

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Der Lebenszyklus eines rissbehafteten Bauteils	3
2.1 Unterkritische Rissausbreitung und Bauteilversagen	3
2.2 Risskeimbildung	5
2.2.1 Risskeimbildung an der glatten Oberfläche	5
2.2.2 Risskeimbildung und frühe Rissausbreitung an Defekten	6
2.2.2.1 Allgemeine Aspekte	6
2.2.2.2 Nichtmetallische Einschlüsse	9
2.2.2.3 Hohlräume	11
2.2.2.4 Defektes Mikrogefüge und Mikrorisse	12
2.2.2.5 Geometrische Oberflächendefekte	12
2.2.2.6 Defektentstehung während des Betriebs	13
2.3 Stadien der Kurzrissausbreitung	15
2.3.1 Der mikrostrukturell kurze Riss	15
2.3.2 Der mechanisch kurze Riss	17
2.3.3 Der physikalisch kurze Riss	19
2.4 Langrissausbreitung	19
2.5 Rissarrest an Kerben	20
2.6 Die Richtung der Rissausbreitung relativ zur äußeren Last	21
2.7 Der Mechanismus der Rissausbreitung bei zyklischer Beanspruchung ..	21
2.8 Weitere Mechanismen des unterkritischen Risswachstums	25
2.8.1 Spannungsrisskorrosion	25
2.8.2 Kriechrisswachstum	26
2.9 Bruch	27
2.9.1 Begriffsbestimmungen	27
2.9.2 Mikroskopische Bruchmechanismen	29
2.9.3 Duktil-spröder Übergang	30
3 Riss spitzenparameter	37
3.1 Spannungen am Riss	37

3.2	Der linear elastische Spannungsintensitätsfaktor (K -Faktor)	39
3.3	Energiefreisetzungsrates	42
3.4	Plastische Zone und Ligamentplastifizierung	43
3.5	Plastische Zonen-korrigierter K -Faktor (K_{eff})	46
3.6	Riss spitzenverschiebung CTOD und Riss spitzenwinkel CTOA	47
3.7	Das J -Integral	52
3.7.1	J als Linienintegral	52
3.7.2	J als Energiefreisetzungsrates	53
3.7.3	J als elastisch-plastischer Spannungsintensitätsfaktor	54
3.7.4	Grenzen des J -Integrals	56
3.7.5	Die experimentelle Ermittlung des J -Integrals mittels Laborproben	58
3.8	J -Integral und CTOD	59
3.9	Zyklischer Spannungsintensitätsfaktor ΔK und Effektivwert ΔK_{eff}	61
3.10	Das „zyklische J -Integral ΔJ “	64
3.11	Zeitabhängige Riss spitzenparameter bei Kriechrisswachstum	67
4	Ermittlung des Risswiderstands	73
4.1	Vorbemerkungen	73
4.2	Widerstand gegen Bruch	76
4.2.1	Bruchmechanik-Versuch	76
4.2.1.1	Generelles Schema	76
4.2.1.2	Anforderungen an Bruchmechanik-Proben	77
4.2.1.3	Einbringen des Ermüdungsrisses	80
4.2.1.4	Versuchsdurchführung	82
4.2.1.5	Risstiefebestimmung auf der Bruchfläche	84
4.2.1.6	Risstiefebestimmung mittels indirekter Verfahren	88
4.2.1.6.1	Elektropotentialmethode	88
4.2.1.6.2	Elastische Nachgiebigkeit	92
4.2.1.6.3	<i>Key curve</i> -Methoden	94
4.2.1.6.4	Weitere Optionen	95
4.2.2	Bruchmechanische Kennwerte	96
4.2.2.1	Übersicht	96
4.2.2.2	Bruchzähigkeit K_{Ic}	96
4.2.2.3	Risswiderstandskurven (R-Kurven)	98
4.2.2.4	$J - \Delta a$ -Kurve und kritisches J -Integral	100
4.2.2.5	CTOD (δ)- Δa -Kurve und kritische Riss spitzenverschiebung	108
4.2.2.6	Energiedissipationsrate und kritischer Riss spitzenwinkel CTOA	110
4.2.3	Dehnungsbehinderung und Geometrieabhängigkeit bruchmechanischer Kennwerte	113

4.2.4	Kennwertermittlung für Geometrien mit geringer Dehnungsbehinderung	120
4.2.5	<i>Pop-in</i> -Verhalten	123
4.2.6	Prüfung unter schlagartiger Belastung	126
4.2.7	Rissarrest	130
4.2.8	Streuung und Kennwertstatistik	134
4.2.8.1	Messunsicherheit	134
4.2.8.2	Kennwertstreuung in der Hochlage der Risswiderstands-Temperatur-Kurve	134
4.2.8.3	Kennwertstreuung in duktil-spröden Übergangsbereich	135
4.2.8.3.1	Konventioneller Zugang	135
4.2.8.3.2	VTT <i>Master Curve</i> : Statistische Risswiderstands-Verteilung	137
4.2.8.3.3	VTT <i>Master Curve</i> : Bruchmechanische Übergangstemperatur	142
4.2.9	Kennwertermittlung an Schweißnähten	144
4.2.9.1	Besonderheiten	144
4.2.9.2	Werkstoffinhomogenität	148
4.2.9.3	Eigenspannungen	154
4.2.9.4	Festigkeits- <i>Mismatch</i>	154
4.2.10	„Ersatzkennwerte“	162
4.3	Widerstand gegen zyklische Rissausbreitung	166
4.3.1	Versuchsführung bei zyklischer Beanspruchung	166
4.3.2	Langrisswachstum	168
4.3.2.1	Die Risswachstumskurve $da/dN - \Delta K$	168
4.3.2.2	Berücksichtigung des Rissenschließphänomens	170
4.3.2.3	Der Schwellenwert gegen zyklische Rissausbreitung ΔK_{th}	178
4.3.2.4	Das <i>Similitude</i> -Problem	188
4.3.2.5	„Ersatzkennwerte“	190
4.3.2.6	Eine alternative Auftragung	193
4.3.3	Kurzrisswachstum	194
4.3.3.1	Die zyklische R-Kurve	194
4.3.3.2	Das Kitagawa-Takahashi-Diagramm	198
4.3.3.3	Der $\sqrt{\text{area}}$ -Ansatz nach Murakami	203
4.3.4	Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die zyklische Rissausbreitung	204
4.3.5	Lastfolgeeffekte	208
4.3.6	Statistische Aspekte	211
4.4	Spannungsrisskorrosion (SRK)	213

