

Ultraschalltechnik

„Energietransport jenseits der Hörschwelle“

„Wir verbessern Antriebskonzepte, Prozesse der Verfahrenstechnik und Verfahren zur Bearbeitung von Materialien durch Ultraschall.“ Oft überraschen wir unsere Gesprächspartner mit der Antwort auf die Frage, welche Themen wir im Bereich der Ultraschalltechnik bearbeiten. Während die Ultraschalltechnik in vielen Applikationen mit geringem Leistungsbedarf bereits heute etabliert ist (z. B. Materialprüfung oder Abstandsmessung bei Kfz-Einparkhilfen), beschränken sich Leistungsschall-Anwendungen (ca. 0,1 bis 2 kW) im kommerziellen Rahmen bisher auf wenige Sondergebiete. Zu den bekanntesten zählt hier die Ultraschall-Reinigung.

Gerade bei Leistungsanwendungen weist die Ultraschalltechnik ein ergonomisches Potential auf, welches bisher in der Anwendung noch nicht konsequent erschlossen ist: Aufgrund der Anatomie seines Ohres kann der Mensch Prozesse im Ultraschallbereich – also Vorgänge, die häufiger als 20 000 Mal pro Sekunde stattfinden – nur noch schlecht und bei extrem hohen Frequenzen überhaupt nicht hören. Nun spielen schallreduzierende Maßnahmen bei der Entwicklung neuartiger Maschinen eine zunehmende Rolle. Durch die Prozessführung im Frequenzbereich oberhalb von 20 kHz ergibt sich eine elegante Möglichkeit, Energie gewissermaßen „am Gehör vorbei“ zu transportieren.

Die Entwicklung von Werkzeugen zur Erzeugung von hochintensiven Ultraschallschwingungen stellt keine ganz einfache Aufgabe dar. Gewöhnlich werden Ultraschallschwingungen erzeugt, indem eine elektrische Wechselspannung an einen elektromechanischen Energiewandler (z. B. einen piezoelektrischen Aktor) angelegt wird, wodurch sich dieser mit der Frequenz der elektrischen Spannung periodisch dehnt und zusammenzieht. Die häufig praktizierte Herangehensweise, ein Ultraschallwerkzeug relativ losgelöst von ihrer elektrischen Ansteuerung und ihrer Wechselwirkung mit der Umgebung zu entwickeln, führt jedoch meist zu sehr schweren und hoffnungslos überdimensionierten Komponenten.

Durch die enge Zusammenarbeit der ATHENA Technologie Beratung GmbH mit der Arbeitsgruppe „Mechatronik und Dynamik“ am Heinz Nixdorf Institut sind wir in der Lage, Werkzeuge der Ultraschalltechnik von Anfang an als mechatronisches Gesamtsystem zu entwickeln. Neben dem schwingenden Werkzeug beinhaltet dieses System die elektrische Ansteuerung inkl. Steuer- und Regelelektronik sowie die Umgebung (Bild 1). Bei der Entwicklung wird jede Maßnahme auf der mechanischen Seite des Piezo-Wandlers von den Kollegen der Elektrotechnik kritisch hinterfragt und umgekehrt. Dabei hat uns

die praktische Erfahrung gelehrt, die Wechselwirkung mit der Umgebung als gleichberechtigte Komponente des schwingenden Gesamtsystems aufzufassen.

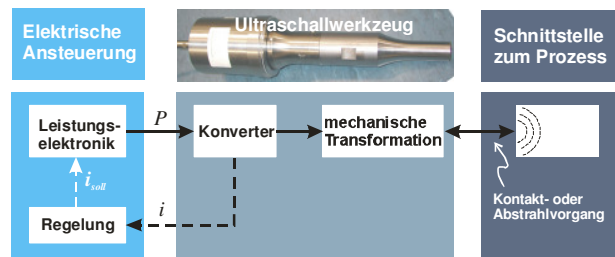


Bild 1: Ultraschallsystem (schematisch), bestehend aus elektrischer Ansteuerung, Ultraschallwerkzeug und den Wechselwirkungen an der Schnittstelle zum Prozess.

Als Werkzeug bei der Entwicklung dient uns eine ausgewogene Kombination von Berechnung, Versuch und Erfahrung. Die folgenden Beispiele sollen unseren Sinn für innovative Ansätze im Bereich der Ultraschalltechnik verdeutlichen.

Wandlerdesign

Während es mittlerweile viele Anbieter gibt, die Ultraschallwandler mit einfacher Geometrie herstellen, bereitet es gewöhnlich große Schwierigkeiten, Bauteile mit komplexer Geometrie schwingfähig zu gestalten. Durch die Anwendung des Konzeptes der Halbwellensynthese sind wir in der Lage, auch solche Systeme systematisch aufzubauen (Bild 2).

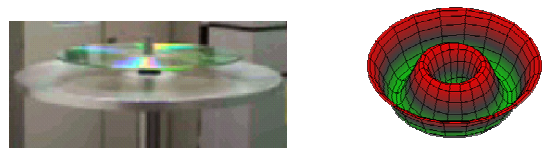


Bild 2 links: Schweben einer CD auf einem ultraschall-erregten Luftpolster, rechts: Schwingungsform der schallerzeugenden Aluminiumplatte (Frequenz ca. 20 kHz; Messung mit einem Scanning-Vibrometer).

