



Wächter der Produktqualität

Wie Sie ein geeignetes zerstörungsfreies Prüfverfahren auswählen

Die über die klassische Kameratechnik hinausgehenden Messmethoden für die zerstörungsfreie Prozessüberwachung gliedern sich in eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren. Deren Auswahl fällt potenziellen Nutzern in produzierenden Unternehmen oftmals nicht leicht. Dann hilft ein schrittweises Vorgehen im Entscheidungsprozess.

Pierre Pfeffer und Giovanni Schober

Grundsätzlich können Prüfverfahren zur Detektion von Fehlstellen und anderen Qualitätskriterien in direkte, flächige Bildgebung und punktuell-

le bzw. rasternde Datenaufnahme unterteilt werden. Ersteres kann im Regelfall eine höhere Prüfgeschwindigkeit und Anschaulichkeit der Ergebnisse erzielen, letzteres

bietet häufig eine größere räumliche Auflösung und Eindringtiefe, wodurch auch sehr dicke Bauteile geprüft werden können. Zunächst sind zwei Fragen zu beantworten:

Ist eine Prozessintegration mit hoher Messgeschwindigkeit notwendig? Soll die Detektion weit von der Produktoberfläche entfernt liegende Merkmale, wie Fehlstellen, ermöglichen?

Thermografie

Zur direkt flächigen Bildgebung zählt etwa die Thermografie, bei der die Wärmestrahlung der Oberfläche des zu prüfenden Produkts mit einer Infrarot-Wärmebildkamera aufgezeichnet wird. Dabei wird durch eine externe Anregungsquelle wie eine Halogen- oder Blitzlampe das Prüfobjekt aktiv erwärmt bzw. der während des Produktionsprozesses ohnehin entstehende Wärmefluss passiv genutzt.

Die gemessene Wärmestrahlungsintensität wird als Maß für die Oberflächentemperatur des Objekts verwendet. Aus dieser lassen sich wiederum Rückschlüsse auf oberflächennahe Strukturen und Defekte schließen. So verändert etwa eine oberflächennah gelegene Pore den Wärmefluss im Bauteil, was zu einer lokal veränderten Temperatur führt.

Die Thermografie eignet sich besonders für die berührungslose Inspektion homogener, großflächiger und dünnwandiger Teile mit einfacher Geometrie, wie etwa Platten und Rohre. Dabei ist es möglich, Prüfkörper von derselben Seite aus, von der auch das Wärmebild aufgenommen wird, anzuregen. Daher zeigt sich hier die zweite relevante Frage: Ist ein beidseitiger Probenzugang gegeben? Ist dies nicht der Fall, fallen Methoden weg, die nur in einer Transmissionsanordnung messen können, die einen beidseitigen Zugang erfordert. Bei der Thermografie und einigen nachfolgend beschriebenen Verfahren sind dabei keine Einschränkungen zu erwarten.

Shearografie

Die Shearografie ist eine optische Messmethode, die auf der Detektion von Oberflächenverformungen im Nanometer- bis Mikrometerbereich basiert. Diese werden durch externe Anregungen, wie etwa Wärme oder Druck, verursacht.

Damit ist der Verfahrensablauf ähnlich dem der aktiven Thermografie, wobei nicht die Oberflächentemperatur, sondern dessen Verformung ein Indiz auf innen liegende Fehlstellen liefert. So ändert eine innen liegende Pore nicht nur den Wärmefluss im Bauteil, sondern auch dessen lokale Steifigkeit, die die Verformung infolge einer Anregung bestimmt.

Die Messung erfolgt durch Beleuchtung der Probenoberfläche mittels Laserstrahlung und Erfassung des resultierenden Speckle-Musters. Dabei können stark spiegelnde Oberflächen und sehr steife Materialien eine Messdurchführung be- bzw. verhindern.

Die Shearografie ist z. B. in der Reifenprüfung stark verbreitet und erlaubt bei geeigneter Materialzusammensetzung Tiefeninformationen bis zu mehreren Zentimetern und laterale Auflösungen im Millimeter-Bereich. Hier äußert sich eine der wichtigsten Fragestellungen: Sind moderate Ortsauflösungen im Zentimeter-Bereich ausreichend oder müssen mikrometergroße Fehler erkannt werden?

