

Dipl.-Ing. Robert Plank, Fürth

# **Ermüdungsrißausbreitung unter nicht-proportionaler Mixed-Mode-Beanspruchung**

Reihe **18**: Mechanik/  
Bruchmechanik

Nr. **207**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Stand der Forschung . . . . .	3
1.2	Zielsetzung . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>8</b>
2.1	Linear-elastische Bruchmechanik . . . . .	8
2.1.1	Spannungsverteilung im Rißnahfeld . . . . .	8
2.1.2	Bruchkriterien und Rißausbreitung . . . . .	11
2.1.3	Grenzen der linear-elastischen Betrachtungsweise . . . . .	15
2.2	Ermüdungsrißausbreitung . . . . .	16
2.2.1	Mechanismen der stabilen Rißausbreitung . . . . .	17
2.2.2	Beschreibung der stabilen Rißausbreitung mit Kenngrößen der LEBM . . . . .	18
2.2.3	Rißausbreitung unter proportionaler Mixed-Mode-I+II- Beanspruchung . . . . .	21
2.2.4	Rißausbreitung unter nicht-proportionaler Mixed-Mode-I+II- Beanspruchung . . . . .	23
2.3	Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>28</b>
3.1	Probenwerkstoffe . . . . .	28
3.2	Materialkennwerte . . . . .	29
3.3	Mode-II- und Mixed-Mode-I+II-Versuche . . . . .	32
3.3.1	Probengeometrie und Einspannvorrichtung . . . . .	33
3.3.2	Rißeinleitung . . . . .	34
3.3.3	Rißlängenmessung . . . . .	38
3.3.4	Versuchsparameter . . . . .	45
3.4	Versuchsauswertung . . . . .	46
3.4.1	Meßdatenaufbereitung . . . . .	46
3.4.2	Bruchflächenanalysen . . . . .	49
3.4.3	Gefügeanalysen . . . . .	50

---

<b>4 Experimentelle Ergebnisse</b>	<b>51</b>
4.1 Kennwerte aus dem Zugversuch . . . . .	51
4.2 Bruchmechanische Kennwerte unter Mode-I-Beanspruchung . . . . .	51
4.3 Rißausbreitung unter Mode-II-Beanspruchung . . . . .	53
4.4 Nicht-Proportionale Mixed-Mode-I+II-Beanspruchung . . . . .	54
4.4.1 Überlagerung von zyklischer Mode-II- bzw. Mixed-Mode-I+II- und statischer Mode-I-Beanspruchung	54
4.4.2 Überlagerung von zyklischer Mode-I- und statischer Mode-II- Beanspruchung	68
4.5 Einfluß der Anisotropie . . . . .	70
4.5.1 Einfluß auf die Materialkennwerte . . . . .	70
4.5.2 Einfluß auf die Ermüdungsrißausbreitung . . . . .	71
4.6 Einfluß der Bruchflächenrauheit . . . . .	71
<b>5 Rißausbreitungsmodell für nicht-proportionale Mixed-Mode-I+II-Beanspruchung</b>	<b>74</b>
5.1 Ausbreitungskriterien . . . . .	74
5.2 Vergleich Experiment-Modell . . . . .	77
5.2.1 Kriterien der Spannungsintensitätsschwingbreiten . . . . .	77
5.2.2 Tangentialspannungskriterium . . . . .	79
5.2.3 Kriterium der maximalen Rißfortschrittsrate . . . . .	82
5.3 Überprüfung der linear-elastischen Betrachtungsweise . . . . .	85
5.4 Vergleich mit verfügbaren Daten aus der Literatur . . . . .	88
<b>6 Perspektiven der Weiterarbeit</b>	<b>91</b>
6.1 Experimentelle Untersuchungen . . . . .	92
6.2 Werkstoffwissenschaftliche Untersuchungen . . . . .	93
6.3 Numerische Analysen . . . . .	94
<b>7 Zusammenfassung</b>	<b>96</b>
<b>8 Anhang</b>	<b>99</b>
A Materialkennwerte aus den Zugversuchen . . . . .	99

---

B	Materialkennwerte aus den Mode-I-Versuchen . . . . .	100
C	Schwellenwerte der mode-II-kontrollierten Rißausbreitung . . . . .	100
D	Experimentell ermittelte Ablenkwinkel . . . . . unter mode-I-gesteuerter Rißausbreitung	101
E	Bruchflchenrauheit der Schwingungsanrisse . . . . .	102
<b>9</b>	<b>Literatur</b>	<b>103</b>