

Verlässliche Kennwerte für gute Vorhersagen

Prüfsystem für zyklische mechanische und thermische Belastungen

Eine zyklische mechanische Belastung von Bauteilen unter erhöhten Temperaturen führt zu Strukturveränderungen und reduziert die Betriebsdauer. Um auch unter zyklischen thermischen und mechanischen Belastungen verlässliche Kennwerte für eine Vorhersage zu generieren, hat ZwickRoell zusammen mit dem KIT in Karlsruhe ein elektromechanisches Prüfsystem entwickelt. Dieses wird beispielsweise zur Materialprüfung von Turbinen- und Motorenwerkstoffen eingesetzt.

Peter Stipp

Werkstoffe verhalten sich bei langanhaltenden, statischen Belastungen unter erhöhten Temperaturen anders als unter Raumtemperatur. So kommt es neben der elastischen Dehnung auch zu einer irreversiblen, plastischen Dehnung (Kriechdehnung). Daraus resultieren reduzierte Festigkeitswerte und es kommt zur Schädigung in Form von Poren, die letztendlich zum Bruch des Bauteils führt.

Das Kriechen bei Beanspruchungen unter hohen Temperaturen lässt sich zwar durch gezielte Materialzusammensetzungen verbessern, letztendlich aber nicht verhindern. Neben lang anhaltenden, statischen Belastungen gibt es vielfach auch Kombinationen aus unterschiedlich langen thermischen und mechanischen Zyklen.

Um die erforderlichen Materialkennwerte unter diesen Beanspruchungen, z.B. für Turbinen- und Motorenwerkstoffen zu bestimmen, wurde von ZwickRoell in Fürstenfeld in enger Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ein neues elektromechanisches Prüfsystem entwickelt.

Bestimmung der Kriechgeschwindigkeit

Das Kriechverhalten von Werkstoffen wird meist über Zeitstandversuche bestimmt. Im

einfachsten Fall belastet man eine Zugprobe bei erhöhter Temperatur mit einer konstanten Kraft und erfasst ihre Verlängerung in Abhängigkeit von der Prüfzeit sowie die Zeit bis zum Probenbruch.

Der meist sehr lange Prüfzeitraum von Wochen oder Monaten ist eine enorme technische Herausforderung, da die Versuchsparameter über die gesamte Zeit konstant gehalten werden müssen. Denn sowohl die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse als auch die Messgenauigkeit sind wesentliche Aspekte bei der Durchführung von Kriechprüfversuchen.

Für besonders hohe Anforderungen an die Kraftregelung hat ZwickRoell die elektromechanischen Kriechprüfmaschinen der Kappa Baureihe mit Spindelantrieb entwickelt. Sie finden für verschiedene Versuchstechniken ihre Anwen-

dung: Langzeit-Kriechversuche über mehrere Tausend Stunden, Advanced Creep Tests, Relaxationsversuche, sowie Zug-, Druck- und Biegebelastung unterschiedlicher Ma-

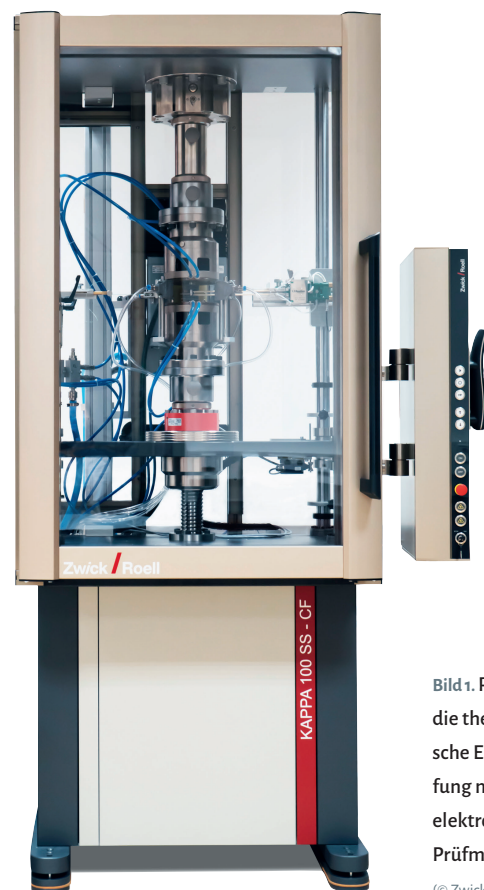


Bild 1. Prüflösung für die thermomechanische Ermüdungsprüfung mit patentierter elektromechanischer Prüfmaschine

(© ZwickRoell)

terialien. Das Ergebnis eines Kriechversuchs ist eine Kriechkurve. In der Anfangsphase der Belastung hat sie zunächst einen degressiven Verlauf (Primäres Kriechen). Dann geht sie in einen Bereich über, der sich durch eine konstante, minimale Kriechgeschwindigkeit auszeichnet. Das ist der gesuchte Bereich, der zugleich den größten Anteil der Gesamtlebensdauer einer Probe ausmacht. Danach sinkt der Kriechwiderstand wieder und es kommt zu einer beschleunigten Dehnung, die zu Poren und Rissen im Material und schließlich zum Bruch der Probe führt.

