

Kurzbeitrag

DK 539.211:539.422:666.11

Rißfrontkrümmung und Bruchflächenmarkierung im Übergangsbereich der Bruchgeschwindigkeit

Crack front curvature and fracture surface markings in the transitional region of fracture velocity

Courbure du front de fissuration et mise en évidence des surfaces de fracture dans le domaine de transition de la vitesse de fracturation

Von HERBERT RICHTER, Freiburg

(Mitteilung aus dem Institut für Festkörpermechanik der Fraunhofer-Gesellschaft, Freiburg i. Br.)

(Eingegangen am 16. April 1974)

Die Luftfeuchte zeigt einen charakteristischen, von der Bruchgeschwindigkeit abhängigen Einfluß auf die Rißausbreitung in Glas [1 bis 3]. Trägt man die Bruchgeschwindigkeit v_b logarithmisch gegen die Energiefreisetzungsrate G_I auf, so erhält man, schematisiert, die in Bild 1 gezeigte Abhängigkeit. G_I ist die aus dem elastischen Energieinhalt der Probe zur Rißerweiterung um eine Flächeneinheit gelieferte Energie.

Im Bereich (1) wird die Bruchgeschwindigkeit wesentlich durch den korrodierenden Einfluß des Wassers bestimmt. Im Bereich (2), auch Übergangsbereich genannt, ist die Zunahme der Bruchgeschwindigkeit v_b bei Zunahme von G_I schwächer; die Transportgeschwindigkeit des Wasserdampfes bestimmt hier die Bruchgeschwindigkeit. Da der Wasserdampf von den Probenoberflächen her an die Rißfront gelangt [2], wird bei zunehmender Bruchgeschwindigkeit zuerst ein Rißfrontbereich in der Probenmitte nicht mehr vom Wasserdampf erreicht; am Ende des Übergangsbereichs ist der Einfluß des Wasserdampfes auf die Rißausbreitung auch an den Probenoberflächen weitgehend zurückgegangen. Im Bereich (3) ist der Einfluß des Wasserdampfes auf die Rißausbreitung als vernachlässigbar anzusehen; im Bereich (4) schließlich gelangt der Bruch in die dynamische Endphase.

Bei Rißausbreitung im Übergangsbereich treten auf der Bruchfläche charakteristische Markierungen auf, die zuerst von VARNER und FRÉCHETTE [4 und 5] beschrieben und gedeutet worden sind. Diese Autoren schließen aus ihren Befunden, daß die Rißausbreitung im Übergangsbereich notwendigerweise schrittweise, d. h. diskontinuierlich erfolgen muß. Die von ihnen gegebene Deutung erscheint in sich widersprüchlich: Die Rißfront sollte danach in einer bestimmten Phase der Rißausbreitung wegen fehlender Unterstützung durch den Wasserdampf in der Probenmitte stehenbleiben. Dies kann aber aus zwei Gründen nicht der Fall sein: Verlangsamt sich die Geschwindigkeit der Rißfront, dann nimmt an ihr der Einfluß des Wasserdampfes entsprechend zu; eine stehende Rißfront wäre dem maximal möglichen Umgebungseinfluß ausgesetzt.

