

Druckversuch zur Charakterisierung von Piezokeramiken

H. Grünbichler^{1a}, J. Kreith², G. Maier², R. Bermejo^{1,2}, S. Paul², P. Supancic^{1,2}, R. Danzer^{1,2}



¹Institut für Struktur- und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, Peter Tunner-Straße 5, A-8700 Leoben

²Materials Center Leoben Forschung GmbH, Franz-Josef-Straße 13, A-8700 Leoben

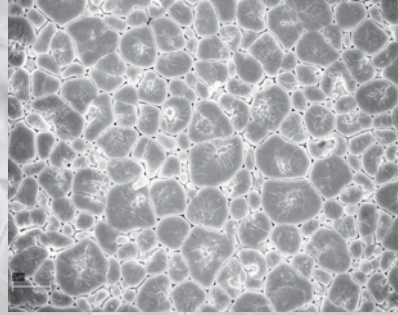


^a hannes.gruenbichler@unileoben.ac.at

Einleitung

Das Umorientieren von Domänen (Domänenklappen) bei mechanischer Belastung beeinflusst die Eigenschaften piezokeramischer Bauteile. Ein „In-situ“-Druckversuch für Röntgenfeinstrukturuntersuchungen zur ferroelastischen Charakterisierung von Piezokeramiken wird vorgestellt. Es werden unterschiedliche Versuchsaufbauten in Hinblick auf eine optimale Kräfteinleitung im Druckversuch experimentell und in einer linearen FE-Analyse miteinander verglichen. Ziel der Untersuchungen ist ein fehlertoleranter Versuchsaufbau, welcher eine homogene Spannungsverteilung in der Probe gewährleistet.

Modellwerkstoff



REM Bild einer geätzten PZT Probe

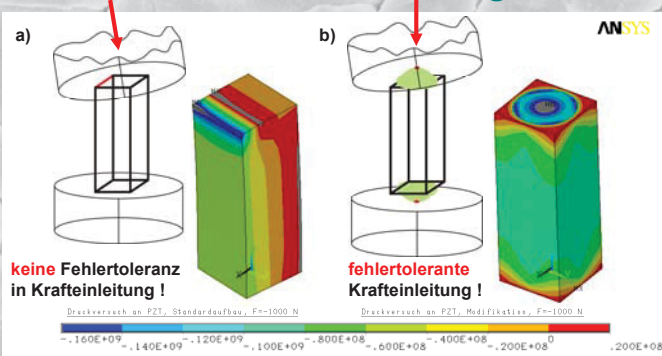
Eigenschaften der Piezokeramik PNdZT

- Dichte: $7,92 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$
- mittlere Korngröße: $1,38 \pm 0,1 \mu\text{m}$
- Porosität: $1,36 \pm 0,1 \%$
- Härte (HV1): $3,9 \pm 0,1 \text{ GPa}$
- Zähigkeit (IM): $0,9 \pm 0,1 \text{ MPam}^{1/2}$
- mittlere Festigkeit: $99,2 \pm 12,2 \text{ MPa}$

Durchgeführte Untersuchungen

Ein Druckversuch stellt an die Präzision der Prüfapparatur und der Probenfertigung höchste Anforderungen. Aufgrund der hohen Steifigkeit von Keramiken führen geringste Abweichungen von der Planparallelität/Planarität der Probe und kleinste Winkelabweichungen (Schiefheit des Stempels von $0,2^\circ$) in der Kräfteinleitung zu einer inhomogenen Spannungsverteilung im Prüfkörper. Um diese zu minimieren wurden auf den Stirnseiten der Probe Halbkugeln aus Stahl aufgeklebt, welche eine zentralere Kräfteinleitung gewährleisten.

