

O4

Zagadnienia mechaniki maszyn

Problems of mechanics of machines

Metody analizy i detekcji uszkodzeń w elementach maszyn

Cel i przedmiot pracy

Celem badań było opracowanie nowych metod detekcji uszkodzeń w konstrukcjach wykonanych z materiałów o cechach izotropowych na podstawie analizy propagacji fal sprężystych. Ważnym i nowatorskim przedsięwzięciem było podjęcie badań w zakresie modelowania struktur sterowanych elementami PZT (elementy piezoelektryczne). Kontynuowano badania w zakresie modelowania struktur kompozytowych zawierających elementy aktywne w postaci włókien SMA (*Shape Memory Alloys*).

Charakterystyka uzyskanych wyników

Realizowano następujące cele cząstkowe:

- Modelowanie struktur z uszkodzeniami.

Zaproponowano model cienkiej płyty z uszkodzeniem w postaci pęknięcia poprzecznego. Nowością modelu jest uwzględnienie stref plastycznych powstających wokół wierzchołków pęknięcia na zmiany sztywności płyty.

- Modelowanie i dynamika elementów konstrukcyjnych z elementami aktywnymi (PZT, SMA).

Opracowano modele płyt kompozytowych z aktywnymi elementami

Methods of analysis and damage detection in machine elements

Aim and topic of works

The aim of investigations was a development of new methods of damage detection in structures manufactured from materials with isotropic features on the basis of the analysis of elastic wave propagation. An important and novel contribution was the commencement of investigations in the area of modelling of structures controlled by piezoelectric structures (PZT). Continued have been investigations in the area of modelling of composite structures containing active elements in the form of SMA fibres (Shape Memory Alloys).

Characteristics of obtained results

Realised have been the following partial objectives:

- *Modelling of structures with damages.*

Proposed has been a model of a thin slab with damages in the form of transverse crack. A novelty in the model is the account of plastic zones, appearing around the tips, and cracks on the changes of the slab stiffness.

- *Modelling and dynamics of construction elements with active elements (PZT, SMA).*

Developed models of composite slabs with active elements manu-

mi wykonanymi z materiałów piezoceramicznych. Opracowano sposób tworzenia macierzy charakterystycznych modeli dyskretnych. Badano wpływ aktywacji elementów PZT na zmiany częstości i postaci drgań własnych wielowarstwowych płyt kompozytowych. Stwierdzono, że aktywacja elementów PZT pozwala w dość szerokim zakresie sterować częstościami drgań własnych.

- Metody wibracyjne w detekcji uszkodzeń.

Przeprowadzono analizę czułości dynamicznych wskaźników uszkodzeń pod kątem ich przydatności do detekcji małych pęknięć. Zbadano także wpływ błędów pomiarowych na jakość uzyskiwanych wyników.

- Metody propagacji fal sprężystych w detekcji uszkodzeń.

Opracowaniu metody detekcji uszkodzeń wykorzystujących zmiany w propagacji fal mechanicznych wywołane pęknięciami. Analizowano wpływ sygnału wymuszającego na czułość metod detekcji. Opracowano szereg nowych spektralnych elementów skończonych do modelowania propagacji fali podłużnej i poprzecznej w belkach z pęknięciami. Przeanalizowano szereg postaci funkcji celu (budowanych w oparciu o zmiany w propagującej się fali) wykorzystywanej przez algorytm genetyczny, jak również wpływ błędów

factured from piezoceramic materials. Developed has been a procedure of formation of matrices of characteristic discrete models. Investigated has been the influence of PZT elements activation on the frequency changes and the form of self vibrations in multilayer composite slabs. It has been concluded that the activation of PZT elements enables, in a quite a wide range, controlling of self vibration frequencies.

- *Vibration methods in damage detections.*

Conducted has been analysis of the sensitivity of dynamic damage indicators with the view of their applicability in detection of small cracks. Investigated has also been the influence of measurement errors on the quality of obtained results.

