke und einen Verstärker der die Diagonalspannung verstärkt. Es wird gespeist mit $12 \text{ V} \pm 1 \text{ V}$ Gleichspannung. Der Vorteil dieses Bauelementes besteht darin, daß es die zusätzliche Trägerfrequenz-Meßbrücke ersetzt und gegebenenfalls sofort an das Dickenmeßgerät angebaut werden kann. Es hat

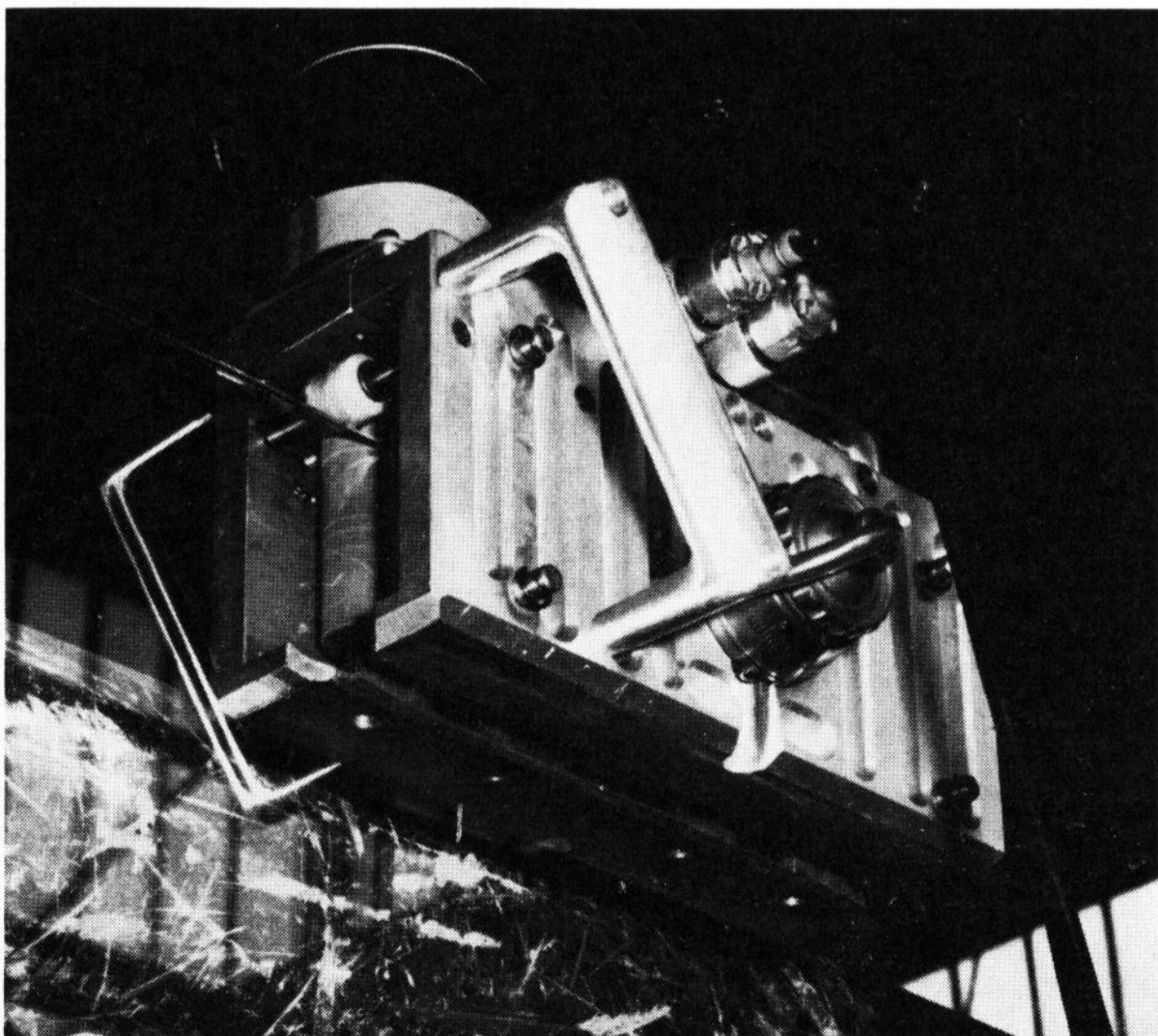


Bild 1. Dickenmeßgerät während der Messung auf dem Glasband. Sichtbar sind die Träger-, Antriebs- und Druckrollen, die Mikrometereinstellung der Vorwahl, der Antriebsmotor und die Kabelzuführung.

