

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
EINFÖHRUNG IN DIE INGENIEUR-BRUCHMECHANIK	
H.-P. Rossmanith, Wien	
1. Einleitung	1
1.1. Das Bruchverhalten der Werkstoffe	6
2. Grundlagen der Ingenieur-Bruchmechanik	8
2.1. Spannungsanalyse an Rissen	8
2.1.1. Bruchbeanspruchungsarten	9
2.1.2. Das elastische Spannungsfeld eines Risses	9
2.1.3. Ermittlung von Spannungsintensitätsfaktoren	11
2.1.4. Elliptische Risse	14
2.2. Die plastische Zone an der Rißspitze	15
2.3. Die Bruchzähigkeit	17
2.4. Die Griffith'sche Formel und Rißausbreitungskraft	18
2.4.1. Die Griffith'sche Formel	18
2.4.2. Die Rißausbreitungskraft	19
2.5. Das J-Integral	20
2.6. Die Rißwiderstandskurve	21
2.7. Das COD-Kriterium	23
2.8. Bruchkriterien bei gemischter Beanspruchungsart	24
2.9. Der Reißmodul nach Paris et al.	25
3. Die Grundlagen der bruchmechanischen Bauteilbemessung	25
3.1. Die erste Grundformel der Bruchmechanik	25
3.2. Der bruchmechanische Fehler - Riß	27
3.3. Der Oberflächenriß	29
4. Ermüdungsrißausbreitung	33
4.1. Die zweite Grundformel der Bruchmechanik	33
4.2. Einflußgrößen auf das Ermüdungsrißwachstum	36
4.3. Ermüdungsrißausbreitung eines Oberflächenrisses	38
4.4. Die Lebensdauer eines Bauteils	43

	Seite
5. Bruchkontrolle und Schadensanalyse	45
5.1. Verringerung der Sprödbruchgefahr	45
5.1.1. Identifizierung der bruchfördernden Parameter	46
5.1.2. Ermittlung des relativen Beitrages	46
5.1.3. Relative Wirksamkeit der Entwurfsparameter auf die Bruchsicherheit	47
5.2. Entwicklung eines Bruchkontrollplanes	49
5.3. Fehlernachweis und Rißbeurteilung	49
5.4. Zuverlässigkeit einer Struktur	53
5.5. Schadensanalyse - Schadenverhütung	55
6. Literatur	56

EINFÜHRUNG IN DIE METHODE DER FINITEN ELEMENTE

H.A. Mang, Wien

1. Einleitung	58
2. Grundkonzept der Diskretisierung (FE-Zerlegung) von Strukturen	59
3. Historische Entwicklung der FEM	61
4. Klassifikation Finiter Elemente Verfahren	63
5. Kompatibles Modell	69
5.1. Wahl geeigneter Verschiebungsansätze für die einzelnen Elemente	69
5.2. Ermittlung der Elementsteifigkeitsmatrix für das CST	71
5.3. Zusammensetzen der Elementsteifigkeitsmatrizen zur Globalsteifigkeitsmatrix	75
5.4. Erfüllung der Randbedingungen	78
5.5. Lösung des linearen Gleichungssystems	79
5.6. Spannungsermittlung	80
6. Literatur	81
7. Anhang - Zahlenbeispiel	82

FINITE ELEMENTE VERFAHREN IN DER BRUCHMECHANIK

R.H. Gallagher, Tucson, und H.A. Mang, Wien

1. Einleitung	87
2. Finite Elemente mit Rißspitzensingularität	89
2.1. Gleichgewichts- und Kompatibilitätsbedingungen erfüllt	92
2.2. Gleichgewichts- und Kompatibilitätsbedingungen nicht erfüllt	94
2.2.1. Verfahren, die sich singulärer Lösungen aus der klassischen Mechanik bedienen	94

	Seite
2.2.2. Verfahren, die mit Verschiebungsfunktionen von der Form von Polynomen arbeiten	95
2.2.3. Verfahren, die auf der Formulierung isoparametrischer Elemente beruhen	99
2.2.4. Methoden, die auf hybriden Formulierungen beruhen	102
3. Bestimmung von Spannungsintensitätsfaktoren	104
3.1. Direkte Bestimmung von Spannungsintensitätsfaktoren aus Verschiebungen bzw. Spannungen in den Knotenpunkten	104
3.2. Ermittlung der Spannungsintensitätsfaktoren mit Hilfe der Energiefreisetzungsrates	105
3.2.1. Bestimmung der Energiefreisetzungsrates mittels zweier FE-Berechnungen	105
3.2.2. Bestimmung der Energiefreisetzungsrates mittels nur einer FE-Berechnung	105
3.3. Ermittlung von Spannungsintensitätsfaktoren mit Hilfe des J-Integrals	107
4. Erzielung von Kontinuität in den Verschiebungen längs gemeinsamer Ränder von Elementen mit Rißspitzensingularität und herkömmlichen Elementen	108
5. Literatur	110
6. Anhang - Ableitung der Steifigkeitsmatrix für das Bruchelement nach Unterabschnitt 2.1.	112