- *Methods of elastic waves propagation in damage detection*

Developed have been methods of damage detection utilising the changes in mechanical waves propagation induced by cracks. Analysed has been the influence of excitation signal on the sensitivity of detection methods. Developed has been a series of new spectral finite elements for modelling of axial and transverse propagation waves in beams with cracks. Analysed has been a series of the objective functions (developed on the basis of changes in a propa-

pomiarowych na czułość metody.

- Algorytmy genetyczne w detekcji uszkodzeń mechanicznych.

Badano możliwości wykorzystania algorytmów genetycznych do detekcji uszkodzeń w różnego typu elementach konstrukcyjnych. Funkcje celu budowano w oparciu o zmiany parametrów modalnych konstrukcji. AG stanowią wydajne narzędzie, które doskonale nadaje się do poszukiwania parametrów uszkodzeń (rozwiązanie zadania odwrotnego). Przeanalizowano wpływ błędów pomiarowych na szybkość i poprawność poszukiwania parametrów uszkodzenia.

- Metody analizy elementów maszyn.

Opracowano metody określania estymatorów lub indykatorów błędu całkowitego w przypadku struktur cienko- i grubościennych oraz programy obliczania liniowych funkcji rozkładu naprężeń międzyelementowych, niezbędnych do zdefiniowania problemów lokalnych. Uruchomiono, izotropowe i anizotropowe w swej naturze procedury adaptacyjne w przypadku cienkościennych, grubościennych i bryłowych elementów maszyn. Dokonano modyfikacji procedur adaptacyjnych w przypadku wystąpienia zjawisk: niewłaściwej granicy rozwiązania, lockingu i warstwy brzegowej.

gating wave) utilised by the genetic algorithm, as well as the influence if measurement errors on the method sensitivity.

- *Genetic algorithms (GA) in detection of mechanical damages.*

Investigated have been possibilities of implementation of GA in detection of damages in various types of construction elements. GA's are an efficient tool, which ideally suits for the search of damage parameters (solution of the inverse problems). Analysed has been the influence of measurement errors on the speed and accuracy of the damage parameters search.

- *Methods of analysis of machine elements.*

Developed have been methods for determination of estimators or indicators of the total error in the case of thin and thick wall structures as well as calculation codes of linear functions of distribution of inter-element stresses, indispensable for identification of local problems. Developed have been, isotropic and anisotropic in their nature, adaptive procedures in the case of thin-wall, thick-wall and spatial machine elements. Modified have been the adaptive procedures in the case of the presence of the following phenomena: incorrect limit of the solution, locking and the boundary layer.

Podstawy mechaniki konstrukcji i materiałów

Ukazała się monografia encyklopedyczna PWN pt. *Mechanika sprężystych płyt i powłok*, w której zamieszczono obszerny rozdział IV.2 pt. *Teorie nieliniowe powłok*. Przedstawiono tam szereg sformułowań szczegółowych zagadnień brzegowych nieliniowego zachowania się powłok sprężystych pod działaniem statycznych obciążeń zewnętrznych. W trzech pierwszych częściach tego rozdziału przedstawiono różne modele nieliniowej teorii powłok cienkich. W szczególności, sformułowano kompletne zagadnienie brzegowe w przesunięciach, oraz podano jego szereg konsekwentnie uproszczonych wariantów, opartych na ograniczeniach dopuszczalnych obrotów włókien materialnych powłoki kolejno do dużych, umiarkowanych i małych. Sformułowano zagadnienia brzegowe w przesunięciach, obrotach i mnożnikach Lagrange’a jako zmiennych niezależnych. Opracowano również zagadnienie brzegowe wyrażone przez siły błonowe i zmiany krzywizn jako zmienne niezależne. Jako szczególne przypadki tego sformułowania wewnętrznego otrzymano odpowiednio uproszczone zależności nieliniowej teorii płyt, teorię prawie bezwydłużeniowego zginania, teorię prawie membranową oraz teorię zgięciową powłok sprężystych. W ostatniej części rozdziału monografii omówiono podstawy ogólnej statycznie i kinematycznie ścisłej nieliniowej teorii powłok, w której de-

