

Charakterisierung der Wandler für Luftultraschallprüfung aus zellulärem Polypropylen-Ferroelektret

Mate Gaal¹, Joachim Döring¹, Jürgen Bartusch¹, Viktor Bovtun², Gerhard Brekow¹, Marc Kreutzbruck¹

¹ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 12205 Berlin, E-Mail: mate.gaal@bam.de

² Institute of Physics ASCR, Na Slovance 2, 18221 Prague

Einleitung

In den letzten Jahren stieg die Anfrage für zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) mit Luftultraschall deutlich [1]. Die klassische ZfP mit Ultraschall nutzt Flüssigkeiten als Koppelmittel zwischen dem Wandler und dem Prüfkörper. Für die Prüfung von Gegenständen mit empfindlicher Oberfläche, die das Koppelmittel beschädigen oder verunreinigen kann, ist deswegen Luftultraschall besser geeignet. Eine mögliche Anwendung ist beispielsweise der Nachweis von Delaminationen in glas- und kohlefaserverstärkten Verbundwerkstoffen sowie Sandwichbauteilen, die in der Luftfahrt- und der Automobilindustrie eingesetzt werden.

Die größte Schwierigkeit bei Luftschallsensoren ist die Anpassung der spezifischen akustischen Impedanz. Große Impedanzsprünge zwischen dem Wandler und der Luft, sowie zwischen der Luft und dem Prüfkörper bewirken hohe Signalverluste und dadurch einen kleinen Signal-Rausch-Abstand verglichen mit Kontakttechnik-Prüfköpfen. Daher ist das geladene zelluläre Polypropylen (zPP) mit seiner außergewöhnlich niedrigen akustischen Impedanz von 0,020 bis 0,028 MRayl für die Erzeugung von Luftultraschall besonders gut geeignet [2]. Dieses Material liegt zwei bis drei Größenordnungen näher an der akustischen Impedanz der Luft (400 Rayl) als andere piezoelektrische Materialien (PVDF 3,9 MRayl, PZT 25 bis 37 MRayl).

Deswegen wurde ein Ultraschallsensor aus zPP entwickelt [3][4]. Die Folie wurde schallhart abgeschlossen, was zu einer Halbierung der Mittenfrequenz geführt hat (Abb. 1). Dadurch wurden Werte um 250 kHz erreicht.

Abbildung 1: Die Auswirkung der schallharten Abschließung auf das Spektrum eines zPP-Wandlers.

Die abgebildeten Messergebnisse wurden mit der Impuls-Echo-Technik bestimmt. Messungen an zwanzig Folien ergaben bei einem Abstand von 63 mm zwischen Wandler und Rückwand eine Signalerhöhung von 1 bis 6 dB. Bei einer in ein Gehäuse eingebauten frei schwingenden Folie gibt es Reflexionen vom Inneren des Gehäuses. Durch die schallharte Abschließung wird dieses Problem behoben. Durch die Elektrodenbeschichtung entsteht manchmal eine leichte Welligkeit der Folie, die bei frei schwingenden Folien das Schallfeld beeinflusst, aber durch das Aufkleben auf eine schallharte Rückwand einfach beseitigt wird.

Untersuchungsmethode

In diesem Beitrag werden vorläufige Ergebnisse von zwei Untersuchungen an zPP-Wandlern vorgestellt: die Untersu-

chung der Streuung der Wandlereigenschaften und ein Vergleich mit einem marktüblichen piezokeramischen Wandler am Beispiel der Durchschallung einer 3 mm dicken Aluminiumplatte.

Für diese Untersuchungen wurden Messungen der elektrischen Impedanz durchgeführt, aus denen die folgenden Parameter nach [1] bestimmt wurden: die akustische Impedanz Z , der Kopplungsfaktor k und die so genannte „figure of merit“ $FOM = 10^4 k^4 / Z^2$. Weiterhin wurde mit der Impuls-Echo-Technik das reflektierte Signal aufgenommen und die Signalarhöhe ausgewertet.