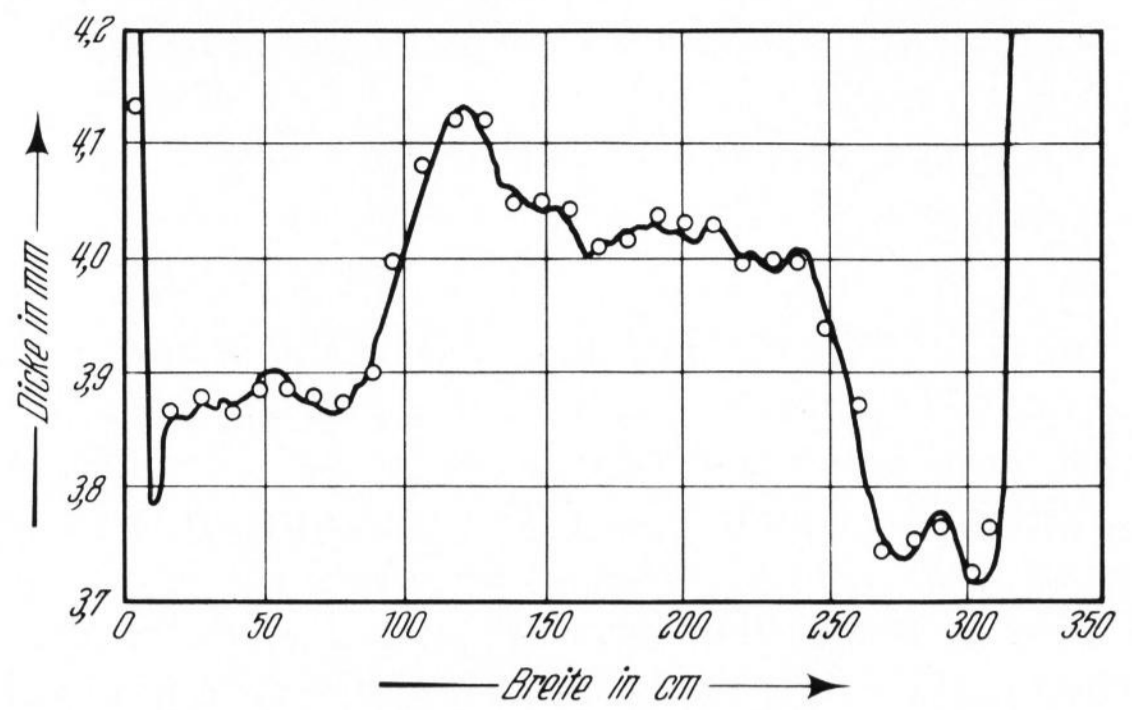


Bild 2. Dickenverteilung über die gesamte Breite eines Bandes. Die Punkte sind Kontrollmessungen mit der Mikrometerschraube.

