

1 *Zyklischer Ermüdungsversuch bei 1000°C mit taktilem und optischem Dehnungssensor.*

2 *Polierter Prüfling aufgenommen vom optischen Sensor. Innerhalb der rot umrahmten Bereiche wird die Dehnung anhand der Mikrostruktur ausgewertet. Rechts erkennt man die Messspitzen des taktilen Referenzsensors.*

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Georges-Köhler-Allee 301
79110 Freiburg

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Andreas Blug
Projektleiter
Produktionskontrolle/Inline-Messtechnik
Telefon: +49 761 8857-328
andreas.blug@ipm.fraunhofer.de

www.ipm.fraunhofer.de

SCHNELLE DEHNUNGSMESSUNG BERÜHRUNGS- UND MARKIERUNGSFREI

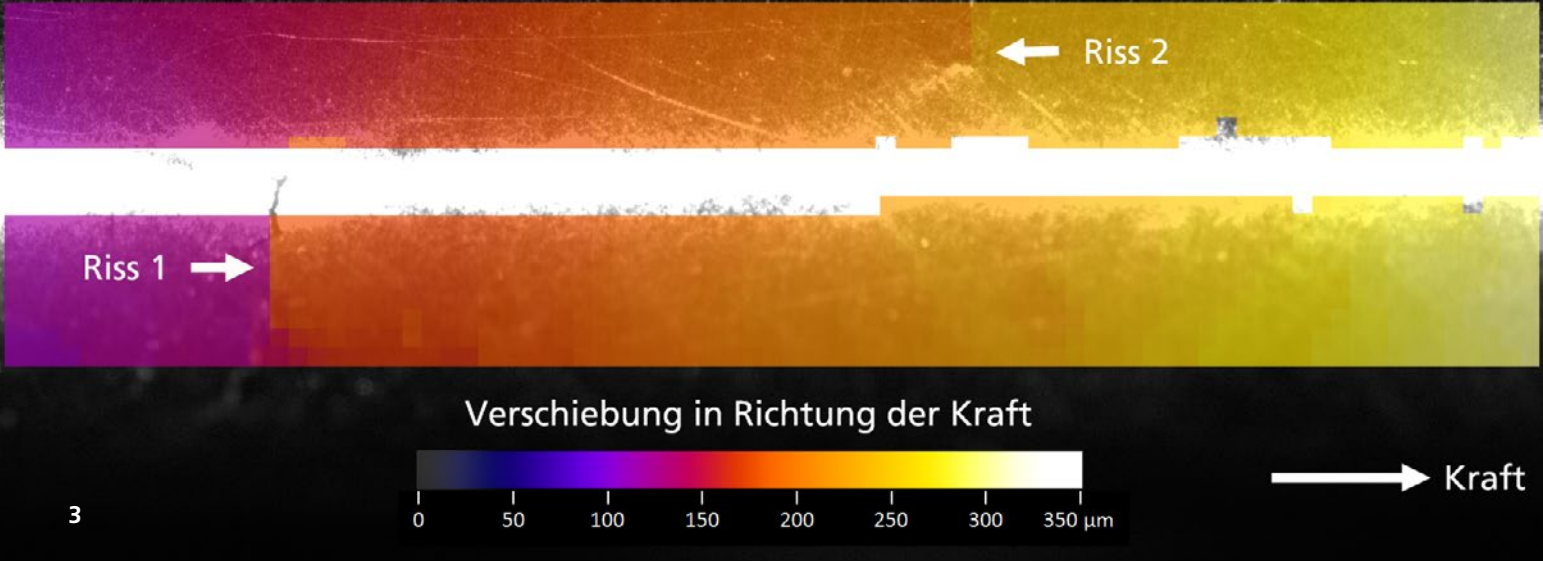
Entwicklung und Qualifikation neuartiger Werkstoffe sind von zentraler Bedeutung für die Verbesserung von Bauelementen, Maschinen und Anlagen. Dies gilt im Automobil- und Flugzeug-Leichtbau ebenso wie für Turbolader oder Kraftwerke, bei denen innovative Materialien wesentlich zur Effizienzsteigerung beitragen. Um die mechanischen Eigenschaften und die Lebensdauer neuer Materialien und Bauteile zu qualifizieren, werden Ermüdungsversuche unter zyklischer Belastung im elastischen und plastischen Bereich durchgeführt. Typischerweise durchlaufen diese 10^4 bis 10^8 Zyklen mit Frequenzen von 0,1 Hz bis 100 Hz – die Prüfdauer liegt im Bereich von Stunden oder gar Tagen.

Ein von Fraunhofer IPM und Fraunhofer IWM gemeinsam entwickeltes Dehnungsmesssystem vereint nun erstmals die Vorteile optischer und taktile Messverfahren und wird so zum vielseitigen Werkzeug für die schnelle Werkstoffprüfung – mit drastisch verkürzten Messzeiten.