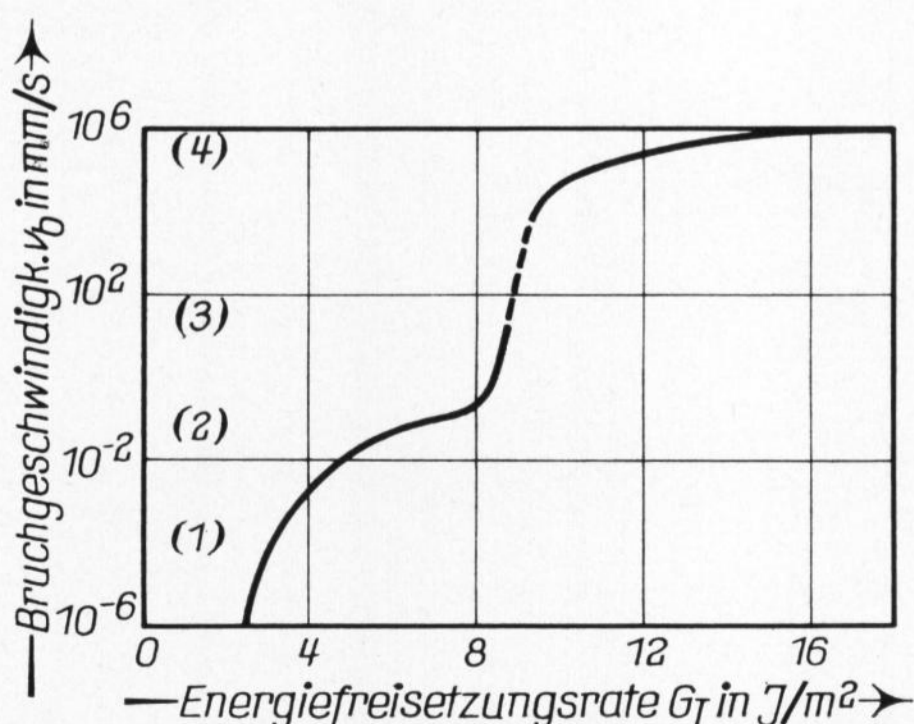
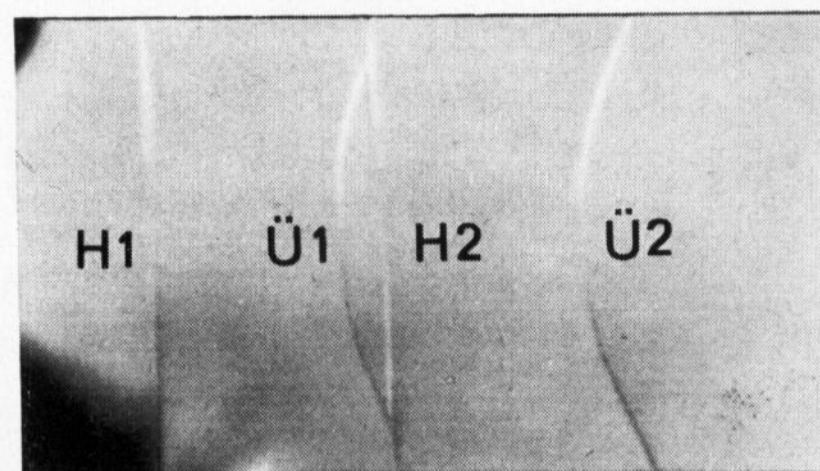


Bild 1. Abhängigkeit der Bruchgeschwindigkeit v_b von der Energiefreisetzungsrate G_I in Spiegelglas bei Einfluß von Luftfeuchte, schematisch dargestellt.

