Bestimmen der Mode-III-Bruch-eigenschaften von Kunststoffen

Die antiklastische Plattenbiegung als Prüfverfahren

Mehdi Farshad und Peter Flüeler,
Dübendorf

In diesem Beitrag werden Arbeiten zur Bestimmung der Mode-III-Brucheigenschaften von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen mit der Methode der antiklastischen Plattenbiegung (AKPB) präsentiert. Diese Methode wurde zur Bestimmung der Mode-III-Nachgiebigkeit, der Mode-III-Energiefreisetzungsrate und der Mode-III-Bruchzähigkeit einiger Kunststoffe verwendet. Untersucht wurden Polymethylmethacrylat, Polycarbonat, Polyvinylchlorid, Polyetherimid, Polymethacrylimid, Polystyrol und Verbundwerkstoffe, wie CFK- und GFK-Materialien. Zur Auswertung der experimentellen Daten wurde ein einfaches, theoretisches Modell auf Basis der Torsionstheorie entwickelt.

Zur Untersuchung der Mode-III-Bruchzähigkeit von Verbundwerkstoffen werden in der Fachliteratur einige Methoden vorgeschlagen [1 bis 8], unter anderem: Schienenriß-Schubmethode (Crack Rail Shear Method, CRS), Methode des gespaltenen Kragarms (Split Cantilever Beam Method, SCB), Kantenriß-Torsionsmethode (Edge Crack Torsion Method, ECT), Schrägkerb-Zugmethode (Slant Notch Tension Method, SLT) und Dreifach-Biegemethode (Triple Bending Method, TB).

Mode-III-Bruchzähigkeitsuntersuchungen müssen einige wichtige Anforderungen erfüllen. Das Mode-III-Untersuchungsgerät muß in der Probe einen reinen Mode-III erzeugen und die Versuchsergebnisse beziehungsweise deren Auswertungen dürfen nur minimale Streuungen aufweisen. Die Methoden müssen so flexibel sein, daß sie für Untersuchungen bei verschiedenen Temperaturen verwendbar sind. Ferner ist erstrebenswert, sowohl mögliche Meßfehler als auch den Aufwand bei der Probenvorbereitung zu minimieren.

Dieser Beitrag faßt die wesentlichen Aspekte der bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführten umfassenden Forschungsarbeiten zur Anwendung der

AKPB-Methode zur Ermittlung von Mode-III-Eigenschaften [9 bis 15] zusammen und konzentriert sich auf die bruchmechanischen Mode-III-Eigenschaften.

Bild 1. Probengeometrie für die Mode-III-Versuche mit der Methode der AKPB, oben: quadratische Platte mit Auflagern und Lastanordnung, unten: Probe mit Anriß und Kerb, Aufsicht und Seitenansicht

Versuchsdurchführung

Gemäß einer FE-Simulation wird bei einer AKPB-Beanspruchung in einer Platte im wesentlichen ein reines Schubfeld erzeugt. Dieses Phänomen wurde für bruchmechanische Mode-III-Untersuchungen thermoplastischer Kunststoffe, Schaumstoffe und Verbundwerkstoffe genutzt.

Um das Mode-III-Rißwachstum (Tearing Mode, Bild 1) in der Platte anzuregen, werden an gegenüberliegenden Seiten der Platte Anrisse senkrecht zur Plattenebene eingebracht. Zusätzlich werden die Anrisse zur kontrollierten Rißausbreitung mit zwei seitlichen Kerben in den Probenoberflächen verbunden. Damit kann Mode-III-Rißwachstum entlang des Kerbs erzeugt werden. Bild 1 zeigt die Geometrie, die Anrisse und die Kerben einer typischen Mode-III-Probe. Bild 2 stellt eine GFK-Probe in der AKPB-Vorrichtung für Mode-III-Beanspruchung dar.

Experimentelle Daten

In Bild 3 ist eine PUR-Schaumstoffprobe nach einem Mode-III-Versuch mit der AKPB-Vorrichtung zu sehen. Eine typische Schaumstoffprobe hat eine Seiten-

Tabelle 4. Zugfestigkeiten der Versuchsreihe 4; Halbschalen ohne Aussparungen, gekerbte Proben (Druckgasflasche Typ B)

Probe Nr.	Zugfestigkeit/MPa	E-Modul/GPa
1	1166	67,5
2	989	60,6
3	1035	60,1
Mittelwert	1063,3	62,7
Standardabweichung	91,8	4,1

Tabelle 5. Gegenüberstellung theoretischer und tatsächlicher Berstdrücke

	Theoretischer Berstdruck/MPa	Tatsächlicher Berstdruck/MPa
Druckgasflasche Typ A	142,0 ± 10,4	115,3 ± 15,0
Druckgasflasche Typ B	92,5 ± 8,0	114,1 ± 9,5

den im uniaxialen Zugversuch gemessenen Spannungen theoretische Berstdrücke zu bestimmen.

