

Fehler- und Toleranzanalyse, Temperaturverhalten

Elektromechanische FEM-Analysen zur Optimierung von Material- und Fertigungstoleranzen; Fehlereinflussanalysen für Montageprozesse; Simulation von Temperatureinflüssen

Fertigungstoleranzen in Ultraschallwandlern

In der Ultraschalltechnik werden Sonotroden und Ultraschallkonverter eingesetzt, um Resonanzschwingungen zu erzeugen. Damit im Betrieb dieser Systeme keine unerwünschten („parasitären“) Schwingungsmoden mit angeregt werden können, muss dabei auf eine genaue Fertigungsqualität geachtet werden. Aus Kostengründen gilt aber grundsätzlich die Leitlinie „Nur so eng wie nötig tolerieren, denn Toleranzen kosten Geld“. Es ist aber selten bekannt, was „hinreichend genaue Fertigung“ eigentlich hinsichtlich der Zahlenwerte von Form- und Lagetoleranzen bedeutet. Welche Abmessungen müssen unbedingt eng toleriert werden? Welche sind weniger kritisch?

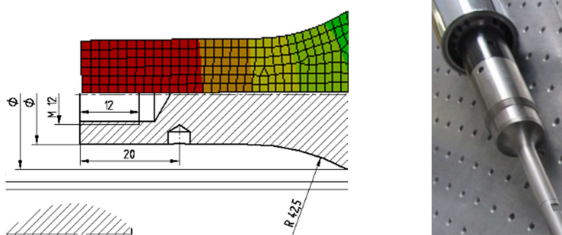


Bild 1 FEM-Analyse der Amplitudenverteilung in einer Ultraschallsonotrode (links oben), Ausschnitt der Entwurfszeichnung (links unten) und Foto (rechts).

Toleranzanalysen mit FEM

Mit professionellen Finite-Element-Programmen wie ANSYS lässt sich der Einfluss von Abweichungen zur Nenngeometrie von Ultraschallaktoren oder Sensoren sehr gut simulieren. Besonders interessant ist dafür die aktive elektromechanische Simulation, denn hier können viele für den Betrieb relevante Fragestellungen analysiert werden. Als Beispiel wird eine Vergrößerung des Ausrundungsradius um 5% betrachtet (Maß R 42,5 in Bild 1). Durch Simulationen können folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie verändert sich die Impedanz des Ultraschallwerkzeugs durch die Vergrößerung des Radius?
- Welche Auswirkungen hat sie auf die Lagen von Frequenzen (Zielmode und parasitäre Moden)?
- Wie verändert sich die Ausgangsamplitude des Konverters, wenn er mit einer gegebenen Elektronik mit konstanter elektrischer Anregung in Resonanz betrieben wird?

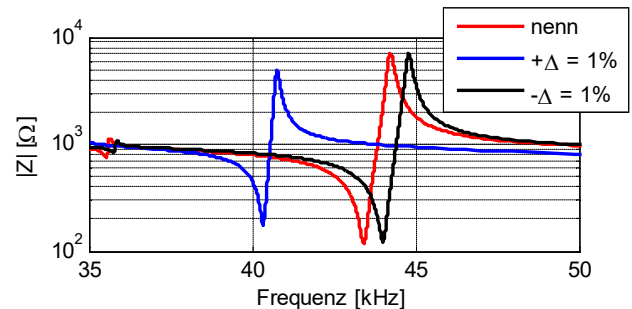


Bild 2 Toleranzanalyse: Mit FEM berechneter Impedanz-Sweep eines Ultraschallwandlers, für Nenngeometrie sowie Variation einer Abmessung um $\Delta = \pm 1\%$.

Auf Basis der Toleranzanalyse können nachfolgend sinnvolle zulässige Abweichungen (Form- und Lagetoleranzen) für die Nennmaße definiert werden, und zwar auf einer solideren Grundlage als nur der Erfahrung.

Beispiel Schrumpfung von Piezokeramik

Häufig stellt sich bei der Serienfertigung von Ultraschallwerkzeugen aus Kostengründen die Frage, ob alternativ zu Premium-Piezokeramiken vielleicht auch billigere Materialien eingesetzt werden können. Stellt man dann nach der Beschaffung fest, dass die Piezoringe in ihren Abmessungen stärker streuen als das Original (z.B. weil der Schrumpfungsprozess bei der Keramiksinterung nicht ideal kontrolliert wurde), so schließt sich die Frage an, ob das eigentlich kritisch ist. Mit einer Toleranzanalyse lassen sich derartige Geometrieinflüsse effizient untersuchen, und es kann z.B. eine zulässige Streuung definiert werden.

