

Integration von Anregungs-Laser und optischem Mikrofon in einem kompakten Prüfkopf zur Ultraschallmessung von Punktschweißverbindungen.

Das optische Mikrofon für die Ultraschallprüfung

Ultraschall hat sich als Methode für die zerstörungsfreie Materialprüfung durchgesetzt und spielt auch bei der industriellen Prozesskontrolle eine große Rolle. Die am weitesten verbreitete Ultraschall-Prüfmethode zur zerstörungsfreien Prüfung verwendet Piezo-Wandler und basiert auf der einseitigen Impuls-Echo-Methodik.

Keywords: Ultraschall, Prozesskontrolle, zerstörungsfreien Prüfung, Ultraschall-Prüfmethode, Punktschweißverbindung, Karosseriebau, Piezo-Element

Die Xarion Laser Acoustics mit Sitz in Wien wurde im Jahr 2012 von Dr. Balthasar Fischer gegründet. Das Unternehmen entwickelte ein laserbasiertes, optisches Mikrofon, mit dessen Hilfe sich kontaktfreie Ultraschallprüfung und industrielle Prozessüberwachung mit Ultraschall auf eine zuvor nicht mögliche Art umsetzen lassen. Ursprünglich für den Consumer Electronics-Bereich angedacht, fokussierte sich das Start-up schließlich auf die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung sowie die Prozessüberwachung, wo die 20-fache Detektionsbandbreite sowie die Möglichkeit zur koppelmittelfreien Ultraschallprüfung einzigartige Vorteile darstellen. Zu den Anwendern zählen im Allgemeinen automatisierte Fertigungsbetriebe, deren Produkte und verwendete Werkstoffe hohen Qualitätsstandards genügen müssen; im Speziellen die Automobil- und Flugzeugindustrie sowie metallverarbeitende Unternehmen, die das optische Mikrofon zur Werkstoff- und Werkzeugprüfung nutzen.

Diese berührenden Prüftechniken lassen hohe Prüffrequenzen zu, sind aber in der Regel auf ein flüssiges Koppelmittel angewiesen, was den Prüfaufbau verkompliziert und den Zeitaufwand erhöht. Auch bei der Prüfung von Punktschweißverbindungen im Karosseriebau sind Piezo-Wandler bisher oft das Mittel der Wahl. Eine Automatisierung mit dieser Methode ist allerdings schwierig. In enger Kooperation mit Porsche Leipzig hat die Xarion Laser Acoustics aus Wien ein innovatives Prüfverfahren auf Basis des optischen Mikrofons entwickelt. Dieses ermöglicht eine berührungsfreie Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen mittels Lasers. Das optische Mikrofon wurde dazu gemeinsam mit einem ultraschallerzeugenden Laser in einen kompakten Prüfkopf integriert.

Bewährt, aber umständlich

Das erste Patent für die Ultraschallprüfung wurde 1942 erteilt. Seitdem hat sich diese zu einem variantenreichen Standardverfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Materialien entwickelt. Alle Ultraschall-Prüfverfahren folgen dem gleichen Prinzip: Ein Ultraschallsignal wird in das Bauteil eingekoppelt, durchläuft das Material und wird detektiert. Unregelmäßigkeiten und Defekte im Material verändern dabei das Ultraschallsignal und können so festgestellt werden.

Die gängigste Methode zur Ultraschallprüfung basiert auf dem piezoelektrischen Effekt. Hierbei wird eine elektrische Wechselspannung an ein piezoelektrisches Material angelegt, das dadurch in Schwingung versetzt wird und Ultraschall aussendet. Umgekehrt wird zur Detektion des Prüfsignals das piezoelektrische Material durch reflektierten Ultraschall in

[p] prüfen

Schwingung versetzt, was zu einer messbaren elektrischen Spannung führt.

Das physikalische Prinzip hinter den weit verbreiteten Piezo-Elementen ist das gleiche wie bei Kondensator-Mikrofonen für Musikaufnahmen: Schallwellen versetzen eine Membran oder piezoelektrisches Material in Schwingung, was in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Daraus ergibt sich ein Problem: Jeder Schwinger hat eine bevorzugte Eigenfrequenz. Will man nun möglichst hohe Empfindlichkeit, muss der Wandler genau auf seiner Eigenfrequenz betrieben werden, jegliche andere Frequenzinformation geht verloren. Zudem ist der Impedanz-Unterschied zwischen dem Piezo-Schwinger und dem Material auszugleichen, was durch ein flüssiges Koppelmittel gelingt.