Mit den Umfangsspannungen aus den Ringzugversuchen (Tabellen 3 und 4) können nun solche theoretischen Berstdrücke errechnet werden. In Tabelle 5 sind sie den tatsächlichen Berstdrücken von Druckgasflaschen jeweils desselben Fertigungsloses gegenübergestellt.

Betrachten der Restfehler

Trotz annähernd gleicher im Versuch ermittelter Berstdrücke der Druckgasbehälter verschiedener Hersteller zeigen die aus den Ringzugversuchen berechneten Berstdrücke signifikante Unterschiede. Diese Unterschiede können verschiedene Ursachen haben:

- Es standen im Rahmen dieser Untersuchungen jeweils nur maximal vier vergleichbare Berstdruckversuche an Flaschen desselben Fertigungsloses zur Verfügung.
- Es wurden nur jeweils drei Zugversuche mit gekerbten Ringproben durchgeführt.
- Die Beanspruchungsgeschwindigkeiten im Zug- und im Berstdruckversuch sind unter Umständen unterschiedlich.
- Bei uniaxialen Zugversuchen wird die Querkontraktion nicht berücksichtigt.
- Die geringe Probenbreite in Verbindung mit der Kerbgeometrie hat unterschiedlichen Einfluß auf die Ringproben, die aus verschiedenen gewickelten Druckgasflaschen gefertigt wurden (Kerbart und Kerbgröße müssen auf den Lagenaufbau abgestimmt werden).

► Der Einfluß des Wicklungsaufbaus auf das Bauteilverhalten (Anzahl und Dicke der Fasern längs und quer zur Behälterhauptachse) ist rechnerisch und prüftechnisch nur unzureichend nachzubilden.

Fazit

Die dargestellten Untersuchungsergebnisse zeigen, daß an dem Produkt entnommene Proben sehr viel aussagekräftigere Meßwerte ergeben als speziell für Prüfzwecke anzufertigende Muster. Entgegen dem Berstdruckversuch eröffnet der hier vorgestellte Ringzugversuch erstmalig eine schnelle und kostengünstige Methode zur Abschätzung des realen Bauteilverhaltens. Zur Absicherung dieser ersten Ergebnisse ist es sinnvoll, weitere Versuche bei größerer Probenanzahl, mit verschiedenen Werkstoffkombinationen, mit verschiedenen

Wickelverfahren und Laminataufbauten und mit verschiedenen Geometrien durchzuführen. Eine Unterstützung seitens der Hersteller von Druckgasflaschen ist hierbei unerlässlich. Nach erfolgreicher Fortführung dieser Untersuchungen ist eine baldige Umsetzung in das Regelwerk wünschenswert.

Literatur

- 1 ISO 527-4: Bestimmung der Zugeigenschaften
- 2 DIN EN ISO 14125: Bestimmung der Biegeigenschaften
- 3 ASTM D 2344-84: Apparent Interlaminar Shear Strength of Parallel Fiber Composites by Short-Beam Method
- 4 DIN 53392: Bestimmung von Zugfestigkeit, Dehnung und Elastizitätsmodul an unidirektional verstärkten Laminaten
- 5 ASTM 2290-92: Apparent Tensile Strength of Ring or Tubular Plastics and Reinforced Plastics by Split Disk Method
- 6 Vollrath, L.; Reuter, U.: Dreipunktbiegung - Zur Prüfgeometrie bei Langfaser-Verbunden. Materialprüfung 38 (1996) 3, S. 69

Die Autoren dieses Beitrags

Dr.-Ing. Christian Bonten, geboren 1969, studierte in Duisburg und Aachen Maschinenbau. Nach seinem Studium arbeitete er als Projekt-Ingenieur im Institut für Kunststoffe im Maschinenbau GmbH (IKM) an der Universität-GH Essen. Seit seiner Promotion 1998 ist er dort Leiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung.

Dr.-Ing. Markus Uebbing, geboren 1963, studierte in Paderborn Maschinenbau. Nach seinem Studium arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Kunststofftechnologie an der Universität-GH Paderborn. Seit 1994 ist er Sachverständiger beim Rheinisch-Westfälischen Überwachungsverein e.V. und leitet die Arbeitsgruppe Kunststofftechnik.