Schwankungen in Materialparametern

Schwankungen von Materialkennwerten werden in der messtechnischen Charakterisierung von Ultraschallwandlern oft schon erkennbar, wenn der gleiche Lieferant (von Piezokeramik oder Metall-Halbzeugen) eine neue Charge liefert. Durch FEM-basierte Toleranzanalysen lässt sich ermitteln, mit welchen Abweichungen man leben kann bzw. ab welchen Grenzen mit Problemen zu rechnen ist. Es können z.B. Dichte-, E-Modul- oder Dämpfungsänderungen passiver Materialien (Metalle oder Polymere) analysiert werden, aber auch Schwankungen von dielektrischen oder piezoelektrischen Kennwerten von Piezokeramiken.

Klebschichteinflüsse

In geklebten Piezosensoren und –aktoren spielen Streuungen von Klebschichtdicken, Abweichungen von Ideallagen (z.B. montagebedingt) und Änderungen von Klebstoffeigenschaften eine besondere Rolle für die Sicherstellung einer ausreichenden Fertigungsqualität. Durch Simulationen lassen sich diese Einflüsse sehr gut beurteilen, so dass zulässige Abweichungen vom Idealzustand festgelegt werden können.



Bild 3: Geklebter Ultraschall-Längsresonator

Temperaturflüsse und thermische Dehnungen

Temperatureinflüsse auf das Materialverhalten können insbesondere bei Piezokeramiken und Polymeren (Klebstoffen, Kunststoffen) die Funktion entscheidend beeinflussen oder sogar zum Totalausfall führen. Neben linearen Temperaturabhängigkeiten von Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften spielt die Glasübergangstemperatur eine wichtige Rolle für Ultraschallsysteme.

Besonders in medizinischen Ultraschallaktoren für den Operationseinsatz (Ultraschallskalpelle, Lithotripter, Phako-Emulsifikationssysteme) muss das Verhalten der Werkstoffe bei hohen Temperaturen beachtet werden, da diese Systeme üblicherweise sterilisationsfähig gestaltet sein müssen. In geklebten Sensoren und Aktoren kann in diesem Kontext die unterschiedliche thermische Dehnung von Materialien zum Versagen von Klebschichten führen.

Diese häufig recht komplexen Fragestellungen können allein durch experimentelle Untersuchungen meist nur mit sehr hohem Aufwand analysiert werden. Die Interpretation von Ergebnissen ist dadurch erschwert, dass sich mehrere thermische oder fertigungstechnische Einflüsse überlagern können.

Hingegen kann durch Parametervariationen in Simulationsmodellen häufig vorab und bei Bedarf voneinander separiert untersucht werden, welche potentiellen Problemstellungen im konkreten Anwendungsfall als kritisch einzuschätzen sind.

Auf dieser Wissensbasis können experimentelle Ergebnisse oft wesentlich besser bewertet und eventuelle Versagensursachen erkannt werden.

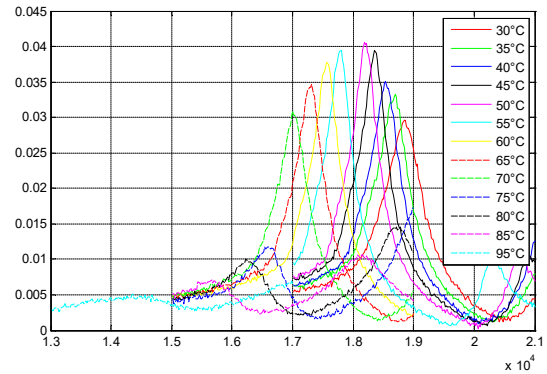


Bild 4: Temperaturscan der Resonanzkurve eines Polymer-Resonators (Lasermessung)

Unser Angebot

Die ATHENA Technologie Beratung GmbH führt seit vielen Jahren simulationsbasierte Toleranzanalysen und thermische Einflussanalysen für ihre Kunden durch. Im Laufe der Zeit haben wir den Workflow, die Simulationswerkzeuge und die Auswertungsroutinen beträchtlich optimiert, so dass wir sicher auch für Ihre Problemstellung ein attraktives Angebot erstellen können.

Begleitend führen wir bei Bedarf experimentelle Untersuchungen für Sie durch (z.B. Lasermessungen, Temperaturläufe u.a.).

Kontakt

Autor: Dr.-Ing. Walter Littmann, Leiter der Technischen Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA
Technologie Beratung GmbH
Technologiepark 13
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 60
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

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