Dazu sagt Dr. Matthias Brauns, Applikationsingenieur bei Xarion Laser Acoustics: „Piezo-Elemente haben sich in der Ultraschallprüfung bewährt, aber das nötige Koppelmittel schränkt ihren Einsatzbereich ein. Wird die Prüfung zum Beispiel in einem Tauchbecken durchgeführt, ist dies insbesondere für Karosserien nicht praktikabel. Dann muss man auf sogenannte Squirter zurückgreifen, bei denen ein Wasserstrahl mit hohem Druck auf die zu prüfende Stelle des Bauteils geschossen wird, oder man muss ein Gel aufbringen. Das lässt sich schwer automatisieren oder durch Roboter ausführen.“ Er ergänzt: „Auch für offenporige oder für Korrosion anfällige Materialien ist flüssiges Koppelmittel ein Problem.“

Das optische Mikrophon beseitigt den Widerspruch zwischen breitbandig und koppelmittelfrei durch folgende Idee: Es besitzt keinen Schwinger. In einem einzigartigen, rein optischen Verfahren verändert der Schall die Wellenlänge eines Laserstrahls, der zwischen zwei kleinen Spiegeln hin und her reflektiert wird. Damit ändert sich auch die Helligkeit des ausgekoppelten Lichtes, was ohne den Umweg über eine mechanische Schwingung

gemessen wird. So erreicht das optische Mikrophon eine Frequenzbandbreite, die mindestens zwanzig Mal größer ist als die jedes anderen Ultraschallsensors. Mit diesem neuen Sensor kann in Anwendungsbereichen vorgedrungen werden, die bisher messtechnisch nicht umsetzbar waren. Insbesondere kann auf jegliches Koppelmittel verzichtet werden, und die berührungslose Prüftechnologie lässt sich auf einen Roboter montieren. Der glasfasergekoppelte Sensorkopf ist dabei nur wenige Millimeter groß und kommt damit auch an schwer zugängliche Stellen.

Automatisierung der zerstörungsfreien Prüfung

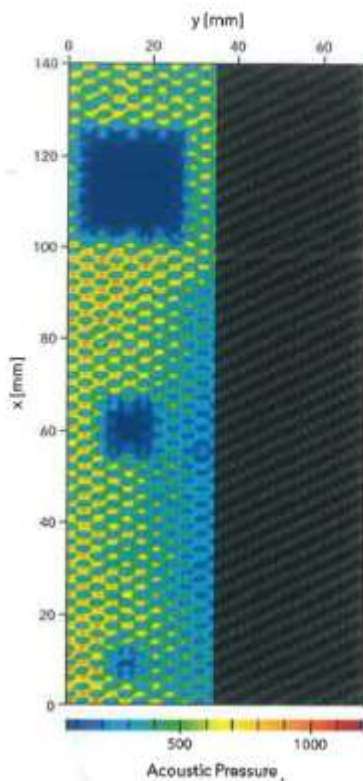
Die Automobilherstellung ist bereits hochautomatisiert. Allerdings wird ein wichtiger Fertigungsschritt noch immer mit einem hohem personellen Aufwand geprüft: „Das Widerstandspunktschweißen stellt das dominierende Fügeverfahren im Fahrzeugkarosseriebau dar. Um die Konformität in Bezug auf die Festigkeit des Ge-

samtfahrzeuges jederzeit zu gewährleisten, werden alle Fügeverbindungen stichprobenartig in jeder Schicht geprüft. Jede Karosserie hat 6.000 solcher Widerstandsschweißpunkte, deren Qualitätsprüfung bisher manuell durch einen qualifizierten Prüfer erfolgt. Das Einsparpotential und die Objektivität des Prüfergebnisses durch eine Automatisierung der zerstörungsfreien Prüfung ist hier wirklich enorm“, erläutert Nico Lehmann von der Porsche Leipzig.

Beim Widerstandspunktschweißen von Karosserieblechen werden die Fügepartner mit einer Zange an einem Punkt zusammengepresst, während ein hoher elektrischer Strom durch die Elektroden der Schweißzange fließt. Resultierend aus der Widerstandserwärmung entsteht zwischen den Blechen eine punktförmige Schweißlinse, welche beide Bleche stoffschlüssig miteinander verbindet. Der Durchmesser der Schweißlinse ist das entscheidende, innere Qualitätsmerk-

Der kompakte Prüfkopf für die berührungslose einseitige Prüfung von Punktschweißverbindungen.





Ein Verbundwerkstoff, wie er im Flugzeugbau verwendet wird (rechts), sowie das Ultraschall-Prüfbild, gescannt mit dem optischen Mikrofon (links). Fehler im Inneren des Materials werden sichtbar.

mal: „Bei einem zu kleinen Linsendurchmesser leidet die Gesamtfestigkeit des Bauteils und genügt unseren hohen Qualitätsanforderungen sowie den Produktionsnormen nicht. Der Schweißlinsen-Durchmesser ist visuell nicht sichtbar, weshalb wir den Mindestdurchmesser regelmäßig mit konventionellem Ultraschall nachweisen“, so Nico Lehmann.