Summary

Determination of Strength Parameters of Fibre Reinforced Compressed-Gas Cylinders. The growing relevancy of composite pressure vessels for compressed gases is based on their light weight and high compressive strength. The difficulties in applying material parameters to the properties of real components are highlighted by testing selected composite cylinders. The testing procedures have to be significant as well as practical. Tensile tests on ring like sections of cylinders made of fibre reinforced plastics reveal reproducible results beyond the performance of previous techniques.

Bild 2. Die AKPB-Einrichtung mit montierter Mode-III-Versuchsprobe, maximale Seitenlänge 30 cm; die Ecken der geprüften Platte sind zwischen je zwei Metallplatten fixiert

länge von 150 mm und ist rund 10 mm dick. Beim Mode-III-Versuch bewirkt die beschriebene Prüfmethode ein Rißwachstum ausgehend von einem vorbereiteten Anriß entlang eines Seitenkerbs.

Die Morphologie der Bruchfläche war je nach Material unterschiedlich. Bei Schaumstoffen wurde an der Rißspitze lokal ein Zusammenstoßen von Zellen festgestellt. Bei PVC-Proben wurde an der Kerbspitze „Crazing“ beobachtet. Um den Einfluß des Anrisses auf das Mode-III-Rißwachstum untersuchen zu können, wurde eine Reihe von Mode-III-Experimenten mit unterschiedlich lan-

gen Anrissen durchgeführt. Bild 4 zeigt die Ergebnisse dieser Prüfungen für Proben aus PVC-U (Polyvinylchlorid). In diesem Bild sind die Last-Weg-Diagramme dargestellt. Die unterschiedlichen Anrißlängen sind in Prozent der Probenbreite angegeben. Die Abbildung zeigt, daß die Anrißlänge einen bedeuten den Einfluß auf den nichtlinearen Bereich, jedoch nicht auf den linearen Bereich der Last-Weg-Diagramme hat. Daher kann der Einfluß der Anrißlänge für Auswertungen, die sich auf den linearen Bereich beziehen, vernachlässigt werden.

Parametrische Modellierung

Für die Auswertung der experimentellen Daten wurden einfache, parametrische Modelle entwickelt, die vorteilhaft auch für die Optimierung der Versuchsparameter verwendet werden können.

Für die Mode-III-Energiefreisetzungsrate G_{III} gilt die folgende Beziehung [11]:

$$G_{III} = \frac{F^2}{2h} \frac{dC}{da_0}, \quad (1)$$

wobei F die maximale Eckkraft, h die Plattendicke, a_0 die Rißlänge und C die

Bild 3. PUR-Schaumstoffprobe nach Mode-III-Rißausbreitung in der AKPB-Versuchseinrichtung mit den Probendimensionen circa 125 mm x 125 mm x 10 mm; die Ecken der geprüften Platte sind zwischen je zwei Metallplatten fixiert

Nachgiebigkeit bezeichnen. Mit G als Schubmodul lautet die Gleichung für die Mode-III-Bruchzähigkeit K_{III} :

$$K_{III} = \sqrt{2G \cdot G_{III}} \quad (2)$$

Die Plattennachgiebigkeit C ist im Mode III wie folgt definiert:

$$C = \frac{\Delta}{F} \quad (3)$$

Eine parametrische Beziehung der Verschiebungswerte Δ der Platte kann vom Torsionsmodell für Stäbe abgeleitet