Fundamentals of structural and material mechanics

An encyclopaedic monograph has been published by PWN titled Mechanics of elastic plates and shells, where presented is a substantial chapter IV.2 titled Non-linear theories of shells. Presented have been there a series of formulations of various boundary value problems of non-linear behaviour of elastic shells subjected to statical external loads. In first three parts of that chapter presented are various models of the non-linear theory of thin shells. In particular, formulated has been a complete boundary value problem in displacements as well as provided has been its series of consistent simplified variants, based on admissible limits of rotation of the shell material fibres, respectively to large, moderate and small. Formulated has been the boundary value problem in displacements, rotations and Lagrange multipliers as independent variables. Developed also has been the boundary value problem expressed by means of the membrane forces and curvature changes as independent variables. Adequate relations of the non-linear theory of plates, the theory of almost inextensional bending, the almost membrane theory and the bending theory of elastic shells have been obtained as particular cases of such an internal formulation. In the last part of the chapter presented have been the fundamentals of statically and kinematically exact non-linear theory of shells, in which the shell deformation is described by the displa-

formacja powłoki określona jest przez wektor przesunięcia powierzchni podstawowej oraz tensor właściwego obrotu, opisujący uśredniony obrót przekroju powłoki. W szczególności, sformułowane zostały statyczne i kinematyczne warunki ciągłości na krzywych osobliwych, niezbędne do prawidłowego formułowania modeli powłok nieregularnych zawierających załamania, rozgałęzienia, usztywnienia, połączenia technologiczne, nieciągłe zmiany grubości i/lub własności materiałowych itp.

Podano rozszerzenie ogólnej teorii powłok nieregularnych na nieliniowe zadania dynamiki powłok. Opracowano rozszerzony algorytm typu Newmarka całkowania po czasie nieliniowych równań dynamiki na przestrzeni konfiguracyjnej zawierającej grupę obrotu. Wykonano szereg symulacji numerycznych MES skomplikowanych ruchów powłok wymuszanych dynamicznie, w tym ruch wielopłatowych powłok wymuszanych do swobodnego lotu w przestrzeni i jednocześnie poddawanych dużym względny deformacjom.

Opracowano nanoskalowy model propagacji pęknięcia w ciałach stałych. Wprowadzono systemy pęknięcia i systemy poślizgu, zdefiniowane w jednolity sposób za pomocą energii swobodnej. Wprowadzono kryterium dla kruche go i ciągliwego charakteru propagacji pęknięcia. Wykonano przykłady numeryczne dla nanoskalowego modelu plastyczności, w tym ewolucję poślizgu na jednej powierzchni przy zmiennym obciążeniu, oraz inicjację pasma poślizgu. Zrealizowano przykład numerycz-

ment vector of the reference surface and the proper rotation tensor, describing the mean rotation of the shell cross-section. In particular, formulated have been static and kinematic conditions of continuity on singular curves, indispensable for adequate formulation of models of irregular shells containing folds, branches, stiffeners, technological joints, discontinuous changes of thickness and/or material properties etc.

Presented has been the extension of the irregular theory of shells onto the non-linear problems of shell dynamics. Developed has been an extended algorithm of the Newmark type for time integration of non-linear equations of dynamics on the configuration space containing the group of rotation. Conducted have been series of numerical simulations using FEM of complex motions of shells dynamically excited, including the motion of branched shells forced to the free flight and simultaneously undergoing significant relative deformations.

Developed has been a nanoscale model of crack propagation in solids. Introduced have been the systems of cracks and slips defined unanimously by means of the free energy. Introduced has been the criterion for a brittle and ductile character of crack propagation. Conducted have numerical examples for the nanoscale plasticity model including the slip evolution on one surface at variable load as well as initiation of the slip band. Realised has been a numerical example, regarding the dimensional reduction procedure for a one-dimensio-

ny, dotyczący procedury wymiarowej redukcji dla jednowymiarowego łańcucha drgających atomów, ilustrujący możliwości wprowadzenia modelu kontynualnego dla tego systemu według koncepcji autora.