STRUKTUREN MIT RISSEN UNTER OBERLAGERTER NORMAL- UND SCHERBEANSPRUCHUNG

H. Kordisch, Freiburg

1. Problemstellung	115
1.1. Spannungsverteilung vor einer Rißspitze	116
1.2. Überblick über vorhandene Bruchhypthesen	118
1.2.1. Allgemeine Darstellung, einschränkende Annahmen	118
1.2.2. Tangentialspannungs- und/oder Hauptspannungshypothese	121
1.2.3. Hypothese der Energiefreisetzungsrates	123
1.2.4. Hypothese der Energiedichte	124
1.2.5. Die Energiefreisetzungsrates in vektorieller Form	126
1.2.6. Rückführung auf reine Modus-I-Beanspruchung	129
1.3. Experimentelle Ergebnisse, Vergleich mit Bruchhypthesen	132
2. Numerische Berechnung der Beanspruchungsverhältnisse an der Rißspitze	132
2.1. Erfassung der Singularitäten an der Rißspitze	134

	Seite
2.2. Ermittlung der Spannungsintensitätsfaktoren K_I und K_{II}	136
2.2.1. K_I und K_{II} aus Verschiebungen und Spannungen	136
2.2.2. K_I und K_{II} aus der Energiefreisetzungsrate	137
2.2.3. K_I und K_{II} aus dem J-Integral	139
2.3. Vergleich der numerischen Ergebnisse mit der analytischen Nahfeldlösung am Beispiel "Schräger Riß"	141
2.4. Ermittlung des Bruchablenkungswinkels und Vergleich mit den Vorhersagen der Bruchhypthesen	148
2.5. Experimentelle Ermittlung der Energiedichteverteilung und Vergleich mit numerischen Ergebnissen	153
3. Untersuchungen zum Bruchverhalten von wechselwirkenden Rissen	157
4. Zusammenfassung	160
5. Literatur	162

BRUCHMECHANIK DER PLATTEN UND SCHALEN

H.-P. Rossmannith, Wien

1. Einleitung	166
2. Scheiben und Platten mit Rissen	167
2.1. Grundlagen	167
2.2. Das Spannungsfeld um die Rißspitze	169
2.3. Biegung und Drillung von Platten mit Innenriß	170
2.4. Erweiterte Theorie für Platten mit Rissen	173
2.5. Platten mit mehreren Rissen	175
2.6. Risse in Mehrschicht (Sandwich)-Platten	176
2.7. Rotierende Scheiben mit Rissen	179
2.8. Biegewellen und Longitudinalwellen in Platten mit Rissen	181
2.8.1. Biegewellen	181
2.8.2. Longitudinalwellen	183
2.8.3. Stoßartige Belastungen	183
2.9. Gerissene Platten mit Flächenlasten	184
2.10. Platten mit Riß auf elastischer Bettung	184
3. Schalen mit Rissen	186
3.1. Grundlagen	186
3.2. Die flache Kugelschale mit Riß	187
3.2.1. Symmetrische Belastung	188
3.2.2. Asymmetrische Belastung	189
3.3. Die Zylinderschale mit Riß	190

XIII

	Seite
3.4. Ingenieurmäßige Abschätzung des Spannungsintensitätsfaktors	192
Literatur	194
Anhang A	195
A-1. Grundprobleme der Biegung gerissener Platten und Schalen mit zentralen Durchrissen	195
A-2. Platten mit Riß in der Mittelfläche	196
A-3. Grundprobleme der Schalen mit Riß	198
Anhang B	202
B-1. Systematischer Vergleich der Grundgleichungen der Plattentheorien	202
B-2. Grundgleichungen der Theorie flacher Schalen	203
B-2.1. Spezialfälle	203

NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN AN BRUCHMECHANIKPROBEN

W.Schmitt und D.Siegele, Freiburg

1. Problemstellung	205
1.1. Interpretation von Laborversuchen - Übertragbarkeit auf Bauteile	205
1.2. Überlegungen zum Spannungszustand in der Probe	206
2. Physikalische und mathematische Modellbildung	207
2.1. Einige Grundbegriffe der Kontinuumsmechanik	208
2.2. Einige Grundbegriffe der Bruchmechanik	210
2.3. Idealisierung der Rißspitze durch finite Elemente	213
3. Berechnung des J-Integrals in der FEM	216
4. Analyse von Bruchmechanikproben: elastisch-plastisch	218
4.1. Kompaktprobe C40 aus St E 460	219
4.2. Einseitig gekerbte Flachzugprobe	229
5. Stabiles Rißwachstum	236
5.1. Simulation des Rißwachstums in der FEM	236
5.2. Nachrechnung einer Kompaktprobe	237
6. Zusammenfassung	241
7. Literatur	242