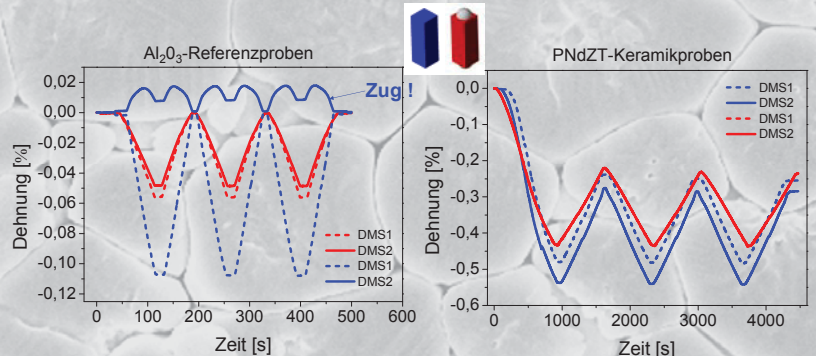
FE-Modell, Vorhersage



Im Druckversuch (a) werden bei ungünstiger Kräfteinleitung im Prüfling lokal neben Druckspannungen in gegenüberliegenden Bereichen der Seitenflächen auch Zugspannungen induziert. Stirnseitig aufgeklebte Halbkugeln (b) gewährleisten eine verbesserte und fehlertolerante Kräfteinleitung und eine weitgehend homogene Spannungsverteilung in der Probenmitte. Kleine Winkelabweichungen (z.B. bei Probenfertigung und Stempelschiefheit) sind dadurch vernachlässigbar.

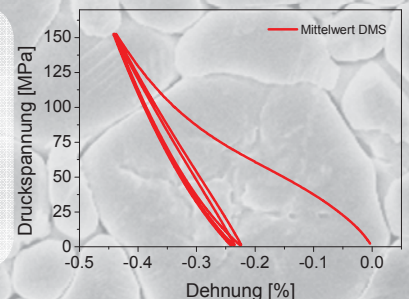
Experimente, Ergebnisse

In beiden Druckversuch-Konfigurationen (Standard-Aufbau und Modifikation) wurden die Piezokeramik und der linear elastische Werkstoff Al_2O_3 (in Hinblick auf das linearisierte FE-Modell) geprüft. Die an den Proben auf gegenüberliegenden Seiten applizierten Dehnmessstreifen (DMS) zeigen das aus der FE-Simulation erwartete Ergebnis. Der Druckversuch mit Kugelaufbau erweist sich in beiden Fällen als deutlich fehlertoleranter.



Aufgrund der Ferroelastizität ist die Piezokeramik in der Lage, die bei ungünstiger Kräfteinleitung induzierten Spannungsspitzen (nach Überschreiten der Koerzitivspannung) durch Domänenklappprozesse abzubauen und dadurch lokale Ungleichmäßigkeiten auszugleichen.

Aufgrund gleicher Messergebnisse der gegenüberliegend applizierten DMS ist es zulässig, eine Spannungs-Dehnungshysterese des piezokeramischen Materials aufzunehmen. Diese zeigt den für verschiedene Lastwechsel typischen Verlauf. Bei erstmaliger Belastung (Neukurve) klappen die Domänen in eine senkrechte Lage zur Belastungsrichtung (breite Hysterese). Bei weiteren Zyklen wird die Hysterese enger, weil viele Domänen bereits senkrecht zum Kraftvektor orientiert sind.



Ausblick

Röntgenfeinstrukturuntersuchungen sollen aufzeigen, wie sich die Textur (Domänenorientierung) der Piezokeramik während der elektrischen und/oder mechanischen bzw. bei gekoppelter elektromechanischer Belastung ändert. Des weiteren sollen die Eigenspannungen für ein piezokeramisches Bauteil bestimmt werden. Dazu muss das Bauteil während der Kräfteinleitung homogen belastet werden. Zum Abgleich der Ergebnisse aus Dehnungsmessungen mittels DMS an den Piezoproben werden zukünftig optische Interferenzmessmethoden eingesetzt und mit den hier dargestellten Ergebnissen verglichen.



„In-situ“-Druckversuch für Röntgenfeinstrukturuntersuchungen an der Piezokeramik