

Gruppe

ERMÜDUNGSVERHALTEN

Dr. Majid Farajian | Telefon +49 761 5142-268 | majid.farajian@iwm.fraunhofer.de

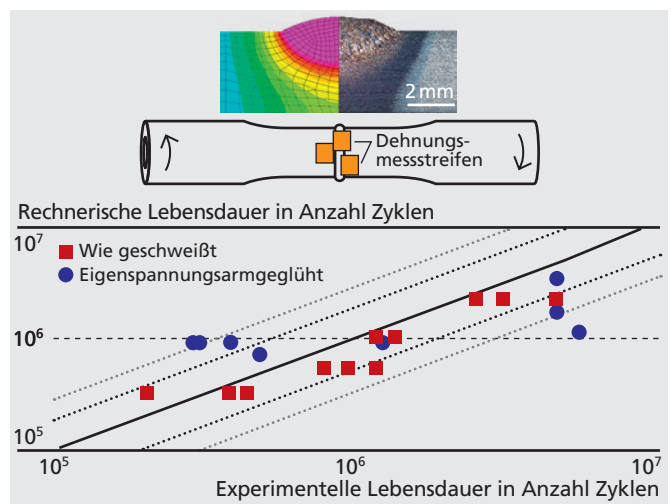
ERMÜDUNGSFESTIGKEIT VON BAUTEILEN UND STRUKTUREN

Viele technische Schadensfälle von lasttragenden Bauteilen und Strukturen lassen sich auf eine Materialermüdung infolge zyklischer mechanischer Beanspruchung zurückführen. Für den zuverlässigen Einsatz kritischer Komponenten in Automobil- und Fahrzeugbau, Schienenfahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt sowie Stahl- und Brückenbau kommt der numerischen und experimentellen Beschreibung von Materialermüdung eine entscheidende Bedeutung zu.

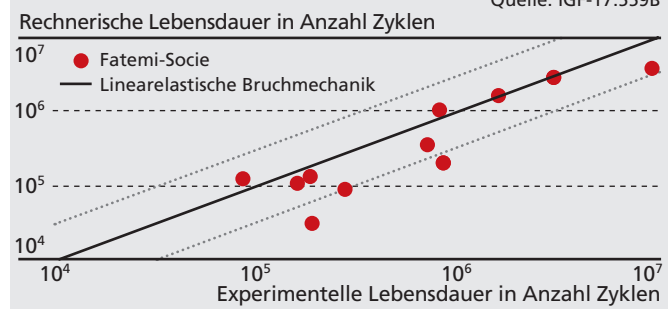
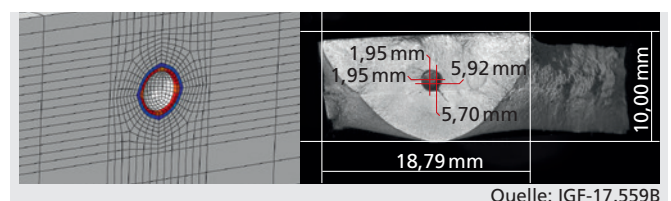
Um der Forderung nach leichten, ressourceneffizienten und sicheren Bauteilen und Strukturen gerecht zu werden, entwickeln wir Werkstoff-, Schädigungsmodelle und Simulationstools, mit deren Hilfe das zyklische Werkstoffverhalten und die Bauteillebensdauer ermittelt werden können. Durch die Kombination von Experimenten, beispielsweise instrumentierte temperaturabhängige statische und zyklische Versuche, mit numerischen Analysen leiten wir quantitative Zusammenhänge beim Werkstoff- und Bauteilverhalten unter Betriebsbelastungen ab. Den Einflussfaktoren Mikrostruktur, Verzug, Eigenspannungen und fertigungsbedingten Fehler kommt hierbei eine große Bedeutung zu.

Mehrachsiges Ermüdung

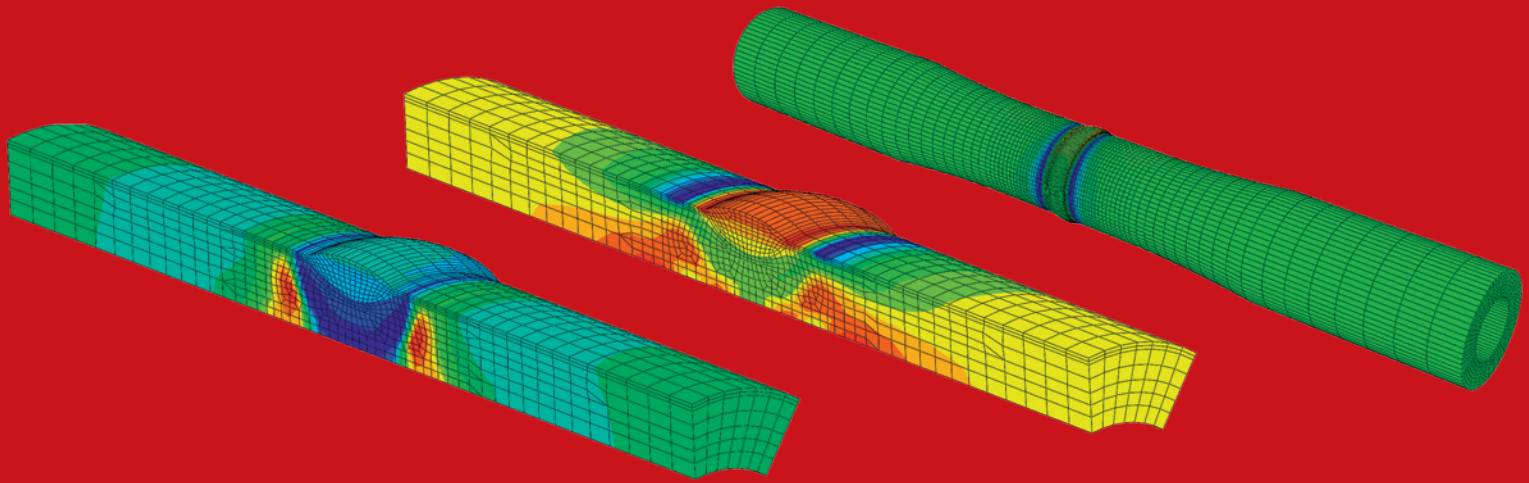
Im Betrieb sind mechanische Komponenten oft mehrachsigen Spannungszuständen ausgesetzt. Die Bewertung der Lebensdauer von Bauteilen und Strukturen unter mehrachsiger Beanspruchung ist aufgrund vielfältiger Einflussparameter auf das zyklische Werkstoffverhalten nach wie vor mit großen Unsicherheiten verbunden. Neben den klassischen Schwingfestigkeitskonzepten, die im Wesentlichen eine lokale Spannungs- oder Dehnungskomponente als schädigungswirkend betrachten, existiert eine Vielzahl von weiteren lokalen Bemessungskonzepten. Etwa die Konzepte der kritischen Ebene, die wir für mehrachsige proportionale und nicht proportionale Ermüdungsuntersuchungen einsetzen. Hierbei werden Schädigungsparameter als Funk-



