

Modelluntersuchungen zum Bruchverhalten in inhomogenen Materialien unter statischer Belastung.

G. Klein, Institut für Festkörpermechanik der Fraunhofer-Gesellschaft e. V., 78 Freiburg i. Br., Rosastr. 9

Model experiments were conducted to study the influence of inhomogeneities - such as pores or inclusions - upon fracture phenomena. Changes in the direction of crack growth due to the presence of cylindrical holes or inclusion were measured in uniaxially loaded plates. To help understand the process, stress intensity factors K_I , K_{II} were determined photoelastically for crack tips in the neighbourhood of a hole in a plate. This was accomplished by using a computer program to determine the constants in the near field expansion about the crack tip so as to best fit the measured isochromatics. To increase the accuracy of the process, an equal density film was utilized which makes portions of the normal isochromatics very sharp.

Die Methoden der Bruchmechanik haben wesentlich zur Klärung des Bruchverhaltens homogener Materialien beigetragen. Sehr viele Werkstoffe jedoch, seien es Metalle, Keramiken oder Verbundwerkstoffe, sind inhomogen. Die technische Bedeutung dieser Werkstoffe erfordert weitere Überlegungen und Untersuchungen, um die zunächst wichtige Voraussetzung der Homogenität fallen lassen zu können. Eine schrittweise Lösung des Problems kann durch die Eingrenzung auf einzelne Einflußgrößen mit Hilfe einfacher Modelluntersuchungen an definiert eingefügten Inhomogenitäten erreicht werden. Da besonders übersichtliches Verhalten in zweidimensionalen Fällen zu erwarten ist, ist die Untersuchung der Wechselwirkung eines Risses mit einem oder mehreren kreisförmigen Einschlüssen beispielhaft und theoretisch noch überschaubar.

Bei einachsiger äußerer Belastung erzeugt ein kreisförmiger Einschuß in seiner Nähe ein inhomogenes Spannungsfeld, sodaß ein sich darin befindlicher Riß einer Belastung nach Rißbeanspruchungsart I und II ausgesetzt ist. Für den Fall, daß der Riß sich auf der Mittellinie vor einem Einschuß in einer unendlichen Platte befindet und somit nur Rißbeanspruchungsart I auftritt, wurden für statische Belastung Werte des Spannungsfaktors K_I von Tamate (1) und Atkinson (2) numerisch berechnet. Tamate folgt Mushkelishvili's Technik und benutzt eine Reihenentwicklung für die komplexen Potentiale, während Atkinson über die Spannungsfelder um Stufenversetzungen auf Integralgleichungen geführt wird, die numerisch gelöst werden. Für die gleiche Rißanordnung vor einem Kreisloch in einer quadratischen Platte wurden auch dynamische Spannungsfaktoren von Kobayashi u.a. (3) gemessen und mit den durch die finite-Element-Methode berechneten statischen verglichen.

Der allgemeinere Fall eines in beliebigem Abstand von der Mittellinie eines Kreisloches bzw. kreisförmigen Einschlusses angebrachten Risses war Gegenstand der vorgenommenen experimentellen Untersuchungen. Bei statischer

Belastung einer Platte zeigt sich, daß die für den statischen Fall des ruhenden und den dynamischen Fall des laufenden Risses sicherlich verschiedenen Spannungsfaktoren K_I und K_{II} auch zu verschiedenen Bruchverläufen führen (Bild 1). Die gestrichelten Kurven mit verschwindend kleinen Bruchgeschwindigkeiten wurden über Ermüdungsrisse erhalten. Rein qualitativ können die Bruchablenkungen über den Verlauf der Schubspannung τ_{xy} erklärt werden, die vor den Maxima der gemessenen Kurven das Vorzeichen wechselt. Die Abhängigkeit der Ablenkung von der Bruchgeschwindigkeit kann durch die im dynamischen Fall langsamere Änderung des ungestörten Spannungszustandes bezüglich des Rißfortschritts verstanden werden. Zu genaueren Aussagen muß jedoch der Verlauf der Spannungsfaktoren K_I und K_{II} herangezogen werden. Es wurden daher K_I und K_{II} im Einflußbereich eines Kreisloches für den statischen Fall experimentell untersucht. Das die Rißablenkung bestimmende K_{II}/K_I -Verhältnis erklärt die in Bild 1 gezeigten Bruchverläufe: Bei größerer Entfernung der Rißspitze vom Kreisloch ist das Verhältnis negativ und wird bei kleinerer Entfernung positiv.

