
Shearografie

Stand der Technik eines optischen Verfahrens für die ZfP

M. Honlet, Neu-Ulm und T. Walz, Elchingen

Was ist Shearografie?

Shearografie beinhaltet das englische Wort „to shear“, das heißt „Scheren“. Bei diesem optischen Verfahren wird tatsächlich mit einem optischen Hilfsmittel das Bild eines Objekts verdoppelt und zugleich versetzt überlagert, was den Eindruck einer Scherung erzeugt. Deshalb ist in der deutschsprachigen Literatur auch gelegentlich der Begriff „Scherografie“ anzutreffen. Das Prinzip wurde erstmals Anfang der Siebziger von Y.Y.Hung beschrieben und ist ein sogenanntes relatives Messverfahren, bei dem das Ergebnisbild den Unterschied zwischen zwei zeit-

lich versetzten Zuständen des aufgenommenen Objekts darstellt.

Weil sie berührungslos, ganzflächig und mit sehr hoher Empfindlichkeit arbeitet ist die Shearografie für die zerstörungsfreie Untersuchung von industriellen Produkten prädestiniert. Vorzugsweise dort, wo erst eine mechanische, thermische oder pneumatische Belastung des Produkts potenzielle und versteckte Fehlstellen aufdecken kann, ist dieses Verfahren in der Lage, sehr schnell Informationen zu liefern, welche nur langsamer oder teilweise gar nicht mit so genannten absoluten Methoden gewonnen werden können.

Typische Prüfkandidaten sind beispielsweise Produkte aus Materialverbund, wie PKW- und Flugzeugreifen, faserumwickelte Behälter sowie laminierte Platten und Sandwichbauteile aus der Luft- und Raumfahrtindustrie. Diese Flexibilität in der Anpassung ist deshalb möglich, weil die Shearografie - wie viele optische Prüfverfahren - in weitem Rahmen materialunabhängig arbeitet. Sie kann sogar bei der Untersuchung von Konzentrationsänderungen in Flüssigkeiten und Gasen eingesetzt werden.

Die Shearografie ist ein interferometrisches Verfahren, weshalb es aus-



Bild 1: Portables Shearingsystem

schließlich mit aufgeweitetem Laserlicht arbeitet, da nur diese Lichtquelle die dafür notwendigen Eigenschaften vereint. Als lichtempfindliches Aufnahmematerial diente am Anfang chemisches, später zusätzlich oder ersatzweise elektrostatiches Filmmaterial. Durch die Entwicklung von CCD-Kameras, der zunehmenden Rechenleistung von PCs und Frame Grabber (= Bildaufnahmekarten) wurden die teuren Filme ab dem Ende der Achtziger nach und nach verdrängt. Trotz schlechterem örtlichen Auflösungsvermögen und etwas verrauschtem Streifenbild stieg die Popularität stark an, denn aus praktischer Sicht war der größte Gewinn die Fähigkeit, ohne Verbrauchsmaterialien und auf Tastendruck die Messung jederzeit zu wiederholen oder erneuern zu können.

Diese Echtzeitprüfung läßt mittlerweile ganzflächige Prüfgeschwindigkeiten in einer Größenordnung vom Quadratmeter in wenigen Minuten zu. Weil auch Halbleiterlaser leistungsstärker und preiswerter geworden sind haben kompakte und tragbare Systeme zu einer weiteren Steigerung der Popularität beigetragen (siehe Bild 1).

Diese filmlose „digitale Shearografie“ basiert, ebenso wie die „digitale Holografie“, auf der sogenannten Speckle-

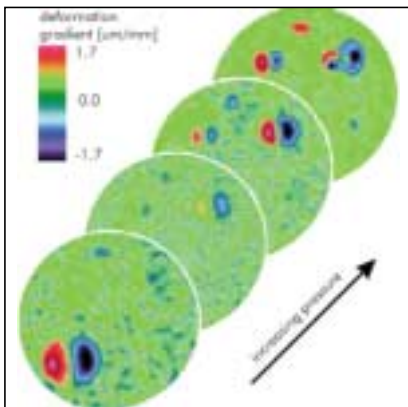


Bild 3: Fehlerdetektionsgröße bei unterschiedlichen Drücken

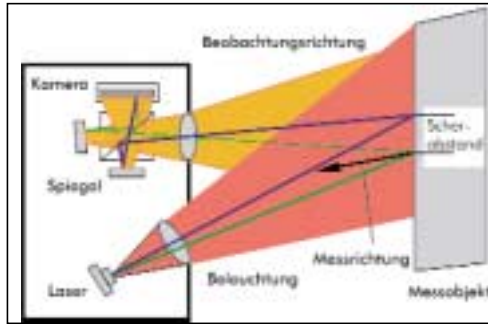


Bild 2: Aufbau eines Shearingsensors

Interferometrie. Ein populärer Sammelbegriff ist „ESPI“, Akronym für Electronic Speckle Pattern Interferometry. Bei der digitalen Shearografie wird die Differenzdarstellung, das sogenannte Streifenbild, vom PC als virtuelles Bild erzeugt, da - entgegengesetzt zur Film-Shearografie - kein physikalisches Medium die Information direkt speichert, wird eine zusätzliche Speicherung des Messbildes erforderlich.

