

Definition

Lebensdaueruntersuchungen spielen zunehmend eine wichtige Rolle beim Entwurf sicherheitsrelevanter Bauteile, die gleichzeitig thermischen und mechanischen zyklischen Belastungen ausgesetzt werden. Um das Verhalten thermisch-mechanisch beanspruchter Werkstoffe untersuchen zu können, werden einachsige Versuche unter idealisierten Bedingungen an einer Probe durchgeführt. Dazu werden Temperatur und Dehnung innerhalb der Messstrecke bis zum Versagen zeitlich variiert. Diese Testmethode wird als „thermomechanical fatigue“ (thermisch-mechanische Ermüdung) oder abgekürzt „TMF“ bezeichnet.

Versuchsdurchführung

Vor jedem TMF-Versuch werden zunächst vier Vorversuche durchgeführt, die zum einen der Kontrolle der Versuchseinrichtung dienen, zum anderen notwendige Werkstoffkennwerte für die weitere Versuchsführung liefern:

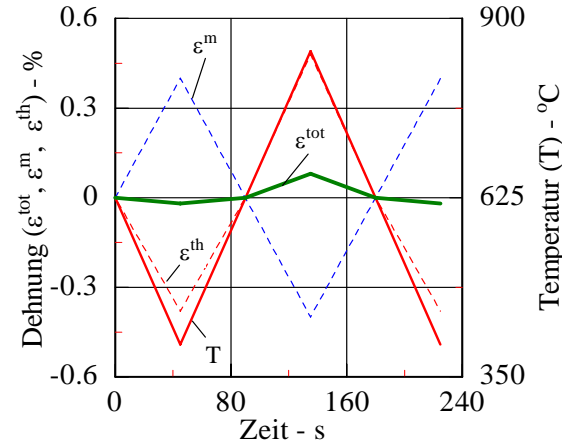
- **Bestimmung des E-Moduls im Temperaturbereich von RT bis T_{max} , $E = f(T)$**
Der Versuch dient u. a. der Plausibilitätsprüfung für die Messgrößen Kraft, Dehnung, Temperatur.
- **Optimierung des Temperaturpfades**
Test zur Minimierung des Temperatur-Zeitfehlers.
- **Bestimmung der thermischen Dehnung $\varepsilon^{th} = f(T)$**
Unbedingt erforderlich zur Kompensation der thermischen Dehnung bei dehnungskontrollierter Versuchsführung.
- **σ -zero-Test**
Verifikation der thermischen Dehnungskompensation.

Nach erfolgreicher Beendigung aller Vorversuche kann der eigentliche TMF-Versuch gestartet werden. In den meisten Versuchen soll die Probe mit einer vorgegebenen konstanten mechanischen Dehnamplitude und mit einem Temperaturzyklus belastet werden. Durch die Temperaturänderung verändert sich unter freier Ausdehnung jedoch die

Probenlänge. Diese thermische Längenänderung darf die Probenbelastung nicht beeinflussen. Deshalb müssen dehnungsgeregelte TMF-Versuche nach der Gesamtdehnung (ε^{tot}) geregelt werden, die aus der mechanischen (ε^m) und thermischen Dehnung (ε^{th}) zu berechnen ist:

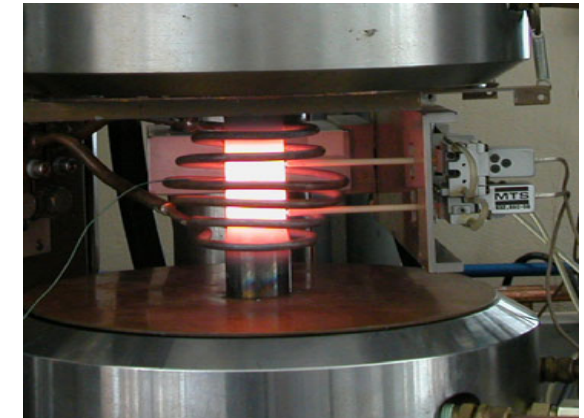
$$\varepsilon^{tot} = \varepsilon^m + \varepsilon^{th}$$

Die Berechnung erfolgt wahlweise für „time-based-tests“ vor Versuchsbeginn aus den Zeitverläufen $\varepsilon^m(t)$ und $\varepsilon^{th}(t)$ oder für „temperature-based-tests“ online durch aktuelle Temperaturmessung, Berechnung der thermischen Dehnung aus der gemessenen Temperatur $\varepsilon^{th}(T)$ und anschließender Addition der mechanischen Dehnung. Die Phasenlage φ zwischen Temperatur und mechanischer Dehnung kann je nach Vorgabe zwischen 0° und 360° gewählt werden, wobei $\varphi = 0^\circ$, also das zeitgleiche Auftreten von Temperatur- und Dehnungsextrema einen Sonderfall darstellt und mit „In-Phase“ (IP) bezeichnet wird.



