

Experimentelle Untersuchungen zur Optimierung von Ultraschallreinigungsprozessen

Jens Strobel^{1, 2}, Reinhard Lerch¹

¹ Lehrstuhl für Sensorik, Universität Erlangen-Nürnberg, 91052, Erlangen, Deutschland

² Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart, Deutschland, Email: Jens.Strobel@lse.eei.uni-erlangen.de

Einleitung

Die Steigerung der Leistungsfähigkeit von Erzeugnissen basiert bei modernen Fertigungsverfahren auf erhöhter Präzision bearbeiteter Oberflächen und auf kleineren funktionsrelevanten Geometrien. An Reinigungsverfahren entsteht daraus der Anspruch einer verbesserten Reinigungsqualität bei gleichzeitig verkürzten Prozesszeiten.

Von besonderer Bedeutung ist hierbei die ultraschallunterstützte Tauchreinigung, die neben einer hohen Reinigungseffizienz auch eine Vielzahl von Einsatzvarianten ermöglicht. Durch Einkopplung von hochintensivem Ultraschall nutzt dieses Verfahren die entstehenden Kavitationsmechanismen zum Lösen und zum Abtransport von Partikeln. Zur Charakterisierung und Überwachung der Reinigungswirkung durch Kavitationseffekte sind eine präzise Kenntnis der Einflussparameter und ein quantifizierbares Reinigungsmaß erforderlich.

In Erweiterung zu bestehenden Messverfahren stellt die vorliegende Arbeit ein Sensorprinzip vor, das zur Messung der lokalen Reinigungswirkung auf Bauteiloberflächen eingesetzt werden kann. Hierdurch wird eine Überwachung des Reinigungsprozesses und eine Optimierung von Anlagen ermöglicht.

Kavitationserosion und Druckspektrum

Die erosive Wirkung der bei hochintensiver Ultraschalleinkopplung entstehenden Kavitation bildet die Grundlage der Ultraschallreinigung. Zum Nachweis der lokalen Erosionsaktivität wurde ein mehrlagiger Testschichtaufbau zum Auftrag auf Bauteiloberflächen entwickelt [3]. Abbildung 1 zeigt die Verteilung des Schichtabtrags (dunkle Zonen) durch Kavitationseinwirkung auf einem Probekörper.

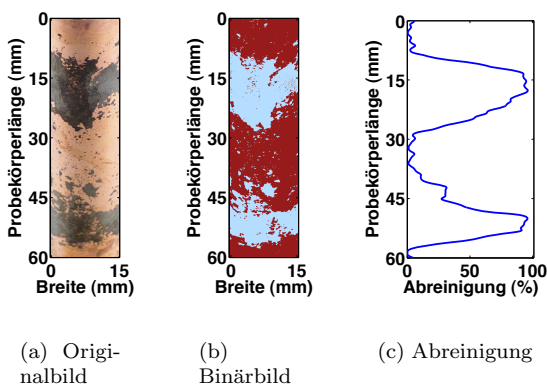


Abbildung 1: Auswertung der lokalen Testschichtablösung durch Bildverarbeitung

Durch dieses Nachweisverfahren konnten Reinigungs-

untersuchungen bei Variation wichtiger Einflussparameter durchgeführt werden. Die elektrische Anregung der Ultraschallwandler wurde mit Reinigungsergebnissen korreliert. Durch die Absenkung des Gehalts an gelösten Gasen im Medium konnte eine deutliche Effizienzsteigerung gezeigt werden.

Zur Beurteilung von Unterschieden im Druckspektrum in Zonen hoher und niedriger Kavitationsaktivität wurden Vergleichsmessungen des Schalldrucks mit einem Hydrophon Reson TC 4013 durchgeführt. Hierbei konnte neben der zu erwartenden Korrelation der Schalldruckamplitude mit der Erosionsverteilung auch eine signifikante Differenz bei der Ausbildung von subharmonischen Druckanteilen festgestellt werden. Abbildung 2 verdeutlicht den hohen Gehalt an Subharmonischen bei starker Kavitationsaktivität. Diese Ergebnisse stimmen mit Untersuchungen in [2] überein und sind begründet durch die Ausbildung komplexer Blasenstrukturen in kavitierenden Medien.