Zaproponowano sposób budowy systemu formalnego do modelowania procesów komórkowych. Scharakteryzowano też specyfikę proc. komórkowych dla potrzeb modelowania matematycznego.

Zaproponowano strukturę teorii ośrodka próżniowego uwzględniającą unifikację oddziaływań cząstek elementarnych bazującą na mechanice tego ośrodka. W szczególności, przeprowadzono modelowanie silnych fal elektromagnetycznych przy wyższych energiach, które wykazuje pojawienie się podłużnej składowej pola elektrycznego, jako efektu poprzedzającego kreację pary elektron-pozyton. Numerycznie zilustrowano możliwość symulacji stanów ośrodka próżniowego odpowiedzialnych za generowanie funkcji falowej elektronu.

Uogólniono klasyczne sformułowania wariacyjne zagadnień kontaktowych na przypadek zużywających się ciał stałych, z uwzględnieniem warstwy cząstek zużycia między stykającymi się ciałami. Wariacyjne sformułowanie przemieszczeń w układzie kontaktowym wyprowadzono z zasady stacjonarności energii potencjalnej.

Opracowano model dynamiki układu mechanicznego złożonego z wału i nasadzanych ułopatkowanych tarcz wirnikowych, obracającego się ze zmienną prędkością.

nal chain of vibrating atoms, which illustrates the capabilities of introduction of a continuum model into such system according to the author's concept.

Suggested has been the way of a development of a formal system for modelling of cell processes. Characterised has also been the specific issues concerned with the cell processes necessary for mathematical modelling.

The problem of providing the structure of the theory of the vacuum medium is solved. In this formulation unification of an particle interactions following from properties of the vacuum medium is possible. In particular modelling of strong electromagnetic waves at higher energies which indicates here the appearance of axial component of the electric field as an effect preceding creation of the couple electron-positron is carried out. Illustrated numerically has been the capability of simulation of the states of the vacuum medium responsible for generation of the electron's wave function.

Generalised has been a classical variational formulation of contact phenomena onto the case of wearing solids with account of the layer of wear particles between the contacting bodies. A variational definition of displacements in the contact system has been derived from the principle of stationary potential energy.

Developed has been a model of dynamics of the mechanical system consisting of the shaft with embedded bladed rotating discs, revolving with the variable velocity.

Analiza numeryczna wybranych zagadnień mechaniki elementów maszyn i materiałów

Cel i przedmiot pracy

Celem badań było opracowanie kompleksowego systemu programów numerycznego wyznaczania rozkładów przemieszczeń i naprężeń oraz parametrów ruchu, występujących podczas drgań wymuszonych i samowzbudnych, układu łopatek wirnikowych znajdujących się w przepływie ściśliwym, przy różnych warunkach pracy maszyny przepływowej. Zakres badań obejmował opracowanie:

- Algorytmu i programu komputerowego do obliczania sił niestacjonarnych 3D stopnia turbinowego z uwzględnieniem drgań łopatek dla przepływu poddźwiękowego, transonicznego i naddźwiękowego ostatniego stopnia turbiny PWK 200.
- Wykorzystanie opracowanego wcześniej modelu flutteru trójwymiarowego do analizy wpływu rozstrojenia (różnicy w wymiarach geometrycznych łopatek) na parametry krytyczne palisady profili dla przepływu poddźwiękowego, transonicznego i naddźwiękowego.

