

Das Bruchverhalten von Mehrfachrissen

J. F. Kalthoff, Institut für Festkörpermechanik
der Fraunhofer - Gesellschaft e. V., Freiburg i. Br., Rosastr. 9

Some aspects of the fracture behavior of interacting multiple cracks are investigated with theoretical and experimental methods. The influence of different crack configurations on the stress intensity factors are discussed. For the geometry of a branched edge notch a direction criterion of crack propagation is postulated, which when applied to actual branching phenomena can explain the formation as well as the magnitude of the characteristic branching angle.

Die Untersuchung wechselwirkender Mehrfachrisse ist aus zweierlei Gründen von Interesse: erstens, weil anstelle eines Einzelrisses mehrere Risse von vornherein in einem Konstruktionsteil enthalten sind, und zweitens, weil ein Einzelriß, nachdem er kritisch geworden ist und sich instabil ausbreitet, in mehrere Äste aufgabelt, die sich getrennt voneinander weiter ausbreiten.

Das Bruchverhalten von Rissen bei ebenen Problemen wird bestimmt durch Spannungsfaktoren K_I und K_{II} , die Aussagen über die Gefährlichkeit und die Ausbreitungsrichtung der Risse machen.

Die Gefährlichkeit von Mehrfachrissen ist je nach Lage der Einzelrisse zueinander verschieden. Man kann jedoch auf zwei Grundanordnungen vereinfachen (s. Abb. 1), anhand derer das prinzipielle Verhalten auch komplizierterer

Rißanordnungen abgeschätzt werden kann: Bei Rissen in kollinear Anordnung ist der K_I -Wert größer als der eines entsprechenden Einzelrisses (ein Riß liegt in dem von dem anderen Riß erzeugten Gebiet erhöhter Spannung), bei übereinanderliegender, paralleler Anordnung ist der K_I -Wert kleiner als der eines entsprechenden Einzelrisses (ein Riß liegt in dem von dem anderen Riß entlasteten Gebiet), s.z.B. Westergaard (1939), England, Green (1963), Irwin (1967), Ratwani (1972). Einzelheiten dieses Verhaltens werden durch theoretische Spannungsanalysen, spannungsoptische Messungen und Bruchexperimente untersucht.

Das Richtungsverhalten von Mehrfachrissen erlaubt unter anderem Aussagen zur Klärung einiger Erscheinungen bei der Gabelung von Brüchen (Schardin (1957), Kerkhof (1962), Clark, Irwin (1966), Congleton, Petch (1967)) zu machen. Dies sei im folgenden etwas ausführlicher skizziert:

Betrachtet wird der einfachste Fall überkritischer ($K_I > K_{IC}$) Bruchgabelung, darunter wird die Aufspaltung eines laufenden Einzelrisses in einer Platte unter einachsiger gleichförmiger Zug in nur zwei Äste verstanden (Abb.2). Mißt man den Gabelungswinkel α_c (Winkel zwischen Symmetrielinie und einem Ast), so stellt man fest, daß sich angenähert konstante Werte von ca. 15° ergeben.

Zum Verständnis der Ausbildung dieses Richtungsverhaltens der Bruchausbreitung wurde der Einfluß wechselwirkender Spannungsverteilungen um Mehrfachrisse für eine spezielle Rißanordnung, die Randgabel, untersucht.

Als Randgabel werden in diesem Zusammenhang zwei, unter einem Winkel 2α , symmetrisch zueinander geneigte Risse endlicher Länge $a = t/\cos\alpha$ verstanden, deren gemeinsamer Ursprung am Rand einer Platte endlicher Breite B und Länge L liegt (s. Abb.3). Die Randgabel wird als Modell für tatsächlich gegabelte Risse angesehen. Das Ergebnis einer Spannungsanalyse nach der Methode finiter Differenzen ist in Abb.3 wiedergegeben. In normierter Form sind die Spannungsfaktoren K_I und K_{II} (K_{IO} ist der Wert des Spannungsfaktors eines entsprechenden Einzelrisses) als Funktion

des Winkels α aufgetragen. Als wesentliches Resultat ergibt sich, daß K_{II} sein Vorzeichen ändert und bei einem charakteristischen Winkel α_c von knapp 14° zu Null wird.