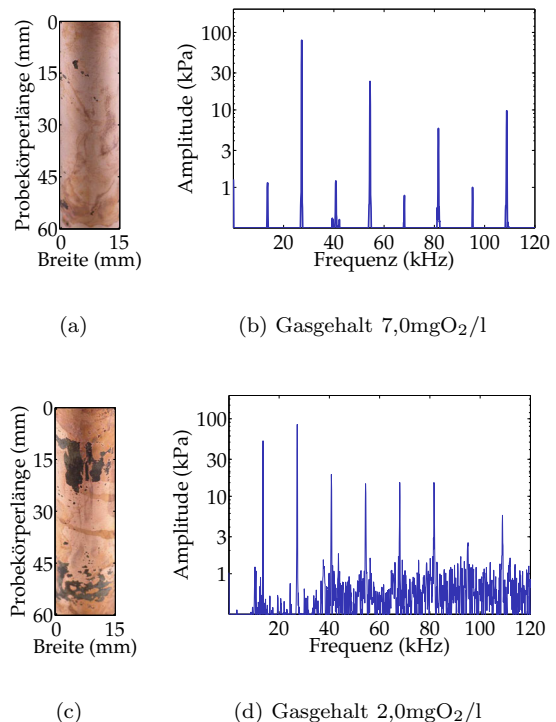


Abbildung 2: Testschichtablösung durch Kavitationserosion jeweils im Vergleich zum Schalldruckspektrum im Druckmaximum bei 15 mm

Aus diesen Ergebnissen lässt sich die Möglichkeit eines Sensoraufbaus ableiten, der direkt auf eine Oberfläche aufgebracht die spektralen Druckanteile als Maß der lokalen Kavitation ermittelt.

Ferroelektretsensor

Als Wandlmaterial für den Aufbau eines Sensorarrays zur Messung in kavitierenden Medien wurde ein neuartiges Ferroelektret aus zellular strukturiertem Polypropylen gewählt. Bei diesem in Abbildung 3 schematisch dargestellten Electro Mechanical Film (EMFi) sind entgegengesetzt polarisierte Permanentladungsträger in Hohlräumen angeordnet. Dieses Material eignet sich besonders wegen eines hohen d_{33} -Koeffizienten und einer großen Flexibilität in der Verarbeitung.

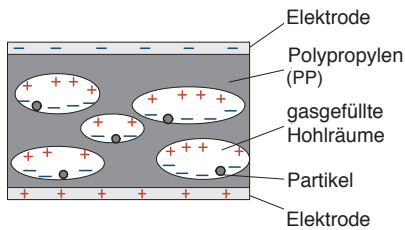


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Aufbaus des EMFi-Materials (nach Bauer et al. [1])

Die Arraystruktur und die Leiterbahnführung auf dem flexiblen Basismaterial sind in Abb. 4 angegeben. Die geometrischen Abmessungen wurden für Frequenzen in der Ultraschallreinigung optimiert. Zum Schutz des im Bereich der Sensorelemente aufgeklebten EMFi-Materials vor Kavitationserosion wurde der Sensor mit einer $40\mu\text{m}$ Polymerschicht aus Poly-para-Xylylen C überzogen.

