Vorspannen und Verkleben piezoelektrischer Ultraschallkonverter

Geklebte und verschraubte Piezoaktoren, elektromechanische Messung der Vorspannung, Temperatureinfluss

Verschraubte vs. geklebte Ultraschallkonverter

Piezoelektrische Ultraschallwandler sind in verschiedensten Anwendungsfeldern wie der Medizintechnik, der Lebensmitteltechnik, der Verfahrenstechnik, der industriellen Produktion und der Automobiltechnik zu finden. Im Bereich Leistungsultraschall decken die eingesetzten Ultraschallwandler ein Leistungsspektrum von einigen Watt (z.B. Zerstäubung) bis zu einigen Kilowatt (z.B. Ultraschallschweißen, Ultraschallreinigung) und einen Frequenzbereich von etwa 20 kHz bis 1 MHz ab.

Verschraubter Ultraschallkonverter fürs Ultraschallschweißen (35 kHz, links), geklebter Ultraschall-Therapiekopf (800 kHz, rechts)

Die in diesem Frequenzbereich für Anwendungen hoher Leistung eingesetzten Ultraschallkonverter werden üblicherweise als Metall-Piezo-Verbundschwinger aufgebaut (im anglo-amerikanischen Sprachraum werden sie als bolt-clamped Langevin-type transducers - oder abgekürzt BLT-Transducer - bezeichnet) Demgegenüber werden bei Frequenzen oberhalb 200 kHz üblicherweise geklebte Wandler verwendet.

Verschraubte Ultraschallkonverter

Herzstück von Ultraschallwandlern sind die Piezokeramiken, welche eine elektrische Wechselspannung durch den inversen piezoelektrischen Effekt in mechanische Schwingungen umwandeln und somit den Ultraschall erzeugen. Bild 1 zeigt ein typisches Beispiel für einen piezoelektrischen Ultraschallwandler in BLT-Bauweise. Die Piezokeramiken samt Elektrodenblechen werden mittels eines Schraubbolzens zwischen zwei Metallteilen verspannt. Während die Piezokeramiken die mechanischen Schwingungen erzeugen, bestimmen die Metallteile die Frequenz und die Amplitudenverteilung.

Bild 1: Piezokeramiken und Elektroden (links) und montierter BLT-Konverter (rechts)

Die applizierte Vorspannung in den Piezokeramiken ist von entscheidender Bedeutung für die Funktion und Leistungsfähigkeit des Konverters. Zum einen schützt die aufgebrachte mechanische Druckspannung die empfindlichen Piezokeramiken vor Rissbildung in Folge von mechanischen Zugspannung während des Betriebs. Zum anderen werden durch die Vorspannung Reibverluste in den Fügestellen minimiert. Zudem beeinflusst die Vorspannung auf Grund von Nichtlinearitäten im Materialverhalten die Leistungsfähigkeit des Ultraschallwandlers. Das gezielte und reproduzierbare Aufbringen der mechanischen Vorspannung ist daher eine Kernkompetenz beim Aufbau leistungsfähiger Ultraschallsysteme: Ist die Vorspannung zu gering, besteht die Gefahr der Beschädigung der Piezokeramiken.Wird hingegen eine zu hohe Vorspannung aufgebracht kommt es zur Depolarisation der Piezos und somit zum Funktionsverlust.

Bild 2 zeigt den Einfluss der Vorspannung auf das elektromechanische Übertragungsverhalten eines Ultra-

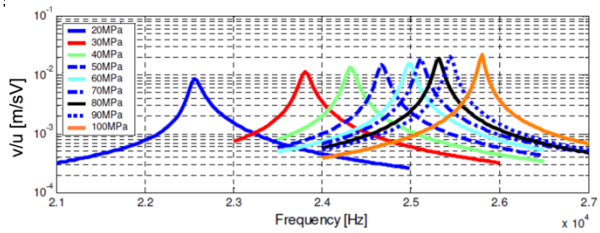

Bild 2: Einfluss der Vorspannung im Ultraschallkonverter auf die mechanische Admittanz [Fu 2005]

Vorspannung und Temperatur

Die gezielte Einstellung der Vorspannung ist beispielsweise bei Ultraschallkonvertern, welche bei erhöhten Temperaturen betrieben werden oder sich im Betrieb erwärmen oft nicht hinreichend, da sich die Vorspannung durch die Temperatur verändern kann. Dies kann zu verminderter Leistungsfähigkeit oder zum Versagen des Ultraschallkonverters führen. Bild 3 zeigt eine Finite-Elemente-Analyse des Einflusses einer Temperaturerhöhung um 200 °C auf die statische Vorspannung im Querschnitt einer Piezokeramik in einem Ultraschallwandler. Die Vorspannung bleibt im Mittel konstant, die Verteilung ändert sich jedoch deutlich.

