

Gruppe

LEBENSDAUERKONZEPTE UND THERMOMECHANIK

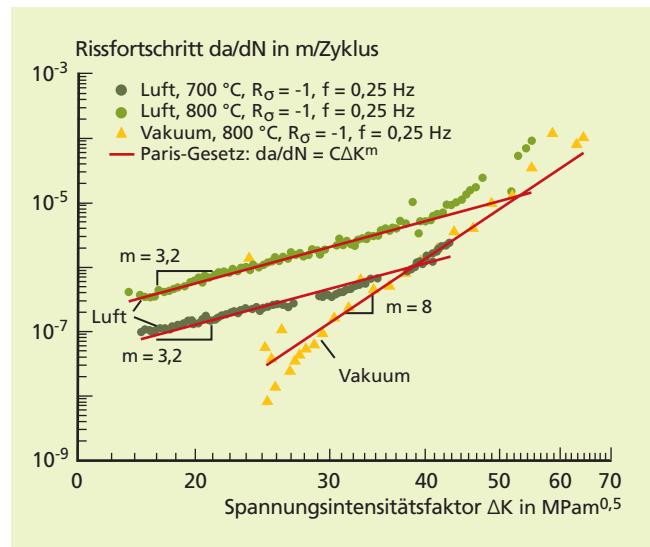
Dr. Christoph Schweizer | Telefon +49 761 5142-382 | christoph.schweizer@iwm.fraunhofer.de

QUANTIFIZIERUNG DES UMGEBUNGSEINFLUSSES AUF DIE HOCH-TEMPERATURERMÜDUNG

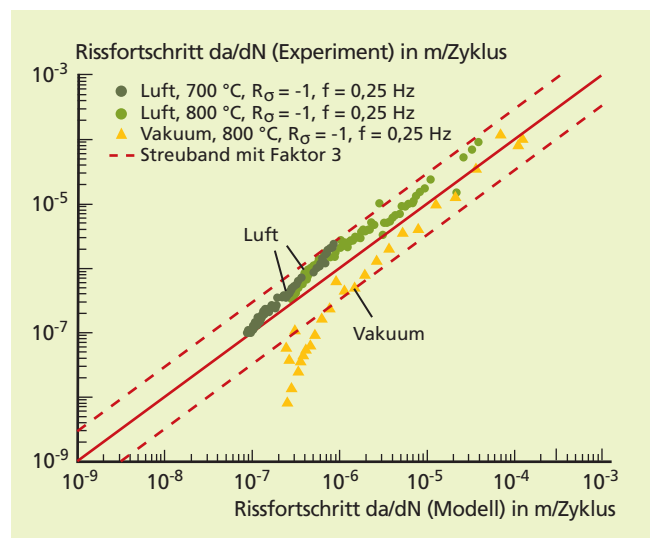
Das Schädigungsverhalten metallischer Werkstoffe wird bei erhöhter Temperatur zunehmend durch die Umgebungsatmosphäre mitbeeinflusst. Insbesondere bei der Ermüdungsschädigung spielt der Sauerstoff eine bedeutende Rolle: Die Bildung von Oxiden und die Sauerstoffdiffusion im Bereich der Risspitze bewirken eine mit der Temperatur zunehmende Beschleunigung des Risswachstums und folglich eine Reduzierung der Lebensdauer. Einige meist hochwarmfeste Legierungen unterliegen unter bestimmten Belastungsbedingungen gar einer sauerstoffbedingten Versprödung, die als SAGBO-Effekt (engl. stress assisted grain boundary oxidation) oder »dynamische Versprödung« bezeichnet wird. Es gibt jedoch auch Hinweise, dass die Sauerstoffatmosphäre den Ermüdungsvorgang durch den sogenannten sauerstoffinduzierten Risschließeffekt insbesondere bei Belastungen im Bereich des Schwellenwerts verlangsamt. In der technischen Anwendung gibt es hingegen auch Bereiche, die der Umgebungsatmosphäre nicht ausgesetzt sind, wie innenliegende Defekte von gegossenen oder 3D-gedruckten Bauteilen. Hier würde dieser Stützeffekt des Risschließens wegfallen, und folglich können unter Laborluft ermittelte Schwellenwerte und Dauerfestigkeiten nicht auf diese Fälle übertragen werden.