1 Berechnung der Lebensdauer torsiionsbelastete Rundschweißverbindungen mittels Schädigungsparameter Fatemi-Socie, gepunktete Linien in Grafik: Streubänder um die gemittelte Lebensdauer.



2 Lebensdauerberechnung von fehlerbehafteten Schweißproben durch Addition der Ergebnisse aus Schädigungs- und linear-elastischer Bruchmechanik, gepunktete Linien in Grafik: Streubänder um die gemittelte Lebensdauer.



3 Schweißsimulation: Berechnungen der Mikrostruktur und der Eigenspannung.

tion der Spannungs- und Dehnungskomponenten berechnet und einer Schädigungs-Wöhler-Linie gegenübergestellt. Eine kritische Ebene für die Anrissbildung ist die Ebene, auf der der höchste Wert eines Schädigungsparameters ermittelt wird. In einer Untersuchung an torsionsbelasteten Rohrschweißverbindungen wurde die Lebensdauer von Proben mit der Berücksichtigung des Eigenspannungsfeldes mittels Fatemi-Socie-Schädigungsparameter abgeschätzt. Sowohl in As-Welded als auch im spannungsarmgeglühten Zustand gibt es eine gute Übereinstimmung der berechneten Lebensdauer mit dem Experiment (Abbildung 1).

Surface Engineering und Erhöhung der Lebensdauer

Für die Lebensdauer von metallischen Bauteilen ist die Randschichtzone von ausschlaggebender Bedeutung, da unter Betriebsbelastung die Werkstoffschädigung in der Regel an der Oberfläche beginnt. Eine gezielte mechanische Oberflächenbehandlung wie Kugelstrahlen, Festwalzen oder Hochfrequenzhämmern kann die Ermüdungsfestigkeit eines Bauteils wesentlich erhöhen. Kugelstrahlen und Festwalzen sind industriell etablierte Verfahren, die im Automobil-, Flugzeug- und Turbinenbau Anwendung finden. Ein neueres Verfahren ist das Hochfrequenzhämmern, das zur Lebensdauersteigerung von beispielsweise Schweißkonstruktionen eingesetzt wird. Dabei basieren die Nachweise der Lebensdauersteigerung nach mechanischer Oberflächenbehandlung bisher auf experimentellen Untersuchungen. Für das Surface-Engineering haben wir eine entsprechende rechnerische Vorhersagemethodik entwickelt mit dessen Hilfe Bauteilentwickler die Leichtbaupotenziale ihrer Metallbauteile durch Optimieren der Randschichteigenschaften ausschöpfen können.

Ermüdungsfestigkeit und fertigungsbedingte Fehler

Neben Gefügeänderungen und der Entstehung von Verzug- und Eigenspannungen können durch Fertigungsverfahren wie Schweißen, Gießen, Schmieden und bei der additiven Fertigung Unregelmäßigkeiten in den bruchkritischen Bereichen eines Bauteils auftreten, die den sicheren Betrieb des Systems problematisch machen. Für die Bewertung dieser Fehler ist die Entwicklung eines »Design for Purpose«-Konzepts erforderlich, bei dem der Einfluss der Unregelmäßigkeiten auf die statische und zyklische Festigkeit bewertet wird. Aufgrund der Ergebnisse kann entschieden werden, ob eine Unregelmäßigkeit toleriert werden kann. Durch die Kombination von Festigkeitskonzepten der Schädigungs- und Bruchmechanik wurden für an den inneren Schweißfehlern entstandene Risse die Rissinitiierungs- und die Ausbreitungsphase berechnet und durch Versuchsergebnisse validiert. Dazu wurden der Schwellenwert ΔK_{th} und die Rissfortschrittskurven da/dN für das Schweißgut, in dem sich die inneren Unregelmäßigkeiten befanden, ermittelt. Um die Gesamtlebensdauer genauer abzuschätzen zu können, wurde die berechnete Anrisslebensdauer zu der berechneten Rissausbreitungslebensdauer addiert. Die Lebensdauerberechnung für 12 porenbehaftete Schweißproben und der Vergleich mit den Wöhlerversuchen sind in Abbildung 2 dargestellt.

Dr. Majid Farajian, Jan Schubnell