Bedingung für die Untersuchung von Bauteilen ist, dass sich zwischen den beiden Zuständen des untersuchten Objekts die Oberflächenbeschaffenheit nicht verändert, d.h. ein Gegenstand kann verfolgt bzw. durchgehend untersucht, nicht aber bedeckt, oberflächenbehandelt oder gar entfernt werden.

Was sieht oder misst die Shearografie? Am einfachsten ist der Vergleich mit der Holografie, welche mit einer sehr hohen Empfindlichkeit ein-, zwei- oder dreidimensionale Verschiebungen bzw. Verformungen an einer Oberfläche misst. Üblicherweise wird diese Verformung in Form eines sogenannten Streifenmusters sichtbar, welches - ähnlich einer topografischen Karte - das photographische Bild des Objekts überlagert. Die Shearografie geht einen Schritt weiter und misst Gradienten

der Verformung, d.h. auf optischen Wege die erste Ableitung davon. Einfacher ausgedrückt: es wird mit Hilfe einer speziellen Optik, der so genannten Scheroptik, eine Bildverdopplung erzeugt. Empfängerseitig entsteht das, was als eine Art Definition gesehen werden kann: bei der Shearografie findet ständig ein interferometrischer Vergleich von benachbarten Punkten statt, und zwar für das gesamte Bild.

Ändern sich die Weglängen beider Punkte gleich viel (z.B. Ganzkörperbewegung) oder gar nicht, kann keine differentielle Information gewonnen werden. Ändert sich hingegen die Lage eines Punktes zum benachbarten, so führt dieser Wegunterschied zu quantitativen Informationen einer lokalen Veränderung, die zu lokale „Flecken“ oder zu einem Streifenmuster auf dem Bild führt. Der Scherabstand und die Scherrichtung sind die entscheidenden Parameter für die Messemmpfindlichkeit (siehe Bild 2).

Verglichen mit einem Verfahren wie beispielsweise Ultraschall, wo ohne Mitwirkung des zu untersuchenden Bauteils die gewünschte absolute Information gewonnen werden kann (Schallwellen einkoppeln, Signale empfangen, fertig ...), wird hier eine Kooperation des Prüflings verlangt. Nur wenn sich der Zustand des Prüflings verändert, beispielsweise durch Einwirkung einer mechanischen, thermischen oder pneumatischen Kraft, kann eine Information gewonnen werden, nämlich die Differenz zwischen dem sogenannten Referenzzustand 1 und dem Messzustand 2. Deshalb sind die gemessenen Informationen relativ. Nur so können Informationen über



Bild 4: Rotorblattprüfsystem



Bild 5: Roboteranbindung des Shearografie-sensors



Bild 6: Mobile Prüfanlage für hinter-schäumte Bauteile

das Verhalten unter Last bzw. im Normalzustand unauffindbare Fehlern gewonnen werden. Ein weiterer Vorteil ist der, dass das Verhalten bzw. die Relevanz von Fehlstellen in Funktion der Bauteilbeanspruchung untersucht werden kann (siehe Bild 3).

Ein typisches Beispiel aus der Luftfahrtindustrie sind „kissing bonds“, d.h. Klebefehler, welche im Ruhezustand keine auf konventionellem Wege messbare Ablösung aufweisen.

Insbesondere bei Materialverbund können mit der Shearografie Fehlertypen aufgedeckt werden, die teilweise oder gar nicht mit anderen Verfahren gefunden werden können. Dies geschieht quasi berührungslos, materialunabhängig und - weil flächenhaft - mit interessanten Prüfgeschwindigkeiten. Somit ist es auch verständlich, dass im Zuge des Prüfkosten- und Zeitdrucks das Interesse an diesem Verfahren zunimmt.

Anwendungen der Shearografie

Bereits Ende der 70er Jahre wurden Shearografieanlagen in der Industrie eingesetzt, beispielsweise für die Prüfung von Reifen. Obwohl es bis heute noch keine gesetzlichen Vorschriften gibt und das Wort „Shearografie“ auch in Entwürfen nicht auftaucht gehört es längst zu den „geeigneten Prüfverfahren“. Es ist nur eine wirtschaftliche Abwägung, ob die Shearografie in der Qualitätskontrolle eines Reifenherstellers oder – runderneuerers eingesetzt wird, weltweit sind zur Zeit über 400 solcher Shearografieanlagen in Betrieb.

