

Streszczenie

Niniejsza praca dotyczy zagadnień transmisyjnej tomografii ultradźwiękowej ukierunkowanej na nieniszczącą diagnostykę elementów konstrukcji budowlanych. Badania doświadczalne i numeryczne przeprowadzono bazując na właściwościach fal sprężystych propagujących w elementach stalowych, ceglanych i betonowych. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom identyfikacji i lokalizacji uszkodzeń oraz stanu połączeń adhezyjnych między materiałami. Opracowano procedury i algorytmy poprawiające efektywność obrazowania wewnętrznej struktury testowanego elementu na podstawie pomiarów przeprowadzonych na jego powierzchni.

W pierwszej części pracy dokonano szczegółowego opisu zjawiska propagacji fal sprężystych w elementach płytowych, nieograniczonych oraz półograniczonych. Przedstawiono klasyfikację metod tomografii ze szczególnym naciskiem na tomografię transmisyjną. Omówiono podstawy wykorzystania metod iteracyjnych do wykonywania obrazów tomograficznych oraz zaproponowano sposób śledzenia promieni fali z uwzględnieniem możliwego ugięcia trasy ich propagacji. Część pierwszą podsumowuje schemat blokowy obrazujący kroki działania autorskiego programu napisanego w środowisku MATLAB[®] do rekonstrukcji tomograficznej.

Kluczową część pracy obejmują testy diagnostyczne wykonywane na modelach laboratoryjnych oraz numerycznych w formie płyty stalowej, filarach ceglanych oraz belkach betonowych. Na podstawie badań przeprowadzonych na płycie stalowej wykonano analizę wpływu powiększającego się uszkodzenia o charakterze powierzchniowym i liniowym na przebieg fal Lamba oraz ocenę możliwości oszacowania wielkości uszkodzenia na podstawie zagęszczenia siatki pikseli, na które podzielony jest element. Dokonano oceny stanu połączenia adhezyjnego w konstrukcjach murowych z prętem zamocowanym na zaprawie gipsowej i cementowej oraz w elemencie betonowym z inkluzją w postaci pręta stalowego, pręta stalowego owiniętego celofanem oraz rury PCV. Prowadzone badania pozwoliły na ocenę wpływu ilości zebranych danych pomiarowych i konfiguracji ścieżek przejścia fal na wykonane mapy tomografii ultradźwiękowej. W ramach rozprawy opracowano autorski model teoretyczny propagacji fal ultradźwiękowych w elemencie z inkluzją kołową, uwzględniającego zjawiska odbicia i załamania fal. Na podstawie tak przygotowanego modelu dokonano sprawdzenia poprawności śledzenia rzeczywistego przebiegu fal ultradźwiękowych bazującego na hybrydowej metodzie zakrzywienia ścieżek, będącej połączeniem metody grafu oraz metody ugięcia promieni.

W podsumowaniu przedstawiono najważniejsze wnioski z przeprowadzonych badań oraz przyszłe plany dotyczące dalszych prac naukowych.

Abstract

This work deals with transmission ultrasonic tomography focused on non-destructive diagnostics of building structures. Experimental and numerical studies were carried out based on the properties of elastic waves propagating in steel, brick and concrete elements. A particular attention was paid to the identification and location of damage and the condition assesment of adhesive joints between materials. Procedures and algorithms were developed to improve the imaging efficiency of the internal structure of the tested model based on measurements performed on its surface.

The first part of the thesis presents a detailed description of the elastic wave propagation phenomenon in plates as well as infinite and semi-infinite media. A classification of tomography methods was described with a particular attention to transmission tomography. The basics of iterative methods used in tomographic images implementation was discussed and a method of ray tracing taking into account the possible deflection of the propagation path was proposed. The first part is summed up by a flowchart illustrating the steps of the author's computer programme developed in MATLAB[®] for tomographic reconstruction.

The essential part of the thesis includes diagnostic tests performed on laboratory and numerical models in the form of a steel plate, masonry pillars and concrete beams. The analysis of the growing linear and surface damage impact on Lamb waveforms, as well as the evaluation of possibility to estimate the damage on the basis of the pixels mesh density to which the element is divided was developed on the basis of the research conducted on the steel plate. The condition of the adhesive bond was assessed in the masonry structures with a bar mounted on the gypsum and cement mortar, as well as in the concrete element with an inclusion in the form of a steel bar, a steel bar wrapped in cellophane, and a PVC pipe. The conducted researched allowed to evaluate the influence of the collected measurement data and wave transition paths on the prepared ultrasound tomography maps. An original theoretical model of the ultrasound wave propagation in the element with a circular inclusion, taking into account the wave reflection and refraction, was developed as a part of the dissertation. Having prepared such a model, a correctness verification of the actual ultrasound waveform tracking basing on the hybrid path curvature approach that combines the graph method with the ray deflection method was performed.

The summary presents the most important conclusions drawn from the conducted research together with the plans regarding further scientific works.