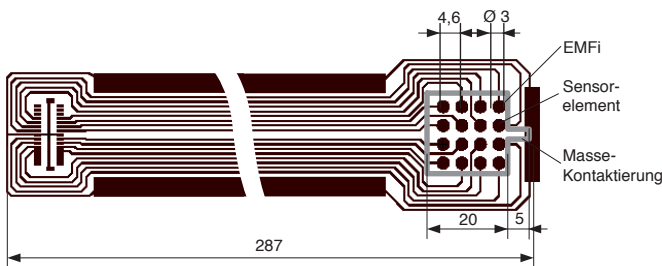


Abbildung 4: Geometrische Abmessungen des Sensorarrays

Die für die lokale Auflösung des Drucks erforderliche mechanische Entkopplung konnte durch den aktorischen Betrieb einzelner bzw. der simultanen Anregung aller Sensorelemente und die Bewertung der Schwingungsamplitude durch ein Laservibrometer (Polytec) nachgewiesen werden (vgl. Abb. 5).

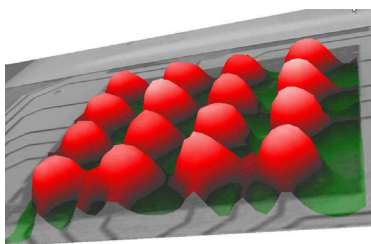


Abbildung 5: Schwingungsamplituden der Sensorelemente bei simultaner Anregung

Vergleichsmessungen der Druckverteilung mit dem Sensorarray und mit einem Standardhydrophon Reson TC 4013 belegen die Einsatzfähigkeit des Sensors.

Kavitationsbewertung

Zur Bewertung der Kavitationsaktivität wurde das Sensorarray an definierten Positionen auf Bauteiloberflächen appliziert. Abbildung 6 zeigt spektrale Druckanteile bei Variation der Anregungsspannung. Deutlich ist der sprunghafte Anstieg der Subharmonischen bei einsetzender Kavitation zu erkennen.

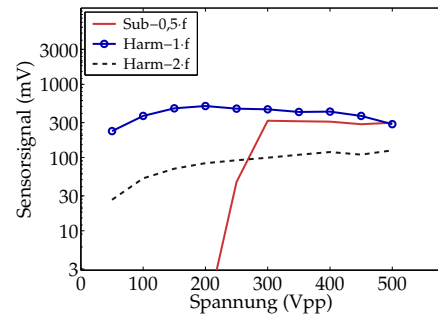


Abbildung 6: Spektrale Druckanteile bei Variation der Anregungsspannung

Die beobachteten Unterschiede der Reinigungswirkung bei Variation des Gasgehalts werden in Abb. 7 anhand des späteren Einsetzens und der geringeren Ausbildung der Subharmonischen bei hohen Gasgehalten deutlich sichtbar.

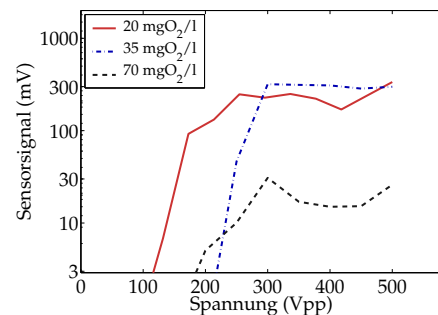


Abbildung 7: Vergleich subharmonischer Frequenzanteile bei verschiedenen Gasgehalten

Zusammenfassung

Die Einsatzfähigkeit des entwickelten Sensorarrays zur Messung in kavitierenden Medien wurde nachgewiesen. Durch die Druckmessung auf Bauteiloberflächen und die Bewertung spektraler Druckanteile kann hierdurch ein zuverlässiges Maß für reinigungswirksame Kavitationsaktivität angegeben werden.

Literatur

- [1] BAUER, S. ; GERHARD-MULTHAUPT, R. ; SESSLER, G. M.: In: *Physics Today* 57 (2004), 37 – 43 S.
- [2] JENDERKA, K.-V. ; KOCH, C. : In: *Fortschritte der Akustik - DAGA 06*, 2006, S. 365 – 366
- [3] STROBEL, J. ; BRETZ, N. ; LERCH, R. : In: *Fortschritte der Akustik - DAGA 07*, 2007, S. 121 – 122