Charakterystyka otrzymanych wyników

Opracowano model, w którym:

Numerical analysis of selected problems of machine elements and material mechanics

Aim and topic of works

The aim of investigations was to develop a complex system of numerical codes for determination of displacement and stress distributions as well as the parameters of motion, which exist during the excited and self-excited vibrations of the system of rotating blades in the compressible flow at various conditions of the flow machine operation. The scope of investigations encompassed the following issues:

- *Algorithm and computer code for calculation of non-stationary forces in a 3D turbine stage with account of blades vibrations in the case of subcritical, transonic and supercritical flow in the last stage of PWK200 turbine.*
- *Utilisation of developed earlier model of 3D flutter for the analysis of the influence of mistuning (difference in geometrical dimensions of blades) on the critical parameters of the palisade in the case of subcritical, transonic and supercritical flows.*

Characteristics of obtained results

Developed has been a model, where:

- uwzględniono geometrię łopatek kierowniczych i wirnikowych;
 - uwzględniono drgania łopatek wirnikowych;
 - założono dowolny ruch profilu. Można było to osiągnąć poprzez jednoczesne rozwiązanie zagadnienia przepływowego i mechanicznego. Ruch układu wynika z ruchu tarczy z łopatkami i przepływającego ściśliwego czynnika;
 - przyjęto łopatki o dowolnej grubości znajdujące się w przepływie ściślimym;
 - w obliczeniach aerodynamicznych zastosowano metodę Godunova-Koljana, sprzężenie ruchu tarczy z łopatkami z przepływającym czynnikiem wynika z założenia warunku nieprzenikalności na profilu łopatki.
- *included has been the geometry of guide and rotor vanes;*
 - *included have been vibrations of rotating blades;*
 - *assumed has been an arbitrary velocity profile. That could be done by a simultaneous solution of the flow and mechanical problems. The motion of the rotor system results from the motion of bladed disc and flowing compressible medium;*
 - *assumed have been blades with arbitrary thickness in the compressible flow;*
 - *Godunov-Kolgan method has been used in aerodynamical calculations, where the coupling between the bladed disc motion and the flowing medium results from the condition of impermeability at the blade profile.*

Przedstawiono wyniki numeryczne drgań wymuszonych palisad dla trójwymiarowego przepływu poddźwiękowego, transonicznego i naddźwiękowego wykorzystując metodę superpozycji modalnej z uwzględnieniem drgań łopatek. Obliczenia przeprowadzono dla ostatniego stopnia turbiny PWK200. Stwierdzono, że obok sił niestacjonarnych wysokoczęstotliwościowych pojawiają się wymuszenia niskoczęstotliwościowe związane z drganiami własnymi łopatek. Jest to nowość w literaturze światowej.

Przedstawiono wyniki numeryczne drgań samowzbudnych palisad z uwzględnieniem rozstrojenia dla trójwym-

Presented have been numerical results of excited vibrations of the palisades in the case of three-dimensional subsonic, transonic and supersonic flows using a method of modal superposition with account of blades vibrations. Calculations have been conducted for the last stage of the PWK200 turbine. It has been concluded that apart from the non-stationary high frequency forces there appear low-frequency excitations connected with the self vibrations of blades. That is a novelty in the world literature.

Presented have been numerical results of self-excited vibrations of palisa-

miarowego przepływu poddźwiękowego, transonicznego i naddźwiękowego wykorzystując metodę bezpośredniego całkowania. Obliczenia przeprowadzono dla IV standardowej konfiguracji. Przeanalizowano następnie rozstrojenie tylko jednej łopatki o +10% i -10% w warunkach flutteru. Stwierdzono, że rozstrojenie wpływa korzystnie na drgania łopatek powodując tłumienie drgań. Pokazano, że istnieje wpływ wszystkich drgań łopatek na siebie a nie tylko sąsiednich jak dotychczas przedstawiano w literaturze przedmiotu.

Przedstawiono wyniki numeryczne drgań samowzbudnych palisad dla trójwymiarowego przepływu poddźwiękowego, transonicznego i naddźwiękowego wykorzystując metodę superpozycji modalnej. Obliczenia przeprowadzono dla IV standardowej konfiguracji oraz dla nieruchomej palisady łopatek turbiny PWK 200.