Material	G	C _{III}		G _{III}	K _{III}
	MPa	mm/N		mN/mm ²	N/mm ^{3/2}
		exp.	ber.		
Polymethylmethacrylat (PMMA)	1210,0	0,025	0,022	24,30	243,00
Polycarbonat (PC)	870,0	0,044	0,041	42,20	270,00
Polyäthylen hoher Dichte (PE-HD)	360,0	0,059	0,074	23,00	129,00
Unplastifiziertes Polyvinylchlorid (PVC-U)	1170,0	0,016	0,014	35,90	290,00
Polyvinylchlorid (PVC) Hartschaum mit 75 kg/m ³	23,7	1,068	1,145	0,52	4,97
Polyurethan (PUR) Hartschaum mit 100 kg/m ³	33,0	–	–	–	–
Polyetherimid (PEI) Hartschaum mit 80 kg/m ³	22,5	1,189	1,213	0,68	5,51
Polyetherimid (PEI) Hartschaum mit 65 kg/m ³	15,0	–	–	0,57	4,28
Polyetherimid (PEI) Hartschaum mit 50 kg/m ³	12,5	–	–	0,53	3,65
Polymethacrylimid (PMI) Hartschaum mit 60 kg/m ³	33,8	0,513	0,639	0,58	6,26
Polystyrol (PS-X) Hartschaum mit 40 kg/m ³	9,2	3,318	3,303	0,18	1,19
Glasfaserverstärktes Polyester (GF-UP)	5200,0	0,019	0,019	30,70	565,00
Kohlenstofffaserverstärktes Epoxidharz (CF-EP, T700, Toray), unidirektional	4630,0	0,985	1,145	2,56	154,00
Corian, PMMA gefüllt mit Aluminiumhydroxid, Al(OH) ₃ , mit 1780 kg/m ³ , 6 mm dick	3650,0	0,027	0,027	5,48	200,00

Tabelle 1. Schubmodul und Mode-III-Brucheigenschaften einiger Kunststoffe und Verbundwerkstoffe, ermittelt mit der AKPB-Methode (G = Schubmodul, C_{III} = Nachgiebigkeit, G_{III} = Energiefreisetzungsrate, K_{III} = Bruchzähigkeit, exp. = experimentell ermittelte Werte, ber. = berechnete Werte)

Bild 4. Einfluß der Anrißlänge auf das Last-Weg-Verhalten von PVC-U-Platten im Mode-III-Versuch mit Hilfe der AKPB-Methode, die Anrißlänge ist in Prozent der Plattenbreite angegeben

werden, indem die Platte durch einen Stab ersetzt wird. Gemäß der Torsionstheorie für Stäbe wird die Platte als ein Stab mit rechteckigem Querschnitt $a \cdot h$ betrachtet. Dabei bezeichnet $a^* = a - 2a_0$ die effektive Plattenbreite. Das Torsionsmoment lautet $F \cdot a$ (Bild 1). Die Länge des Stabmodells der Platte ist $a/2$.

Der Torsionswinkel des Stabmodells wird mit Hilfe der bekannten Torsionsformel berechnet, zum Beispiel [14, 15]. Sie lautet:

$$\theta = \frac{Fb \cdot b}{2GJ}, \quad (4)$$

wobei $b^* = b - 2a_0$ gilt und b die Seitenlänge der Platte bezeichnet. Für einen rechteckigen Querschnitt gilt:

$$J = \frac{1}{16} b^* h^3 \left[\frac{16}{3} - 3.36 \frac{h}{b^*} \left(1 - \frac{h^4}{12b^{*4}} \right) \right] \quad (5)$$

Die laterale Eckverschiebung Δ wird nach der Torsionstheorie berechnet, das heißt

$$\Delta = b\theta. \quad (6)$$

Durch das Einsetzen der Gleichungen 3 bis 6 und unter Verwendung der Beziehungen 1 und 2 folgen die gewünschten Gleichungen für die Mode-III-Energiefreisetzungsrates und die Mode-III-Bruchzähigkeit. Die Ergebnisse der Modellierung in dimensionsloser Form mit den folgenden Parametern lauten:

$$\bar{a}_0 = \frac{a_0}{b}, \quad \bar{a} = \frac{a}{b}, \quad \bar{b} = \frac{b^*}{b}, \quad \bar{\Delta} = \frac{\Delta}{b}, \quad \bar{J} = \frac{J}{b^4}$$

$$\bar{C} = C(F/b), \quad \bar{G}_m = G_m(F/b), \quad \bar{K}_m = \sqrt{\frac{4Gh}{F}} \sqrt{\bar{G}_m} \quad (7)$$

In Bild 5 ist der Verlauf der dimensionslosen Inversen der Plattennachgiebigkeit (Plattensteifigkeit), in Bild 6 die dimensionslose Mode-III-Bruchzähigkeit

als Funktion der dimensionslosen Rißlänge dargestellt.

Ergebnisse der AKPB-Untersuchungen

Die anhand der AKPB-Vorrichtung gewonnenen experimentellen Daten wurden mit Hilfe der parametrischen Modelle ausgewertet. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Schubmodul-Bestimmungen [14, 15] und der Mode-III-Bruchuntersuchungen zusammengefaßt. In der zweiten Spalte der Tabelle 1 sind die Schubmodulwerte einiger Kunststoffe und Verbundwerkstoffe aufgeführt. In den weiteren Spalten dieser Tabelle sind die bruchmechanischen Mode-III-Eigenschaften aufgelistet, die mit der Methode der AKPB ermittelt worden sind. Zur Berechnung der Mode-III-Energiefreisetzungsrates und der Mode-III-Bruchzähigkeit wurde dabei jeweils der Schubmodulwert aus den AKPB-Schubexperimenten [14, 15] eingesetzt.

