

1 Das ESPI-System von Fraunhofer IPM ist robust und portabel einsetzbar, hier exemplarisch bei der thermischen Verzugmessung einer Automobilkarosserie.

2 Falschfarbendarstellung einer kreisförmigen Deformation mit 500 nm Phasenhub, verursacht durch eine Stahlkugel.

FLÄCHIGE MESSUNG VON MIKRODEFORMATIONEN

Beim Schweißen oder Schneiden entstehen lokal und zeitlich begrenzt Belastungsspitzen an den bearbeiteten Materialstellen, was zu nicht reversiblen Verspannungen führen kann. Solche Verspannungen sind bei glanzlackierten Oberflächen wie beispielsweise Automobilkarosserien bereits unter $1/10 \mu\text{m}$ als Deformationen sichtbar. Sie mindern den Wert des Bauteils beträchtlich, da sie zu aufwändigen Nachbesserungen führen.

Weniger Ausschuss durch hochgenaue Inline-Oberflächenmessung

Ein neues System zur Mikro-Deformationsmessung von Fraunhofer IPM detektiert minimale Änderungen der Bauteil-Topografie sehr schnell, flächig und bis in den Nanometerbereich – direkt in der Linie. Damit können sehr kleine Änderungen oder Deformationen der Bauteiloberfläche – z. B. unter mechanischer oder thermischer Belastung – auch bei schnellen Produktionsabläufen exakt gemessen

werden. Das Verfahren eignet sich sowohl für die Prozessentwicklung als auch für die Kontrolle kritischer Produktionsschritte: So kann beispielsweise bei Schweiß-, Löt- oder Schneidprozessen der Verzug des Bauteils aufgrund der thermischen und mechanischen Belastung während des Bearbeitungsschritts mit Genauigkeiten von unter 30 Nanometer gemessen werden. Die Dynamik des Verzugs im Millisekundenbereich zu erkennen und zu verstehen ermöglicht eine Prozesssteuerung, die eine kurzzeitige oder lokale Überbeanspruchung des Bauteils verhindert. Eine auf diese Weise optimierte Prozessgestaltung garantiert gleichbleibende Produktqualität und minimalen Ausschuss.

Flächenhafte Form- und Dehnungsmessung statt Simulation

Thermische Ausdehnungskoeffizienten erzeugen mechanische Spannungen im Bauteil. Die daraus resultierenden Verformungen führen entweder zu irreversiblen

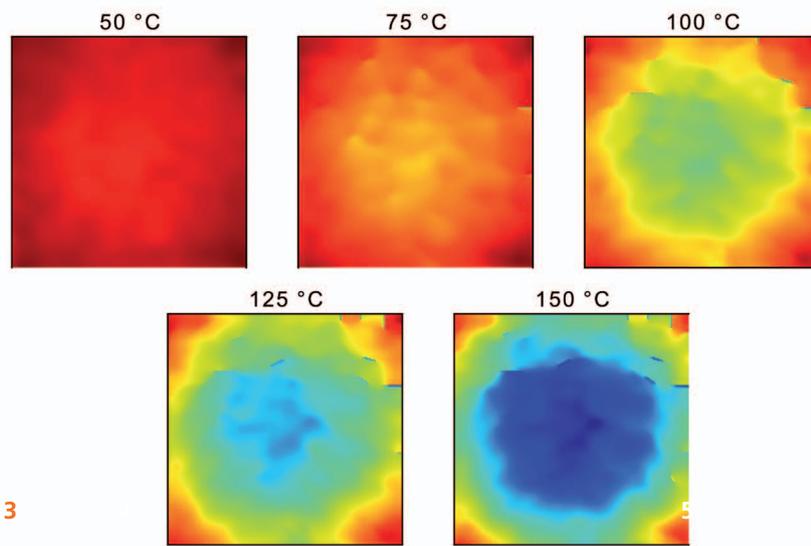
Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Heidenhofstraße 8
79110 Freiburg