Przedstawiono analizę żywotności ułopatkowanej tarczy z uwzględnieniem lokalnych kryteriów odkształceniowych i współczynników intensywności naprężeń.

Teoretyczne i eksperymentalne badania oddziaływań dynamicznych w układach wirnik-łożyska

Opracowano koncepcję, model teoretyczny i program komputerowy do analizy własności łożysk ze smarowaniem hybrydowym tzn. hydrostatycznym i hydrodynamicznym. Na powierz-

des with account of mistuning in the case of three-dimensional subsonic, transonic and supersonic flows using the method of direct integration. Calculations have been conducted for the IVth standard configuration. Next, analysed has been the mistuning of one blade only by +10 under conditions of flutter. It has been concluded that the mistuning influences favourably the blades vibrations rendering the damping of vibrations. It has been showed, that there is a mutual influence of all vibrating blades and not only the neighbouring ones as hitherto presented in the literature.

Presented have been results of numerical calculations of self-excited vibration of palisades in the case of three-dimensional subsonic, transonic and supersonic flows using the method of modal analysis. Calculations have been conducted for the IVth standard configuration and the still palisade of the PWK200 turbine.

Presented has been the analysis of durability of a bladed disc with account of local deformation criteria and coefficients of stress intensity.

Theoretical and experimental investigations of dynamical interactions in the rotor-bearing systems

Developed has been a concept, a theoretical model and a computer code for the analysis of bearings properties with hybrid lubrication, i.e. combined hydrostatic and hydrodynamic. On the

chni szczeliny smarnej usytuowana może być dowolna liczba komór lewarowych, do których dostarczany jest olej pod określonym ciśnieniem hydrostatycznym (rys.1). Wraz ze wzrostem obrotów czopa powstają warunki do uzyskania również nośności hydrodynamicznej w łożysku, co uwzględniane jest w modelu w sposób automatyczny.

Istnieje możliwość praktycznie dowolnej konfiguracji klinów smarnych w płaszczyźnie luzów, co oznacza możliwość opisu własności łożysk z luzem cylindrycznym, soczewkowym, offsetowym, typu Y lub innych wieloklinowych.

- Program IZOSLEW umożliwia również analizę wpływu przekoszenia panwi w stosunku do osi obrotu czopa, co ma duże znaczenie z punktu widzenia oceny wpływu błędów montażowych.
- Program IZOSLEW nie ma swego odpowiednika w kraju i stanowi oryginalne osiągnięcie Zakładu.
- Koncern ALSTOM wyraził zainteresowanie zakupem tego programu.

Pomiary tarcia i zużycia par ciernych o specyficznnej strukturze warstw ślizgowych

Celem pracy było uzyskanie danych eksperymentalnych dla weryfikacji nieizotermicznego modelu tarcia dwóch powierzchni, z których jedna jest po-

surface of the lubrication slot situated can be an arbitrary number of siphon chambers, where supplied is oil under specified hydrostatic pressure (Fig. 1). With the increase of the shaft revolutions there also are conditions for the attainment of the hydrodynamic load capacity in the bearing, which is automatically accounted for in the model.

There is a possibility of practically arbitrary configuration of the oil wedges in the plane of clearances, which means about the possibility of description of the bearings properties with the cylindrical, lens, offset, Y-type or other multi-lobe clearances.

- *The code IZOSLEW enables also analysis of the influence of the bush displacement with respect to the shaft axis, which has a significant importance from the point of view of the assessment of the influence of assembly errors.*
- *The code IZOSLEW has not its counterpart in the country and is an original achievement by the Division.*
- *The ALSTOM concern expressed interest in purchasing of that code.*

Measurements of friction and wear of frictional couples with a specific structure of the sliding layers

The aim of the work was to obtain experimental data for verification of non-

Rysunek 1: Przykład liczbowy z zastosowaniem programu IZOSLEW. Przestrzen-ny rozkład ciśnienia w dolnej półpanwi z uwzględnieniem „zukosowania” panwi. Centralnie usytuowana przestrzeń lewarowa jest tu doskonale widoczna.

