Messungen kann der Temperaturgradient über die gesamte Länge des Glasstreifens bestimmt werden.

Die Tatsache, daß die erhaltenen Meßwerte nicht völlig unabhängig von der Dicke des Streifens oder von Temperaturgradienten im Glas sind, ist nicht wesentlich zur ungefähren Bestimmung des Gradienten entlang des Streifens.

7. Literatur

[1] Patka, M. und Klauz, M.: Wärmeübergang zwischen Glas und Form beim Pressen kleiner Glasgegenstände. Glastechn. Ber. **44** (1971) Nr. 6, S. 241 – 244.

[2] Beattie, J. R.: A glass surface temperature pyrometer. J. Soc. Glass Technol. **38** (1954) S. 457 – 469 T. [Ref. Glastechn. Ber. **29** (1956) S. 293.]

[3] Land, T.: Advances in glass temperature measurement. Glass Ind. **43** (1962) S. 244 – 247, 250 – 251, 282 – 283.

[4] Vaško, A.: Infra-red radiation. Prag: SNTL 1968.

[5] Kutateladze, S. S. und Borišanskij, V. M.: Příručka sdílení tepla. Prag: SNTL 1962.

8. Anhang

Berechnung des Fehlers, der durch Vereinfachung der Gleichung zur Berechnung der auf den Detektor auftreffenden Strahlung entsteht.

Die vollständige Gleichung lautet:

$$\Phi = 4\,K'H\,\frac{\Delta s}{\pi}\left[\frac{a}{\sqrt{l^2+a^2}}\operatorname{arctg}\frac{b}{\sqrt{l^2+a^2}} + \frac{b}{\sqrt{l^2+b^2}}\operatorname{arctg}\frac{a}{\sqrt{l^2+b^2}}\right]. \quad (6)$$

Ein Vergleich der Gleichungen (1) und (4) ist nicht leicht möglich. Deshalb wird der Fehler für einen typischen Fall berechnet: Entfernung des Detektors vom Streifen $l = 1$ m; die Höhe des Beobachtungsfeldes $b = 3$ cm; der Durchmesser des Glasstreifens $a = 1$ cm; die Detektoroberfläche $\Delta s = 1{,}2$ mm² und die Schwingungsamplitude des Streifens ± 1 cm.

a) Nach Gleichung (1) gilt:

$$\Phi = 6{,}879 \cdot 10^{-11}\,K'H\ [W].$$

b) Nach Gleichung (5) gilt für einen Streifen, der sich im Zentrum des Beobachtungsfeldes befindet:

$$\Phi = 6{,}875 \cdot 10^{-11}\,K'H\ [W],$$

c) und für einen Streifen, der 1 cm außerhalb des Zentrums liegt:

$$\Phi = 6{,}876 \cdot 10^{-11}\,K'H\ [W].$$

Der Unterschied des Strahlungsflusses ist somit vernachlässigbar und muß in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden. 71-0880

DK 536.2:666.11:666.1.032.5:666.1.035.2

Wärmeübergang zwischen Glas und Form beim Pressen kleiner Glasgegenstände

Von Miroslav Patka und Milan Klauz, Jablonec nad Nisou

(Mitteilung aus dem Forschungsinstitut für Glas und Bijouterie, Jablonec nad Nisou, Tschechoslowakei)

(Eingegangen am 6. August 1970)

Eine Versuchsanordnung zur Untersuchung des Wärmeübergangs zwischen Glas und Form beim Pressen kleiner Glasgegenstände wird beschrieben. Diese Apparatur ermöglicht die unabhängige Variation aller Parameter (wie Drücke, Temperaturen, Arbeitsgeschwindigkeiten und -frequenzen), die den Wärmeübergang beeinflussen könnten. Es stellte sich heraus, daß die Amplitude der Temperaturschwingung der glasberührten Formoberfläche allein von der Temperatur des Glasstreifens abhängig ist, und in den meisten Fällen 40 bis 50 °C beträgt. Von allen anderen Parametern ist sie weitgehend unabhängig. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung werden angekündigt.