Alle Reifen, die besonders hoch beansprucht werden, werden standard-



Bild 7: Mobiles shearografisches Vakuumprüfsystem

mäßig geprüft. Doch nicht nur Reifen für alle Militärjets, Schwertransportflugzeuge, Concorde, INDY-, NASCAR und andere schnelle PKWs werden untersucht. Immer mehr auch bei LKWs und mehrfach runderneuerte Reifen und mehrfach runderneuerte Reifen hilft dieses Verfahren, Sicherheitsrisiken zu minimieren.

Handelt es sich hierbei noch um einzelne Objekte, die nur im losen Zustand geprüft werden können, so kann die Shearografie ihre Vorteile besonders dann ausspielen, wenn hybride Materialien geprüft oder im Zuge von Wartungsarbeiten eingebaute Komponenten untersucht werden sollen. Der Stand der Technik spiegelt sich u.a. in Anlagen wieder, die beispielsweise vollautomatisch Hubschrauberrotorblätter oder ARIANE-Thermalschutzpaneele aus Verbundmaterial untersuchen. Die beidseitige Arbeitsfläche eines kompletten Rotorblatts kann in weniger als 10 Minuten komplett und vollautomatisch auf 10 mm?? große Ablösungen, Impaktschäden usw. untersucht werden (siehe Bild 4) Um komplexe Formen wiederholt zu prüfen, werden Roboter eingesetzt, die den Prüfsensor samt Laserbeleuchtung schnell in optimaler Position zur der Teilflächen bringen (siehe Bild 5 und 6).

Für Wartungsarbeiten an eingebauten Teilen werden portable Systeme eingesetzt, die auf der umschlossenen Prüffläche eine thermische, Schwingungs- oder Unterdruckbelastung direkt aufbringen (siehe Bild 7). So werden regelmäßig u.a. mit Karbonfasern verstärkte Rumpfteile von Business Jets, die Ladeluke des Space Shuttles, die riesigen Radome der AWACS, Rumpfteile von Hochsee-Rettungsbooten und zukünftig Flügelteile von AIR-

BUS und der Concorde mit solchen Systemen geprüft. Sollte beim A380 in Rumpfbereichen tatsächlich der vorteilhafte Materialverbund GLARE (GLass REinforced aluminium) benutzt werden, so gibt es außer der Shearografie kaum eine anderes Prüfverfahren, welches bei Wartungsarbeiten die erforderliche, hohe Prüfgeschwindigkeit erreichen könnte (ca. 200 m² in 8 Stunden).

Fazit und Ausblick

Diese Beispiele zeigen, dass für konkrete Anwendungen die Shearografie schon wesentlich weiter ist als – wie noch oft angenommen – nur ein Versuchsaufbau im Labor. Insbesondere die hohe Prüfgeschwindigkeit, die flexible Anpassungsfähigkeit an diversen Materialien und die Fähigkeit, trocken und an eingebauten Teilen zu Prüfen bieten Vorteile, die Hersteller und Luftfahrtgesellschaften erkannt haben. Das Einsparungspotenzial wurde erkannt und im technologischen Wettbewerb mit anderen Verfahren verglichen.

Doch allem Optimismus zum trotz gibt es noch ein riesiger Nachholbedarf auf der Ausbildungsseite. Es gibt kaum eine Möglichkeit, sich zum Shearografie-Operator ausbilden zu lassen, geschweige ein Prüfer mit Zertifikat zu werden. In den USA gibt es bereits offizielle Schulungsmöglichkeiten für Shearografie, ab 2003 auch in Frankreich. Es laufen jedoch Vorbereitungen zur Harmonisierung bisheriger, individueller Aktionen und um Schulungen zukünftig in weiteren Ländern, darunter auch Deutschland, anzubieten.

Kontaktadresse der Autoren:

Michel Honlet
HONLET Optical Systems GmbH
Donaustrasse 27, D - 89231 Neu-Ulm
Tel: +49 - (0)731 - 977 3933
Fax: +49 - (0)731 - 977 3944
Mail: info@honlet.com
http: www.honlet.com

Thomas Walz
Ettmeyer AG
Nersinger Str. 12-16
D - 89275 Elchingen
Tel: +49 - (0)7308 - 9295 - 311
Fax: +49 - (0)7308 - 9295 - 380
Mail: walz@ettmeyer.de
http: www.ettmeyer.com

Bilder mit freundlicher Genehmigung von Eurocopter Paris, Frankreich (Bild 4), MAN Technologie, Augsburg (Bild 5), VW AG, Wolfsburg (Bild 6), Raytheon Aircrafts, USA (Bild 7).