Betrieb in Resonanz: APLL-Phasenregler

Auf Seiten der elektrischen Ansteuerung gibt es unterschiedliche Konzepte, mit denen man Ultraschallwerkzeuge so ansteuern kann, dass sie stets genau mit ihrer Resonanzfrequenz schwingen, z. B. das „phase-locked-loop“-Konzept (PLL) oder verschiedene Oszillatorschaltungen. Die meisten dieser Ansteuerungskonzepte versagen allerdings, sobald sich der Dämpfungszustand im Laufe eines Prozesses stark verändert. Gewöhnlich umgeht man dies, indem man die Werkzeuge entweder

in einem sehr ungünstigen Arbeitspunkt außerhalb Resonanz betreibt – dadurch wird die Elektronik unnötig groß – oder indem man sie so robust auslegt, dass sich Prozessschwankungen nur schwach bemerkbar machen. Dies führt dann allerdings zu unnötig großen und damit teuren Ultraschallwerkzeugen.

Wir haben einen adaptiven Phasenregler (APLL) entwickelt, welcher auf dem „phase-locked-loop“-Ansatz beruht und sich dabei automatisch dem Dämpfungszustand des belasteten Ultraschallwandlers anpasst [1]. So sind wir in der Lage, unsere Werkzeuge stets stabil in Resonanz oder Antiresonanz zu betreiben (s. Bild 3) – und zwar unabhängig davon, ob die Dämpfung schwankt.

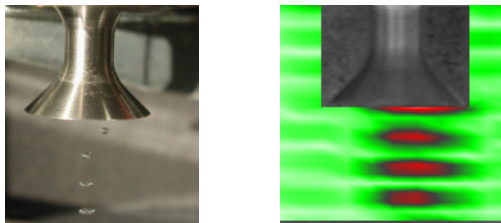


Bild 3: Schweben von Tröpfchen (links) in einem zu Resonanzschwingungen erregten Luftschallfeld. Die rechts dargestellte Druckverteilung unterhalb des Ultraschallerzeugers wurde mit einem Laser nach dem Verfahren der Refrakto-Vibrometrie gemessen.

Basierend auf dem Effekt der „piezoelektrischen Versteifung“ haben wir ein Verfahren entwickelt und zum Patent angemeldet, mit dem es möglich ist, die Resonanzfrequenz von Ultraschallwerkzeugen während des Betriebs zu verändern, und zwar automatisch. Damit wird es auch bei schwankenden Prozessbedingungen möglich, mehrere Werkzeuge an einer einzigen Quelle in Resonanz zu betreiben.

Reibungsverminderung durch Ultraschall

Im Rahmen der Entwicklung eines Ultraschallmotors kam in einem früheren Projekt die Frage auf, warum an Ultraschallwandlern häufig eine massiv reduzierte Reibung beobachtet wird. In der Literatur ist dies eine heiß diskutierte Frage, wobei vielfach ein mysteriöser Hochfrequenz-Reibwert postuliert wird, der von dem gewohnten Coulomb'schen Reibkoeffizienten abweicht. Anhand eines einfachen Experiments konnten wir nachweisen, dass die Reibungsreduktion nicht auf eine ultraschallbedingte physikalische Veränderung des Reibkoeffizienten zurückzuführen ist. Es handelt sich vielmehr um einen kinematischen Effekt (Bild 3 und 4, [2]).

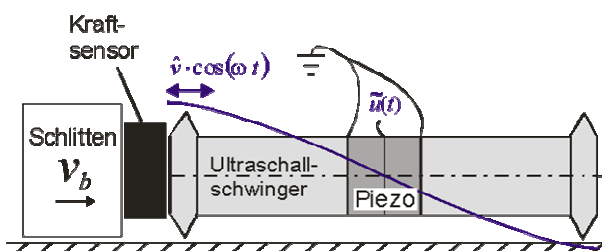


Bild 3: Versuchsaufbau zur Messung der Reibungsverminderung durch Ultraschallschwingungen.

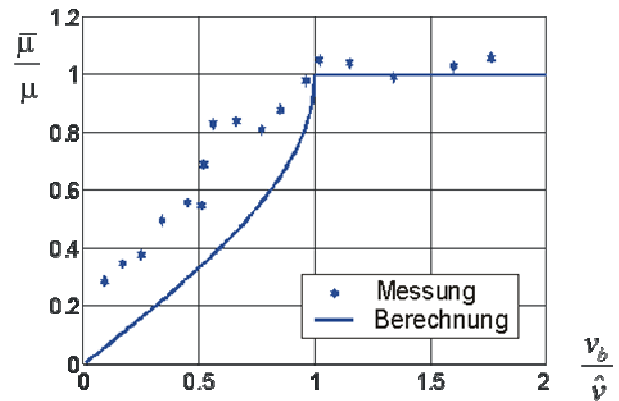


Bild 4: Gemessene und vorausberechnete Reibungsverminderung für den Versuch aus Bild 3.

Diese Erkenntnis versetzt uns in die Lage, maßgeschneiderte Ultraschall-Reibungsverminderer zu entwickeln. Sie sind einerseits prädestiniert für Anwendungen, in denen Schmierstoffe nicht eingesetzt werden dürfen (z. B. Lebensmittelverarbeitung). Andererseits kann durch Ultraschall ein variabel steuerbarer Reibwert erzeugt werden. Auf diese Weise lassen sich Stick-Slip-Phänomene effektiv bekämpfen oder reibschlüssig erzeugte Kräfte regeln.

Literatur

- [1] W. Littmann, T. Hemsel (et al.): Load-adaptive phase-controller for resonant driven piezoelectric devices. World Congress on Ultrasonics, Paris (2003)
- [2] W. Littmann, J. Wallaschek: Reibung bei Ultraschallschwingungen. Konstruktion 56 (2004) 3

Kontakt



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