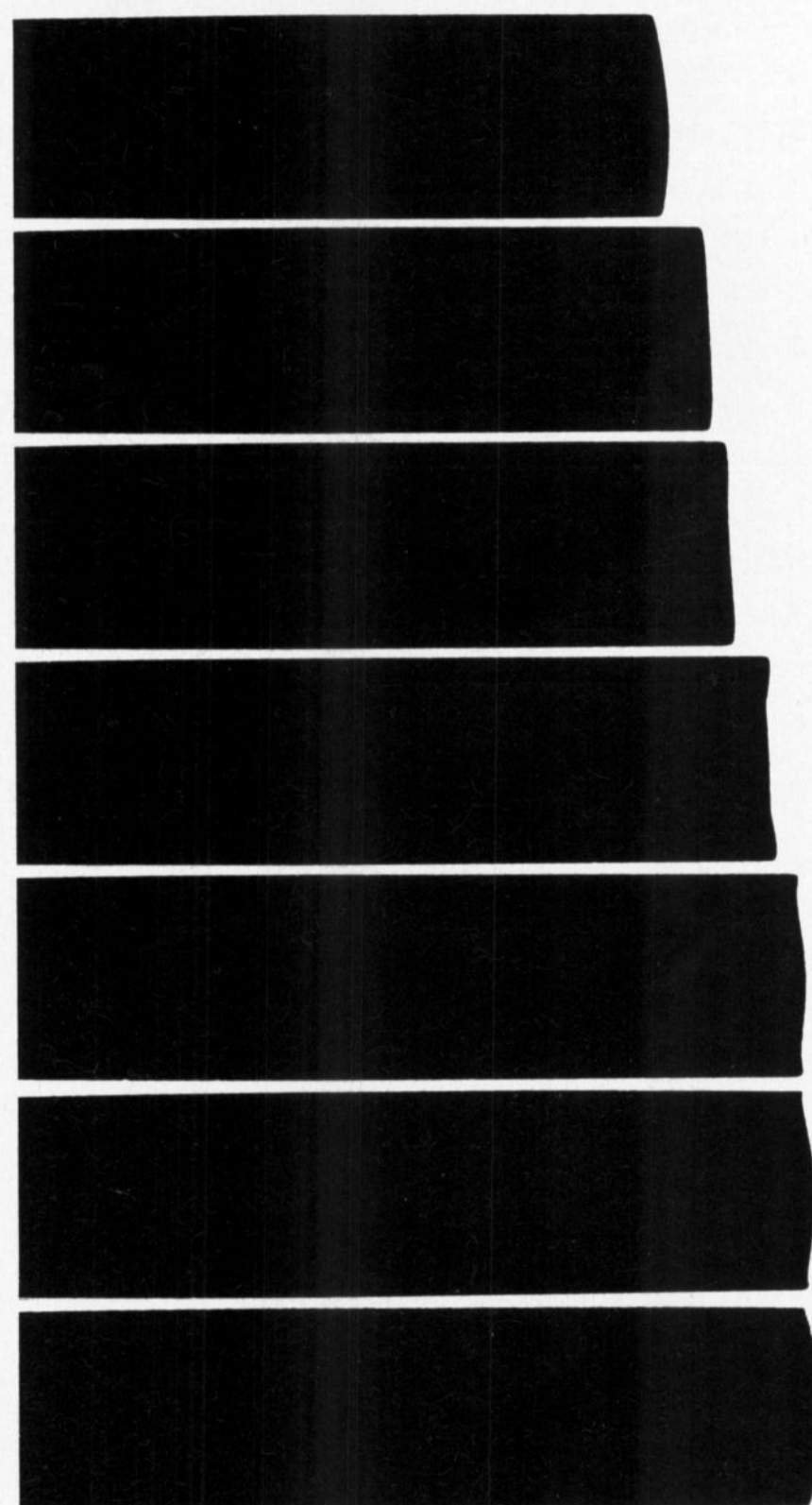
Außerdem erhöht sich — wie auch VARNER und FRÉCHETTE angenommen haben — der Spannungsfaktor an der Rißfront in der Probenmitte gegenüber dem an den Probenrändern, wenn die Rißfront in der Probenmitte zurückbleibt.

Beide Effekte wirken dem angenommenen Stehenbleiben der Rißfront in der Probenmitte entgegen.

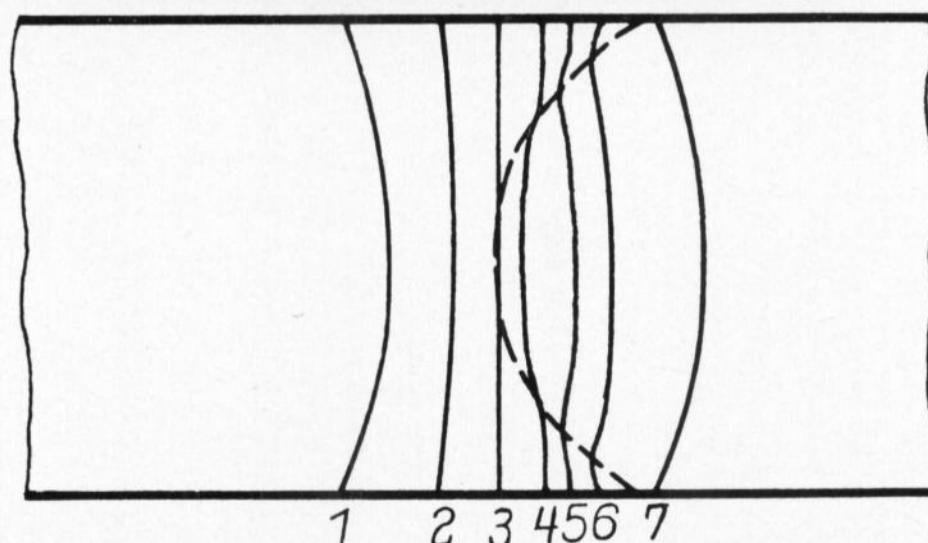
Der Befund an den im folgenden kurz beschriebenen eigenen Versuchen unterscheidet sich von den Ergebnissen bzw. Schlußfolgerungen von VARNER und FRÉCHETTE:



a)



b)



c)

Bilder 2a bis c. Bruchflächenmarkierung und Rißfrontkrümmung in Gegenüberstellung und in schematischer Darstellung.

a) Bruchfläche mit Haltelinien (H 1 und H 2) und Übergangslinien (Ü 1 und Ü 2);

b) Änderung der Rißfrontkrümmung während der Entwicklung der Übergangslinie Ü 2;

c) Prinzipskizze zur zeitlichen Entwicklung der Rißfront und der Übergangslinie Ü 2 (gestrichelt gezeichnet).
Bruchrichtung: von links nach rechts.

Bei Versuchen mit langsam beschleunigter Rißausbreitung ($\dot{v}_b \approx 0,002 \text{ mm/s}^2$) konnte die für den Übergangsbereich charakteristische Bruchflächenmarkierung, im folgenden „Übergangslinie“ genannt, jeweils nur einmal beim Durchlaufen des Übergangsbereichs beobachtet werden.

Ein Stehenbleiben des Risses und eine darauffolgende sprunghafte Rißausbreitung konnten nicht festgestellt werden, obwohl die apparative Empfindlichkeit und Meßgenauigkeit dazu ausgereicht hätten [3]. Eine eigentliche „Haltelinie“ entsteht nur bei merklicher Lastverminderung.

Eine Bruchfläche mit Halte- und bergangslinien zeigt das Bild 2a. Die Bruchfläche entstand bei einem Zerreiversuch an einer einseitig gekerbten, einachsig zugbelasteten Glasprobe mit den Abmessungen $180 \times 40 \times 4 \text{ mm}$ (Länge \times Breite \times Dicke). Die Belastung wurde langsam so lange erhöht, bis merkliche Rißausbreitung ($v_b \approx 0,001 \text{ mm/s}$) eintrat, dann wurde die Last konstant gehalten; nachdem der Riß die Länge a_1 erreicht hatte, wurde die Probe entlastet und die Rißausbreitung dadurch abgebrochen; auf der Bruchfläche entstand dabei eine Haltelinie (H 1) mit konkaver Rißfront; die Bruchgeschwindigkeit betrug zuletzt $0,03 \text{ mm/s}$.

Der gleiche Versuch wurde, mit verminderter Last, an derselben Probe wiederholt, nur wurde die Probe erst entlastet, nachdem die Bruchgeschwindigkeit $0,08 \text{ mm/s}$ erreicht hatte. Diese Geschwindigkeit liegt bei der während des Versuchs herrschenden Luftfeuchte von 75% im Übergangsbereich; auf der Bruchfläche entstand eine Übergangslinie  1, die sich nicht bis zu den Probenrändern ausbilden konnte, da die Rißausbreitung vorher durch Entlasten der Probe abgebrochen wurde, wobei die Haltelinie H 2 entstand.

Beim letzten Versuch an derselben Probe wurde die Rißausbreitung nicht durch Entlasten der Probe unterbrochen; die dabei entstehende Übergangslinie  2 reicht bis zu den Probenrändern.