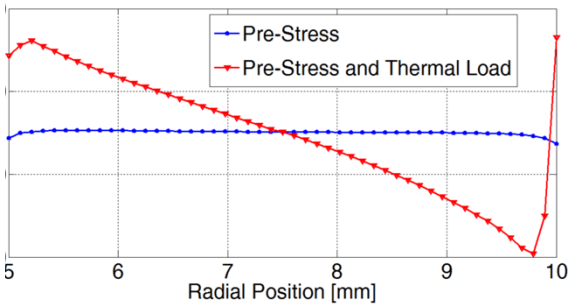

Bild 3: Vorspannungsverteilung im Querschnitt einer Piezokeramik bei Raumtemperatur und nach einer Temperaturerhöhung um 200 °C [Vortrag IWPMA 2014, Hemsel, Bornmann, Sextro]

Neben der Temperatur ist auch die geometrische Ausgestaltung der Komponenten des Ultraschallwandlers ein wichtiger Einflussparameter für die Vorspannungsverteilung in den Piezokeramiken.

Kontrolliertes Vorspannen von Ultraschallkonvertern

Um die Vorspannung gezielt und reproduzierbar einstellen zu können, muss diese messtechnisch erfasst werden. Herkömmliche Verfahren wie das Vorspannen mittels Drehmomentschlüssel sind jedoch zu ungenau, um ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit zu erreichen. Der Einbau von Kraftsensoren in den Ultraschallkonverter zur genauen Bestimmung der Vorspannung ist in der Regel zu aufwendig und kostenintensiv. Wir messen die Vorspannung online während des Vorspannprozesses auf elektromechanischem Wege ohne zusätzliche Sensoren. Neben der kontrollierten Vorspannung ist es damit auch möglich, den Vorspannungsverlauf beispielsweise zu Dokumentationszwecken abzuspeichern.

Bild 4: ATHENA-Vorspannelektronik zur elektromechanischen Messung der Vorspannung während des Vorspannprozesses

Bild 5 zeigt exemplarisch den zeitlichen Verlauf der Vorspannung während der Montage eines piezoelektrischen Ultraschallkonverters gemessen mit eine ATHENA-Vorspannelektronik (Bild 4). Durch gezielte Maßnahmen nach der Montage können wir den Alterungsprozess, der nach der Montage von Ultraschallkonvertern auftritt, vorwegnehmen und somit für zeitstabile Eigenschaften der Ultraschallkonverter sorgen.

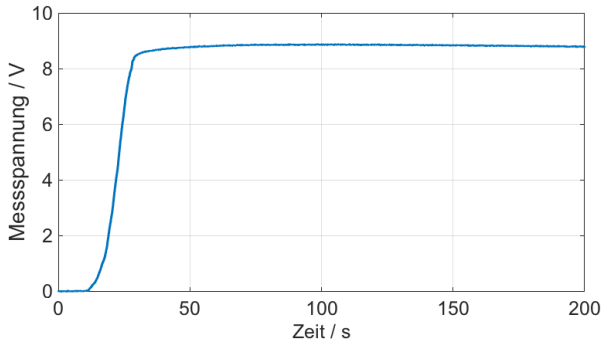

Bild 5: Definiertes Vorspannen eines piezoelektrischen Ultraschallkonverters mit Hilfe der ATHENA-Vorspannelektronik (vergl. Bild 4)

Geklebte Piezokonverter

Für geringe Leistungen (z.B. Sensoranwendungen) und für Anwendungen bei hohen Frequenzen > 200 kHz werden geklebte Piezokonverter eingesetzt.

Die Klebschicht ist hierbei eine sehr sensible Zone, denn sie muss fest, steif, verlustarm ausgeführt werden und sehr gleichmäßig gestaltet sein. Dies setzt neben passender Klebstoffauswahl optimierte Klebverfahren voraus. Bild 6 zeigt einen geklebten Ultraschallkonverter in Verbundschwingerbauweise.

Bild6: Geklebter Ultraschallkonverter zur Levitation (= "in der Schwebe halten") von Wassertropfen (60 kHz)

!NEU! Piezokeramiken mit Elektroden erhalten Sie in unserer Piezothek: http://shop.myathena.de !NEU!

Kontakt

Peter Bornmann, Technische Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH

ATHENA
Technologie Beratung GmbH
Technologiepark 13
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 61
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

E-Mail: info@myATHENA.de
http://www.myATHENA.de