

Praktikum Materialwissenschaften I
Massivwerkstoffe

Keramischer Teil - B
Unterkritisches Risswachstum

Name: Matthias Ehmke
Email: mce@gmx.de
Gruppe 4

Betreuer: Thorsten Leist

Datum: 11.01.2007

1 Einleitung

Im Versuch *Unterkritisches Risswachstum* wurde eine CT-Probe aus Na-Ca-Silikatglas auf unterkritisches Risswachstum untersucht. Hierfür wurde die Probe zunächst präpariert und anschließend mit unterschiedlichen Kräften belastet. Dabei wurde die Risslänge lichtmikroskopisch bestimmt und die Zeit für einen Rissfortschritt bestimmter Länge gemessen, um eine v - K -Kurve aufzunehmen. Desweiteren sollten die Materialgrößen K_{Ie} und K_{Ic} abgeschätzt werden.

2 Durchführung

Die CT-Probe wurde mit einem Messschieber vermessen. Danach wurde mit einer Diamantsäge eine Schrägkerbe im Winkel von 30° zur Probenoberfläche eingebracht, damit der Riss, der anschließend mit einem Härtemessgerät mit einer Last von 49 N im Abstand von etwa 0,3 mm von dem Ende der Einsägung initiiert wurde, die gesamte Dicke der Probe erfasste.

Im nächsten Schritt wurde die Probe in den Prüfraumen eingespannt, über den mittels eines Piezo-Elements eine beliebige Kraft eingestellt werden konnte, indem diese von einem Steuergerät vorgegeben wurde. Nach Einstellen der Vorspannkraft, die benötigt wird, damit ein Spannungsübertrag auf die Probe stattfindet, konnte mit verschiedenen Objektiven die Rissausbreitung beobachtet werden. Die Kraft wurde zunächst vorsichtig erhöht, bis es zu Rissfortschritt kam. Dann wurde gewartet bis der initiierte Riss ins Vollmaterial gelaufen war.

Nach diesem Schritt wurde der Eindruck mit der Diamantsäge entfernt, um die Verspannungen im Material wegzubekommen.

Nun konnte die eigentliche Messung beginnen, nachdem die Probe abermals in den Prüfraumen eingespannt worden war. Es wurde nun die Risslänge mittels einer auf den Bildschirm geklebten Transparentfolie mit einer für die gewählte Vergrößerung passenden Skala ausgemessen und für zunächst einen niedrigen K -Wert ($K = 0,4 MPam^{\frac{1}{2}}$) eine aufzubringende Kraft F aus dem vorliegenden Last-Risslängen-Diagramm abgelesen. Dieser Wert wurde nun am Steuergerät vorsichtig eingestellt und die Zeit und die Strecke, um die sich der Riss verlängert hat, notiert.

Dieser Vorgang wurde für 17 Messpunkte und die K -Werte ($K = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 MPam^{\frac{1}{2}}$) wiederholt. Dabei dienten die K -Werte nur als Zielwerte und mussten zusätzlich noch berechnet werden.

3 Auswertung

3.1 Diskussion der Messergebnisse

Tabelle 1 zeigt die gemessenen und die für die Plots benötigten Größen.