Um die Entwicklung der Rißfront bei der Rißausbreitung im Übergangsbereich direkt zu beobachten, wurden die Riß-

fronten im zuletzt erwähnten Versuch gefilmt; eine Aufnahme­frequenz von 1,5 bis 2 Bilder/s erwies sich als ausreichend. In Bild 2b sind sieben Abbildungen der Rißfront bei denjenigen Rilngen, bei denen die Übergangslinie  2 entstand, dem Bild der Bruchfläche mit dieser Übergangslinie (Bild 2a) gegenübergestellt. Keine der Rifronten stimmt mit der Form der Übergangslinie überein. Das bedeutet, daß die Übergangslinie nicht identisch mit einer bestimmten Rißfront zu einem bestimmten Zeitpunkt ist.

Die Bildserie läßt auf folgende Entwicklung von Rißfront und Bruchflächenmarkierung schließen, wie sie in Bild 2c schematisch dargestellt ist: Bei zunehmender Bruchgeschwindigkeit nimmt der Einfluß des Wasserdampfes zunächst an der Rißfront in der Probenmitte ab. Dadurch wird dort vorübergehend die Beschleunigung — nicht die Geschwindigkeit — der Rißausbreitung vermindert, was sich darin äußert, daß hier die Rißfront gegenüber der an den Probenrändern zurückbleibt (Bild 2b, Abbildung 3). Kleine Bereiche zurückgebliebener Rißausbreitung bewegen sich anschließend zu beiden Seiten der Probenmitte gegen die Probenoberflächen. Die Vermessung der vollständigen Bruchfront-Bildserie ergibt, daß der Ort aller Einbuchtungen der Rifronten identisch ist mit dem Verlauf der Übergangslinie. Dies läßt darauf schließen, daß die Änderung im Riausbreitungsmechanismus — Übergang von umgebungsbeeinflusster zu nicht umgebungsbeeinflusster Rißausbreitung — sich als Markierung auf der Bruchfläche äußert. Die Rißausbreitung verläuft dabei kontinuierlich.

Der gefundene zeitliche Verlauf der Rißfrontkrümmung weicht von dem ab, den SCHÖNERT, UMHAUER und KLEMM [2] festgestellt haben; sie konnten das Wandern von Einbuchtungszonen der Rißfront zu den Probenoberflächen nicht feststellen. Es ist zu vermuten, daß diese Einbuchtungszonen bei den von den genannten Autoren verwendeten Proben­dicken von 0,5 mm nicht oder nicht so ausgeprägt in Erscheinung traten wie bei den hier durchgeführten Versuchen an 4 mm dicken Proben.

Literatur

- [1] WIEDERHORN, S. M.: Influence of water vapor on crack propagation in soda-lime glass. *J. Amer. ceram. Soc.* **50** (1967) S. 407 – 414. [Ref. *Glastechn. Ber.* **42** (1969) S. 143.]
- [2] SCHÖNERT, K.; UMHAUER, H. und KLEMM, W.: The influence of temperature and environment on the slow crack propagation in glass. In: PRATT, P. L. (Hrsg.): *Fracture 1969. Proc. 2nd Internat. Conf. on Fracture*, Brighton, April 1969. London: Chapman & Hall 1969. S. 474 – 482.
- [3] RICHTER, H.: Untersuchung des Übergangs von der langsamen in die schnelle Phase der Bruchausbreitung in Glas unter dem Einfluß von Luftfeuchte. Vortrag auf der 5. Sitzung des AK „Bruchvorgänge“ im DVM, Karlsruhe, 11. bis 12. Oktober 1973.
- [4] VARNER, J. R. und FRÉCHETTE, V. D.: Mechanisms of slow crack propagation in glass. In: DOUGLAS, R. W. und ELLIS, B. (Hrsg.): *Amorphous Materials. Papers presented to the 3rd Internat. Conf. on the Physics of Non-Crystalline Solids*, Sheffield, September 1970. London, New York, Sidney: Wiley — Interscience 1972. S. 507 bis 512.
- [5] VARNER, J. R. und FRÉCHETTE, V. D.: Fracture marks associated with transition-region behavior of slow cracks in glass. *J. appl. Phys.* **42** (1971) S. 1983 – 1984. [Ref. *Glastechn. Ber.* **46** (1973) Nr. 1, 73R0017.]

74R0722