

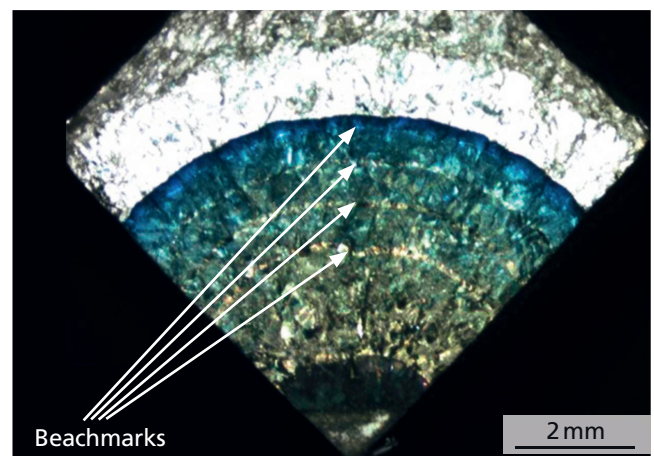
BEWERTUNG DES THERMOMECHANISCHEN ERMÜDUNGSRISSWACHSTUMS

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

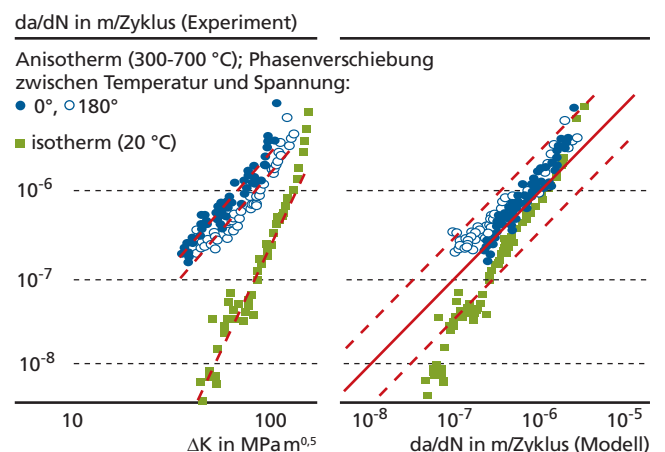
Komponenten von Gas- und Dampfturbinen sind verstärkt thermomechanischen Ermüdungsbelastungen ausgesetzt. Sie entstehen durch häufige An- und Abfahrvorgänge, die nötig sind, um den schwankenden Energiebedarf aus fossil befeuerten Kraftwerken auszugleichen. Das Streben nach verbesserten thermischen Wirkungsgraden der Anlagen setzt zudem immer höhere Betriebstemperaturen voraus. Das macht zum einen den Einsatz neuer hochwarmfester Legierungen notwendig und erhöht zum anderen die Beanspruchung durch thermomechanische Ermüdung. In massiven Bauteilen spielt die Bewertung vorhandener Materialdefekte, die zyklischen Belastungsbedingungen unterliegen, eine immer wichtigere Rolle. Häufig entstehen diese Defekte bereits beim Fertigungsprozess zum Beispiel im Bereich von Schweißnähten und lassen sich nicht immer gänzlich vermeiden. Am Fraunhofer IWM wurde eine Methodik entwickelt, um das Risswachstum unter thermomechanischer Ermüdungsbelastung experimentell zu ermitteln und mithilfe von Rissfortschrittsmodellen rechnerisch zu bewerten.

Versuchsaufbau

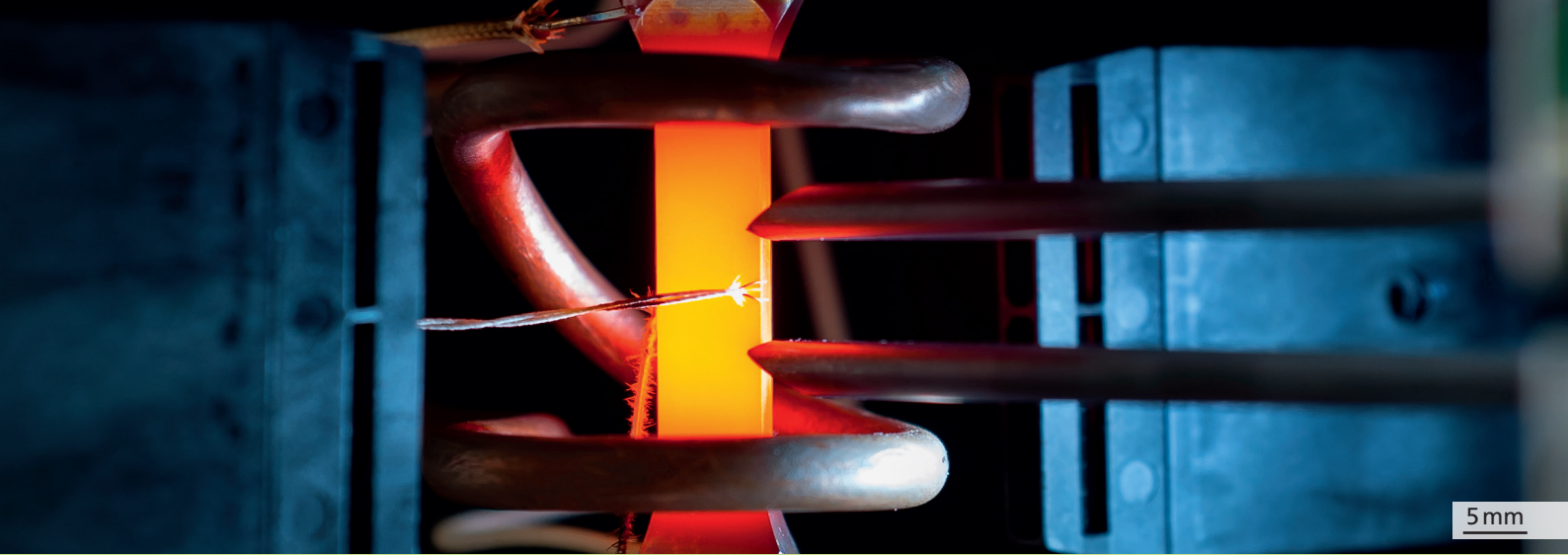
Für eine Messung des Risswachstums unter anisothermen Bedingungen hat sich am Fraunhofer IWM die Corner-Crack-Probe bewährt. Sie stellt eine Bruchmechanikprobe mit quadratischem Prüfquerschnitt dar, bei der sich der Riss von einer Ecke ausgehend viertelkreisförmig ausbreitet. Für die Messung der Risslänge wird eine Wechselstrompotenzialsonde verwendet, die speziell für anisotherme Belastungen qualifiziert wurde. Die Beheizung der Probe erfolgt induktiv, wobei zur Umsetzung schneller Abkühlrampen eine aktive Druckluftkühlung eingesetzt wird. Ein seitlich angebrachtes