Das zPP wurde von der Firma EMFIT in Form von DIN-A4-Blättern geliefert. Aus diesen Blättern wurden kleinere Teile ausgeschnitten, in diesem Beitrag „Folien“ genannt, und für die Elektrodenbeschichtung vorbereitet. Vier Folien von jeweils vier verschiedenen Blättern wurden in eine Halterung eingelegt und zusammen beschichtet, so dass sie den gleichen Bedingungen ausgesetzt waren. Sechs solche Beschichtungen wurden durchgeführt. Das Ziel war, den Einfluss der Blätter und der Beschichtung zu untersuchen, sowie die Streuung der Materialeigenschaften.

Messergebnisse

Die Messungen des Kopplungsfaktors werden in Abbildung 2 gezeigt, wobei jeder Punkt eine Messung an einer Folie darstellt. Ein Vergleich zwischen den Beschichtungsladungen deutet auf einen Einfluss der Beschichtung. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Blättern (hier nicht dargestellt).

Die Messungen der akustischen Impedanz haben weder einen Effekt des Blattes noch der Beschichtungsladung nachgewiesen. Alle Werte liegen zwischen 0,0258 und 0,0278 MRayl, was eine deutlich kleinere Streuung ist, als bei dem Kopplungsfaktor, dessen Werte zwischen 0,030 und 0,048 liegen. Da die FOM aus dem Kopplungsfaktor und der akustischen Impedanz ausgerechnet wird, hat die FOM eine ähnliche Streuung wie beim Kopplungsfaktor: es gibt keinen statistisch signifikanten Effekt des Blattes, dafür aber einen signifikanten Effekt der Beschichtung. Eine wiederholte Messung an den gleichen Folien hat sehr ähnliche Ergebnisse ergeben, was darauf hindeutet, dass die abgebildete Streuung der Messwerte für jedes beliebige Blatt tatsächlich von Unterschieden zwischen den beschichteten Folien stammt und nicht von der Messgenauigkeit.

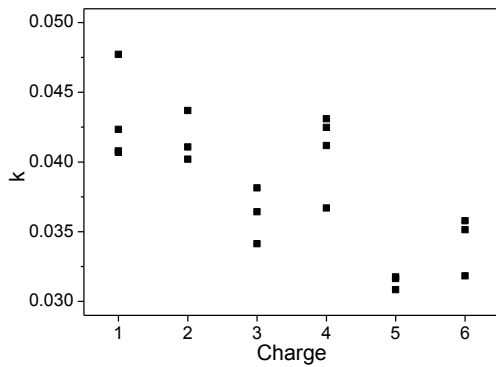


Abbildung 2: Streuung des Kopplungsfaktors in Abhängigkeit von der Beschichtungscharge.

Da die Signalhöhe gemessen mit der Impuls-Echo-Technik mit der FOM korreliert, weist sie eine ähnliche Streuung auf, wie die FOM und der Kopplungsfaktor (Abb. 3). Die Werte innerhalb einer Charge unterscheiden sich um maximal 7 dB und die Unterschiede zwischen den Chargen sind in der gleichen Größenordnung.

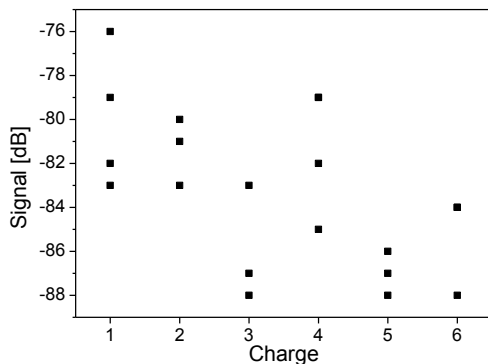


Abbildung 3: Streuung der Signalhöhe in Abhängigkeit von der Beschichtungscharge.