Figure 1. Example of application of the IZOSLEW code. Spatial pressure distribution in the lower bush with account of the bush skeweness. Centrally situated siphon space is perfectly visible here.

Figure 2

wierzchnią ciała o niewielkich wymiarach gabarytowych a druga ma nieskończone wymiary i jest pokryta cienką warstwą czynnika smarującego. Dla oszacowania realnego zakresu przyjmowanych do obliczeń wartości, opracowano metodę pomiaru grubości warstewki oleju smarowego, jaka pozostaje na pionowej powierzchni o określonej chropowatości i temperaturze po określonym czasie ociekania. Zbudowano stoisko pomiarowe i wykonano pomiary przy zastosowaniu olejów smarowych o różnej lepkości. Na wykresie przedstawiono przykład zmian średniej nominalnej grubości warstewki oleju, o określonej lepkości kinematycznej, na pionowej powierzchni stalowej o określonym parametrze chropowatości, po czasie ociekania od 1800 [s] do 9000 [s].

Opracowanie elementów spektralnych do detekcji uszkodzeń w elementach konstrukcyjnych

Cel i przedmiot pracy

Celem prowadzonych badań było opracowanie nowych typów spektralnych elementów skończonych z uszkodzeniami w postaci poprzecznych pęknięć zmęczeniowych i zbadanie ich przydatności w detekcji uszkodzeń. Z analizy literatury wynika, że parametry uszkodzenia są prawidłowo identyfikowane w przypadku metod wykorzystujących zmiany częstości i postaci drgań oraz charakterystyk amplitudowo-częstotli-

isothermal friction model of two surfaces, where one is a surface with small dimensions and the another one has infinite dimensions and is covered with a thin layer of the lubricating medium. For estimation of a real range of assumed in calculations values developed has been a method of measurement of the thickness of oil, which remains on a vertical surface with specified roughness and temperature after some specified time. Constructed has been a measurement rig where conducted have been measurements of oils with various viscosities. In the Fig. 2 presented is an example of changes of the mean nominal thickness of the oil film with specified kinematic viscosity on a vertical steel surface, with specified roughness parameter, after the flow down time between 1800[s] up to 9000[s].

Development of spectral elements for damage detection in construction elements

Aim and topic of works

The aim of conducted investigations was a development of new types of spectral finite elements with damages in the form of transverse fatigue cracks and their testing under damage detection conditions. It results from the literature that the damage parameters are adequately identified in the case of methods, which use the changes of frequency and the form of vibrations as well as amplitude-frequency amplitudes.

wościowych. Metody wykorzystujące zmiany częstości i postaci drgań własnych są wydajnym narzędziem oceny stanu konstrukcji, wymagają jednak wykonania pomiarów postaci drgań własnych. W przypadku konstrukcji o skomplikowanej geometrii pomiar taki jest utrudniony, a niekiedy wręcz niemożliwy do wykonania. W przypadku stosowania metod wykorzystujących zmiany charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych najlepsze wyniki otrzymuje się stosując wymuszenia o wysokich częstotliwościach. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem częstotliwości wymuszenia poprawia się czułość metod. To stało się bodźcem do wypracowania modeli umożliwiających analizę zjawiska propagacji fali w elementach konstrukcyjnych. Problematyka uwzględnienia zmian propagacji fali mechanicznej w elementach konstrukcyjnych, wywołanych pęknięciami jest obecnie przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych na świecie.

