

## Streszczenie

Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza mikrostrukturalna i odkształceniowa procesów pęknięcia zachodzących w sąsiedztwie defektów w prostym i wielowarstwowym piezoelektrycznym materiale ceramicznym. W pierwszym rozdziale przedstawiono przegląd badań, przeprowadzonych przez innych naukowców i badaczy, które dotyczą metod wykorzystanych w pracy. Przedstawiono także podstawowe informacje na temat ceramiki piezoelektrycznej, z uwzględnieniem zastosowań oraz ich pracy. Analizę numeryczną mikromechaniki i zarodkowania pęknięć w ceramice piezoelektrycznej przeprowadzono Metodą Elementów Brzegowych. Taka analiza wymaga znajomości struktury materiału. Z tego względu, proszek tytanianu baru został wytworzony metodą reakcji w fazie stałej a pastylki oraz belki z przeznaczeniem na piezoelektryczne elementy wykonawcze zostały wykonane metodą prasowania jednoosiowego i izostatycznego. Do wytworzenia wielowarstwowego elementu wykonawczego wykorzystano dwa kleje przewodzące prąd elektryczny: dwuskładnikowy klej na bazie żelaza oraz klej na bazie srebra. Do analizy zdjęć SEM oraz uzyskania geometrycznych informacji o granicy ziaren i ich powierzchni pod kątem analizy pęknięcia metodą elementów brzegowych wykorzystano metodę cyfrowego przetwarzania obrazu bazując na opracowanym algorytmie numerycznym. Po zainicjowaniu mikropęknięć, wykorzystano prawo spójności bazujące na potencjale mieszanym do modelowania granic ziaren i badań zarodkowania pęknięć międzyziarnowych oraz ich ewolucji. W przypadku zniszczenia połączenia ziaren zastosowano prawo tarcia w celu zbadania separacji, przesuwania lub powstawania połączeń pomiędzy powierzchniami mikropęknięć. Przedstawiono algorytm numeryczny do formułowania granic ziaren oraz wyznaczania propagacji pęknięć w ceramice piezoelektrycznej wraz z przykładem aplikacji. Opracowany model został zweryfikowany poprzez porównanie uzyskanych wyników z tymi pozyskanymi z literatury. Przedstawiono i omówiono również opracowany algorytm adaptacyjny do generowania układu równań liniowych uwzględniających współczynniki elementów brzegowych oraz modelu mikromechanicznego granic ziarna. Badano wpływ kilku parametrów na propagację pęknięcia, takich jak efekt piezoelektryczny, wielkość i morfologia ziarna oraz wstępna inicjacja pęknięć. W pracy załączono również kilka algorytmów numerycznych opracowanych w programie MATLAB do rozwiązania problemu formułowania granic ziaren. W ostatnim rozdziale pracy przedstawiono główne wnioskowe wynikające z przeprowadzonych badań i sugestie dotyczących przyszłych badań.

## Abstract

This thesis deals with the microstructural and strain analysis of damage processes taking place in the neighbourhood of defects in simple and multilayer piezoelectric ceramic material. In the first chapter the review of investigations done by other scientists and researchers about methods which are used in this work have been presented. A basic information about piezoelectric ceramics, their application and the way that how they work, have been also presented in first section. The numerical analysis of micromechanics and crack nucleation in piezoelectric ceramic was carried out via Boundary Element Method. Such analysis require knowledge about structure of the material. Therefore, the barium titanate powder was manufactured by solid-state method and pellets and beams as piezoelectric elements of actuators were prepared by both uniaxial and isostatic pressing. Then two adhesives conducted electric current namely, Fe-based two-component molecular composite and the Ag-based adhesive were applied in order for making multilayer actuator. Later, digital image processing technique via generating some numerical algorithm is used to analysis SEM images and to obtain the geometrical information of grain boundaries and grain surfaces in order to be usable in boundary element method. Onset micro-crack starts to initiate, one mixed mode potential-based cohesive law is applied to model grain boundaries and investigate the intergranular crack nucleation and evolution. Upon interface failure, a frictional law has been utilized in order to study separation, sliding or sticking between micro-cracks surfaces. The developed numerical algorithm for applying grain boundary formulations and damage propagation in piezoelectric ceramic has been presented. Furthermore, the example of application has been also presented. The developed model was validated through comparing the results with literature. The developed adaptive algorithm to make a linear system of equation via considering boundary element coefficients, grain boundary micro-mechanical model is also presented and discussed. The influence of several parameters on crack propagation such as piezoelectric effect, grain size and morphology, pre-excited cracks have been studied. In appendix some numerical algorithms designed in MATLAB in order to solve the problem of grain boundary formulation are explained. In the last chapter of the thesis the main conclusions resulted from the conducted investigations and suggestions for the future work have been included.