Aus der Kriechkurve lässt sich für jeden Werkstoff, bei gegebener Temperatur und Belastung, der Zeitraum der gesuchten minimalen Kriechgeschwindigkeit ermitteln. So ist beispielsweise für Turbinenschaufeln in jedem Düsentriebwerkstyp genau vorgegeben, um wie viel sie sich bei einer bestimmten Betriebstemperatur und festgelegter Laufzeit verlängern dürfen.

Zyklische Ermüdungsprüfung

Bei einer zyklischen thermo-mechanischen Ermüdungsprüfung werden die erforderlichen Materialkennwerte bei phasengleichen oder phasenverschobenen thermischen und mechanischen Belastungen ermittelt. Basis der von ZwickRoell in Fürstfeld zusammen mit dem KIT entwickelten Prüflösung ist eine elektromechanische Kriechprüfmaschine aus der Serie Kappa SS-CF (Bild 1). Diese ist mit einer Zentralspindel ausgestattet, erreicht eine Prüfkraft von bis zu 100 kN und eignet sich für Zeitstandversuche und dehnungsgeregelte Creep Fatigue (CF) Tests, die höchste Präzision in der Dehnungsregelung fordern.

Auch Relaxationsversuche und speziell benutzerprogrammierte Belastungszyklen sind möglich. Hinzu kommen hochauflösende Kraft- und Wegmessungen für optimale Regelungseigenschaften, gerade für sehr langsame Prüfgeschwindigkeiten und eine digitale Closed Loop Regelung für Kraft und Dehnung. Ein weiterer Vorteil dieser Variante im Vergleich zu elektromechanischen Standard-Kriechprüfmaschinen ist die ausgezeichnete Linearität bei Belastungen im Nulldurchgang zwischen dem Druck- und Zugbereich.

Ergänzt wird die Kriechprüfmaschine durch ein Induktionserwärmungs-System



Bild 2. Induktionserwärmungssystem, aktive Kühlung und präzise Temperatur- und Dehnungsmessung erlauben normkonforme Prüfungen (© ZwickRoell)

für Temperaturen von 50 bis zu 1.200 °C und ein Luft-Kühlsystem (Bild 2). Dieses ermöglicht in Abhängigkeit von Versuchsmaterial und Probengeometrie maximale Heiz- und Kühlraten von bis zu 25 °C pro Sekunde.

Ziel ist es, verlässliche Kennwerte für die Vorhersage der Ermüdungslebensdauer und des Verformungsverhaltens unter den geplanten Betriebsbedingungen mit zyklischen thermischen und mechanischen Belastungen zu generieren. Das neue elektromechanische Prüfsystem für die thermo-mechanische Ermüdungsprüfung erfüllt alle Anforderungen des European Code-of-Practice für thermomechanische Ermüdungsprüfung und der beiden spezifischen Normen ASTM E 2368 und ISO 12111.

Entwicklung eines Echtzeit-Kontrollsystems

Eine gleichmäßige Temperaturverteilung entlang der Probe wird durch probenspezifische Induktoren sichergestellt und die exakte und gleichzeitig normgerechte Proben temperatur mit einer maximalen Temperaturabweichung von < 10K bzw. $\pm 2\%$ von ΔT garantiert. Die Temperaturmessung erfolgt in der Mitte der Probenmessstrecke mit einem kalibrierten Band-Thermoelement.

Um die Metallproben sicher einzuspannen, werden wassergekühlte hydraulische Probenhalter eingesetzt. Die Messung der Probendehnung erfolgt mit Hilfe eines kontaktierenden Extensometers in der Ge-

nauigkeitsklasse 0,5 gemäß ISO 9513.

Zur Steuerung des Induktions-Heizsystems, der aktiven Kühlung und der Synchronisierung von mechanischen und thermischen Zyklen wird ein eigens entwickeltes Echtzeit-Kontrollsystem eingesetzt. Die nötige Parametrisierung und Bedienung, die Speicherung der Messdaten und die Auswertung der Ergebnisse erfolgt über die bewährte Prüfsoftware testXpert III von ZwickRoell. Für den Nutzer ist dies sehr komfortabel, denn der Workflow orientiert sich konsequent an den Arbeitsprozessen und führt von der Vorbereitung über den kompletten Ablauf der Prüfung bis hin zur Analyse der Ergebnisse. ■

INFORMATION & SERVICE

AUTOR

Dr. Peter Stipp arbeitet als Fachjournalist in der Agentur awikom in Lorsch.

KONTAKT

ZwickRoell GmbH & Co. KG
T 07305 10-0
info@zwickroell.com
www.zwickroell.com