Heat transfer between glass and mould in the pressing of small glass articles

An experimental method of investigating heat transfer between glass and mould in making small glass pressings is described. The apparatus allows independent variation of all the parameters involved (such as pressure, temperatures, process times and frequencies) which are known to influence the heat transfer. It is shown that the amplitude of the temperature change of the mould surface in contact with the glass depends only on temperature of the glass and is usually in the range 40 to 50 °C; other parameters have very little influence on this. Further investigations of this type are indicated.

Transfert de chaleur verre-moule au cours du pressage de petits articles en verre

On décrit un dispositif expérimental destiné à l'étude du transfert de chaleur entre le verre et le moule au cours du pressage de petits articles en verre. Cet appareillage permet de faire varier indépendamment tous les paramètres (pression, température, vitesse et fréquence d'avancement) qui pourraient influencer le transfert de chaleur. Il apparaît que l'amplitude de la variation de température de la surface du moule en contact avec le verre ne dépend que de la température du ruban de verre et est, dans la plupart des cas, de l'ordre de 40 à 50 °C. Cette amplitude est, en outre, pratiquement indépendante de tous les autres paramètres. Des études ultérieures dans cette direction sont annoncées.

Die meist geforderte hohe Qualität der Oberfläche kleiner Glasgegenstände hängt im wesentlichen von dem Wärmeübergang zwischen der Form und dem geschmolzenen Glas ab. Während der sehr kurzen Formungszeit müssen Preßglasgegenstände durch die Formen so rasch abgekühlt werden, daß sie am Ende des Formungsvorganges fest genug sind und keinerlei Beschädigung der Oberfläche aufweisen.

Die Wärmeübertragung wurde bereits eingehend untersucht, allerdings für andere Bedingungen während des Formens. Die dort angewandten Meßtechniken und ihre Resultate sind für den vorliegenden Fall wegen der

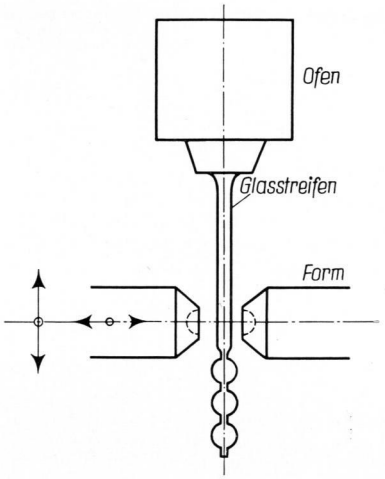

Bild 1. Prinzip des Pressens aus einem Streifen.

unterschiedlichen Methodik der Formung nicht anwendbar.

Bild 1 zeigt eine typische Anordnung zur Glasformung direkt aus einem sich bewegenden Streifen von geschmolzenem Glas. Dieses fließt aus einem kleinen gasbeheizten Ofen als kontinuierlicher Streifen zwischen zwei sich bewegende Formen. Die Formen werden von beiden Seiten in den Glasstreifen gepreßt und abwärts bewegt. Danach werden sie zurückgezogen und gleichzeitig wieder hochgehoben. Diese Einheit kann mechanisch, hydraulisch oder durch Preßluft angetrieben werden.

Die Formung von Bijouteriegegenständen unterscheidet sich wesentlich von der Herstellung von Hohl- oder Tafelglas. Der Herstellungsvorgang kann wie folgt charakterisiert werden:

a) ein ausfließender Streifen von geschmolzenem Glas (hoher Temperaturgradient) wird direkt geformt;
b) die Formungszeit ist sehr kurz (0,05 bis 0,5 s);
c) die Zahl der Formungszyklen pro Zeiteinheit ist sehr hoch (50 bis 150/min);
d) der Formungsdruck ist hoch (50 bis 150 kp/cm²);
e) die gefertigten Gegenstände sind sehr klein und von geringem Gewicht (ungefähr 1 p) und meist von unregelmäßiger Gestalt;
f) die Formen müssen in Größe und Gestalt den zu fertigenden Gegenständen entsprechen.