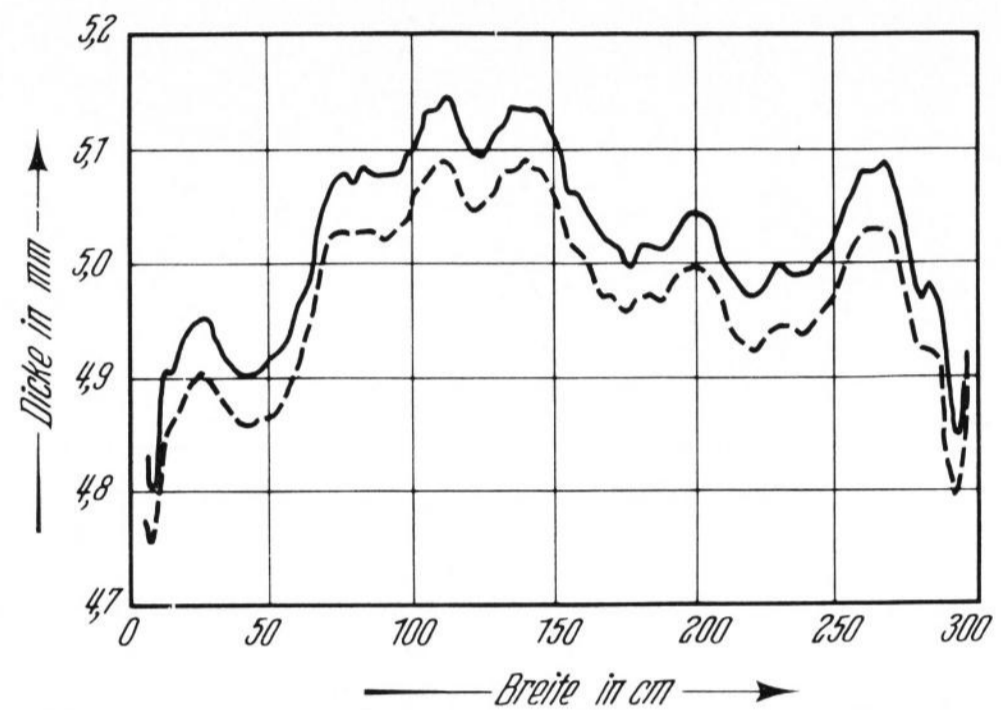


Bild 3. Kontrollmessungen der Dickenverteilung an der gleichen Stelle des Bandes. Die gepunktete Linie ist bei der Vorwahl der Mikrometerschraube um 0,05 mm versetzt wiedergegeben.

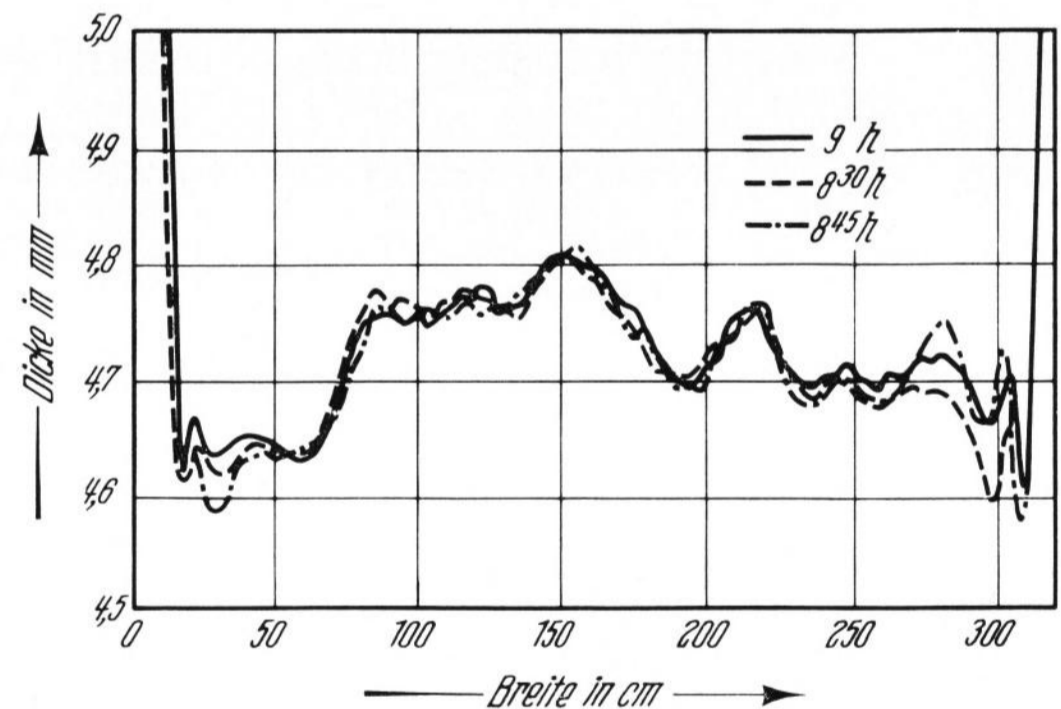


Bild 4. Drei Vergleichsmessungen der Dickenverteilung, die die Schwankungen während einer halben Stunde wiedergeben. Die Randpartien zeigen die größten Abweichungen.