Im Extremfall, in dem in einem kompletten Prüfkörpervolumen submikrometergroße Strukturen charakterisiert werden müssen, können andere Verfahren wie etwa die Röntgentechnik punkten.

Röntgenverfahren

In der Röntgentechnik wird die Abschwächung von Röntgenstrahlen durch Proben-

körper bestimmt, die sich zwischen der Strahlungsquelle und dem Detektor befinden. Verschiedene Arten von Defekten können, basierend auf Größe, Form und Position, bis hinunter in den Nanometer-Bereich charakterisiert, gezählt und klassifiziert werden.

Die Röntgenmethode ist damit eine der Methoden, die das klarste Ergebnisbild mit der höchsten Auflösung erzeugt. Abhängig von der notwendigen Auflösung und der Bauteilgröße limitieren allerdings der hohe Zeit- und Kostenaufwand die Anwendung in der Praxis. Aufgrund der gesundheitsgefährdenden Strahlung sind darüber hinaus strenge Sicherheitsvorkehrungen einzurichten. Letztendlich ist auch immer ein mehrseitiger Prüfkörperzugang erforderlich.

Die bisher beschriebenen Messverfahren sind sowohl zerstörungsfrei als auch berührungslos. Unter Umständen stellt es für die jeweilige Prüfaufgabe aber gar keinen Nachteil dar, eine berührende Prüfung in Betracht zu ziehen. In diesem Fall kann u. a. die sehr ausgereifte und etablierte Ultraschalltechnik mitberücksichtigt werden.

Ultraschallverfahren

Ultraschall (US) basiert auf der Ausbreitung von Schallwellen außerhalb des menschlichen Hörbereichs. Konventionelle US-Prüfsysteme koppeln diese mittels eines Hilfsmediums wie Wasser an das Prüfobjekt und messen das durch den Körper durchschallte oder auch das davon zurückreflektierte Signal, das an Grenzflächen zwischen zwei Materialien oder innen liegenden Fehlstellen reflektiert, absorbiert, gebeugt und gestreut wurde.

Dank der langen Geschichte der Ultraschalltechnik sind viele standardisierte und genormte Prüftechniken vorhanden. »»

	Prüfzeit bei großen Flächen	Erfordernis eines einseitigen Probenzugangs	Höhe der Ortsauflösung	Robustheit bei spiegelnden Oberflächen	Grad der Verfahrensnormung	Möglichkeit zur Fehlstellendetektion	Möglichkeit zur Schichtdickenmessung
Thermografie	grün	grün	rot	rot	rot	grün	grün
Shearografie	grün	grün	rot	rot	rot	grün	rot
Röntgen	gelb	rot	grün	grün	grün	grün	gelb
Ultraschall	rot	gelb	gelb	grün	grün	grün	grün
Mikrowellen	rot	gelb	rot	grün	rot	grün	grün
Terahertz	rot	gelb	grün	grün	rot	grün	grün

Bild 1. Identifikation eines geeigneten Prüfverfahrens unter Berücksichtigung häufig vorkommender Kriterien (grün: gut geeignet und robust; gelb: mäßig geeignet und robust; rot: schlecht geeignet und wenig robust) Quelle: SKZ, © Hanser



Bild 2. Weg von der Auswahl eines Prüfsystems hin zur Integration in die Produktionsumgebung

Quelle: SKZ, © Hanser

Neben dem konventionellen Kontaktultraschall existieren mittlerweile auch luftgekoppelte Systeme, die auf Kosten einer geringeren Auflösung im Millimeter- statt Mikrometerbereich eine berührungslose Messung erlauben.

Mittels US-Systemen lassen sich weiterhin Fehlstellen weit abseits der Oberfläche detektieren, aber z. B. auch Schweißungen auf Qualität überprüfen oder Dickenmessungen durchführen. Dies führt zur in Rahmen dieses Artikels zuletzt betrachteten Entscheidungsfrage: Sollen Materialinhomogenitäten und Fehlstellen detektiert werden, oder liegt eine wesentlich feingliedrigere Prüfaufgabe, wie etwa die Bestimmung des Füllstoffgehaltes von Kunststoff-Compounds, vor?