$F[N]$	$c_{ges}[\mu m]$	$\Delta c[\mu m]$	$\Delta t[s]$	$v[\frac{m}{s}]$	$logv$	$K[MPam^{\frac{1}{2}}]$	$logK$
34,1	19810	100	77,0	1,30E-06	-5,89	0,5662	-0,2470
33,4	20075	70	93,0	7,53E-07	-6,12	0,5656	-0,2475
31,7	20220	50	160,0	3,13E-07	-6,51	0,5426	-0,2655
32,4	20350	80	132,0	6,06E-07	-6,22	0,5610	-0,2510
36,6	20480	100	10,0	1,00E-05	-5,00	0,6409	-0,1932
35,2	20620	100	19,5	5,13E-06	-5,29	0,6235	-0,2052
34,6	20770	100	24,0	4,17E-06	-5,38	0,6204	-0,2073
34,2	20920	100	24,5	4,08E-06	-5,39	0,6209	-0,2070
38,5	21120	200	3,0	6,67E-05	-4,18	0,7137	-0,1465
34,4	22020	500	22,5	2,22E-05	-4,65	0,6986	-0,1558
34,5	22620	400	9,5	4,21E-05	-4,38	0,7368	-0,1327
33,0	23120	400	8,5	4,71E-05	-4,33	0,7388	-0,1314
34,0	23720	800	10,0	8,00E-05	-4,10	0,8239	-0,0841
30,0	24720	800	11,0	7,27E-05	-4,14	0,8078	-0,0927
29,0	25820	700	5,5	1,27E-04	-3,90	0,8801	-0,0555
6,2	32120	700	6,5	1,08E-04	-3,97	0,5178	-0,2858

Tabelle 1: Übersichtstabelle

Dabei berechnet sich die Geschwindigkeit v entsprechend Gleichung 1.

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} \quad (1)$$

Die Spannungsintensität K berechnet sich analog Gleichung 2.

$$K = \frac{P}{B \cdot W^{\frac{1}{2}}} \cdot f\left(\frac{c}{W}\right) \quad (2)$$

Dabei sind B und W die anfangs bestimmten Probenabmessungen ($B = 2,94mm$ und $W = 39,58mm$). c ist die mittlere Risslänge $c_m = \frac{c_{end} + c_{anf}}{2}$ und ergibt sich aus den während der gesamten Messung jeweils notierten Risslängen. $f\left(\frac{c}{W}\right)$ ist durch Gleichung 3 gegeben.

$$f\left(\frac{c}{W}\right) = \frac{(2 + \frac{c}{W}) \cdot (0,886 + 4,64(\frac{c}{W}) - 13,32(\frac{c}{W})^2 + 14,72(\frac{c}{W})^3 - 5,6(\frac{c}{W})^4)}{(1 - \frac{c}{W})^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

Für die Auftragungen wurde der letzte Messpunkt nicht verwendet, da schon eine sehr geringe Kraft von 6,2 N ausgereicht hat, um in 6,5 s einen Rissfortschritt von 700 μm hervorzurufen. Außerdem liegt er nicht in dem sonst sehr gut sichtbaren Trend der Auftragungen. Dieser Trend ist in Abbildung 1 sichtbar und verhält sich ähnlich wie erwartet.

Von den drei Bereichen ist Bereich I und ein Ansatz von Bereich II zu erkennen. Bereich III kann wie zu erwarten war mit dieser Methode nicht gemessen werden, da der Anstieg der Rissausbreitungsgeschwindigkeit so stark wäre, dass die Probe brechen würde, bevor man einen Messpunkt erhalten hat. Dies ist auch der Grund wieso K_{Ic} nur schwer abgeschätzt werden kann, da Bereich III nicht erreicht wird. Es müsste mit einer Genauigkeit gemessen werden, die die Schallgeschwindigkeit abdeckt. Die grobe Abschätzung ergibt $K_{Ic} = 0,9MPam^{\frac{1}{2}}$.

Für die Abschätzung von K_{Ie} sollte es idealerweise einen senkrechten Ast für niedrige Rissausbreitungsgeschwindigkeiten geben. In Abbildung 1 ist zwar ein immer steilerer Abfall in Richtung niedriger Rissausbreitungsgeschwindigkeiten ersichtlich, doch es ist kein senkrechter Verlauf vorhanden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nicht unendlich langsam gemessen werden kann, da das Auge den Rissfortschritt nicht mehr auflösen kann und zum Messen nicht genügend Zeit vorhanden ist. Somit wurde für die Abschätzung der Messpunkt mit dem niedrigsten K -Wert verwendet, was etwa zu einem $K_{Ie} = 0,54MPam^{\frac{1}{2}}$ führt.