Beispiel einer TMF-Sollwertvorgabe ($\varepsilon^{tot} = \varepsilon^m + \varepsilon^{th}$)

Phasenlage Temperatur / Dehnung $\varphi = 180^\circ$
mechanische Dehnamplitude $\varepsilon^m = \pm 0,4\%$,
 $T = 400\text{-}850^\circ\text{C}$, ($\varepsilon^{th}_{400^\circ\text{C}} = -0,38\%$, $\varepsilon^{th}_{850^\circ\text{C}} = 0,48\%$)
Temperaturrate 5K/s (180s pro Zyklus)



TMF-Versuchsaufbau

Ziel

Ermittlung des Werkstoffverhaltens unter thermo-mechanischer Beanspruchung:

- Ausbildung der Spannung-Dehnung-Kurve
- Ver- und Entfestigung
- Lebensdauer

Normen

Zur Zeit gibt es noch keine gültigen TMF-Normen, sondern nur unvollständige Entwürfe für den einachsigen dehnungsgeregelten TMF-Versuch (ASTM, ISO). Diese Entwürfe bilden die Grundlage der Versuchsführung. Die Arbeitsgruppe ist an der Weiterentwicklung eines TMF-Standards im Rahmen eines europäischen Forschungsvorhabens eingebunden.

Darüber hinaus können auch kraftgeregelter, axial/torsionaler und einachsiger TMF-Versuche unter Vakuum durchgeführt werden.

Gerätetechnik

Alle TMF-Versuche werden auf Prüfmaschinen mit induktiver Probenheizung durchgeführt. Zur Erhöhung der Temperaturgeschwindigkeiten werden bevorzugt Hohlproben eingesetzt. Zusätzlich kann die Abkühlgeschwindigkeit durch Anblasen der Probe mit Pressluft erhöht werden.

Arbeitsgebiete der Arbeitsgruppe

„Werkstoffmechanik der Metalle“

Folgende Tätigkeitsfelder werden überwiegend in nationalen und internationalen Kooperationen mit der Industrie und mit Hochschulen, Universitäten und andere Forschungseinrichtungen abgedeckt:

- Hochtemperaturwerkstoffe für Gasturbinen
- Faserverstärkte Leichtmetalle für Flugturbinen
- Graugusslegierungen für Bremsscheiben
- Entwicklung neuer Verfahren zur mechanischen Werkstoffprüfung
- Mitarbeit an der Entwicklung technischer Regeln und Normen
- Kundenspezifische Auftragsarbeiten
- Optimierung der Versuchstechnik durch Simulation der Beanspruchungen
- Analyse beanspruchungsbedingter Schädigungen
- Ausbildung von Werkstoffprüfern
- Betreuung von Studien- und Diplomarbeiten

Ansprechpartner:

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung
Fachgruppe V.2
Werkstoffmechanik
Arbeitsgruppe
Werkstoffmechanik der Metalle

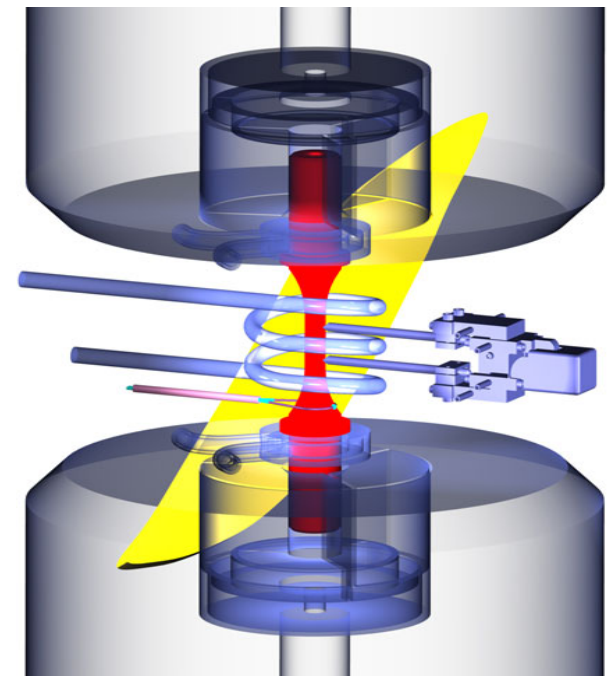
Dr.-Ing. Hellmuth Klingelhöffer
Telefon: +49-30-8104-1521
e-mail: hellmuth.klingelhoeffler@bam.de

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Kühn
Telefon: +49-30-8104-3129
e-mail: hans-joachim.kuehn@bam.de

Unter den Eichen 87
12205 Berlin

Sekretariat
Telefon: +49 30 8104-1529
Telefax: +49 30 8104-1527

Thermo-mechanical Fatigue (TMF)



Arbeitsgruppe
„Werkstoffmechanik der Metalle“

Die BAM, V.2 ist ein durch die DAP
Deutsches Akkreditierungssystem
Prüfwesen GmbH
nach DIN EN ISO/IEC 17025:2000
akkreditiertes Prüflaboratorium.



DAP-PL-2614.16