Arbeitsbuch Bruch- und Beurteilungskriterien in der Festigkeitslehre

Textbook of Fracture and Assessment Criteria in the Science of the Strength of Materials

von
Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Sähn
Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Göldner

Unter Mitarbeit von
Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Friedrich Fischer,
Doz. Dr.-Ing. habil. Joachim Nickel und
Prof. Dr.-Ing. habil. Holger Theilig

Mit 84 Bildern, 36 Tabellen und 30 Beispielen

84 Pictures · 36 Tables · 30 Examples

Fachbuchverlag Leipzig - Köln

Inhaltsverzeichnis

Table of Contents

			Seite/ Page
1	Bruch- und Schädigungsverhalten bei statischer Belastung	Fracture and damage behaviour under static load	19
1.1	Homogene Beanspruchungen ohne wesentliche Kriecherscheinungen und Kurzzeitbeanspruchungen	Homogeneous strainings without essential creep phenomena and short-time strainings	23
1.2	Homogene Beanspruchungen im Kriechbereich - Langzeitbeanspruchungen	Homogeneous strainings in the creep range - Longtime strainings	26
1.3	Inhomogene Beanspruchungen ohne wesentliche Kriecherscheinungen und Kurzzeitbeanspruchungen	Inhomogeneous strainings without any essential creep phenomena and short-time strainings	27
1.3.1	Beanspruchungen an Rissen und Kerben bei linear-elastischem Materialgesetz	Strainings at cracks and notches in the case of a linear-elastic material law	29
1.3.2	COD - Entwurfskurve	COD design curve	36
1.3.3	J-Integral-Entwurfskurve	J-integral design curve	37
1.3.4	Versagens-Abschätzungs-Diagramm (Failure-Assessment-Diagramm /FAD)	Failure assessment diagram (FAD)	38
1.3.5	Leck-vor-Bruch-Bedingung bei druckführenden Komponenten	Leak-before-fracture condition for components under internal pressure loading	54
1.4	Beispiele	Examples	63
1.4.1	Traglasten biege- und torsionsbeanspruchter Wellen	Limit loads of shafts under bending and torsional straining	63
1.4.2	Zusammenhang zwischen Gleichmaßdehnung und Bruchdehnungen sowie Gleichmaßdehnung und Materialgesetz	Relation between uniform elongation and fracture strains as well as uniform elongation and material law	66

1.4.3	Zur Sicherheit von Bauteilen unter Kriechbeanspruchung	On the safety of components under creep straining	70
1.4.4	Traglasten von Biegeträgern mit Querrissen, CT-Probe	Limits loads of bending beams with transverse cracks, CT-specimen	74
1.4.5	Beanspruchungen und Bruchflächenlage bei trennflächigen Brüchen und scherflächigen Brüchen in dünnwandigen Kesseln (bzw. Rohren) unter Innendruck-, Längskraft- und Torsionsmomentenbelastung	Strainings and position of fracture surface at separation fractures and shear fractures in thin-walled boilers (or pipes) under internal pressure, longitudinal-force and torsional-moment loading	78
1.4.6	Bruchkriterium für Grauguß / Beschreibung experimenteller Befunde	Fracture criterion for grey-cast iron/Description of experimental findings	82
1.4.7	Beanspruchungskenngrößen für kleine Risse und Quantifizierung der Rißgrößen	Straining characteristics for small cracks and quantification of crack sizes	88
1.4.8	Beanspruchungskenngrößen für scharfe Kerben	Straining characteristics for sharp notches	96
1.4.9	Beschreibung des Bruchverhaltens gekerbter Hartmetallproben	Description of the fracture behaviour of notched hard-metal specimens	103
1.4.10	Abschätzung kritischer Rißabmessungen und kritischer Beanspruchungen mit COD-Entwurfskurve und J-Integral-Entwurfskurve	Estimation of critical crack dimensions and critical strainings with the COD design curve and the J-integral design curve	109
1.4.11	Abschätzung der Bruchsicherheit von zylindrischen Rohren mit Oberflächenlängsrissen	Estimation of the safety from fracture of cylindrical pipes with longitudinal surface cracks	117

1.4.12	Abschätzung des Leck-vor-Bruch-Verhaltens von zylindrischen Rohren mit Oberflächenlängsrissen	Estimation of the leak-before-fracture behaviour of cylindrical pipes with longitudinal surface cracks	126
1.4.13	Sicherheit in einem Scheibenstreifen mit Randriß unter Zugbeanspruchung	Safety in a plate of finite width with an edge crack being loaded by tension	129
1.4.14	Spannungsintensitätsfaktor in einer Behälterwand mit Längsriß bei Thermoschock	Stress intensity factor in a wall of the vessel with longitudinal crack at thermal shock	134
2	Bruch- und Schädigungsverhalten bei zyklischer Belastung	Fracture and damage behaviour at cyclic loading	144
2.1	Homogene Beanspruchungen	Homogeneous strainings	146
2.2	Inhomogene Beanspruchungen	Inhomogeneous strainings	151
2.2.1	Verhalten von Bauteilen mit Rissen	Behaviour of components with cracks	153
2.2.2	Verhalten von Bauteilen mit Kerben	Behaviour of components with notches	162
2.3	Beispiele	Examples	163
2.3.1	Abschätzung der Anrißlastzyklenzahl bei eingeprägter Dehnungsschwingbreite und eingeprägter Spannungsschwingbreite	Estimation of the number of incipient crack cycles at impressed strain oscillation range and impressed stress oscillation range	163
2.3.2	Beschreibung des Eigenspannungseinflusses (Mittelspannungseinfluß) auf die Ermüdungsfestigkeit gekerbter Proben	Description of the influence of the inherent stresses (influence of the mean stress) on the fatigue strength of notched specimens	168
2.3.3	Abschätzung der Dauerschwingfestigkeit einer	Estimation of the endurance limit of a	