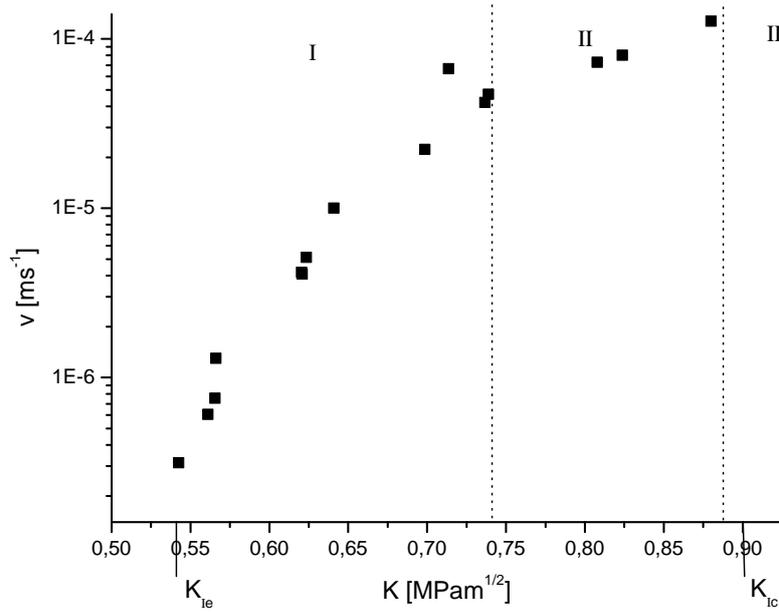


Abbildung 1: v gegen K

Durch eine doppelt logarithmische Auftragung (Abbildung 2) kann man mittels einer Ausgleichgeraden die Parameter A und n der in Bereich I gültigen Paris-Gleichung $\frac{dc}{dt} = A \cdot K^n$ bestimmen. Dazu wurden lediglich die ersten 12 Messpunkte verwendet, da nicht alle Messpunkte zu Bereich I gehören. Hierbei liegt auch die Schwierigkeit, zu entscheiden, welche Messpunkte für die Regression verwendet werden können. Der Beginn von Bereich II wurde bei $K = 0,74MPam^{\frac{1}{2}}$ gewählt. Es ergibt sich Gleichung 4.

$$\log\left(\frac{dc}{dt}\right) = \log A + n \log K \quad (4)$$

Mit der linearen Regression aus Abbildung 2 ergibt sich für $\log A = -2,063$ bzw. für $A = 8,65 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s}$ und für $n = 16,14$ analog der Geradengleichung (Gleichung 5).

$$\log\left(\frac{dc}{dt}\right) = -2,06295 + 16,14335 \log K \quad (5)$$

Wenn man Abbildung 3 vergleichend zu Abbildung 1 betrachtet, wird ersichtlich dass der Bereich der gemessenen Rissausbreitungsgeschwindigkeiten (etwa $3 \cdot 10^{-7}$ bis $1,3 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s}$) gut

