

Zusammenfassung

AiF-Nr.: 12901 N

Bruchzähigkeitsverhalten und Ermüdungsrisswachstum als Dimensionierungskriterium für Polyolefinkonstruktionswerkstoffe

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erarbeitung von Rissfortschrittskurven unter Schwinglasten für verschiedene duktile Kunststoffe (PE- und PP-Varianten) und ein stichprobenartiger Vergleich mit dem Rissfortschrittsverhalten eines spröderen Werkstoffes (PMMA). Zusätzlich sollen die Daten im Bereich des schnellen bzw. des instabilen Risswachstums durch Zugversuche an Compact Tension specimen, CT Proben, untermauert werden.

Die Intention der vorliegenden Arbeit ist es, zu untersuchen, inwieweit sich das reale Rissbildungs- und -ausbreitungsverhalten mit Proben unterschiedlicher Dicke nachstellen, d. h. simulieren lässt und ob gewisse Verallgemeinerungen möglich sind, obwohl dabei Abweichungen von den bekannten Auswerteverfahren in Kauf genommen werden müssen.

Es wurden vier teilkristalline Werkstoffe und ein amorpher Werkstoff statischen und dynamischen Versuchen unterzogen. Die Lieferform der Versuchsmaterialien waren im Fall der teilkristallinen Werkstoffe gepresste Platten unterschiedlicher Dicke. Diese Werkstoffe waren (Mat.1) Basell PP 2150 natur, (Mat. 2) Sabic PP Stamylan 71 EK 71 PS, (Mat. 3) Basell PE CPR 100 und (Mat. 4) Sabic PE Vestolen A 6060 R. Der amorphe Werkstoff war (Mat. 5) Röhm PMMA GS 222 transparent und wurde als gegossenes Plattenmaterial geliefert.

Zunächst wurden die für die späteren Versuche benötigten mechanischen Kenngrößen in Zugversuchen bestimmt. Dabei wurden Rundproben und auch Flachproben verwendet. Zusätzlich wurde stichprobenmäßig auch der Eigenspannungszustand bei der Plattenware der vier teilkristallinen Werkstoffe untersucht.

Zur Vorbereitung von Zugversuchen an angerissenen CT-Proben wurden CT-Proben unterschiedlicher Geometrie auf servopneumatischen Schwingprüfmaschinen mit dem Lastverhältnis $R=0,2$ angeschwungen. Die Zugversuche an den angeschwungenen CT-Proben wurden als Mehrprobenversuche nach Begley und Landes bzw. nach ESIS TC4 konzipiert. Diese Versuche ergaben für Mat. 5 ein in guter Näherung linearelastisches Verhalten mit einem K_c -Wert als Resultat. Das Mat. 1 zeigte ein fast linearelastisches Bruchverhalten. Für die Werkstoffe Mat. 2 und Mat. 3 konnten näherungsweise $J_{0,2}$ Werte bestimmt werden. Beim Mat. 4 kann man formal auch einen $J_{0,2}$ Wert bestimmen, er drückt jedoch nicht den hohen Widerstand gegen Weiterreißen aus. Nach der Auswertung ordnen sich die Messpunkte unterhalb der Bluntinglinie $J=2x \sigma_s$ fächerförmig an.

Nimmt man die Ergebnisse der da/dN-Versuche zu der Bewertung der Ergebnisse der CT-Zugversuche hinzu, so zeigen beide PE-Varianten einen hohen Widerstand gegen zyklisches als auch gegen stabiles Weiterreißen.

Die da/dN-Versuche wurden auf servohydraulischen Schwingprüfmaschinen ausgeführt. Dabei erfolgte die Steuerung und Regelung der Maschinen durch ein kommerziell erworbenes Programm, das online die zur Erstellung von da/dN-Kurven benötigten Daten erfasst und weiter verrechnet.

Es wurden für die fünf Werkstoffe da/dN-Kurven sowohl für verschiedene Probendicken als auch für die R-Werte $R=0,2$ und $R=0,5$ gefahren. Dabei hat sich gezeigt, dass das Mat. 1 schon bei kurzen Anrissen und rel. kleinen Lasten schon zum spontanen Bruch neigt. Das Mat. 2 zeigt eine ausgeprägte Neigung zur multiplen Rissbildung und zum Aufbau einer vergleichbar großen Zerrüttungszone vor dem eigentlichen Anriss.

Die beiden PE-Werkstoffe bauen Spannungsspitzen vor den Rissen durch entsprechend große plastische Verformung ab, was den Widerstand gegen Weiterreißen erklärt.

Bei den da/dN-Kurven für die PP- und PE-Werkstoffe konnte die Rissfortschrittsgeschwindigkeit nicht über etwa den Wert von 1 mm Verlängerung pro 100 Lastspiele erhöht werden. Teilweise wurde auch ein Abflachen der da/dN-Kurve beobachtet, da die Versuche meistens bis zu einem Verhältnis von $a/W = 0,7$ gefahren wurden. Durch die hohe Duktilität kommt es dabei möglicherweise bereits zu einer merklichen Anhebung des Spannungsniveaus im Ligament oder zum sog. „large scale yielding“.

Es wurden zur Kontrolle manuell berechnete da/dN-Kurven mit den online bestimmten Kurven verglichen, um Informationen über die Genauigkeit der vom Programm berechneten Risslängen, ΔK Werte und da/dN-Kurven zu erhalten. Dieser Vergleich ergab eine zufriedenstellende Übereinstimmung der online und der manuell bestimmten Kurven.

Für den Anwender wurden die Ergebnisse formelmäßig und tabellarisch aufgearbeitet. Es wurden die sog. Paris-Gleichungen für den Bereich II der Rissfortschrittskurven dokumentiert. Weiterhin wurden die da/dN-Kurven mit Hilfe einer von der IABG entwickelten Beziehung in einer geschlossenen analytischen Form dokumentiert. Diese Formulierung umfasst die gesamte da/dN-Kurve von einem geschätzten Schwellenwert ΔK_{th} bis zu einem ebenfalls aus den Kurven geschätzten ΔK_{max} . Diese Beziehung wurde im vorliegenden Fall als „lower bound“-Kurve angesetzt.

Die da/dN-Kurven und ihre Reduktion auf die IABG-Beziehung zusammen mit den Ergebnissen der CT-Zugversuche geben dem Anwender ein Werkzeug zur Lebensdauerabschätzung und zur Dimensionierung gegen Bruch für die untersuchten Werkstoffe in die Hand.

Danksagung und Bestellhinweis

Das Forschungsvorhaben 12901 N der Forschungsvereinigung FSKZ wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung.

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden. Dieser kann auf Anfrage beim SKZ zum Selbstkostenpreis bestellt werden. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.