Bei der Untersuchung der Wärmeübertragung ist das schwierigste Problem die exakte Messung der Temperaturen von Glas und Form. Die Autoren glauben, in der vorliegenden Arbeit alle Probleme der Wärmeübertragung zwischen Glas und Form bei der Herstellung von Bijouteriewaren behandelt zu haben. Die Messungen sind als vorläufige Studie der eben jetzt beginnenden theoretischen Untersuchungen über Glasformung im Forschungsinstitut für Glas und Bijouterie, Gablonz, aufzufassen.

1. Wärmeaustausch

Folgende Faktoren beeinflussen die Wärmeübertragung zwischen Glas und Form:

a) Temperaturgradient des Glases;
b) Temperaturgradient der Schmelze;

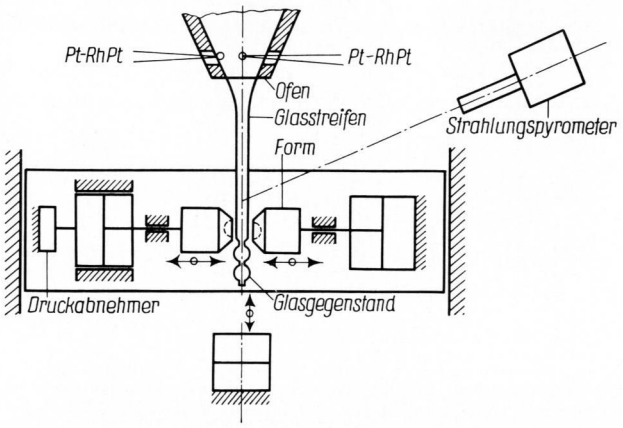

Bild 2. Versuchsanordnung.

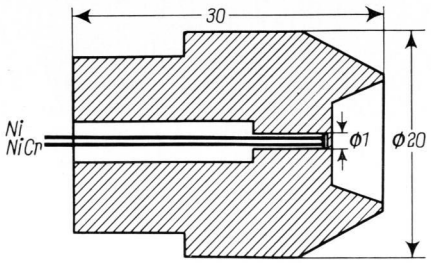

Bild 3. Form mit eingesetztem Thermoelement.

c) thermische Eigenschaften von Glas und Form;
d) Formungs- und Zykluszeit;
e) Formungsdruck;
f) Abmessung und Gestalt von Form und gepreßtem Glasstreifen;
g) Formungsgeschwindigkeit;
h) Schmierung der Form;
i) andere Faktoren.

Unter diesen Faktoren können die Oberflächentemperaturen von Glas und Formen für gleiches Glas, gleiche Formen und gleiche Arbeitszyklen betrachtet werden. Wegen der geringen Größe der gefertigten Gegenstände konnte ihre Temperatur nicht gemessen werden. Aus dem gleichen Grunde gestaltet sich die exakte Messung der Temperatur der Formen sehr schwierig. Die einzigen Daten zur Untersuchung der Wärmeübertragung waren die Temperatur der Formen, gemessen mit Thermoelementen, die sich knapp unter der formenden Fläche befanden, und die Oberflächentemperatur des Glases kurz vor der Formung, die mit einem Strahlungspyrometer gemessen wurde.

2. Formungseinrichtung

Die in der Industrie verwendeten Formungsapparate konnten für die Untersuchung nicht verwendet werden. Es wurde eine Versuchsanordnung entwickelt, die eine Variation von Formungszeit, -geschwindigkeit und -druck sowie Änderungen der Temperaturen von Glas und Formen als auch gleichzeitige Messung dieser Größen erlaubte.

