

Defekte erkennen *mit nichtlinearer Laser*



Ein neues Verfahren zur zerstörungsfreien Bauteilprüfung mit nichtlinearer Akustik

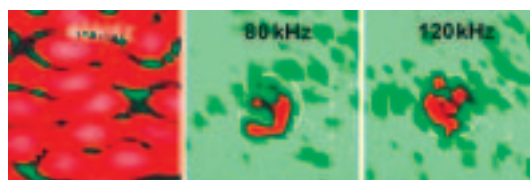
Die nichtlineare Laser-Vibrometrie ist ein neues selektives Verfahren zur Lokalisierung von Defekten in Festkörpern. Die Defekte bewirken eine mechanische Gleichrichtung der während der Prüfung angeregten elastischen Wellen, wodurch Höherharmonische als Messsignale verfügbar werden. Dies ermöglicht eine zuverlässige Kontrolle bei der Herstellung und Wartung von Bauteilen.



Bild 2:
Delamination
**in einer C-C/
SiC-Keramik:**
2. Harmonische
(Anregung
bei 20 kHz)

Einführung

Bei der herkömmlichen Schwingungsanalyse wird der Zustand eines Bauteiles durch sein Antwortverhalten charakterisiert. Dies kann durch Klangprüfung oder Auswertung der Oberflächenschwingungen erfolgen, beispielsweise mittels Laser-Interferometrie. Defektbedingte Veränderungen der Resonanzen können in diesem Fall nur durch den Vergleich mit denen des intakten Bauteils erkannt werden. Die Eigenfrequenzen sind allerdings geometrieabhängig und eine gewisse Variationsbreite der Bauteilabmessungen ist produktionstechnisch unvermeidbar.



Eine unbedeutende Fertigungstoleranz und ein kritischer Schaden können so das gleiche Messergebnis hervorrufen.

Nichtlineare scannende Vibrometrie

Um die Nachteile dieses Standard-Verfahrens zu kompensieren, wurde eine defektselektive bildgebende Prüfmethode entwickelt: die Nichtlineare Vibrometrie. Hierbei wird ausgenutzt, dass die meisten praxisrelevanten Defekte Grenzflächen aufweisen, die bei einer Schwingungsanregung „klappern“ oder reiben. Dieses Verhalten kann man sich als mechanisches Gleichrichten einer Schwingung vorstellen, wobei beispielsweise nur Druck-, aber keine Zugkräfte übertragen werden.

Bild 3:
Höherharmonische (Anregungsfrequenz 40 kHz)
an einem künstlichen Defekt: Delamination in
Kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK)

-Vibrometrie

Dabei handelt es sich um ein lokal nichtlineares, also geometrieunabhängiges Schwingungsverhalten. Dies führt zur lokalen Entstehung Höherharmonischer der Anregungsfrequenz (Bild 1). Da nur der Defekt ein Messsignal (Höherharmonische) liefert, kann der Bauteilfehler auch bildgebend ermittelt werden.

Zur monofrequenten Anregung der Bauteilschwingung haben sich mechanisch angekoppelte Leistungs-Ultraschall-Konverter bewährt. Die bildgebende Darstellung und Lokalisierung der Defektstellen erfolgt mit einem scannenden Laser-Doppler-Vibrometer PSV-300-S, das eine hohe laterale Ortsauflösung und kurze Messzeiten mit hoher Genauigkeit ermöglicht.

Oftmals zeigen erst Harmonische höherer Ordnung einen befriedigenden Kontrast. Mit dem scannenden Laser-Doppler-Vibrometer sind Frequenzen bis 1 MHz erfassbar, sodass bei einer Anregungsfrequenz von 20 kHz bis zur 50. Harmonischen detektiert werden kann. Einige Beispiele für die Erkennung praxisrelevanter Schäden (z.B. Enthaltungen und Risse) in verschiedenen Werkstoffen zeigen Bild 2 – 4.

Fazit

Mit der nichtlinearen Laser-Vibrometrie wurde ein zerstörungsfreies Prüfverfahren entwickelt, das die Höherharmonischen, die durch mechanische Gleichrichtung in Defekten entstehen, zu deren Lokalisierung nutzt. Dieses neue defektselektive Verfahren ermöglicht daher eine zuverlässige Herstellungskontrolle und Wartung verschiedener Strukturen.

Die elastischen Eigenschaften von Defekten führen zu einer neuen Gruppe nichtlinearer Phänomene: Subharmonische, Instabilitäten, Hysterese, Selbst-Modulation und dynamisches Chaos wurden bei der Interaktion elastischer Wellen mit Defekten beobachtet.

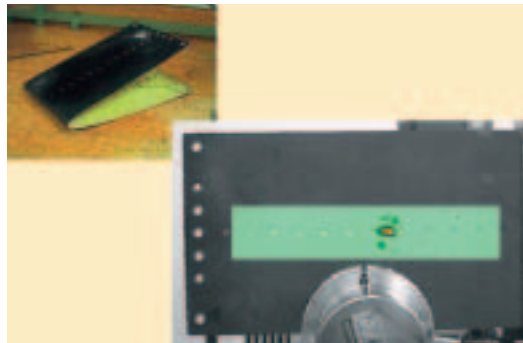


Bild 4:
Risserkennung in Aluminium:
4. Harmonische (Anregung bei 20 kHz)

Diese Effekte sind Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten, die das Verständnis und die praktische Nutzung nichtlinearer Mechanismen verbessern.

Die Forschungsarbeit „Entwicklung defektselektiver Prüfverfahren für die Qualitätsüberwachung sicherheitsrelevanter Bauteile“ wurde vom Land Baden-Württemberg im Forschungsschwerpunktsprogramm gefördert.

DIE AUTOREN · KONTAKT

Dipl.-Ing. Klaus Pfeleiderer
Dr. Nils Krohn, Prof. Dr. Igor Solodov,
Prof. Dr. Gerd Busse

Institut für Kunststoffprüfung
und Kunststoffkunde
Zerstörungsfreie Prüfung IKP-ZFP
Universität Stuttgart

Telefon +49 (0) 711 685 2669
E-mail pfeleiderer@ikp.uni-stuttgart.de
www.zfp.uni-stuttgart.de



Bild 1: Messprinzip der nichtlinearen Laser-Vibrometrie