Vereint die Vorteile optischer und taktile Messverfahren

Optische Systeme funktionieren berührungs- und somit auch schlupffrei. Sie messen nicht nur die mittlere Dehnung zwischen zwei Punkten, sondern ermöglichen darüber hinaus bildgebende Analysen. Dadurch kann z. B. im Fall von Materialversagen die Ursache analysiert werden. Nachteil herkömmlicher optischer Systeme ist jedoch ihre geringe Messgeschwindigkeit. Kurze Messzeiten bei Ermüdungsversuchen wurden bisher nur mit taktilem Extensometer erreicht. Durch den notwendigen Anpressdruck verfälschen diese jedoch die Ergebnisse im Hinblick auf die plastische Verformung – insbesondere bei Leichtbauwerkstoffen oder bei hohen Temperaturen.

Moderne Bildverarbeitungstechnologien erlauben es nun erstmals, die Vorteile taktile und optischer Extensometer zu kombinieren: Schnelle, hochauflösende Kameras können Mikrostrukturen auch



3

auf polierten Proben zuverlässig erfassen (Abb. 2). Dadurch entfällt die aufwändige Probenpräparation mit Markern. Gleichzeitig verbessert sich die Messgenauigkeit, da alle Merkmale der Mikrostruktur zur Verschiebungsmessung ausgewertet werden.

Die markierungsfreie und berührungslose Dehnungsmessung kann auch dort eingesetzt werden, wo Werkstoffe weich werden: bei hohen Temperaturen bis 1000 °C. Optimierte Auswertalgorithmen sind robust gegenüber thermischer Hintergrundstrahlung und farblichen Veränderungen der Werkstückoberfläche.

Echtzeit-Auswertung mit 1000 Hz

Moderne Kameras können die Mikrostruktur einer Werkstückoberfläche mehr als 1000 Mal pro Sekunde aufnehmen, konventionelle Prozessoren jedoch nur etwa 200 rechenintensive Bildkorrelationen pro Sekunde

auswerten. Grafikkarten als Parallelrechner beschleunigen die Bildkorrelation massiv. Dadurch kann die Dehnung mit mehr als 1000 Hz gemessen werden – ohne die Schlupfbegrenzung taktiler Extensometer (Abb. 4). Die Messgenauigkeit entspricht der Klasse 0,5 nach DIN ISO 9513. Auch bei dreiecksförmigem Kraftverlauf mit 10 Hz werden die Umkehrpunkte sauber aufgelöst, was die Prüfzeiten für berührungslose dehnungsgeregelte Ermüdungsversuche drastisch verkürzt, z. B. von 15 auf 1,5 Stunden.

Versagensanalyse – auch am Bauteil

Bildgebende Systeme können Dehnungen oder Verschiebungen an beliebigen Punkten messen – auch nachträglich am Bauteil. Somit ist im Fall von Materialversagen eine gezielte Ursachenanalyse möglich. Neben der mittleren Dehnung zwischen zwei Punkten können auch Dehnungs- oder Verschiebungsfelder ausgewertet werden, etwa

3 Ursachenanalyse anhand des Verschiebungsfeldes, das dem Bild der Oberfläche farblich überlagert wurde. An den Rissen ändert sich die Verschiebung sprunghaft.

4 Ermüdungsversuch mit dreiecksförmigem Kraftverlauf (blau) und resultierender Dehnung (rot: optische, schwarz: taktile Messung). Durch die Bildrate von 1000 Hz werden die Umkehrpunkte sauber aufgelöst.

nachdem auffällige Dehnungen gemessen wurden. In Abbildung 3 erkennt man, dass sich die Verschiebung der einzelnen Punkte in Kraftrichtung an Rissen sprunghaft ändert. So lässt sich die Ursache für ein Versagen anschaulich analysieren.

Dehnung und Verschiebung

Beim Verfahren der Bildkorrelation wird die Verschiebung von Oberflächenpunkten in zwei nacheinander aufgenommenen Bildern gemessen, indem die Position der Mikrostruktur innerhalb vordefinierter Bereiche subpixelgenau identifiziert wird. Betrachtet man nur zwei Bereiche pro Bild (Abb. 2), ergibt sich aus der Differenz der Verschiebungen die Längenänderung und somit die Dehnung (Abb. 4). Viele Werkstoffe dehnen sich jedoch nicht gleichförmig – v. a. bei lokal kritischen Spannungen oder Rissen. Misst man die Verschiebung an sehr vielen Punkten auf der Probenoberfläche, so ergibt sich ein sog. Verschiebungsfeld. In Abb. 3 wurde die Verschiebung in Kraftrichtung dem Bild der Oberfläche farblich überlagert. Die Bildkorrelation auf der Grafikkarte ermöglicht die Berechnung solcher Verschiebungsfelder in Echtzeit.