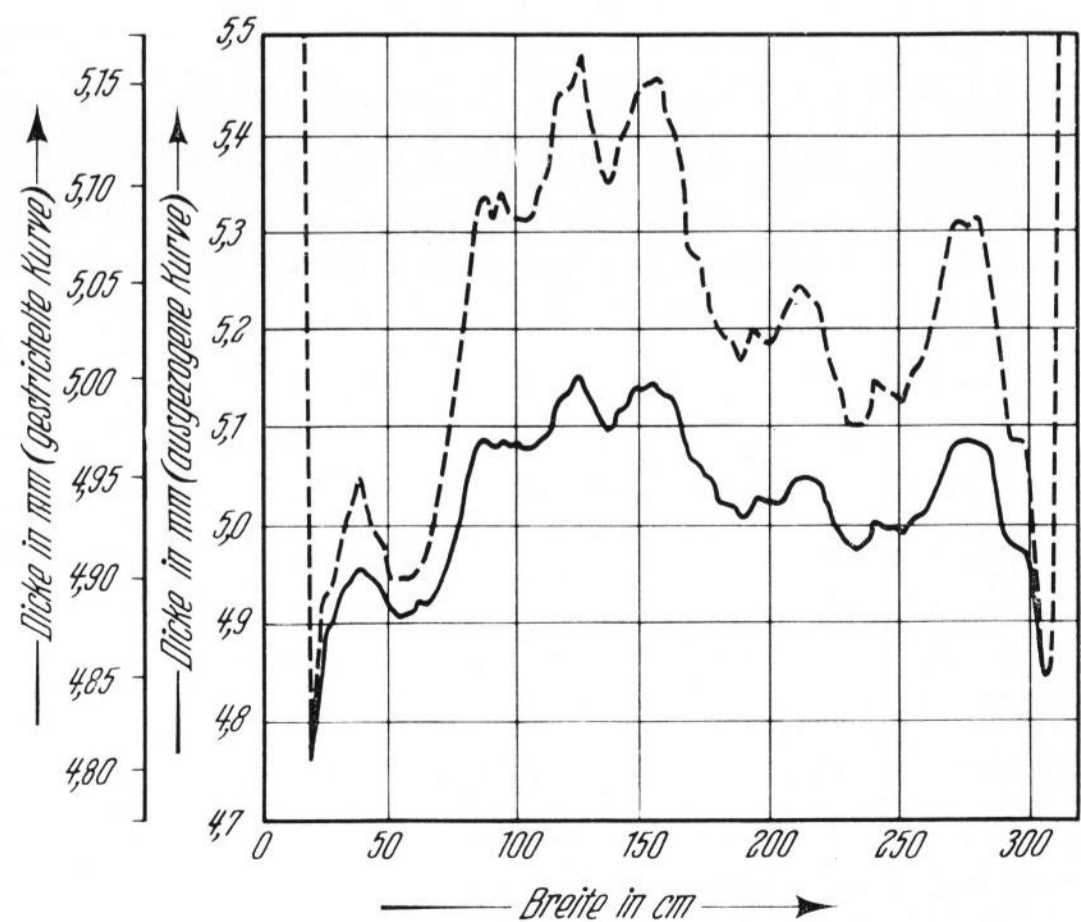


Bild 5. Messung der Dickenverteilung, bei der die Randpartien wegen ihrer übermäßigen Dicke nicht erfaßt werden konnten.

eine Masse von etwa 250 g und Abmessungen von $45 \times 45 \times 120$ mm.

2. Mechanischer Aufbau

Die erste Entwicklung war ein stationäres Gerät. Die induktiven Wegaufnehmer waren an starren, massigen Eisenteilen befestigt, um jede Abweichung durch Verbiegen zu vermeiden. Es brauchte keinerlei Rücksicht auf das Gewicht des Gerätes genommen zu werden. 10 cm breite Glasproben, quer zur Ziehrichtung über die gesamte Bandbreite geschnitten, wurden durch dieses Gerät gezogen und geprüft. Der Materialverlust und der arbeitsmäßige Mehraufwand durch das Probenehmen sowie die Gefahr, daß beim Abbrechen von 10 cm breiten Streifen ein Einlauf entstehen konnte, führten zu der folgenden Entwicklung.

Zwei U-Profile aus Hartaluminium mit verschiedenen langen Schenkeln wurden mit der langen Schenkelseite verbunden. Die Seite mit den kürzeren Schenkeln dient zur Einführung des Probekörpers, der das Ende eines endlosen Bandes sein kann (Bild 1). In einem U-Profil befinden sich ortsfeste Rollen mit einer Gummiummantelung, die von einem kleinen Motor gemeinsam über eine Kette angetrieben werden. Der Motor sitzt neben den Haltegriffen außen auf dem Profil. Ein induktiver Wegaufnehmer, mit einem Gleitkopf versehen, ist so zwischen den Rollen angebracht, daß der Gleitkopf in Nullstellung Punkt der gemeinsamen Tangente der Rollen ist. In dem anderen Profil, dem ersten induktiven Wegaufnehmer gegenüber, ist der zweite Wegaufnehmer angebracht. Er ist mit einer Mikrometerschraube verstellbar, so daß nur die Dickendifferenzen um den vorgeählten Wert als Nennmaß variieren. Dadurch wird stets im gleichen Arbeitsbereich gemessen, die Auflösung ist hinreichend groß, die Linearität bleibt gewahrt. Lose mit Federn versehene Druckrollen ermöglichen eine Variation der Glasdicke beim Transport. Die Spannungsversorgungs- und Schreiberleitungen sind mit Steckern an dem Gerät angebracht. Der Papiervorschub des Schreibers ist vom Meßgerät aus zu bedienen.