	abgesetzten Welle mit kleinem Oberflächenanriß im Kerbgrund	shouldered shaft with a small incipient surface crack in the notch root	172
2.3.4	Beschreibung der Schwellenwerte kleiner Risse	Description of the threshold values of small cracks	179
2.3.5	Beschreibung der Wöhlerlinie gekerbter Flachproben im Bereich großer Bruchlastzyklen	Description of the Wöhler line of notched flat specimens in the range of large numbers of cycles to failure	183
2.3.6	Lebensdauerberechnung bei Zweistufenbelastung mit Separierung von Rißbildung und -ausbreitung	Calculation of the life expectancy at two-stage loading with separation of crack formation and crack propagation	190
2.3.7	Korngrößenabhängigkeit der Schwellenwerte von Makrorissen	Dependence of the threshold values of macro-cracks on the grain size	197
2.3.8	Beschreibung des Ausbreitungsverhaltens kleiner Risse	Description of the propagation behaviour of small cracks	200
2.3.9	Dauerschwingfestigkeit von Bauteilen mit kleinen Kerben	Endurance limit of components with small notches	206
3	Medienabhängige Rißbildung und -ausbreitung	Medium-dependent crack formation and propagation	211
3.1	Beispiele	Examples	215
3.1.1	Kritische Beanspruchungen und Rißabmessungen bei Spannungsrißkorrosion	Critical strainings and crack dimensions at stress corrosion cracking	215
3.1.2	Abschätzung nicht ausbreitungsfähiger Risse bei Nennbeanspruchungen nahe der Dauerschwingfestigkeit	Estimation of crack not capable of propagation under nominal strainings near the endurance limit	221

4	Bruchmechanische Bewertung von Keramikbauteilen	Design of ceramic components using fracture mechanics	225
4.1	Einleitung	Introduction	225
4.2	Eigenschaftsbedingte Bauteilbewertung	Property-dependence of design	226
4.3	Theoretische Grundlagen	Theoretical foundations	231
4.3.1	Bruchkriterien	Fracture criteria	231
4.3.2	Rißwachstumsgleichungen	Crack propagation laws	238
4.3.3	Bruchstatistik	Fracture statistics	249
4.3.4	SPT-Diagramm	SPT-diagram	253
4.3.5	Proof-Test-Konzept	Proof-test-concept	256
4.4	Nachweis von Kurzzeitfestigkeit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit	Proofs of strength, lifetime and reliability	259
4.4.1	Vorbemerkungen	Preliminary	259
4.4.2	Kurzzeitfestigkeitsnachweis	Proof of strength	262
4.4.3	Lebensdauernachweis	Proof of lifetime	263
4.4.4	Zuverlässigkeitsnachweis	Proof of reliability	264
4.4.5	Komplexer Nachweis - SPT-Diagramm	SPT-diagram	265
4.4.6	Sonstige Nachweise	Further proofs	266
4.5	Demonstrationsbeispiele	Examples for education	268
4.5.1	Nennspannungseinfluß	Influence of applied stress	268
4.5.2	Abschätzung des Festigkeitsabfalls	Estimation of the loss in strength	269
4.5.3	Abschätzung der Mindestlebensdauer	Estimation of the minimum lifetime	272
4.5.4	Erstellung des SPT-Diagramms	Production of SPT-diagram	273
4.5.5	Komplexbeispiel	Complex example	275
4.6	Anwendungsbeispiel	Example of application	282
4.6.1	Aufgabenstellung	Problem	282
4.6.2	Berechnungsmodell	Model	282
4.6.3	Nachweise	Proofs	284
4.6.4	Diskussion der Ergebnisse	Discussion	288

4.7	Zusammenfassung	Summary	289
5	Schadensfälle, Schadensbild, Schadensursachen, deren Beschreibung und Bewertung	Cases of damage, damage shape, causes of damage, their description and assessment	291
5.1	Bruchmechanische Bewertung eines rißgeschädigten Kugeldruckbehälters	Fracture-mechanical assessment of a crack-damaged spherical pressure vessel	291
5.2	Lebensdauer eines rißgeschädigten Rohres im Kriechbereich	Life expectancy of a crack-damaged pipe in the creep range	304
5.3	Rißschäden an Fallrohrbohrungen in einer Kesseltrommel	Crack damages in holes for downward pipes in a boiler drum	318
5.4	Analyse über das Versagensverhalten der Berohrung eines Warmwasserkessels	Analysis about the failure behaviour of the tubing of a hot-water boiler	336
5.5	Rißschäden an den Stutzen eines Hochdruckspeisewassersammlers	Crack damages in the connections of a high-pressure feed-water header	346
	Literatur	References	353
	Sachwortverzeichnis	Subject Index	360