Hochtemperaturversuche unter Hochvakuum

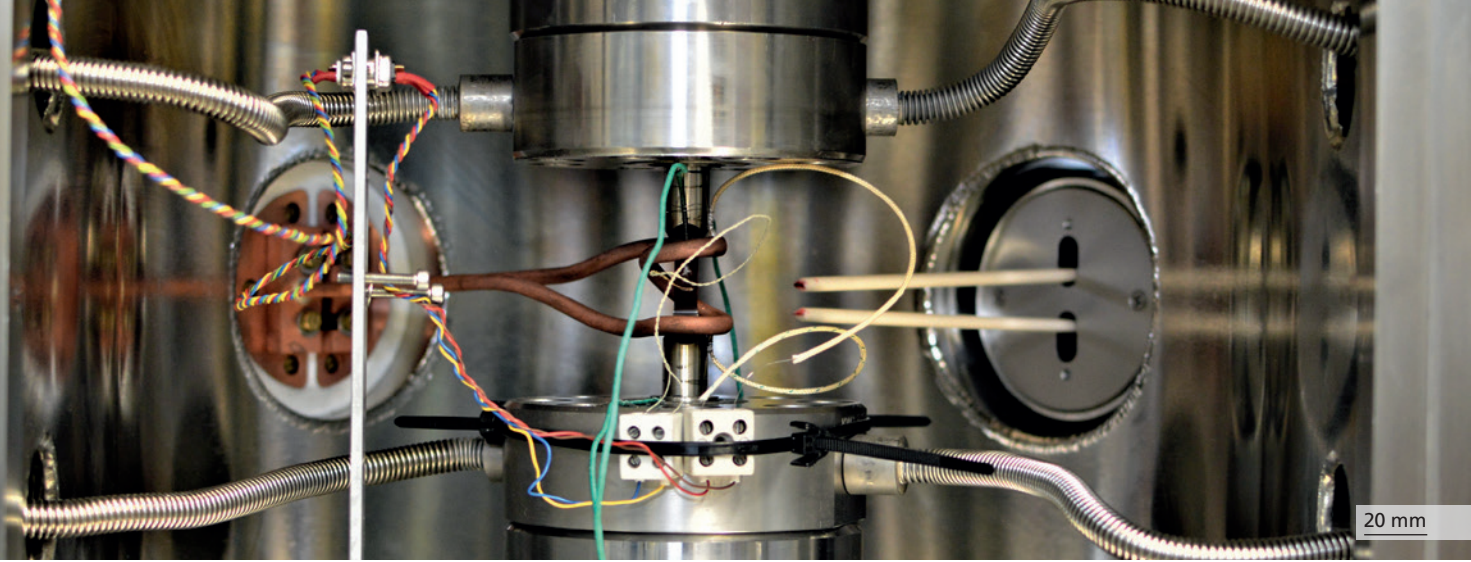
Um den Effekt der Umgebungsatmosphäre und ihren Einfluss auf die Schädigung zu quantifizieren, wurde am Fraunhofer IWM ein Prüfaufbau mit Vakuumkammer entwickelt. Mit ihm lassen sich sämtliche Hochtemperaturversuche, die zur Qualifizierung von Werkstoffen für Hochtemperaturbauteile dienen, beispielsweise LCF-, TMF-, HCF- oder Risswachstumsversuche, unter Hochvakuum (bis 10^{-9} bar) durchführen (Abbildung 3). Optional kann die Kammer auch mit diversen Schutzgasen gespült werden.