3. Meßergebnisse

Ein Probestreifen wurde vergleichsweise einmal nach der alten Art mit der Mikrometerschraube durchgemessen und einmal mit den induktiven Wegaufnehmern (Bild 2). Die Empfindlichkeit wurde so gewählt, daß 1 Skalenteil Amplitudenabweichung 0,01 mm Dickenänderung entsprach. Dieser Aufzeichnungsmaßstab entsprach dem im Hause üblichen.

Die Reproduzierbarkeit der Messung wurde durch mehrmaliges Messen des gleichen Probestreifens kontrolliert (Bild 3).

Es wurde angenommen, daß eine Dickenänderung in Ziehrichtung bei stabilisiertem Antrieb nur sehr langsam erfolgt. Verdickungen konnte man über längere Zeiten im gleichen Abstand von der Borte beobachten. Sie waren meist nur durch eine Änderung des Kühlvorganges an dieser Stelle zu beseitigen. Bild 4 gibt die kleinen Schwankungen wieder, wie sie im Abstand von 15 und 30 min an einer Maschine gemessen wurden. Der charakteristische Verlauf der Dickenverteilung bleibt dabei erhalten.

Bild 5 zeigt den Vergleich zweier Messungen bei unterschiedlicher Empfindlichkeit. Die Linearität in der Auflösung ist gewahrt. Somit dürfte diese Meßeinrichtung auch für Gläser, z. B. Spiegelglas, zu verwenden sein, die keine so große Dickenänderung aufweisen, wie das Tafelglas.

4. Zusammenfassung

Die beschriebene Meßeinrichtung mit induktiven Wegaufnehmern liefert den Anforderungen entsprechend hinreichend exakte Meßergebnisse. Die Messung verläuft so schnell, daß keine Behinderung im Produktionsablauf auftritt. Eine Probenahme und somit ein Materialverlust fallen weg. Bei sehr dünnen Gläsern und kleinen Ziehlängen kann die Ziehgeschwindigkeit größer sein als die Meßgeschwindigkeit. In diesem Falle erfolgt die Messung an einer bereits abgebrochenen Tafel. Die Meßeinrichtung dürfte bereits als Teil einer zu entwickelnden automatischen Dickenregulierung angesehen werden (46579)

Kurzbeitrag

DK 532.137

Zur Abschätzung der Endkorrektur bei zylindrischen Rotationsviskosimetern

VON ADOLF DIETZEL UND ROLF BRÜCKNER, Würzburg

(Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Silikatforschung, Würzburg)

(Eingegangen am 20. Juli 1967)

In einer früheren Arbeit der Autoren¹⁾ wurde für konfokale Rotationshalbellipsoide eine exakte Beziehung zur Bestimmung der Viskosität für Glasschmelzen und für Zylinder-Halbkugel-Rotationskörper eine Näherungslösung abgeleitet. Letztere Beziehung diente zur Abschätzung der sogenannten Endkorrektur für konzentrische Zylinder und lautete:

$$M = M_z \left(1 + \frac{2}{3} \frac{r_1}{r_2} \right), \quad (1)$$

¹⁾ DIETZEL, A. und BRÜCKNER, R.: Aufbau eines Absolutviskosimeters für hohe Temperaturen und Messungen der Zähigkeit geschmolzener Borsäure für Eichzwecke. Glastechn. Ber. 27 (1955) S. 455–467.

worin M das Gesamtdrehmoment des inneren Zylinder-Halbkugel-Rotationskörpers, M_z das Drehmoment des Innenzylinders im Bereich der reinen Zylindersymmetrie:

$$M_z = 4 \pi \eta l \omega_2 \frac{r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2},$$

η die Viskosität, l die Zylinderlänge, ω_2 die Winkelgeschwindigkeit des äußeren Rotationskörpers, r_1 der Innen- und r_2 der Außenradius bedeuten.

Bei der Ableitung von Gleichung (1) wurde davon ausgegangen, daß die Kombination von Zylinder und Halbkugel nur dann zulässig ist, wenn die über den Flüssigkeitsquerschnitt gemittelten Schergeschwindigkeiten in beiden Symmetrien gleich sind:

$$\begin{aligned} r \frac{d\omega_z}{dr} &= \frac{1}{F} \int_{r_1}^{r_2} r \frac{d\omega_z}{dr} dF = \frac{1}{\pi (r_2^2 - r_1^2)} \int_{r_1}^{r_2} \frac{2\omega_z r_1^2 r_2^2}{r^2 (r_2^2 - r_1^2)} 2\pi r dr \\ &= 4\omega_z \ln \frac{r_2}{r_1} \frac{r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}; \end{aligned} \quad (2)$$