Manuelle Ultraschallverfahren haben sich durch ihre Zuverlässigkeit für die zerstörungsfreie Schweißpunktprüfung bewährt. Hierbei wird ein Ultraschallsignal in den zu prüfenden Bauteil eingekoppelt, das sich dann in diesem ausbreitet. Der Schweißpunkt beeinflusst die Schallausbreitung, sodass man durch das Abtasten des Schweißpunktes seinen Linsendurchmesser hören kann. Auch hier werden dabei Piezo-Elemente eingesetzt. Das Koppelmittel und die Empfindlichkeit gegen kleine Fehler in der Ausrichtung des Prüfkopfes haben bisher eine Automatisierung der Ultraschallprüfung verhindert.

Stichprobenartige Prüfungen

Aufgrund der hohen Prozessstabilität genügt es zwar, stichprobenartig nur einige Prozent der Schweißverbindungen zu prüfen, trotzdem ist der Zeitaufwand von ca. 30 Sekunden pro Prüfpunkt relativ hoch. Das Prüfergebnis ist subjektiv und wird von den Fähigkeiten und der Erfahrung der Prüferker beeinflusst. Bei einer dreischichtigen Tagesproduktion von insgesamt 500 Karosserien mit jeweils 4.000 Schweißpunkten ließen sich mit fünf Prüferkern pro Schicht 12.000 Schweißpunkte prüfen, was einer Prüfhäufigkeit von nur 6 Promille entspricht.

Der Wiener Spezialist hat hier basierend auf dem optischen Mikrofon eine Lösung für eine automatisierte Prüfung der Schweißpunkte entwickelt, die sich in einen Roboter integrieren lässt. Das optische Mikrofon wird dabei gemeinsam mit einem Anregungs-

Laser in einen kompakten Prüfkopf integriert. Der Laser ist der ideale Partner für die Ultraschallanregung: Ein kurzer Laserpuls erzeugt eine breitbandige, geführte Ultraschallwelle direkt im Material. Nachdem diese durch den Schweißpunkt gewandert ist, hört das optische Mikrofon berührungsfrei den an die Luft abgestrahlten Ultraschall. Ein Koppelmittel ist dabei überflüssig und der Prüfkopf muss nur auf etwa fünf Millimeter genau ausgerichtet werden, was für moderne Industrieroboter kein Problem ist. Die kompakten Maße des Prüfkopfes (der Querschnitt beträgt nur ca. 2 x 4 cm) stellen sicher, dass selbst schwer zugängliche Bereiche geprüft werden können.

Delamination und Poren in Karbonfaser-Verbundwerkstoffen erkennen

Die Kombination aus Laser-Ultraschallanregung und dem optischen Mikrofon eignet sich gut für die zerstörungsfreie Prüfung von karbonfaserbasierten Leichtbau-Materialien, wie sie neben dem Automobilbau beispielsweise in der Luftfahrt eingesetzt werden. In solchen Materialien ist Delamination zwischen einzelnen Schichten einer der häufigsten Fehler, der mittels optischer Verfahren oder selbst Röntgen nur schwer zu erkennen ist.

Die Industrie setzt deshalb erfolgreich auf Ultraschall, auch hier stellen piezoelektrische Wandler den aktuellen Stand der Technik dar. „Kohlefaserverstärkte Verbundwerkstoffe sind echte High-Tech-Materialien, aus denen heute ganze Flügel von großen Verkehrsflugzeugen gefertigt werden. Tauchbäder zur Kopplung der Piezo-Elemente sind hier nicht zielführend. Die Kopplung wird deshalb mittels Hochdruck-Wasserstrahl erzielt. Aber das ist ein sehr aufwändiges Verfahren, von dem die Luftfahrtbranche sich gerne verabschieden würde“, sagt Dr. Matthias Brauns von Xarion Laser Acoustics.

Der kompakte Sensorkopf des optischen Ultraschall-Mikrofons in Verbindung mit optischer Faser.



[p] prüfen

Der Prüfkopf mit einem Anregungslaser und dem optischen Mikrofon ermöglicht ein berührungsfreies Abtasten von Bauteilen, ohne auf eine hohe Auflösung verzichten zu müssen. So kann die zwischen zwei Kohlefaserplatten einlamierte Honigwabenstruktur trotz der Wabengröße von nur drei Millimetern abgebildet werden. Auch verschiedene Defekte, die von außen nicht zu erkennen sind, lassen sich deutlich identifizieren. Die laserangeregte Ultraschallprüfung mit dem optischen Mikrofon kann auf diese Weise die etablierte Überprüfung mit flüssigkeitsgekoppelten Piezosensoren ersetzen. „Der verringerte Aufwand ohne Auffangbecken für das Wasser und leistungsstarke Pumpen kann helfen, Kosten zu sparen. Das Interesse der Industrie an unserer Technologie ist daher hoch“, erklärt Dr. Balthasar Fischer, CEO von Xarion Laser Acoustics.