Unter der Annahme der Gültigkeit des Normalspannungsgesetzes, d.h. daß ein Riß sich senkrecht zur maximalen Zugspannung an der Rißspitze ausbreitet, läßt sich daraus folgendes Richtungskriterium für die Ausbreitung gegabelter Risse aufstellen:

- 1) Für Gabeln mit kleinen Öffnungswinkeln, d.h. $|\alpha| < \alpha_c$ haben die Äste das Bestreben, den Öffnungswinkel zu vergrößern, d.h. sich "abzustößen".
- 2) Für Gabeln mit großen Öffnungswinkeln, d.h. $|\alpha| > \alpha_c$ haben die Äste das Bestreben, den Öffnungswinkel zu verkleinern, d.h. sich "anzuziehen".
- 3) Nur für Gabeln mit dem charakteristischen Öffnungswinkel α_c breiten sich die Äste in ihrer ursprünglichen Eigenrichtung aus.

Dieses Richtungskriterium wurde experimentell überprüft, indem ARALDIT-Platten mit eingesägten Randgabelästen verschiedener Winkel α bis zum Bruch belastet wurden. Die sich ergebenden Bruchwege sind aus den Fotografien der Abb.4 ersichtlich. Bedingt durch den Herstellungsprozeß der Äste herrschen an den beiden Rißspitzen nicht völlig gleiche Verhältnisse, deshalb wird nur der Ast mit der schärfsten Rißspitze instabil und breitet sich als Bruch aus. Aufgrund der sich dadurch einstellenden Unsymmetrie ist es nur sinnvoll, den Beginn der Bruchausbreitung zu betrachten, der auch in diesem Zusammenhang allein von Interesse ist. Die gemessenen Bruchverläufe bestätigen die Ergebnisse der Spannungsanalyse (s. Abb.3) und die daraus gezogenen theoretischen Vorhersagen.

Übertragen auf tatsächlich gegabelte Risse erklären die für die Randgabel gefundenen Vorgänge sowohl die Ausbildung als auch die Größe eines charakteristischen Gabelungswinkels.

Literatur:

- Clark, A.B.J.; Irwin, G.R. (1966) Exp. Mech. 6, 321
 Congleton, J.; Petch, N.J. (1967) Phil. Mag. 16, 749
 England, D.H.; Green, A.E. (1963) Proc. Camb. Phil. Soc. 59, 489

Irwin, G.R. (1967) J. Appl.Mech. 24, 361
 Kerkhof, F. (1962) in "Struktur und physikalisches Verhalten der Kunststoffe", Herausg.K.A.Wolf, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg
 Ratwani, M. (1972) Arbeitskreis "Bruchvorgänge" im DVM, Essen, 27.-28.4.1972
 Schardin, H. (1959) in "Fracture" (Herausg.B.L.Averbach et al.) Technology Press of Massachusetts Institute of Technology and John Wiley & Sons, Inc. New York
 Westergaard, H.M. (1939) J.Appl.Mech. 6, 49

Abbildungen:

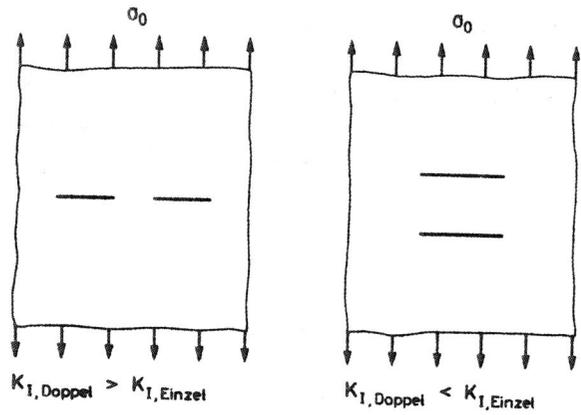


Abb.1: Zur Gefährlichkeit wechselwirkender Mehrfachrisse

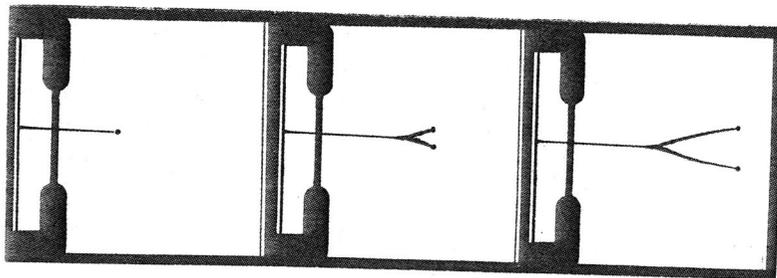


Abb.2: Schattenoptische Aufnahmen vom Bruchgabelungsvorgang in einer Spiegelglasplatte
 Plattenbreite 100 mm, Plattenlänge 300 mm, Plattendicke 9 mm, Zerreißlast 310 kp, Bildfolgezeit 16µs

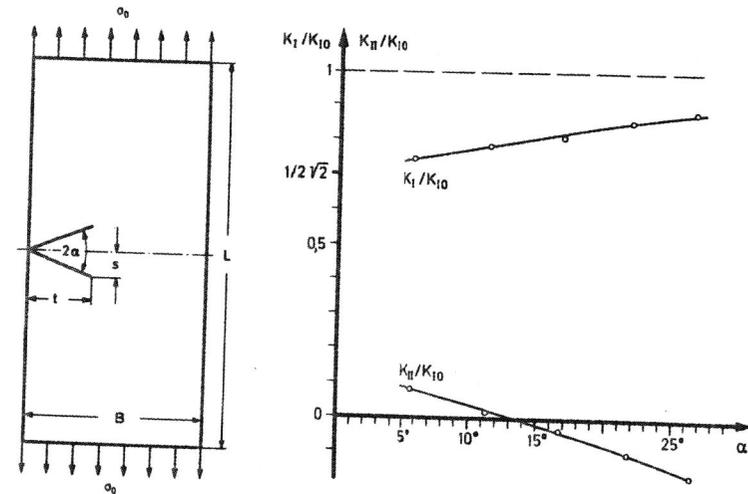


Abb.3: Spannungintensitätsfaktoren für die Randgabel in einer endlichen Platte unter einachsiger gleichförmigem Zug

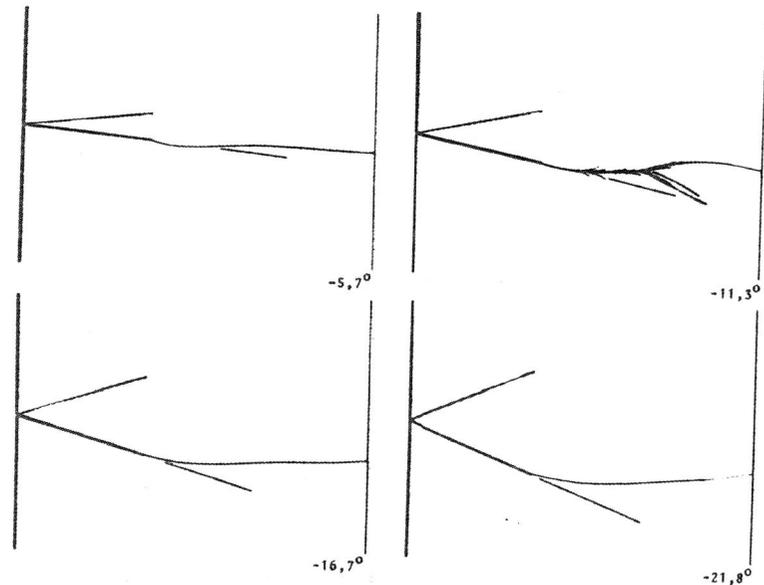


Abb.4: Bruchverläufe für Randgabeln verschiedener Öffnungswinkel