Ansprechpartner

Andreas Hofmann
Inline-Messtechnik
Telefon +49 761 8857-136
andreas.hofmann@ipm.fraunhofer.de

www.ipm.fraunhofer.de



Deformationen oder bei zyklischem Auftreten nach gewisser Zeit zum strukturellen Versagen; als Folge entstehen Risse oder Brüche. Die Herausforderung bei der Produktions- oder Prozessgestaltung besteht darin, nicht nur den reinen Prozessablauf abzubilden, sondern auch dessen Zuverlässigkeit sicherzustellen. Simulationen unterstützen dabei, benötigen jedoch präzise Materialkennwerte. Nun ist gerade der Wärmeausdehnungskoeffizient eine von der Temperatur abhängige Größe. Wegen der steigenden Dynamik bei hohen Temperaturen wird die Ausdehnung zunehmend zur unbestimmten Größe. Selbst bei bekannten Werten kann bei inhomogenen Bauteilen nicht auf das reale Verhalten geschlossen werden. Somit sind nicht zuletzt aus diesem Grund grundsätzlich die Vorhersagen aus den Simulationen durch das Experiment zu bestätigen. Dabei genügt es nicht, die resultierende (End-) Deformation zu messen, da bei dieser Vorgehensweise die Entwicklung des Fehlers im Verborgenen bleibt. Aufklärung bieten hier nur Werkzeuge zur flächenhaften Verformungs- und Dehnungsmessung mit hinreichender Orts- und Zeitaufklärung.

ESPI: Elektronische Speckle-Interferometrie für nanometergenaue Messung

Das System zur schnellen Mikro-Deformationsmessung identifiziert auch kleinste Änderungen in der Struktur eines Bauteils. Dazu arbeitet das System nach dem Prinzip der elektronischen Speckle-Interferometrie (ESPI). Bei diesem Verfahren wird ein aufgeweiteter Laserstrahl auf

die Oberfläche eines Bauteils gelenkt – es entsteht ein sogenanntes Speckle-Muster. Wenn nun Verspannungen in der Oberfläche des Bauteils oder Bewegungen einer rauen Oberfläche den Abstand um Bruchteile der Wellenlänge verändern, verändert sich auch das Speckle-Muster entsprechend. Spezielle Computeralgorithmen rechnen diese Abweichungen mit hoher Geschwindigkeit um und weisen so Oberflächendeformationen nach.

Hochgenaue Verzugsmessung beim Schweißprozess in Echtzeit

Der große Vorteil der Speckle-Interferometrie ist ihre Genauigkeit: Das Messverfahren wird daher seit Langem benutzt, um minimale Deformationen zu messen, die durch Bauteil-Vibrationen, thermische Belastungen oder auch mechanische Zug- und Scherspannungen entstehen können. Klassische ESPI-Verfahren nutzen häufig zeitliche Phasenschiebe-Verfahren. Für die Erfassung aller benötigten Informationen des aktuellen Verformungszustands ist dabei stets die Aufnahme einer Folge von Kamerabildern nötig. Das zu vermessende Objekt muss dabei während der Aufnahmezeit bezüglich Position und Form absolut stabil sein, da sonst keine Messung möglich ist. Das heißt, dass die Messungen nur im thermisch und mechanisch stabilen Zustand erfolgen können. Die Gesamtzeit, die für eine Versuchsreihe zur Untersuchung der mechanischen Verformung aufgrund thermischer Last benötigt wird, würde dadurch extrem lang. Verformungen aufgrund dynamischer

thermischer oder mechanischer Prozesse zu untersuchen, ist praktisch unmöglich. Das System von Fraunhofer IPM misst 500 Mal pro Sekunde – kommerzielle Geräte benötigen für eine vergleichbare Messung einige Sekunden. Der Sensor liefert dabei Bilder der Oberflächenverformung mit 25 nm Genauigkeit. Die Bildauflösung in x/y-Richtung setzt sich aus einer Million Bildpunkten zusammen. Damit sind selbst kleinste Verformungen, wie sie z. B. eine rollende Stahlkugel auf einem Karosseriebauteil verursacht, in Echtzeit mess- und auf einem Bildschirm darstellbar (siehe Bild 2).

3 Verformungsmessung an einem Mikrochip auf PCB-Substrat während der Erwärmung bei unterschiedlichen Temperaturen. Der Mikrochip biegt sich dabei um maximal 550 nm durch.