

INHALTSVERZEICHNIS

Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen.....	VIII
Kurzfassung	XIII
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Historie	1
1.2 Herausforderungen bei der Bewertung des Risswachstums	2
2 Bruchmechanik bei komplexer Beanspruchung.....	5
2.1 Kraftflussstörung durch Risse.....	5
2.2 Spannungsverteilungen in Rissnähe	6
2.2.1 Spannungsverteilungen ebener Rissprobleme.....	7
2.2.2 Spannungsverteilungen räumlicher Rissprobleme	9
2.3 Grundlegende Beanspruchungsarten am Riss.....	11
2.4 Spannungsintensitätsfaktoren für Single-Mode-Beanspruchungen.....	12
2.5 Instabiles Risswachstum bei komplexer Beanspruchung.....	13
2.5.1 <i>K</i> -Konzepte für Single-Mode-Beanspruchungen	14
2.5.2 <i>K</i> -Konzept für 2D-Mixed-Mode-Beanspruchung	15
2.5.3 <i>K</i> -Konzept für 3D-Mixed-Mode-Beanspruchung	17
2.6 Ermüdungsrisswachstum bei konstanter zyklischer Amplitude	18
2.6.1 Ermüdungsrisswachstum unter Mode I-Beanspruchung.....	19
2.6.2 Ermüdungsrisswachstum bei 2D-Mixed-Mode-Beanspruchung.....	23
2.6.3 Ermüdungsrisswachstum bei 3D-Mixed-Mode-Beanspruchung.....	24
2.7 Ermüdungsrisswachstum bei variabler zyklischer Amplitude	25
2.7.1 Reihenfolgeeffekte und deren Einfluss auf den Rissfortschritt	25
2.7.2 Mixed-Mode-Beanspruchung infolge einer Belastungsänderung.....	29
2.8 Lokale Plastizität an der Rissspitze	30
3 Kriterien bei 3D-Mixed-Mode-Beanspruchung.....	32
3.1 3D-Kriterium nach RICHARD	32
3.2 Rissausbreitungskriterium nach POOK.....	33
3.3 σ_1^I -Kriterium nach SCHÖLLMANN et al.....	34

INHALTSVERZEICHNIS

Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen.....	VIII
Kurzfassung	XIII
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Historie	1
1.2 Herausforderungen bei der Bewertung des Risswachstums	2
2 Bruchmechanik bei komplexer Beanspruchung.....	5
2.1 Kraftflussstörung durch Risse.....	5
2.2 Spannungsverteilungen in Rissnähe	6
2.2.1 Spannungsverteilungen ebener Rissprobleme.....	7
2.2.2 Spannungsverteilungen räumlicher Rissprobleme	9
2.3 Grundlegende Beanspruchungsarten am Riss.....	11
2.4 Spannungsintensitätsfaktoren für Single-Mode-Beanspruchungen.....	12
2.5 Instabiles Risswachstum bei komplexer Beanspruchung.....	13
2.5.1 <i>K</i> -Konzepte für Single-Mode-Beanspruchungen	14
2.5.2 <i>K</i> -Konzept für 2D-Mixed-Mode-Beanspruchung	15
2.5.3 <i>K</i> -Konzept für 3D-Mixed-Mode-Beanspruchung	17
2.6 Ermüdungsrisswachstum bei konstanter zyklischer Amplitude	18
2.6.1 Ermüdungsrisswachstum unter Mode I-Beanspruchung.....	19
2.6.2 Ermüdungsrisswachstum bei 2D-Mixed-Mode-Beanspruchung.....	23
2.6.3 Ermüdungsrisswachstum bei 3D-Mixed-Mode-Beanspruchung.....	24
2.7 Ermüdungsrisswachstum bei variabler zyklischer Amplitude	25
2.7.1 Reihenfolgeeffekte und deren Einfluss auf den Rissfortschritt	25
2.7.2 Mixed-Mode-Beanspruchung infolge einer Belastungsänderung.....	29
2.8 Lokale Plastizität an der Risspitze	30
3 Kriterien bei 3D-Mixed-Mode-Beanspruchung.....	32
3.1 3D-Kriterium nach RICHARD	32
3.2 Rissausbreitungskriterium nach POOK.....	33
3.3 σ_1^I -Kriterium nach SCHÖLLMANN et al.....	34