Diese Untersuchungen der Parameterstreuung zeigen, dass die Beschichtungsbedingungen einen Einfluss auf die Empfindlichkeit der Wandler haben, obwohl sie in einem hohen Maße automatisiert sind. Die vorläufigen Schlussfolgerungen, die diese einfache Darstellung der Messergebnisse ermöglicht hat, sollten im nächsten Schritt mit einer Varianzanalyse überprüft werden.

Mehrere Paare von Keramikwandlern mit Anpassschichten wurden mit einem Paar pPP-Wandler an einer Durchschallung einer 3 mm dicken Aluminiumplatte verglichen. Der zPP-Wandler wurde mit einem Rechteckimpuls von 3 kV angeregt, wobei ein starker elektrostriktiver Effekt an dem Sender auftritt, der seine Energieumwandlungseffizienz deutlich steigert [4]. Der höchste Signal-Rausch-Abstand unter den Keramikwandlern wurde mit Sensoren Ultran NCT 200 erreicht (Mittenfrequenz 200 kHz). Mit zPP-Wandlern war der Signal-Rausch-Abstand um ca. 12 dB höher (Abb. 4). Diese Messungen belegen die Möglichkeit, mit zPP-Wandlern und mit Hochspannungsanregung einen Signal-Rausch-Abstand zu erreichen, der mit dem der angepassten Keramikwandler wenigstens vergleichbar ist.

Abbildung 4: Vergleich der Prüfköpfe Ultran NCT 200 mit den Prüfköpfen aus zPP am Beispiel der Durchschallung einer 3mm dicken Aluminiumplatte.

Schlussfolgerungen

Schallharte Abschließung der Folien hat mehrere Vorteile. Vor allem ist das die Halbierung der Mittenfrequenz, was den Bedürfnissen der Anwender nach niedrigeren Frequenzen entgegen kommt. Andere Vorteile sind die Signalerhöhung, die Beseitigung der Folienwelligkeit und Behebung der Reflexionen vom Inneren des Gehäuses. Die Untersuchungen der Streuung der Materialeigenschaften von zPP-Wandlern deuten auf einen Einfluss der Elektrodenbeschichtung und auf eine mögliche Inhomogenität der Folienblätter. Wenn mit Hochspannung betrieben, haben zPP-Wandler eine Empfindlichkeit, die mit der der herkömmlichen Wandler mit Anpassschichten ähnlich ist. Diese neuesten Untersuchungen deuten auf das große Potenzial des zPP für den Bau von luftgekoppelten Wandlern.

Diese Arbeit wurde durch die Finanzierung des BMWi aus dem MNPQ-Programm ermöglicht. Die Autoren bedanken sich bei Herrn Dr. U. Beck und M. Weise (BAM) für die Elektrodenbeschichtung.

Literatur

- [1] Döring, J.; Bovtun, V.; Bartusch, J.; Erhard, A.: Eigenschaften von Polypropylen- und PVDF-Folien für Luftschall-Anwendungen. DACH-Jahrestagung 2004
- [2] Bauer, S.; Gerhard-Multhaupt, R.; Sessler, G.: Ferroelectrets: Soft Electroactive Foams for Transducers. *Physics Today*, Volume 57, Issue 2, pp. 37-44 (2004)
- [3] Bovtun, V.; Döring, J.; Wegener, M.; Bartusch, J.; Beck, U.; Erhard, A.; Borisov, V.: Air-coupled ultrasonic applications of ferroelectrets. *Ferroelectrics* 370 (2008), pp. 11-17
- [4] Döring, J.; Bovtun, V.; Bartusch, J.; Erhard, A.; Kreutzbruck, M.; Yakymenko, Y.: Nonlinear electromechanical response of the ferroelectret ultrasonic transducers. *Appl. Phys. A*, Volume 100, Number 2, pp. 315-378 (2010)