Die neue Anordnung besteht aus einem kleinen Ofen, der Formungseinheit und zusätzlichen Einrichtungen zur Messung und Regelung. Ihr Prinzip zeigt Bild 2, einige Details sind in Bild 3 dargestellt.

Glasstäbe werden automatisch dem gasbeheizten Ofen zugeführt, wo sie aufgeschmolzen werden (maximal 25 kp/h). Drei Pt–RhPt-Elemente sind im Ofen zur Messung und Regelung der Ofentemperatur angeordnet.

Die Formungseinheit besteht aus zwei Formen in speziellen Halterungen. Diese werden hydraulisch durch Pumpen (50 l/min; maximaler Druck 30 at) bewegt. Während des Formungszyklus bewegt sich diese Einheit hydraulisch angetrieben auf und nieder.

Der Formungsdruck und die Geschwindigkeit werden durch den Ölzustrom zu den hydraulischen Pumpen variiert und durch besondere Einrichtungen gemessen. Die Zykluszeit kann im Bereich von 30 bis 150 Zyklen pro Minute durch verschiedene Nocken gewählt werden. Auf die gleiche Weise wird eine Änderung der Formungszeit erzielt.

Die Temperatur des Glasstreifens hängt von der Glastemperatur an der Öffnung des Ofens ab. Die Temperatur der Formen ist das Ergebnis der Wärmeübertragung zwischen Glas und Form. Sie kann durch Erhitzen oder Kühlen der Formen festgelegt werden.

In der beschriebenen Versuchsanordnung können diese Faktoren unabhängig voneinander variiert werden.

3. Messung der Temperatur in den Formen

Um den Temperaturgradienten über die ganze Form zu bestimmen, sollten mehrere Thermoelemente in die Form eingesetzt werden. Wegen der kleinen Abmessungen war das aber nicht möglich. So wurde für die vorläufigen Messungen nur ein Thermoelement benutzt.

Die Form wurde zentrisch durchbohrt (0,9 mm). In dieses Loch wurde das Thermoelement knapp unter der Oberfläche der formenden Fläche eingesetzt. Die auf die erforderliche Länge gekürzten Anschlußdrähte wurden durch ein keramisches Doppelkapillarrohr geführt und durch Entladung eines Kondensators (1200 μF) an den Boden des Loches geschweißt. Auf der anderen Seite endeten sie in einer Steckkupplung, die das Wechseln der Formen erleichterte. Details dazu zeigt Bild 4.

Das Thermoelement mißt somit die Temperatur im Innern der Form, 0,05 mm unter der Oberfläche. Messungen zeigten die sehr kurze Reaktionszeit auf Temperaturänderungen an der Oberfläche.

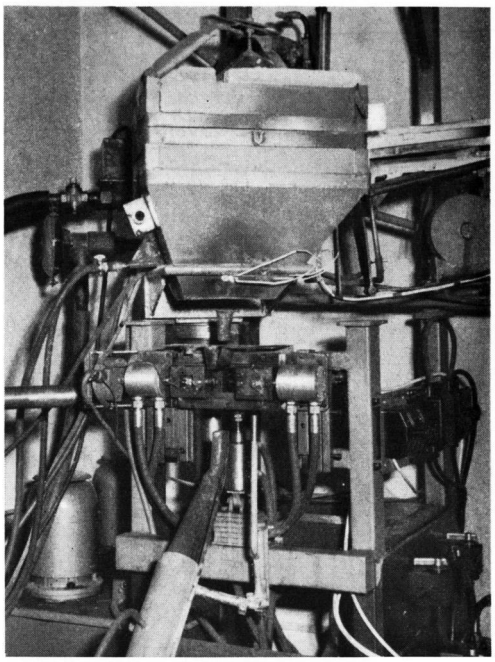

Bild 4. Detail der Versuchsanordnung.