3.4	Gegenüberstellung der Kriterien	36
3.5	Bruchmechanische Bewertung bei allgemeiner zyklischer Mixed-Mode-Beanspruchung.....	39
4	Proben und Vorrichtungen für Risswachstumsuntersuchungen bei Mixed-Mode-Beanspruchungen.....	41
4.1	CTSR-Probe und Vorrichtung	41
4.1.1	Realisierung von beliebigen 3D-Mixed-Mode-Zuständen	44
4.1.2	Experimentelle Voruntersuchungen	46
4.2	CTMM-Probe und Vorrichtung.....	48
4.2.1	Konzeptdarstellung und -beschreibung	48
4.2.2	Ermittlung der Geometriefaktorfunktionen	50
4.2.3	Experimentelle Voruntersuchungen	53
5	Experimentelle Untersuchungen des Ermüdungsrissverhaltens bei Mixed-Mode-Beanspruchung.....	56
5.1	Versuchswerkstoffe.....	56
5.1.1	Aluminiumlegierung EN AW-7075-T651	56
5.1.2	Vergütungsstahl 34CrNiMo6	57
5.2	Schwellenwertermittlung bei räumlicher Mixed-Mode-Beanspruchung.....	58
5.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung	59
5.2.2	Schwellenwerte bei Mixed-Mode-Beanspruchung: Darstellung und Interpretation.....	63
5.2.3	Gegenüberstellung der Kriterien zur Vorhersage der Rissausbreitungsrichtung	65
5.3	Risswachstum bei Belastungsrichtungsänderungen.....	68
5.3.1	Beschreibung der Versuchsreihen	68
5.3.2	Belastungsrichtungsänderung bei konstanter zyklischer Kraftamplitude	69
5.3.3	Belastungsrichtungsänderung bei konstantem zyklischen Vergleichsspannungsintensitätsfaktor	71
5.3.4	Bewertung des Risswachstums infolge Belastungsrichtungsänderungen	74
5.4	Risswachstum bei Beanspruchungsniveauänderungen.....	78
5.4.1	Einfluss von Mode I-Mode III-Blocklasten auf ein Mode I-Grundlastniveau.....	78
5.4.2	Einfluss von Mode I-Mode II-Blocklasten auf ein Mode II-Grundlastniveau.....	80
5.4.3	Einfluss von Mode I-Mode III-Blocklasten auf ein Mode III-Grundlastniveau	81
5.4.4	Bewertung des Risswachstums infolge Beanspruchungsniveauänderungen.....	82
5.5	Rissfrontsegmentierung bei Mode I-Mode III-Beanspruchungen	85
5.5.1	Definition charakteristischer Größen	85
5.5.2	Facettenquantifizierung	86
5.6	Einfluss des R-Verhältnisses auf das Rissabknickverhalten bei ebener Mixed-Mode-Beanspruchung.....	90

3.4	Gegenüberstellung der Kriterien	36
3.5	Bruchmechanische Bewertung bei allgemeiner zyklischer Mixed-Mode-Beanspruchung.....	39
4	Proben und Vorrichtungen für Risswachstumsuntersuchungen bei Mixed-Mode-Beanspruchungen.....	41
4.1	CTSR-Probe und Vorrichtung	41
4.1.1	Realisierung von beliebigen 3D-Mixed-Mode-Zuständen	44
4.1.2	Experimentelle Voruntersuchungen	46
4.2	CTMM-Probe und Vorrichtung.....	48
4.2.1	Konzeptdarstellung und -beschreibung	48
4.2.2	Ermittlung der Geometriefaktorfunktionen	50
4.2.3	Experimentelle Voruntersuchungen	53
5	Experimentelle Untersuchungen des Ermüdungsrissverhaltens bei Mixed-Mode-Beanspruchung.....	56
5.1	Versuchswerkstoffe.....	56
5.1.1	Aluminiumlegierung EN AW-7075-T651	56
5.1.2	Vergütungsstahl 34CrNiMo6	57
5.2	Schwellenwertermittlung bei räumlicher Mixed-Mode-Beanspruchung.....	58
5.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung	59
5.2.2	Schwellenwerte bei Mixed-Mode-Beanspruchung: Darstellung und Interpretation	63
5.2.3	Gegenüberstellung der Kriterien zur Vorhersage der Rissausbreitungsrichtung	65
5.3	Risswachstum bei Belastungsrichtungsänderungen.....	68
5.3.1	Beschreibung der Versuchsreihen	68
5.3.2	Belastungsrichtungsänderung bei konstanter zyklischer Kraftamplitude	69
5.3.3	Belastungsrichtungsänderung bei konstantem zyklischen Vergleichsspannungsintensitätsfaktor	71
5.3.4	Bewertung des Risswachstums infolge Belastungsrichtungsänderungen	74
5.4	Risswachstum bei Beanspruchungsniveauänderungen.....	78
5.4.1	Einfluss von Mode I-Mode III-Blocklasten auf ein Mode I-Grundlastniveau.....	78
5.4.2	Einfluss von Mode I-Mode II-Blocklasten auf ein Mode II-Grundlastniveau.....	80
5.4.3	Einfluss von Mode I-Mode III-Blocklasten auf ein Mode III-Grundlastniveau	81
5.4.4	Bewertung des Risswachstums infolge Beanspruchungsniveauänderungen.....	82
5.5	Rissfrontsegmentierung bei Mode I-Mode III-Beanspruchungen	85
5.5.1	Definition charakteristischer Größen	85
5.5.2	Facettenquantifizierung	86
5.6	Einfluss des R-Verhältnisses auf das Rissabknickverhalten bei ebener Mixed-Mode-Beanspruchung.....	90

5.6.1	Versuchsaufbau und -durchführung	90
5.6.2	Rissabknickverhalten bei positiven und negativen R -Verhältnissen	92
6	Ermüdungsrissverhalten bei nicht-proportionaler Mixed-Mode-Beanspruchung ..	94
6.1	Vorrichtungskonzept zur Realisierung von nicht-proportionalen Mixed-Mode-Beanspruchungen	96
6.2	Risswachstum bei nicht-proportionaler Mixed-Mode-Beanspruchung	101
7	Zusammenfassung und Fazit für die praktische Anwendung	105
7.1	Zusammenfassung der Einzelergebnisse	105
7.2	Anwendung auf Bauteile und Strukturen	107
Anhang		109
Literaturverzeichnis		113