Mikrowellen- und Terahertz-Verfahren

Im Fall von sehr speziellen Aufgaben kommen aufgrund der physikalischen Gegebenheiten häufig nur ein oder wenige Verfahren in Frage. Zudem müssen gegebenenfalls erst zusätzliche Methoden, meist bezüglich der Signalverarbeitungsalgorithmen, weiterentwickelt werden.

Für das Beispiel des Füllstoffgehaltes der Kunststoff-Compounds wurde dies am Kunststoff-Zentrum SKZ, einem Institut der Zuse-Gemeinschaft, dazu u. a. die Terahertz-Technik vom Labor in die raue Produktionsumgebung gebracht. Zudem wurden die Auswertung ständig verbessert. Mittels der Terahertz-Technik konnte so etwa nachgewiesen werden, dass Inline-Messungen des Füllstoffgehaltes oder Dispersionsgüte von Compounds möglich sind.

Terahertzwellen sind vergleichbar mit Röntgenstrahlung, aber nicht ionisierend

und damit gesundheitlich unbedenklich. Die Verfahren unterscheiden sich im Frequenzbereich der Strahlung, haben jedoch hinsichtlich der Detektionsmöglichkeiten viel gemeinsam. Die Auflösung liegt je nach verwendeter Wellenlänge im Bereich von Sub-Millimetern bis Zentimetern und die Eindringtiefe beträgt viele Zentimeter bis Dezimeter, wodurch auch dicke Bauteile oder Schmelzequerschnitte geprüft werden können.

Typische Messaufgaben sind neben der Fehlstellendetektion vor allem Dickenmessungen von Mehrschichtsystemen wie Lacke oder Folien. Aber auch das Monitoring von Aushärtereaktionen wie sie bei Kleb- und Dichtstoffen vorliegen, konnten bereits industriell erschlossen werden.

Kriterien für die Auswahl von Messsystemen

Bei der Auswahl von Messsystemen sind vor allem die Auflösung, die Messgeschwindigkeit und die spezielle Art der Prüfaufgabe sowie die damit verbundenen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen in Betracht zu ziehen (Bild 1). Letztlich sind auch immer die Eigenschaften des zu untersuchenden Materials sowie der Fehlstellen sowie die Produktgeometrie mit ausschlaggebend.

Aufgrund der kaum überschaubaren Vielfalt an vorzufindenden Materialien und deren Kombinationen können theoretische Überlegungen und Auswahlverfahren immer nur erste Anhaltspunkte liefern. Die tatsächliche Funktionstüchtigkeit kann im Regelfall nur durch darauf aufbauende praktische Eignungstests an zur Verfügung gestellten Bauteilen verifiziert werden, wie es das SKZ anbietet. (Bild 2). ■

INFORMATION & SERVICE

ONLINE-FACHTAGUNG

Hohe Ansprüche an Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung sowie Forderungen nach mehr Rezyklateinsatz bringen einerseits neue Qualitätskriterien hervor und stellen andererseits neue Anforderungen an Mess- und Prüftechnologien, Prozess- und Verfahrenstechnik sowie Dokumentation und Zertifizierung.

Mit diesen Themen befasst sich die Online-Fachtagung „Qualitätsgipfel Kunststoff“, die am 16. und 17. März 2021 stattfindet. Der Beitrag fasst wesentliche Inhalte eines Vortrags zusammen, der auf der Tagung gehalten wird.

AUTOREN

Pierre Pfeffer ist als Wissenschaftler in der Gruppe für zerstörungsfreie Prüfung in der Forschung und Entwicklung am SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg, tätig.

Giovanni Schober arbeitet in der Forschung und Entwicklung am SKZ und leitet die Gruppe für zerstörungsfreie Prüfung.

KONTAKT

Giovanni Schober
T 0931 4104-464
g.schober@skz.de