4. Messung der Temperatur des Glases

Die Temperatur des geschmolzenen Glases an der unteren Öffnung des Ofens wird mit zwei Thermoelementen gemessen, deren Anordnung Bild 2 zu entnehmen ist. Diese Daten wurden zur Temperaturregelung des ausfließenden Glases verwendet.

Der geringe Durchmesser des Glasstreifens von etwa 6 mm macht die direkte Temperaturmessung sehr schwierig. Es wurde ein von den Autoren konstruiertes Strahlungspyrometer eingesetzt, das die Oberflächentemperatur des Glasstreifens, kurz bevor er verpreßt wird, aus einer Entfernung von 1 m mißt. Genauere Angaben über diese Methode der Temperaturmessung sind bei KOUDELKA[1]) zu finden.

[1]) KOUDELKA, J.: Indirekte Messung der Oberflächentemperatur eines Glasstreifens mit einem Strahlungspyrometer. Glastechn. Ber. **44** (1971) Nr. 6, S. 237–241.

Tabelle 1. Versuchsergebnisse

Temperatur des Glasstreifens in °C	Durchmesser des Streifens in mm	Zykluszeit in s	Formungszeit in s	Formungsdruck in kp/cm²	Temperatur der Formen in °C	Erhöhung der Temperatur der Form in °C
1000	7	1,2	0,55	22	350	42
995	8	0,8	0,38	60	427	56
1000	7	0,55	0,25	100	470	43
1030	7,5	0,48	0,23	120	456	43
1040	7,5	0,48	0,23	120	395	47
1050	5	0,98	0,45	130	453	54
1020	6	0,82	0,40	130	432	48
1010	8	0,78	0,35	130	431	47
1020	8,5	0,92	0,44	140	420	43
980	8,5	0,45	0,08	145	355	39
960	7,5	0,98	0,45	180	404	41
950	7	0,82	0,4	190	360	43
940	5	0,64	0,32	80	323	38
960	6	1,2	0,2	60	342	42

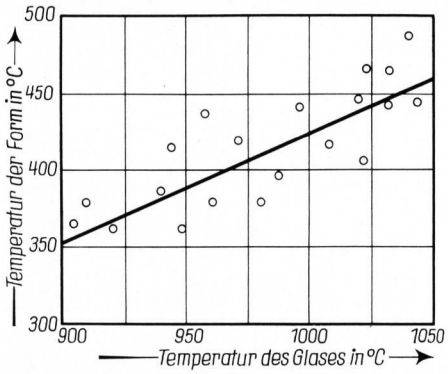

Bild 5. Einfluß der Temperatur des Glasstreifens auf die Oberflächentemperatur der Form.

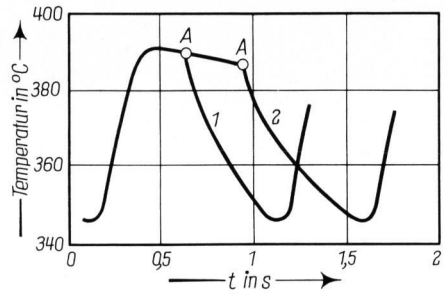

Bild 6. Oberflächentemperatur der Form während eines Formungszyklus für das gleiche Verhältnis von Formungs- und Zykluszeit.

1 = 60 Zyklen pro min; 2 = 40 Zyklen pro min; A = Formen heben vom Glasstreifen ab.

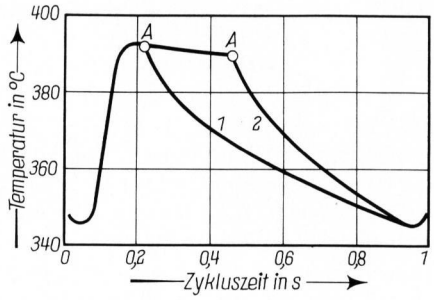

Bild 7. Oberflächentemperatur der Form während eines Formungszyklus für gleiche Zykluszeit.