1 Bruchfläche einer Corner-Crack-Probe mit Beachmarks zur Kalibrierung des Potenzialsignals.



2 Einfluss der Temperatur und deren Phasenbeziehung zur mechanischen Belastung auf das Risswachstum (links). Rechnerisch und experimentell bestimmte Risswachstumsgeschwindigkeit (rechts).



5 mm

Versuchsaufbau zur Messung des thermomechanischen Ermüdungsrisswachstums.

Hochtemperatur-Extensometer dient zur Messung der Rissflankenöffnung und ermöglicht damit Rückschlüsse auf Risschließeffekte. Die Kalibrierung der Potenzialsonde erfolgt mithilfe von sogenannten Beachmarks auf der Bruchfläche (Abbildung 1). Diese als Streifen sichtbaren Markierungen werden durch kurzzeitige Veränderung von Belastungsverhältnis und -frequenz erzeugt und erlauben eine Korrelation zwischen dem Potenzialanstieg und der Risslänge.

Einflüsse auf das Risswachstum

In verschiedenen Forschungsvorhaben am Fraunhofer IWM wurden mehrere Nickelwerkstoffe untersucht. Als wichtige Einflussgrößen auf das Risswachstum wurden neben dem Belastungsverhältnis die Zykluszeit sowie die Temperatur und deren Phasenbeziehung zur mechanischen Belastung ermittelt. Abbildung 2 links zeigt an einer Nickellegierung für Kraftwerksanwendungen die qualitative Änderung der Risswachstumsgeschwindigkeit da/dN abhängig von der Temperatur sowie abhängig von der Phasenbeziehung. Je nach Legierung ergibt sich auch ein Einfluss der Umgebungsatmosphäre sowie des Werkstoffzustands, der sich abhängig von der thermischen Auslagerung ergibt. Der Risswachstumsmechanismus kann sich abhängig von diesen Einflussgrößen ändern und wird durch einen trans- oder interkristallinen Rissverlauf geprägt.

Modellierung

Das Ziel der Modellierung ist es, eine einheitliche Vorhersage des Risswachstums unabhängig von den verschiedenen Einflussgrößen zu erhalten. Die rechnerische Beschreibung des Risswachstums basiert auf einem mechanismenbasierten Ansatz, in dem als wesentliche Größe die zeitabhängige

Entwicklung der zyklischen Risspitzenöffnung eingeht. Die Werkstoffkennwerte, die das Verfestigungs-, Kriech- und Sauerstoffdiffusionsverhalten charakterisieren, lassen sich dabei überwiegend aus unabhängigen Experimenten ermitteln. Abbildung 2 rechts zeigt die Gegenüberstellung der gemessenen und der berechneten Risswachstumsgeschwindigkeit. Im Gegensatz zu Abbildung 2 links lassen sich die Versuchsergebnisse unabhängig von Belastung und Temperatur größtenteils in einem engen Streuband beschreiben. Durch die Nachrechnung von isothermen Messdaten aus der Literatur konnte das Modell erfolgreich validiert werden. Das Risswachstumsmodell kann schließlich als Grundlage für eine (Rest-)Lebensdauerbewertung von Komponenten herangezogen werden, sodass frühzeitig Aussagen über das lokale Werkstoff- und Rissverhalten möglich sind. Durch die Kombination aus mechanismenbasiertem Modell und Bruchmechanik ist eine Übertragung auf weitere metallische Werkstoffe möglich und Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben.

Dr. Michael Schlesinger