Charakterystyka uzyskanych wyników

Rezultaty badań przedstawione w pracy uzyskano stosując spektralny prętowy i belkowy element skończony. W pracy przedstawiono metodę umożliwiającą prawidłowe modelowanie zmian sztywności wywołanych jednostronnym, poprzecznym pęknięciem zmęczeniowym, znajdującym się w materiale sprężysto-plastycznym. Przeanalizowano różne sygnały wymuszające. Stwierdzono, że czułość propagującej fali na zmiany sztywności w miejscu pęknięcia

The methods using the changes of frequency and the form of vibrations are an efficient assessment tool of the state of the structure, however, they require measurements of the form of self vibrations. In the case of a structure with a complex geometry, such measurements are hampered, and sometimes even impossible to be conducted. In the case of applying the methods utilising the changes of amplitude-frequency characteristics the best results are obtained in the case when high frequency excitations are imposed. It has been concluded that with the increase of the frequency of excitation the sensitivity of the method is better. This served as a stimulus for derivation of models enabling analysis of the wave propagation phenomenon in construction elements. Accounting of the changes of the mechanical wave propagation in construction elements, induced by cracks, is at present the topic of investigations in several scientific centres in the world.

Characteristic of obtained results

Presented here results have been obtained using a spectral rod and beam finite elements. In the work presented has been a method enabling adequate modelling of the stiffness changes induced by unilateral, transverse fatigue crack, taking place in the elasto-plastic material. Analysed have been various excitation signals. It has been concluded that the sensitivity of propagating wave on the changes of stiffness in the crack increases with the increase of frequency

wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału wymuszającego oraz ze wzrostem zakresu pobudzanych przez sygnał częstotliwości. Zbadano wpływ pęknięcia na propagację fali poprzecznej i podłużnej w belce wspornikowej i konstrukcji ramowej. Stwierdzono, że pęknięcie zmęczeniowe generuje dodatkowe odbicia propagującej fali, i jednocześnie osłabia falę odbitą od innych nieciągłości struktury (np. węzły kratownicy, utwierdzenie belki). Zmiany te można wykorzystać do detekcji położenia pęknięcia, aczkolwiek w przypadku konstrukcji o złożonej geometrii koniecznym jest stosowanie zaawansowanych metod optymalizacyjnych. W tym celu zaproponowano nowy algorytm iteracyjnego poszukiwania parametrów pęknięcia wykorzystujący zalety algorytmu genetycznego i dokładność metod gradientowych. Przydatność i skuteczność nowej metody zilustrowano licznymi przykładami obliczeniowymi, zamieszczonymi w pracy. Sformułowana w metodzie iteracyjnej funkcja celu wykorzystywała zmiany propagacji fali mechanicznej. Uzyskane wyniki potwierdziły, że analizowane podejście pozwala precyzyjnie wyznaczać parametry pęknięcia w początkowej fazie jego rozwoju. Rozwiązanie problemów analizowanych w trakcie realizacji tematu konkursowego może stanowić znaczny postęp na drodze ku szerszemu zastosowaniu metod wibracyjnych w detekcji uszkodzeń elementów konstrukcyjnych maszyn i urządzeń.

Wiesław Ostachowicz

of the excitation signal as well as with the increase of the range of excited by the signal frequencies. Investigated has been the influence of crack on the propagation of the transverse and axial waves in the cantilever and the frame structures. It has been concluded that the fatigue crack generates additional deflections of the propagating wave and at the same time impairs the deflected wave from other structural discontinuities (such as truss nodes, beam restrains). These changes can be used in detection of the crack location, however, in the case of a structure with a complex geometry it is necessary to use advanced optimisation methods. Bearing that in mind suggested has been a new algorithm of iterative search of the crack parameters utilizing the advantages of the genetic algorithm and the accuracy of gradient methods. The applicability and efficiency of a new method have been illustrated with numerous calculation al examples, presented in the work. Formulated in the iterative method objective function utilized the changes of the mechanical wave propagation. Obtained results confirmed, that the analysed approach enables precise determination of the crack parameters in the early stage of its development. Solution of the analysed problems during realization of a research project can be a significant progress on the path to a wider implementation of vibrational methods in detection of construction elements damages in machines and other elements.

Translated by Dariusz Mikielwicz