Die K-Faktoren wurden spannungsoptisch an Proben aus Araldit B bestimmt. Aus den Gleichungen der Spannungsverteilung nahe einer Rißspitze (4) ergibt sich für die maximale Scherspannung τ_{\max}

$$(2\tau_{\max})^2 = \frac{K_I^2}{2\pi r} \left\{ \sin^2 \gamma + \left(\frac{K_{II}}{K_I} \right)^2 (4-3 \sin^2 \gamma) + 2 \frac{K_{II}}{K_I} \sin 2\gamma \right\} - \frac{K_{IA}}{\sqrt{2\pi r}} \left\{ \sin \gamma \sin \frac{3\gamma}{2} + \frac{K_{II}}{K_I} \left(\sin \frac{\gamma}{2} + \sin \frac{3\gamma}{2} \cos \gamma \right) \right\} + 0 [r^0] \quad (1)$$

mit r, γ als Polarkoordinaten mit dem Ursprung in der Rißspitze und A einer durch die Reihenentwicklung nach (4) gegebenen Konstanten.

Der Abstand der Kurven $\tau_{\max} = \text{const.}$ ist durch K_I bestimmt, während die Kurvenform weitgehend von den Verhältnissen K_{II}/K_I und A/K_I abhängt. Bei normalen spannungsoptischen Aufnahmen (Bild 2) ist die Genauigkeit der Bestimmung der Polarkoordinaten r und φ , die eine Kurve $\tau(r, \varphi)_{\max} = \text{const.}$ beschreiben, durch die unscharfen Ränder der einzelnen Isochromaten begrenzt. Eine Verbesserung liefert die Verwendung eines Äquidensitenfilmes, auf den die normalen Aufnahmen umkopiert werden (Bild 3), und so wesentlich schärfere Linien $\tau_{\max} = \text{const.}$ liefern, aus denen dann die Spannungsfaktoren genauer bestimmt werden können. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens besteht in der Verdoppelung der erhaltenen auswertbaren Linien. Eine weitere Linienvermehrung und -verschärfung durch Aufnahme höherer Äquidensitenordnungen brachte keine Vorteile. Ein Rechenprogramm bestimmt die Spannungsfaktoren K_I und K_{II} so, daß Gl.(1) die gemessenen Kurven $\tau_{\max} = \text{const.}$ optimal annähert. Die Verwendung der Glieder $O[r^0]$ in Gl.(1) ist bei Beschränkung auf die Rißnähe nicht notwendig.

Literaturverzeichnis:

- (1) Tamate, O.: Int.J.Fract.Mech. 4 (1968), 257
- (2) Atkinson, C.: Int.J.Eng.Sci. 10 (1972), 127
- (3) Kobayashi, A.S.; Wade, B.G.; Maiden, D.E.:
Exp.Mech. 12 (1972), 32
- (4) Williams, M.L.: J.Appl.Mech. 24 (1957), 109

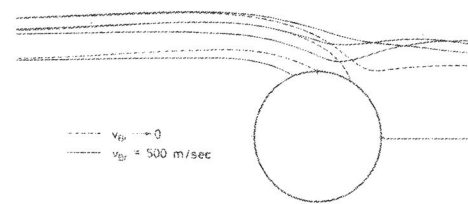


Bild 1

Vergleich der Bruchablenkungen durch ein Kreisloch in PMMA-Platten unter einachsiger Belastung. Kreislochdurchmesser 10 mm. Bruchverlauf jeweils von links nach rechts

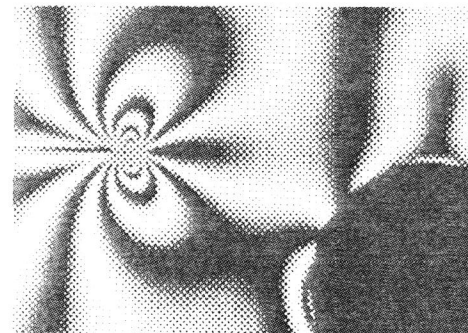


Bild 2

Isochromaten an einem Riß vor einem Kreisloch in einer Aralditplatte unter einachsiger Belastung. Plattenbreite 50 mm, Kreislochdurchmesser 10 mm

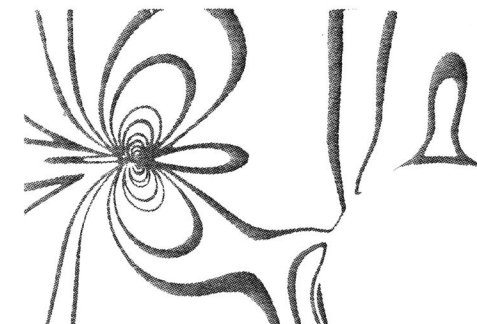


Bild 3

Äquidensitenaufnahme nach Bild 2