4.5	Kriechrisswachstum	216
4.6	Nachtrag: Prüfung unter Mixed Mode-Bedingungen	218
5	Ermittlung der Riss spitzenbelastung im Bauteil	221
5.1	Finite-Elemente-Analyse und analytische Berechnung	221
5.2	Linear elastisches Deformationsverhalten	225
5.2.1	<i>K</i> -Faktor-Handbücher	225
5.2.2	Verallgemeinerte <i>K</i> -Lösungen	228
5.2.3	Superposition von <i>K</i> -Faktoren und Gewichtsfunktions-Lösungen	237
5.2.4	Äquivalente <i>K</i> -Faktoren bei Mixed-Mode-Belastung	241
5.3	Elastisch-plastisches Deformationsverhalten	243
5.3.1	Problemstellung	243
5.3.2	Kurzer historischer Abriss der Methodenentwicklung	243
5.3.2.1	Das Streifenmodell nach Dugdale/Barenblatt	244
5.3.2.2	Vom <i>Generalized Failure Law</i> zum FAD	246
5.3.2.3	Der <i>Design Curve</i> -Ansatz	247
5.3.2.4	Das <i>Engineering Treatment</i> Modell	249
5.3.2.5	Der EPRI-Ansatz	251
5.3.2.6	Die Referenzspannungs-Methode	255
5.3.3	Ermittlung der Riss spitzenbelastung gemäß BS 7910/R6/SINTAP	258
5.3.3.1	Hierarchische Analyse-Optionen	258
5.3.3.2	Berücksichtigung von Sekundärspannungen	268
5.3.3.3	Berücksichtigung von Festigkeits- <i>Mismatch</i>	275
5.3.4	Die Fließlast als Parameter der Ligamentplastifizierung	280
5.3.4.1	Analytische Ermittlung und allgemeine Aspekte	280
5.3.4.2	Ein alternativer Parameter: Referenzfließspannung	284
5.3.4.3	Einfluss der Dehnungsbehinderung	290
5.3.5	Zyklisches <i>J</i> -Integral	291
6	Bruchmechanische Bauteilbewertung	295
6.1	Philosophien der Bauteilauslegung	295
6.1.1	Übersicht	295
6.1.2	Bruchmechanik und schadenstolerante Bauteilauslegung	296
6.1.3	Bruchmechanik und Bauteilauslegung auf kontrolliertes Versagen	300
6.2	Bruchmechanik in der Schadenskunde	303
6.3	Bruchmechanische Aufgabenstellungen	307
6.3.1	Bruchmechanisches Dreieck	307
6.3.2	Eingangsinformation einer Bruchmechanik-Analyse	308

6.3.2.1	Überblick	308
6.3.2.2	Bauteil-Beanspruchung	309
6.3.2.3	Deformationsverhalten des Werkstoffs	310
6.3.2.4	Idealisierung und Recharakterisierung von Rissen	315
6.4	Bauteilauslegung gegen Bruch	320
6.4.1	Kleinbereichsfließen	320
6.4.2	Allgemeines Vorgehen	321
6.4.2.1	CDF- und FAD-Auftragung	321
6.4.2.2	Auslegung gegen stabile Rissinitiierung	323
6.4.2.3	Auslegung gegen duktile Rissinstabilität	326
6.4.2.4	Auslegung gegen plastischen Kollaps	331
6.4.2.5	Einbeziehung der Dehnungsbehinderung	331
6.4.2.6	Stochastische Analyse	333
6.5	Ermittlung der Lebensdauer	341
6.5.1	Generelle Aspekte	341
6.5.2	Restlebensdauer bei zyklischer Beanspruchung	344
6.5.3	Gesamtlebensdauer bei zyklischer Beanspruchung	347
6.5.3.1	Vorbemerkungen	347
6.5.3.1.1	Sekundärkerben und Risse	347
6.5.3.1.2	Anforderungen an die Analyse	348
6.5.3.2	Riss spitzenparameter	348
6.5.3.3	Aufbau des Riss schließphänomens	349
6.5.3.4	Ausgangsrissgröße	349
6.5.3.5	Mehr fachrissausbreitung	351
6.5.3.6	Ermittlung der Schwingfestigkeit	353
6.5.4	<i>Failure Assessment Diagram (FAD) unter Kriechbelastung</i>	355
Anhang 1: Interpolation bei tabellarisch gegebenen Funktionen		363
Anhang 2: Dokumente, auf die im Buch Bezug genommen wird		365
Anhang 3: Zeitschriften		369
Anhang 4: Ausgewählte Monografien und Lehrbücher		371
Haftungsausschluss		373
Stichwortverzeichnis		375