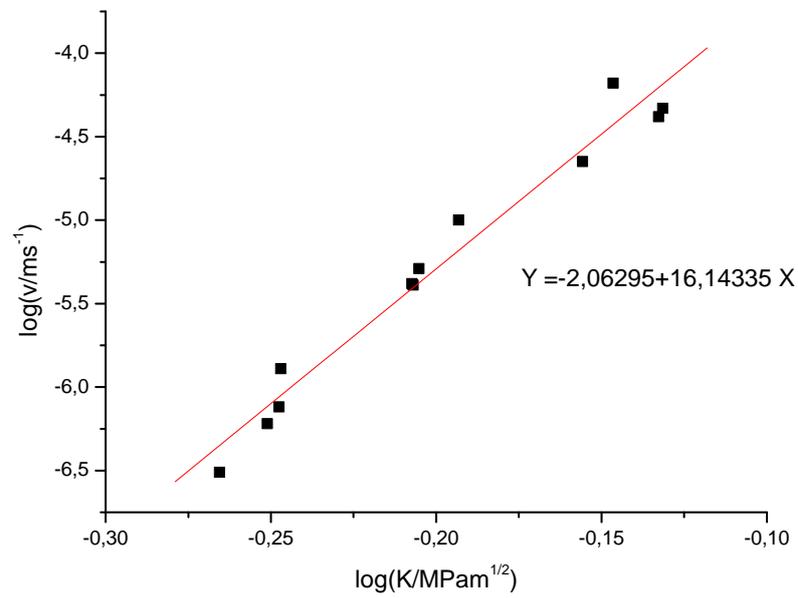


Abbildung 2: $\log v$ gegen $\log K$

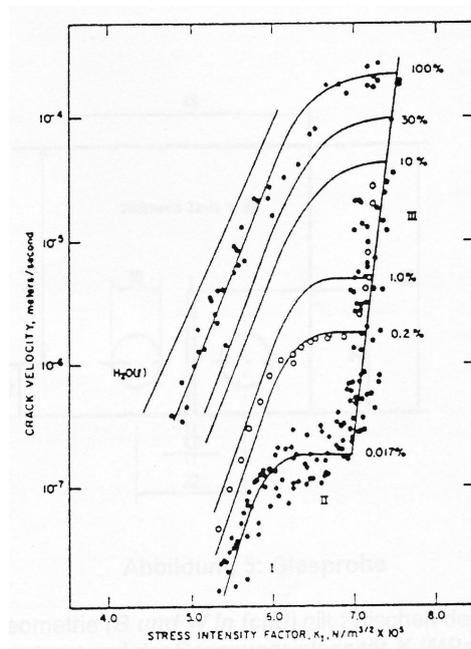


Abbildung 3: Abhängigkeit des Risswachstums vom Wassergehalt einer N_2 -Umgebung

mit einer Kurve etwas oberhalb der für 30% relativer Luftfeuchtigkeit übereinstimmen würde. Es wurde nach dem Versuch eine relative Luftfeuchtigkeit von 41,4 % gemessen. Somit stimmt die gemessene Kurve gut mit Abbildung 3 überein, auch wenn dort eine reine N₂-Atmosphäre vorliegt und die durchgeführten Messungen an Luft (78 % N₂) gemacht wurden.

3.2 Fehlerbetrachtung

Als mögliche Fehlerquellen sind einige Messgrößen in Betracht zu ziehen. Bei der Abmessung der CT-Probe ist der Fehler von B gegenüber dem von W zu vernachlässigen, da der Messschieber sehr genau im Vergleich zum Augenmaß arbeitet. Beim Messen von B wurde der Messschieber an die Kanten der Probe angelegt, während er beim Messen von W per Augenmaß in der Mitte der Bohrung angesetzt wurde, was deutlich ungenauer ist.

Beim lichtmikroskopischen Bestimmen der Anfangsrisslänge mit 10-facher Vergrößerung erstreckte sich der Riss über mehrere Bildschirme, was einen zusätzlichen Fehlerbeitrag beim Verschieben des Bildausschnitts zum schon vorhandenen Fehler durch das Ausmessen über die Transparentfolie bringt.

Für die Strecke des Rissfortschritts wurde nicht mehr über mehrere Bildschirme gemessen, weswegen diese Fehlerquelle beim weiteren Vorgehen wegfiel. Doch die Ablesefehler von den Transparentfolien sind vorhanden und sind bei niedrigerer Vergrößerung größer und bei höherer Vergrößerung kleiner. Außerdem verändert sich K bei Rissfortschritt, weswegen die mittlere Risslänge c_m eingeführt worden ist.

