

Untersuchung zum Ermüdungsrisswachstum bei proportionaler und nicht-proportionaler Mixed-Mode-Belastung

Strukturierte Zusammenfassung

vorgelegt von *Paul Köster*

Zur Gewährleistung einer sicheren Nutzung und zur Vermeidung von Schadensfällen inklusive der damit verbundenen Folgen, müssen Bauteile neben der klassischen Festigkeitslehre auch nach bruchmechanischen Gesichtspunkten ausgelegt werden. Nur über eine bruchmechanische Betrachtung ist eine verifizierte Restlebensdauerberechnung und eine sichere Ableitung von Inspektionsintervallen möglich. In diesem Zusammenhang ist die Kenntnis der vollständigen theoretischen Hintergründe und Abläufe im Zuge des Risswachstums erforderlich. Bei einer räumlichen Mixed-Mode-Beanspruchung – und insbesondere im nicht-proportionalen Fall - ist dieses Wissen derzeit jedoch noch sehr lückenhaft. Um die Phänomene bei der Rissausbreitung unter solchen Bedingungen besser verstehen zu können, wurden im Rahmen dieser Arbeit umfangreiche experimentelle, numerische und analytische Untersuchungen durchgeführt.

Eine wesentliche Zielstellung bestand darin, einen Biege-Torsion-Prüfstand mit den zugehörigen Rundproben aus dem hochfesten Stahl 34CrNiMo6 zu entwickeln und umzusetzen. Mit dem realisierten Prüfstand erfolgten dann systematische Experimente sowohl unter separater, zyklischer Biegung und Torsion als auch bei deren phasengleichen und phasenverschobenen Überlagerung. Zur Überprüfung weiterer Lasteinflüsse wurden außerdem Ermüdungsrissversuche an flachen SEN-TC-Proben aus 34CrNiMo6 bei überlagerter, zyklischer Zug-/Druck-Torsions-Belastung unter Verwendung einer Tension/Torsion-Prüfmaschine durchgeführt. Im Detail wurden hierbei neben dem Phasenverschiebungswinkel auch das Lastverhältnis und das axiale Spannungsverhältnis variiert. Wie bei den Biege-Torsions-Versuchen wurden dabei speziell die Abknick- und Verdrehwinkel der Risse untersucht.

Beide Versuchsreihen haben gezeigt, dass die verschiedenen Lastbedingungen die resultierenden Risspfade signifikant beeinflussen. Insbesondere der Unterschied zwischen den Ergebnissen nach phasengleicher und nach phasenverschobener Mixed-Mode-Beanspruchung ist gravierend. Die resultierenden Bruchflächen weisen komplexe dreidimensionale Topologien, Facetten und durch Abrieb gekennzeichnete Bereiche auf. Zusammen mit teils zahlreichen Rissverzweigungen an den Probenoberflächen sind so lediglich bedingte Rückschlüsse auf die Ermüdungsrissausbreitung möglich.

Im Rahmen der begleitenden linear-elastischen Finite-Elemente-Simulationen wurden die Spannungsintensitätsfaktoren entlang der Rissfront für alle Mixed-Mode-Bedingungen ermittelt. Zusätzlich wurden auf Basis der numerischen Ergebnisse analytisch die Abknick- und Verdrehwinkel für ausgewählte, existierende Kriterien berechnet und vergleichend bewertet. Die Gegenüberstellung mit den experimentellen Daten offenbarte dabei signifikante Unterschiede.

Im Fazit ist festzuhalten, dass die ausgewählten Konzepte für proportionale Mixed-Mode-Beanspruchung, so wie sie derzeit vorliegen, nicht auf nicht-proportionale Mixed-Mode-Beanspruchung übertragen werden können.