1 = Formungszeit 0,15 s; 2 = Formungszeit 0,4 s; A = Formen heben vom Streifen ab.

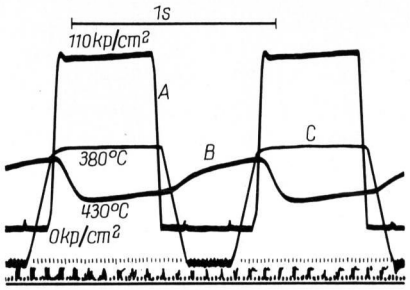

Bild 8. Oberflächentemperatur der Form und Formungsdruck während des Preßvorganges.

A: Formungsdruck; B: Oberflächentemperatur der Form; C: Benetzung der Formen.

5. Versuchsergebnisse

Es wurden 120 Messungen durchgeführt. Folgende Parameter wurden in einem weiten Bereich variiert:

Formungsdruck	25	bis	150	kp/cm²
Zykluszeit	1,25	bis	0,45	s
Formungszeit	0,1	bis	1,0	s
Temperatur des Streifens	800	bis	1000	°C
Temperatur der Form	250	bis	450	°C
Streifendurchmesser	5	bis	10	mm.

Tabelle 1 zeigt einige Ergebnisse des Experimentes. Es wurde der Einfluß der Formungsparameter auf die Oberflächentemperatur der Formen untersucht. Die Eigentemperatur wurde während des Formungsvorganges durch Erhitzen oder Kühlen der Formen fixiert. Obwohl die Formungsparameter in weiten Bereichen variiert wurden, änderte sich die Oberflächentemperatur der Formen nicht wesentlich. Es zeigte sich, daß diese nur von der Temperatur des Glasstreifens abhängig war. Bild 5 zeigt die Oberflächentemperatur der Form als Funktion der Glasstreifentemperatur.

Die Bilder 6 und 7 zeigen Daten des Thermoelements in der Form. Die Oberflächentemperatur der Form steigt sehr schnell an (etwa 50 °C/0,01 s). Dieser Anstieg der Oberflächentemperatur war für alle Varianten des Preßvorganges gleich. Somit beeinflußt kein anderer Parameter als die Temperatur des Glasstreifens die Oberflächentemperatur der Form. Der Abfall dieser Temperatur hängt natürlich von der Formungs- und Zykluszeit ab.

Bild 8 zeigt einen Teil einer Oszillografen-Bildschirmaufnahme des Verlaufes der Oberflächentemperatur, des Formungsdruckes und der Bewegung der Formen. Kurve A stellt den Formungsdruck dar, der sofort nach Beginn des Preßvorganges seinen maximalen Wert erreicht. Die Oberflächentemperatur der Form (Kurve B) steigt 0,01 s später an. Nachdem sie ihr Maximum erreicht hat, fällt sie sofort wieder stetig ab. Dieser Verlauf der Oberflächentemperatur während des Kontaktes zwischen Glas und Form bleibt für alle Varianten des Preßvorganges gleich.

6. Schlußfolgerungen

Es war Ziel der vorliegenden Arbeit, Methoden und Geräte zur Untersuchung des Wärmeübergangs zwischen Glas und Form bei der Herstellung kleiner Glasgegenstände zu beschreiben. Im Hinblick auf die noch nicht abgeschlossenen Meßserien ziehen die Autoren noch keine endgültigen Schlüsse. Trotzdem konnten einige interessante Ergebnisse gewonnen werden: Der Anstieg der Oberflächentemperatur der Formen ist von allen Formungsparametern unabhängig und beträgt 40 bis 50 °C in einem weiten Bereich der Variation der einzelnen Formungsparameter.

Für weitere Messungen wird es notwendig sein, mehrere Thermoelemente in der Form anzuwenden, um den Temperaturgradienten über die gesamte Form bestimmen zu können. 71-0881