

Inhaltverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Kurzfassung | V |
| Abstract | VII |
| Formelzeichen und Abkürzungen | IX |
| 1 Einleitung und Zielsetzung | 1 |
| 1.1 Einleitung | 1 |
| 1.2 Zielsetzung | 2 |
| 2 Theoretische Grundlagen | 5 |
| 2.1 Werkstoffe für Hochtemperaturbeanspruchung | 5 |
| 2.2 Grundlagen der Bruchmechanik | 11 |
| 2.2.1 Bruchmechanische Parameter bei niedrigen Temperaturen | 12 |
| 2.2.2 Bruchmechanische Parameter im Hochtemperaturbereich | 16 |
| 2.3 Beschreibung des Rissverhaltens unter Kriechbeanspruchung | 23 |
| 2.3.1 Zwei-Kriterien-Diagramm für Kriechrisseinleitung (ZKD) | 23 |
| 2.3.2 Weitere Verfahren zur Bewertung der Kriechrisseinleitung | 32 |
| 2.3.3 Kriechrissinitiierung und Kriechrissfortschritt (C*-Konzept) | 34 |
| 2.3.4 Kriechermüdungsrissinitiierung und Kriechermüdungsrissfortschritt (C*-Konzept) | 36 |
| 2.4 Schädigungsmechanische Berechnungen | 37 |
| 2.4.1 Materialgesetze | 38 |
| 2.4.2 Graham-Walles- und modifiziertes Graham-Walles-Kriechgesetz | 38 |
| 2.4.3 Einfluss der Mehrachsigkeit des Spannungszustandes | 39 |
| 2.4.4 Schädigungsmechanische Parameter | 42 |
| 2.4.5 Modelle zur Entwicklung der Mikrostruktur | 46 |
| 2.4.6 Ermittlung bruchmechanischer Parameter mit numerischen Methoden | 48 |
| 3 Bestimmung von Werkstoffkennwerten | 51 |
| 3.1 Versuchsdurchführung | 52 |
| 3.1.1 Kontinuierliche Versuche an Bruchmechanikproben | 53 |
| 3.1.2 Abgebrochene Versuche an Bruchmechanikproben | 54 |
| 3.2 Randbedingungen | 56 |
| 3.2.1 Gültigkeitskriterien | 56 |
| 3.2.2 Auswertungsbereich | 58 |
| 4 Zusammenstellung von bruchmechanischen Werkstoffdaten | 61 |
| 4.1 Werkstoffe | 61 |
| 4.2 Zeitstanddaten | 65 |
| 4.3 Kriechrisseinleitungsdaten | 66 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4 | Kriechrissfortschrittsdaten | 68 |
| 4.5 | Gruppenkurven zum Kriechrissverhalten | 70 |
| 5 | Bewertung von Rissen mit bruchmechanischen Methoden | 75 |
| 5.1 | Anwenderprogramme und Programmstruktur | 75 |
| 5.2 | Arbeiten mit HT-Riss und seinen Modulen | 75 |
| 5.3 | Übersicht über die Module | 76 |
| 5.3.1 | Berechnung des Spannungsintensitätsfaktors für Bauteilgeometrien (Modul 1) | 77 |
| 5.3.2 | Module zur Berechnung der Rissinitiierung (Modul 2a, 2b, 3) | 78 |
| 5.3.3 | Berechnung des Rissfortschritts für Kriechbeanspruchung mit Hilfe von C^* (Modul 4) | 80 |
| 5.3.4 | Berechnung der Rissinitiierung für Kriechermüdungsbeanspruchung mit Hilfe von C^* (Modul 5) | 81 |
| 5.3.5 | Berechnung des Rissfortschritts für Kriechermüdungsbeanspruchung mit Hilfe von C^* (Modul 6) | 81 |
| 6 | Numerische Untersuchungen zur Bewertung von Strukturen mit Defekten | 83 |
| 6.1 | FE - Geometriemodelle und Berechnungsverfahren | 83 |
| 6.1.1 | Compact Tension (CT) Probe | 83 |
| 6.1.2 | Modell eines gekerbten Hohlzylinders | 85 |
| 6.1.3 | Bauteilmodell | 85 |
| 6.2 | Parameteranpassung für das Stoffgesetz | 86 |
| 6.3 | Ermittlung des C^* -Parameters | 89 |
| 6.3.1 | Bestimmung des Parameters C^* für Bruchmechanikproben – Vergleich Experiment – FE-Berechnung | 90 |
| 6.3.2 | Bestimmung des Parameters C^* für bauteilrelevantes Kriechverhalten an einem Rohr unter Innendruck | 93 |
| 7 | Extrapolation des Zeitstandverhaltens mit Hilfe von Bruchmechanikversuchen | 101 |
| 8 | Betrachtungen zur Mikrostruktur für mehrachsige Spannungszustände | 109 |
| 8.1 | Untersuchte Proben und Werkstoffzustände | 109 |
| 8.2 | Lichtmikroskopische Charakterisierung | 113 |
| 8.3 | Transmissionselektronenmikroskopische Charakterisierung | 115 |
| 8.4 | Ergebnisse und Diskussion | 116 |
| 8.4.1 | Ausscheidungsstruktur der untersuchten Werkstoffe | 116 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.4.2 | Versetzungsstruktur der untersuchten Werkstoffe | 125 |
| 8.5 | Ermittlung der Spannungszustände für die Mikrostrukturuntersuchungen | 127 |
| 8.6 | Korrelation der mikrostrukturellen Parameter mit den Spannungszuständen | 131 |
| 8.7 | Diskussion und Zusammenfassung der mikrostrukturellen Untersuchungen | 133 |
| 9 | Anwendbarkeit auf Bauteile | 137 |
| 9.1 | Vorgehensweise bei der bruchmechanischen Bewertung von Bauteilen im Kriechbereich | 137 |
| 9.2 | Anwendungsbeispiel für ein Bauteil | 139 |
| 9.2.1 | Schadensbild | 139 |
| 9.2.2 | Bauteilanalyse für das integrale Bauteil ohne Berücksichtigung von Rissen | 142 |
| 9.2.3 | Bestimmung der Rissinitiierungszeit | 142 |
| 9.2.4 | Bestimmung des Risswachstums | 144 |
| 9.2.5 | Bewertung der Analyse | 144 |
| 10 | Zusammenfassung und Ausblick | 147 |
| 11 | Literatur | 151 |

Anhang

- Anhang 1: Spezifikationen zum Bauteilmodul
- Anhang 2: Ablaufschemen der Module im HT-Riss
- Anhang 3: Bedienungsanleitung zum Programm HT-Riss