BRUCHMECHANISCHE BERECHNUNGEN VON SCHRAUB- UND SCHWEISSVERBINDUNGEN

D.Fischer, E.T.Till und F.G.Rammerstorfer

1. Einführung	244
2. Der makroskopische Riß am Beispiel der Materialtrennflächen in Schweißverbindungen	245
2.1. Bestimmung der Spannungsintensitätsfaktoren	246

	Seite
2.1.1. Singularität an der Rißspitze	246
2.1.2. Durchführung der Finite-Elemente-Analyse	249
2.1.3. Abschätzung von K_I mittels Tabellen	250
2.2. Rißausbreitungsrichtung und kritische Beanspruchung	252
3. Der mikroskopische Riß - Rißausbreitung am Beispiel einer schwellbeanspruchten Schraubenverbindung	255
3.1. Berechnung des Krafteinleitungsproblems Bolzen-Mutter einer M10-Schraubenverbindung	257
3.1.1. Modell	258
3.1.2. Ergebnisse der FE-Analyse	258
3.2. Das lokale Problem	258
3.3. Die Rißausbreitung und die Lebensdauer für die Schraubenverbindung	264
4. Zusammenfassung	268
5. Literatur	269

VERHALTEN VON FEHLSTELLEN IN GUSS- UND WALZWERKSTOFFEN

H. Kordisch, Freiburg

1. Einleitung	272
2. Fehlerarten, Ersatzmodelle	273
3. Einfluß der Fehlerarten auf die Versagenslast	274
4. Versagenshypothesen	275
4.1. Versagenshypothesen bei sprödem Materialverhalten, Trennbruch	276
4.1.1. Normalspannungshypothese	276
4.1.2. Mehrachsrigkeitsbetrachtung, Sandel-Hypothese	276
4.1.3. Linear-elastisches Bruchmechanik-Konzept	278
4.2. Versagenshypothesen bei plastischem Grenzlastverhalten	279
4.3. Versagenshypothesen für Materialverhalten zwischen den Grenzzuständen "linear-elastisch" und "elastisch-ideal-plastisch"	280
4.3.1. Failure Assessment Diagram	280
4.3.2. Dehnungshypothese	281
5. Numerische Untersuchungen am Beispiel "Ersatzfehlermodell"	281
5.1. Numerisches Modell	281
5.2. Mehrachsrigkeitsbetrachtung	283
5.3. Anwendung der Versagenshypothesen	286
5.4. Numerische Untersuchungen im Grenzlastbereich	289
6. Zusammenfassung	292
7. Literatur	292

	Seite
BRUCHMECHANIK VON STAHLBETON	
Z.P.Bažant, L.Cedolin und P.Gambarova	
1. Einleitung	295
2. Herkömmliches Kriterium für die Rißausbreitung	296
3. Energiekriterium für die Ausbreitung des Bruchbandes	299
4. Bestimmung der Rißausbreitungskraft	303
5. Der Einfluß des Schlupfes zwischen der Bewehrung und dem umgebenden Beton	308
6. Ergebnisse aufgrund "objektiver" (im Sinne von netzinvarianter) Bruchanalyse einer Stahlbetonscheibe	314
6.1. Einfluß der Bruchflächenrauhigkeit	317
6.2. Spannungs-Verschiebungs-Gesetz	317
6.3. Stahlbeton mit schräg zur Bewehrung verlaufenden Rissen	321
6.4. Numerische Berechnungen	325
6.5. Vergleich mit Versuchsdaten	326
6.6. Strukturverhalten bei verschiedenen Belastungen	327
7. Verallgemeinerungen	330
8. Zusammenfassung	330
9. Literatur	332
TRAGLASTBERECHNUNG VON STAHLBETONSCHEIBEN, -PLATTEN UND -SCHALEN	
H.Mang und H.Floegl, Wien	
1. Einleitung	333
2. Rechenmodell	335
2.1. Berücksichtigte Phänomene	335
2.2. Nomenklatur für das Rechenmodell	337
2.3. Inkrementell-iterative FE-Berechnung	341
3. Numerische Untersuchung	345
3.1. Scheibe	345
3.2. Platte	351
3.3. Schale	354
4. Zusammenfassung	361
5. Literatur	362
NAMENVERZEICHNIS	365
SACHVERZEICHNIS	367