

IVW - Schriftenreihe Band 17

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH - Kaiserslautern

inventarisiert unter:

B4-71

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Fachgebiet Konstruktiver Leichtbau und Bauweisen

Prof. Dr.-Ing. Helmut Schürmann

64287 Darmstadt, Petersenstraße 30

Josef Dollhofer

Bruchmechanische Charakterisierung der
Adhäsion an Polymer/Glas-Grenzflächen

Inhaltsverzeichnis

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Fachgebiet Konstruktiver Leichtbau und Bauweisen

Prof. Dr.-Ing. Helmut Schürmann

64287 Darmstadt, Petersenstraße 30

Inhaltsverzeichnis.....	III
Verzeichnis der Formelzeichen.....	VIII
Kurzfassung.....	XI
Abstract.....	XII

1	Ausgangssituation.....	1
	1.1 Der Adhäsionsbegriff.....	1
	1.2 Reversible und irreversible Oberflächentrennung.....	1
	1.3 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.....	5
2	Theorie des Grenzflächenrisses.....	8
	2.1 Linear-elastische Modelle von Zweistoffverbunden mit einer Singularitätsstelle in der Grenzfläche.....	8
	2.2 Belastungsmoden am Riß.....	9
	2.3 Modellvorstellung von der Umgebung der Singularitätstelle.....	11
	2.4 Die Energiefreisetzungsrates.....	13
	2.5 Formulierung der Energiefreisetzungsrates durch lokale Größen... 16	
	2.6 Die Energiefreisetzungsrates als Bruchkriterium.....	17
	2.7 Linear-elastische Nahfeldlösungen für den Grenzflächenriß.....	18
	2.8 Der Grenzflächenriß mit spannungsfreien Rißufern (TF-Riß).....	19
	2.8.1 Singuläre Felder und Spannungsintensitätsfaktoren am TF-Grenzflächenriß.....	21
	2.8.2 Oszillierender Spannungszustand.....	24
	2.8.3 Anschauliche Interpretation des Mixed-Mode-Winkels.....	26
	2.8.4 Regulärterm.....	28
	2.9 Der Grenzflächenriß bei reibungsbehaftetem Rißuferkontakt (CT-Riß).....	29
3	Zwei Nichtlinearitäten: Rißuferkontakt und Rißspitzenplastizität.....	32
	3.1 Rißuferkontakt.....	32
	3.1.1 Länge der Kontaktfuge an der Rißspitze.....	32
	3.1.2 Bestimmung der Spannungsintensitätsfaktoren durch Extrapolation.....	34

3.1.3	Zusammenhang zwischen TF- und CT-Spannungsintensitäten beim Kleinbereich-Kontakt.....	36
3.1.4	Relevanz des Rißuferkontaktes bei der experimentellen Ermittlung der Grenzflächenzähigkeit unter öffnungsdominierter Beanspruchung.....	37
3.1.5	Systematisierung der Beanspruchungszustände.....	40
3.2	Plastisches Fließen.....	43
3.2.1	Überblick.....	43
3.2.1.1	Riß im homogenen Ramberg-Osgood-Medium: HRR-Lösung.....	43
3.2.1.1.1	Herleitung der singulären HRR-Nahfelder für Mode I.....	43
3.2.1.1.2	Einschränkungen.....	44
3.2.1.1.3	Erweiterungen.....	45
3.2.1.2	J_2 -Deformationstherorie des Grenzflächenrisses zwischen zwei Ramberg-Osgood-Medien.....	45
3.2.1.2.1	Kleine Dehnungen.....	46
3.2.1.2.2	Endliche Dehnungen.....	48
3.2.1.3	Small-strain- J_2 -Deformationstherorie des Grenzflächenrisses zwischen einem elastisch-idealplastischem Medium und einem elastischen Substrat.....	48
3.2.1.4	Zusammenfassung.....	50
3.2.1.5	Abschätzung der Größe der plastischen Zone bei Kleinbereich-Plastizität.....	50

4	Konzeption der Prüfvorrichtung zur Realisierung von überlagerter örtlicher Normal- und Schubbeanspruchung.....	53
4.1	Ausgangssituation und Literaturüberblick.....	53
4.1.1	DCB-Test.....	53
4.1.2	4-Punkt-Biegung.....	54
4.1.3	Brazil-Nut-Specimen (BNS).....	55
4.1.4	SEN-Prüfkörper.....	56
4.1.5	Verformungsvorgabe.....	57
4.1.6	Diskussion.....	58
4.2	FE-unterstützte Konzeption der Prüfvorrichtung.....	60

4.2.1	Superpositionsmethode.....	61
4.2.2	Verifikation.....	65
4.2.3	Erzielbares Mixed-Mode-Spektrum bei Verformungsvorgabe und bei statisch unbestimmter Krafteinleitung.....	65
4.2.3.1	Verformungsvorgabe.....	67
4.2.3.2	Statisch unbestimmte Krafteinleitung.....	71
4.2.3.3	Diskussion.....	76