Weitere Fehler wurden beim Vorgeben der Last über das Steuergerät gemacht, da es nicht immer schnell genug möglich war, die ausgesuchte Kraft exakt einzustellen. Auch beim Stoppen der Zeit kam es zu Abweichungen zwischen dem Loslaufen des Risses und dem Starten der Stoppuhr. Ebenfalls beim Stoppen der Stoppuhr war der Rissfortschritt nicht unmittelbar beendet, da die Last noch heruntergedreht werden musste. All das liegt im Rahmen des menschlichen Reaktionsvermögens.

Gerade bei höheren Rissausbreitungsgeschwindigkeiten wurde das exakte Stoppen, Einstellen der Last und Beobachten des Risses immer schwieriger und ungenauer. Dazu kam, dass der Riss mit zunehmender Länge beschleunigte und das Messen erschwerte.

Tabelle 2 zeigt eine Abschätzung der für die einzelnen Größen gemachten Fehler. Die Abschätzung für $\Delta\Delta c$ bei den unterschiedlichen Vergrößerungen wurden aufgrund des nicht ganz exakten Anlegens der Transparentfolie entlang des Risses gemacht. Aus den Fehlern, lässt sich ein mittlerer relativer Fehler $\Delta v = \pm 20\%$ und $\Delta K = \pm 7\%$ abschätzen.

Größe	ΔW	Δc_0	$\Delta\Delta c(2, 5x)$	$\Delta\Delta c(10x)$	$\Delta\Delta c(20x)$	Δt	ΔF
Fehler	0,5mm	0,5mm	80 μ m	50 μ m	20 μ m	0,5s	0,3N

Tabelle 2: Fehlerabschätzung

3.3 Abschlussbetrachtung

Qualitativ lässt sich sagen, dass mit dieser Vorgehensweise Bereich I und II mit hinreichender Genauigkeit unter Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit erfolgen kann und der Trend trotz einer gewissen Streuung der Messpunkte gut ersichtlich ist. Es wird deutlich, dass die Rissausbreitungsgeschwindigkeit stark mit der Spannungsintensität steigt und dass in Bereich I ein exponentieller Zusammenhang gemäß der Paris-Gleichung zu beobachten ist.

Die zu bestimmenden Größen K_{Ic} und K_{Ie} lassen sich wie oben beschrieben nur sehr grob

abschätzen. Dazu sind der Messzeitraum, das menschliche Reaktions- und Beobachtungsvermögen und der Messaufbau nicht genügend.

3.4 Kurzfragen

- B1 Der Eindruck muss entfernt werden, damit die Verspannungen im Material den Rissfortschritt nicht beeinflussen.
- B2 K_{Ic} kann nur abgeschätzt werden, weil Rissausbreitungsgeschwindigkeiten in der Größenordnung der Schallgeschwindigkeit gemessen werden müssten. Dies ist nicht möglich.
- B3 K beschreibt die Spannungsintensität an der Rissspitze bei gegebener Last und Risslänge, während K_{Ic} den kritischen Wert für das Versagen eines Bauteils beschreibt. Somit kann K_{Ic} als Materialparameter angesehen werden.
- B4a Für ein fehlerfreies Bauteil, das in der Anwendung nicht realisierbar ist, wäre $c = 0$ und damit würde trotz $K_{Ie} = 0$ kein Rissfortschritt stattfinden.
- B4b Für ein reales Bauteil hingegen, welches immer Fehler und Risse enthält, ist $c > 0$ und damit würde schon bei unendlich kleiner Belastung Rissfortschritt stattfinden.
- B5 Mit einer DCB-Probe würde der Riss nicht wie in der CT-Probe gerade verlaufen, da aufgrund der Spannungsverteilung der Risspfad nicht so stabil ist wie in der CT-Probe. Somit kann es leicht passieren, dass der Riss nach oben oder unten ausweicht, was das Aufnehmen einer v - K -Kurve deutlich erschwert.