Breitbandig und berührungsfrei

Ultraschall kann neben der zerstörungsfreien Materialprüfung auch zur Überwachung von Industrieprozessen eingesetzt werden. „Jeder, der schon mal in einer Produktionshalle war, weiß, wie laut es dort in der Regel ist. Weniger bekannt ist, dass dieser Luftschall auch wertvolle Informationen darüber liefern kann, ob zum Beispiel

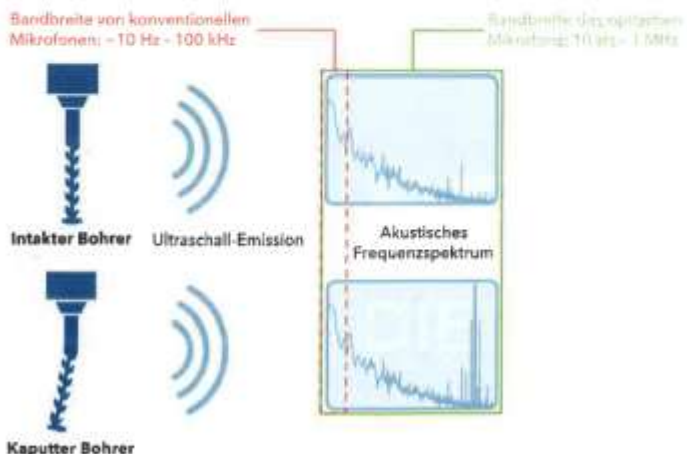
ein Maschinenlager verschlissen ist oder ein Schweißprozess abläuft wie gewünscht“, erklärt Ryan Sommerhuber, Spezialist für Prozessüberwachung bei Xarion Laser Acoustics. Um aus der komplexen Geräuschkulisse genau die Informationen zu filtern, die wichtig sind, ist die hohe Frequenzbandbreite des optischen Mikrofons entscheidend: „Der typische Maschinenlärm beschränkt sich in der Regel auf den hörnahen Ultraschall bis zu hundert Kilohertz“, führt Ryan Sommerhuber aus. „Prozessgeräusche hingegen erzeugen akustische Signale im höherfrequenten Bereich mehrerer hundert Kilohertz. Das optische Mikrofon kann den gesamten Frequenzbereich von wenigen Hertz bis zu einem Megahertz gleichzeitig erfassen, und so beide Bereiche voneinander entkoppelt überwachen. Während Maschinengeräusche zum Beispiel den Zustand von Lagern liefern können, dienen die hochfrequenten Signalanteile zur Überwachung des Prozesses selbst.“ Mit ihnen kann etwa die Fokusslage des Lasers beim Laserschweißen oder das Laser-Pulverbettschmelzen überwacht werden. Auch Rissbildung wird so zuverlässig erkannt. Die Prozessgeräusche unterschiedlicher Maschinen über-

lagern sich dabei gegenseitig nicht: „Die für uns relevanten Prozesssignale mit Frequenzen mehrerer hundert Kilohertz werden innerhalb einiger zehn Zentimeter von der Luft so stark gedämpft, dass unsere Prozessüberwachung gegenüber weiter entfernten Störquellen robust ist“, so Sommerhuber.

Völlig neue Möglichkeiten

Breitbandig, berührungsfrei, kompakt: Die Kombination dieser Eigenschaften macht das optische Mikrofon einzigartig in der Ultraschall-Messtechnik. Die Automatisierung der Schweißpunktprüfung konnte so in einem gemeinsamen Entwicklungsprojekt zwischen Xarion und der Porsche Leipzig vorangetrieben werden, was enorme Einsparpotentiale bietet. Auch bei der zerstörungsfreien Prüfung von in der Luftfahrt eingesetzten Karbonfaser-Verbundwerkstoffen überzeugt das optische Mikrofon durch seine Berührungsfreiheit. Hier arbeitet man eng mit einem amerikanischen Luftfahrtunternehmen zusammen. In der Prozessüberwachung wiederum bietet die breitbandige Messung von Luftultraschall neue Einblicke in die Prozessqualität von innovativen Fertigungstechniken wie dem Laserschweißen.

www.xarion.com



Akustischer Fingerabdruck eines intakten Bohrers (oben) und eines defekten Bohrers (unten); eine klare Unterscheidung ist erst bei hohen Frequenzen möglich. Das optische Mikrofon kann für die Werkzeugzustandsüberwachung eingesetzt werden.



Prinzip der einseitigen Ultraschallprüfung eines Schweißpunktes mit Laser-Anregung und dem optischen Mikrofon