1 Bei erhöhter Temperatur unter Luft und unter Vakuum gemessenes Ermüdungsrisswachstum an einer Nickellegierung.



2 Beschreibung der Risswachstumskurven aus Abbildung 1 mittels eines mechanismenbasierten Rissfortschrittsmodells.



3 Prüfstand zur Durchführung von Hochtemperaturversuchen unter Hochvakuum.

Das Herzstück der Anlage ist die Prüfkammer, welche doppelwandig ausgeführt ist und somit eine innenliegende Wasserkühlung ermöglicht. Die Vakuumerzeugung erfolgt zunächst mittels Drehschieberpumpe. Durch Zuschalten einer leistungsstarken Turbomolekularpumpe wird das Hochvakuum erreicht. Die Signale der Messaufnehmer werden über geeignete Schnittstellen aus der Kammer geführt. Die mechanische Last wird durch eine servohydraulische Universalprüfmaschine auf die Probe aufgebracht. Als Probenbeheizung dient eine Hochfrequenz-Induktionsanlage.

Rissfortschritts- und Schwellwertverhalten bei Ermüdung unter Vakuum

Abbildung 1 zeigt die Messergebnisse zweier bei 700 °C und 800 °C durchgeführter Risswachstumsversuche sowie eines bei 800 °C unter Hochvakuum durchgeführten Vergleichsversuchs an einer Nickellegierung für Gasturbinenanwendungen. Der Rissfortschritt pro Zyklus da/dN ist unter Vakuum bei niedrigen Spannungsintensitäten ΔK teilweise über eine Größenordnung niedriger als im entsprechenden Versuch an Luft. Auch ist die Steigung der an die Messkurven angepassten sogenannten Parisgerade im Vakuumversuch höher. Unter Vakuum durchgeführte Vergleichsversuche können letztlich dazu genutzt werden, um die Schädigungsmechanismen, hervorgerufen durch Kriechen und Umgebung, zu separieren. Damit lassen sich mechanismenbasierte Modelle für Ermüdungsrissfortschritt und Lebensdauer, die eine umgebungsbedingte Schädigung berücksichtigen, zuverlässig validieren. Abbildung 2 zeigt die Anwendung eines solchen Modells auf die genannten Versuche. Aufgetragen ist der gemessene Rissfortschritt über den berechneten Werten. Es gelingt eine wesentlich einheitlichere Darstellung als mit dem zuvor verwendeten Spannungsintensitätsfaktor ΔK .

Eine weitere Anwendung findet der Vakuumprüfstand zurzeit bei der Untersuchung kurzer Risse und der Messung des risslängenabhängigen Schwellenwerts in der Legierung Inconel 718. Dazu werden an SENT-Proben (engl. single edged notched tension) Risse durch Druckanschwingen initiiert und daraufhin Schwellenwertversuche durchgeführt, in denen die Last stufenweise gesteigert wird. An diesen Versuchen wird der intrinsische Schwellenwert, unterhalb dessen auch ein kurzer Riss nicht wachstumsfähig ist, sowie der Übergang zum Langrisschwellenwert, die sogenannte zyklische R-Kurve, ermittelt. Außerdem wird ersichtlich, wie sich das Wachstum des kurzen Risses, das stark von mikrostrukturellen Hindernissen und Risschließeffekten beeinflusst wird, unter Vakuum verändert. Da die auftretenden Risschließeffekte vom Belastungsverhältnis abhängig sind, werden sowohl Zug-Druck als auch Zug-Schwellbelastungen untersucht.

Zur Messung des Rissfortschritts wird eine Wechselstrom-Potenzialsonde verwendet. Damit können Risslängenzuwächse im unteren Mikrometerbereich detektiert werden. Im Rahmen dieses Vorhabens werden neben dem geschmiedeten Material des Versuchswerkstoffes auch gegossene und 3D-gedruckte Varianten untersucht und miteinander verglichen. Um weitere Erkenntnisse über das Schädigungsverhalten zu erhalten, soll zukünftig eine hochauflösende Messkamera innerhalb der Prüfkammer installiert werden. Mittels digitaler Bildkorrelation ist damit auch eine lokale Verformungsmessung möglich.

Stefan Eckmann, Mathis Bellmer