Experimentelle Arbeiten..... 80

5.1	Herstellung des Polyethylen/Glas-Probekörpers.....	80
5.2	Beschreibung des Versuchsaufbaus.....	82
5.3	Meßvorgang.....	84
5.4	Datenreduktion.....	86
5.5	Intrinsische Adhäsion.....	86
5.6	Abschätzung der Größe der plastischen Zone.....	88
5.7	Bewertung der mechanischen Grenzflächenqualität.....	91
5.8	Bruchbilder.....	92

Örtliche thermisch-mechanische Beanspruchung an der Spitze eines Grenzflächenrisses..... 96

6.1	Einfluß des E-Moduls E_1 des oberen Verbundmediums.....	97
6.2	Einfluß des Verhältnisses von Verbundlänge zur Verbundhöhe und Einfluß der Befestigungsrandbedingungen.....	100
6.3	Korrektur der $G_c(\psi)$ -Grenzflächenkennkurve für thermische Beanspruchung.....	102

FE-Modellierung des Rißuferkontaktes am Grenzflächenriß zwischen Medien mit unterschiedlichen elastischen Konstanten..... 105

7.1	Unabhängigkeit der Kontaktlänge vom Gleitreibungskoeffizienten.....	105
7.2	Spannungumlagerung der zweiachsigen Belastung in einen einachsigen Scherspannungszustand durch Rißuferkontakt.....	106
7.3	Einfluß der Reibung auf die Zug- und Scherspannungs- verteilung in Umfangsrichtung im Inneren der Kontaktzone.....	107
7.4	Einfluß der Reibung auf die tangentielle Rißuferverschiebung.....	109

7.5	Versagensmodell.....	110
7.6	Zusammenfassung.....	113
7.7	Anmerkungen zur FE-Modellierung.....	113
8	FE-Modellierung des plastischen Fließens am Grenzflächenriß zwischen einem elastisch-plastischen Medium und einem ideal elastischen Substrat.....	115
8.1	Rißöffnung.....	115
8.2	Loadmap.....	118
8.3	Elastisch-plastische Ligamentspannungen.....	120
8.4	Spannungsumlagerung des zweiachsigen Spannungszustandes in einen einachsigen Zugspannungszustand infolge der plastischen Scherspannungsbegrenzung.....	121
8.5	Gestalt der plastischen Zone.....	124
8.6	Dehnungen in der plastischen Zone.....	126
8.7	Bereich finiter plastischer Dehnungen.....	126
8.8	Zum Zusammenhang zwischen plastischem Fließen und der Modenabhängigkeit der Grenzflächenbruchenergie.....	129
8.8.1	Deformation eines kreisförmigen Gebietes in Inneren der plastischen Zone.....	131
8.8.2	Versagensmodelle.....	132
8.8.3	Ausgedehntes plastisches Fließen jenseits von SSY.....	135
8.8.3.1	Ligamentnormalspannungen.....	136
8.8.3.2	Deformation der Rißufer.....	137
8.8.3.3	Bruchbilder.....	138
8.9	Diskussion.....	142
8.10	Zusammenfassung.....	143
8.11	Anmerkungen zur FE-Modellierung.....	144
9	Statistische Beschreibung des Bruchverhaltens.....	146
9.1	Versagensstatistik.....	146
9.2	Modell des schwächsten Kettengliedes.....	147
9.3	Bedeutung der Weibull-Parameter.....	148
9.4	Übertragung auf rißbehaftete Prüfkörper.....	149

9.5	Bewertung der elastisch-plastischen Ligamentnormalspannung bei Kleinbereichplastizität.....	151
9.6	Diskussion.....	153

10	Zusammenfassung und Ausblick.....	156
-----------	--	------------

Anhang

A	Spannungen und Verformungen.....	159
A.1	Spannungen.....	159
A.1.1	Spannungstensor.....	159
A.1.2	Traktionen an einer geeigneten Schnittebene.....	160
A.1.3	Hauptspannungen.....	161
A.1.4	Hauptscherspannungen.....	161
A.1.5	Deviatorebene.....	162
A.1.6	Invarianten des Spannungstensors.....	162
A.2	Verformungen.....	163
B	Scherplastizität.....	165
B.1	Spannungs-Dehnungs-Beziehung.....	165
B.2	Elastisch-plastisches Materialverhalten.....	167
B.2.1	Fließkriterium.....	167
B.2.1.1	Tresca-Fließkriterium.....	167
B.2.1.2	von Mises-Fließkriterium.....	169
B.2.2	Fließgesetze.....	170
B.2.2.1	Plastische Deformationstheorien.....	171
B.2.2.2	Inkrementelle Plastizitätstheorien.....	172
B.3	Spannungspfad und Verformungspfad bei nicht verfestigendem Material.....	173
	Literaturverzeichnis.....	175