Diskussion und Schlußfolgerungen

Obwohl das Prinzip der AKPB bereits seit einiger Zeit bekannt ist, erforderte die Anwendung dieses Phänomens, insbesondere im Bereich von Mode-

Bild 5. Verlauf der dimensionslosen Inversen der Plattennachgiebigkeit (Plattensteifigkeit) als Funktion der dimensionslosen Rißlänge

III-Bruchuntersuchungen, einige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die auch als Grundlage zur Einführung einer normierten AKPB-Prüfmethode dienen können. Diese sind durch Modifikationen des AKPB-Geräts und umfangreiche Validierungsversuche zu ergänzen.

Die Methode der AKPB stellt ein einfaches und zuverlässiges Mittel zur Bestimmung der Mode-III-Brucheigenschaften und der Schubeigenschaften [15] von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen dar. Die wesentlichen Vorteile der AKPB-Methode sind: Relativ reines Schubfeld in der Plattenebene infolge der AKPB-Beanspruchung, einfache Versuchseinrichtung, minimaler Aufwand für Probenvorbereitung und damit niedrige Materialbearbeitungskosten, Zeitersparnis bei der Versuchs-

Bild 6. Verlauf der dimensionslosen Mode-III-Bruchzähigkeit als Funktion der dimensionslosen Rißlänge

durchführung, direkte parametrische Ermittlung des Schubmoduls und der Mode-III-Brucheigenschaften, geringe Streuung der Meßwerte, Möglichkeit zur Bestimmung der zeit- und temperaturabhängigen Schubeigenschaften von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen mit niedrigem Aufwand und Potential zur Bestimmung der Schubeigenschaften von Klebstoffen.

Die AKPB-Methode und deren technische Realisierung (AKPB-Geräte beziehungsweise AKPB-Vorrichtung) scheinen eine zuverlässige Methodologie zu liefern, mit der sowohl die Kurzzeit- und Langzeit-Schubmodule von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen als auch deren Mode-III-Brucheigenschaften bestimmt werden können.

Mit den an der EMPA realisierten, einfach aufgebauten Versuchseinrichtungen [15] können Untersuchungen an Proben mit unterschiedlichen Abmessungen durchgeführt werden.

Dank

Die Autoren danken Herrn H. Kwakkel als Gast im Rahmen eines Studentenprojekts des Haarlem Polytechnic, Niederlande, und Herrn B. Jähne für die Durchführung der Versuche und einen Teil der Auswertung sowie Herrn A. J. Brunner für die Redaktion des Texts.

Literatur

- 1 Becht, G.; Gillespie, J. W. Jr.: Design and Analysis of the Crack Rail Shear Specimen for Mode III Interlaminar Fracture. *Composites Science and Technology*. 31 (1988) 2, S. 143-157
- 2 Donaldson, S. L.; Mall, S.; Lingg, C.: The Split Cantilever Beam Test for Characterizing Mode III Interlaminar Fracture Toughness. *Journal of Composites Technology and Research*. 13 (1991) 1, S. 41-47
- 3 Martin, R. H.: Evaluation of the Split Cantilever Beam for Mode III Delamination Testing. In: O'Brien, T. K. (eds.): *Composited Materials: Fatigue and Fracture*. ASTM STP 1110. Vol. 3. ASTM, Philadelphia 1991, S. 243-266
- 4 Li, J.; Wang, Y.: Analysis of a Symmetric Laminate with Mid-Plane Free Edge Delamination under Torsion: Theory and Application to the Edge Crack Torsion (ECT) Specimen for Mode III Toughness Characterization. *Engineering Fracture Mechanics* 49 (1994) 2, S. 179-194
- 5 Robinson, P.; Song, D. Q.: Development of a Mode III Delamination Test for Composites. 2nd International Conference on Delamination and Fracture of Composites. UMIST, Manchester 1993
- 6 Lee, S. M.: An Edge Crack Torsion Method for Mode III Delamination Testing. *Journal of Composites Technology and Research* 15 (1993) 3, S. 193-201
- 7 Li, J.; O'Brien, T. K.: Simplified Data Reduction Methods for the ECT Test for Mode III Interlaminar Fracture Toughness. *Journal of Composites Technology and Research* 18 (1996) 2, S. 96-101
- 8 O'Brien, T. K.: Interlaminar Fracture Toughness: The Long and Winding Road to Standardization. *Composites, Part B*, Vol. 29B, 1998, S. 57-62
- 9 Farshad, M.; Wildenberg, M. W.; Flüeler, P.: Determination of Shear Modulus and Poisson's Ratio of Polymers and Foams by Anticlastic Plate Bending Method. *Materials and Structures* 30 (1997) 7, S. 377-382
- 10 Farshad, M.: Investigation of Adhesives Properties and Mode III Crack Growth with Anticlastic Plate Bending Method. In: Pick, R. (ed.): *Proceedings European Conference*

