

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Forschung	3
2.1. Ermüdungsrisse in der Luftfahrt	4
2.2. Die Bruchmechanik	5
2.2.1. Das Rissspitzenfeld	5
2.2.2. Das K -Konzept	7
2.2.3. Die Linienintegrale	10
2.3. Ermüdungsrisssverhalten duktiler Werkstoffe	12
2.3.1. Rissfortschrittsexperimente nach ASTM E647-15	12
2.3.2. Die Rissfortschrittskurve	13
2.3.3. Der Einfluss des Lastverhältnis R	14
2.3.4. Mechanismen des Ermüdungsrissswachstums	15
2.3.5. Bruchmechanische Eigenschaften der AA2xxx Aluminiumlegierungen	18
2.4. Plastische Zone	21
2.4.1. Numerische Formuntersuchungen der Plastischen Zone	23
2.4.2. Experimentelle Analysen des plastisch verformten Rissspitzenfeldes	24
2.5. Risssschließen	26
2.5.1. FE Modellierung des Plastizitäts-induziertem Risssschließen	28
2.5.2. Identifikation von Risssschließen in Rissfortschrittsexperimenten	29
2.6. Bruchmechanische Charakterisierung mittels Digitaler Bildkorrelation	31
2.6.1. Die Digitale Bildkorrelation	31
2.6.2. Bestimmung der Rissspitzenbeanspruchung in DIC Verschiebungsfelddaten	34
3. Zielsetzung der Arbeit	37
4. Methoden	40
4.1. Material, Proben und Lasten	41
4.1.1. Proben und Material	41
4.1.2. Mechanische Eigenschaften	42
4.1.3. Rissfortschrittslasten	42
4.2. 3D FE Rissmodell	43
4.2.1. Modellaufbau und Randbedingungen	43
4.2.2. Vernetzung und Elementdefinition	44
4.2.3. Der Rissfortschrittsalgorithmus	46
4.3. Das Roboter-gestützte HR-DIC Mikroskopiesystem	47
4.3.1. Konzeptionelle Lösung des HR-DIC Messsystem	48
4.3.2. Das Roboter-gestützte HR-DIC Messsystem	49
4.3.3. Die Kommunikationsstruktur des Messsystems	50
4.3.4. Automatisierung des Prüfablaufs	52

4.3.5.	Der Abtastalgorithmus	57
4.3.6.	Der Bildfokus-Algorithmus	58
4.3.7.	Identifikation der Neigung zur Probenoberfläche mittels des Bildfokus- Algorithmus	60
4.4.	Die DIC Auswertealgorithmen	62
5.	Ergebnisse	64
5.1.	Ermüdungsrisssphänomene in den HR-DIC Zeitreihendaten	64
5.1.1.	L-T spezifische Ermüdungsrisssphänomene	67
5.1.2.	T-L spezifische Ermüdungsrisssphänomene	68
5.2.	HR-DIC und DIC basierte Rissfortschrittskurven	69
6.	Diskussion	73
6.1.	Einflussanalyse des Messrauschens der HR-DIC Daten	74
6.1.1.	Analyse des inhärenten Messrauschens	76
6.1.2.	Analyse des Einflusses des Repositionierens des Mikroskops	77
6.1.3.	Einfluss von Ausrichtungsfehlern beim Repositionieren des Mikroskops . .	79
6.1.4.	Analyse des Rissspitzenfeldes in den HR-DIC Daten	80
6.2.	Einflüsse auf die Bestimmung der Rissspitzenbeanspruchung in HR-DIC Daten .	83
6.2.1.	Der Einfluss der Plastischen Zone	86
6.2.2.	Die Auswirkung des Plastischen Nachlaufs	91
6.2.3.	Der Einfluss des Rissuferkontaktes	93
6.3.	Analyse des Risssschließverhaltens in HR-DIC Daten	96
6.3.1.	Die Ortsabhängigkeit des K_{op}	96
6.3.2.	Ein Kriterium für Plastizitäts-induziertes Risssschließen	99
6.3.3.	3D Aspekte des Plastizitäts-induziertem Risssschließens	102
6.3.4.	Einfluss des ebenen Verzerrungs- und Spannungszustands	104
6.3.5.	Vergleich der CMOD und CTOD Rissöffnungskurven	105
6.3.6.	Auswirkung auf die Plastische Zone	106
6.4.	Korrelation der mikroskopischen Ermüdungsrisssphänomene zur $da/dN - \Delta K$ -Kurve	109
6.4.1.	Alternierende Rissablenkungen im L-T Rissfortschritt	109
6.4.2.	Slant- und V-Mode in T-L Ermüdungsrisssen	114
7.	Schlussfolgerung	118
7.1.	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	118
7.2.	Weiterer Ausblick	121
A.	Anhang	151
A.1.	Einführung in die Festigkeitslehre	151
A.2.	Trigeometrische Eigenfunktionen der Williams-Reihe	153
A.3.	Weitere Informationen zum Aufbau der Rissfortschrittsexperimente	154
A.4.	Anwendung des Wechselwirkungsintegrals in DIC Verschiebungsfelddaten	155
A.5.	Die Annahme eines ebenen Spannungszustandes	157

A.6. Konstruktion der Rissfortschrittskurven nach ASTM E647-15	159
A.7. Konstruktion der DIC-basierten Rissfortschrittskurven	160
A.8. Messung der lokalen Rissöffnung COD in HR-DIC Verschiebungsfelddaten	161
A.9. $K_{cp,max}$ - und $K_{cp,min}$ - Verläufe der Rissfortschrittsexperimente	163
A.10. Vergleich der Form der Plastischen Zone	166