تحليل الإجهاد والتشوه لصفيحة متدرجة الخواص متكاملة مع وجوه كهروضغطية في بيئة حرارية-رطبة

إعداد
رباب بنت عطية الله الغانمي

بإشراف
أ.د./ أشرف بن مبارز زنقور

المستخلص

قدمت هذه الرسالة دراسة تحليلية للاجهاد والتشوه لصفيحة متدرجة الخواص متكاملة مع وجوه كهروضغطية تحت تأثير الرطوبة الحرارية.تم استنتاج معادلات الإتزان وكذلك الشروط الحدية للمسائل المعطاة باستخدام مبدأ الشغل الافتراضي. تم تطبيق طريقة نافيير (Navier's method) لحل المعادلات حيث أن دوال الإزاحة والتي تحقق الشروط الحدية ستستخدم لاختزال المعادلات إلى مجموعة من المعادلات التفاضلية العادية ذات المعاملات المتغيرة. الصفيحة تم افتراضها بحيث يكون التدرج في الخواص على طول اتجاه السُمْك وفقاً لقانون التوزيع الأسي متعدد الحدود في دالة حجم المكونات. وقد قدمت أربعة أبحاث مرتبطة بموضوع الرسالة.

أولاً، تمت دراسة الانحناء لصفيحة متدرجة الخواص باستخدام نظرية قص الانفعال العرضي والانفعال العمودي المعدّلة ذات الأبعاد شبه الثلاثية من الرتبة الثالثة. تتلاشى اجهادت القص العرضية في هذه النظرية على السطحين العلوي والسفلي للصفيحة وبالتالي فإن الانفعالات لا تحتوي على التأثير غير المرغوب فيه الناتج من عوامل تصحيح القص العرضية. بخلاف نظريات قص الانفعال العرضي والعمودي التقليدية فإن هذه النظرية ذات أربعة مجاهيل فقط. الصفيحة في هذه المسألة تحت تأثير حمل ميكانيكي.

ثانياً، تمت دراسة الانحناء لصفيحة متدرجة الخواص متكاملة مع وجوه كهروضغطية. وقد استخدمت نظرية قص الانفعال ذات الأربعة مجاهيل للتعبير عن مركبات الازاحة. يتألف الجهد الكهربائي المفترض في هذه المسألة من دالة خطية على طول اتجاه السماكة ودالة جيب التمام على طول اتجاه المستوى الإحداثي. الصفيحة خاضعة لأحمال ميكانيكية وكهربائية.

ثالثاً، تمت دراسة تأثير الأحمال الميكانيكية والكهربائية على صفيحة متدرجة الخواص متكاملة مع وجوه كهروضغطية وفي بيئة حرارية رطبة. يتألف الجهد الكهربائي المفترض في هذه المسألة من دالة خطية على طول اتجاه السُمْك ودالة كثيرة حدود على طول اتجاه المستوى الإحداثي.

رابعاً، قدمت دراسة لانحناء الصفيحة المتدرجة الخواص (EG) الموصولة بطبقة مشغلة مصنعة من مركب مدعم بألياف كهروضغطية. في هذه المسألة الصفيحة خاضعة لأحمال جيبية ميكانيكية كهربائية ومستندة على أساسات مرنة. دالة الجهد الكهربائي المفترضة في هذه المسألة تتغاير خطياً على طول اتجاه السُمْك.

قد تم دعم جميع الدراسات المقدمة في هذه الرسالة بالنتائج العددية للتحقق من كفاءة ودقة النظرية المستخدمة. كما تمت دراسة تأثير العوامل المختلفة كالجهد الكهربائي والحرارة والرطوبة وتأثير تباين المادة ومعاملات الأساسات المرنة ونسبة طول الصفيحة إلى عرضها ونسبة طولها إلى سمكها ومعامل عدم التجانس على الصفائح قيد الدراسة. كما تمت مقارنة نتائج خاصة من الأبحاث المقدمة مع نتائج سابقة لأبحاث مذكورة في الرسالة لغرض التحقق من فعاليات الطرق المستخدمة.

Stress and Deformation Analysis of a Functionally Graded Plate Integrated with Piezoelectric Faces in Hygrothermal Environment

By

Rabab Atitallah Alghanmi

Supervised by

Prof. Dr. Ashraf M. Zenkour

Abstract

The main goal of this dissertation is to present analysis for stresses and deformations of a functionally graded (FG) plate integrated with faces made from piezoelectric materials under different hygrothermal conditions. The governing equilibrium equations and boundary conditions will be obtained by using the virtual work principle. Navier's method is adopted for the solution of the equations. Displacement functions that satisfy the boundary conditions will used to minimize the governing equations to a collection of coupled ordinary differential equations with variable coefficients. The material properties of the FG plate are assumed to vary along the thickness direction according to a power law distribution in terms of the volume fraction of the constituents.

At first, the bending analysis of an FG plate with two reverse simply supported edges based on a refined quasi three-dimensional (quasi-3D) shear and normal deformation theory with a third-order shape function is presented. This refined theory accounts for the distribution of transvers shear stresses that satisfies the free transverse shear stresses condition on the upper and lower surfaces of the plate. Therefore, the strain distribution does not include the unwanted influences of transverse shear correction factor. The effect of transverse normal strain is included. Unlike the traditional normal and shear deformation theories, the present theory has four unknowns only. The plate is subjected to sinusoidal mechanical load.

Secondly, an FG plate integrated with piezoelectric faces is presented by using four-unknown shear deformation plate theory to express the displacement components. The electric potential distribution is composed of a linear function along the thickness direction and a cosine function along the planar coordinate. The plate is under mechanical load and the piezoelectric faces are subjected to an applied voltage.

Thirdly, the effects of hygro-thermo-electro-mechanical sinusoidal loadings on FG plates with piezoelectric faces is discussed. The electric potential distribution is composed of a linear function along the thickness direction and a polynomial function along the planar coordinate.

Finally, analysis for the bending of exponentially graded (EG) plates attached with a single-layer of piezoelectric fiber reinforced composite (PFRC) actuator is presented. The plate is subjected to sinusoidal electromechanical loadings and resting on Pasternak’s or Winkler’s elastic foundations. The distributions of the electric potential are varied linearly along the thickness direction.

All the previously mentioned studies are supported with numerical results. The influence of various parameters such as the applied voltage, material anisotropy, side to-thickness ratio, aspect ratio, inhomogeneity parameter, thermal expansion coefficients, moisture concentration coefficients, Young's modulus ratio and elastic foundations parameters are investigated. The efficiency and accuracy of numerical results are demonstrated by comparisons with published results.