on Macromolecular Physics - Surfaces and Interfaces in Polymers and Composites. Vol. 21 B. European Physical Society, Mulhouse 1997, S. 145-146

- 11 Determination of Shear Modulus and Poisson's Ratio by Anticlastic Plate Bending Method. EMPA-Bericht Nr. 157'112. EMPA, Dübendorf 1994
- 12 Farshad, M.; Flüeler, P.: Application of Mode III Fracture Toughness Using an Anticlastic Plate Bending Method. *Engineering Fracture Mechanics* 60 (1998) 56, S. 597-603
- 13 Farshad, M.: Design and Analysis of Shell Structures. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1992, S. 5
- 14 Investigation of Mode III Crack Growth with Anticlastic Plate Bending Method. EMPA-Bericht Nr. 167'135. EMPA, Dübendorf 1997
- 15 Farshad, M.; Flüeler, P.: Schubmodul von Kunststoffen bestimmen - Die Methode der Antiklastischen Plattenbiegung. *Materialprüfung* 41 (1999) 3, S. 64-69

Die Autoren dieses Beitrags

Professor Dr. Mehdi Farshad, geboren 1942, studierte an der Universität Teheran Bauingenieurwesen mit dem Abschluß des B. S., an der Columbla University mit dem Abschlüssen M. S. und C. E. und erwarb an der Stanford University den Ph. D. Beginnend im Jahr 1970

war er als Professor an der Universität Shiraz im Iran und als Gastprofessor an der University of Toronto tätig und an mehreren Forschungsprojekten beteiligt. Seit 1991 arbeitet er an der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) im Bereich Kunststoffe und Verbundstrukturen und leitet die Ingenieurgruppe der Abteilung „Kunststoffe/Composites“. 1996 verlieh ihm die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) den Rang eines Titularprofessors. Seit 1991 hält er an der ETH Vorlesungen über Stabilität von Schalen und Verbundsystemen, Biomechanik und Finite-Element-Simulationen. Er ist Autor von 29 Büchern und etwa 150 Publikationen.

Peter Flüeler, geboren 1943, studierte an der ETH Zürich Bauingenieurwesen, diplomierte 1969 und arbeitete zuerst als projektierender Ingenieur im Hoch- und Tiefbau. Beginnend mit dem Jahr 1972 war er in der EMPA Dübendorf als Prüf- und Forschungsingenieur im Bereich des Massivbaus tätig. Seit 1979 leitet er nach Fortbildung am MIT im Bereich „Kunststoffe/Composites“ die Abteilung „Kunststoffe/Composites“ an der EMPA, wo er Fragen der Kunststoffanwendung, der Bruchmechanik und deren spezielle Prüftechnik bearbeitet. Seit 1986 ist er an der ETH Zürich auch nebenamtlicher Dozent für Kunststoffe und deren Anwendungen in der Architektur, im Bauingenieurbereich und in den Werkstoffwissenschaften.

Summary

Determination of the Mode III Fracture Toughness of Polymers and Laminated Materials with the Method of Plate Bending. This paper deals with the investigation of mode III fracture behaviour of polymers and laminated materials using the ACPB-methodology. The ACPB-method was used to determine the mode III compliance, the mode III energy release rate and the mode III fracture toughness of some polymers. Subject of the investigation were Polymethylmethacrylate, Polycarbonate, Polyvinylchloride, Polyetherimide, Polymethacrylimide, Polystyrene and composites such as CFRP and GFRP. To evaluate the experimental data a simple model based on the theory of torsion was developed. The results show that the ACPB-method can be regarded as a reliable and yet simple test not only for the determination of the shear moduli of polymers and composites, but also as an appropriate method for the investigation of their mode III properties.