

ارائه‌ی معیار تحلیلی انرژی پایه‌ی شکست مود ترکیبی I/II برای مواد هدفمند

Analytical energy based mixed mode I/II fracture criterion for functionally graded materials

استادان راهنما:

دکتر مهدی فکور

دکتر بابک میرزاوند

چکیده

در این مطالعه معیارهای شکست مود ترکیبی I/II جدیدی بر اساس تئوری نرخ آزادسازی انرژی کرنشی به منظور بررسی رفتار شکست در مواد تابعی ترک خورده ارائه می‌شود. به منظور افزایش دقت پیش‌بینی معیارهای پیشنهادی، تأثیر ناحیه‌ی فرآوری شکست و انرژی تلف شده در این ناحیه در محاسبات در نظر گرفته شده است. خواص مکانیکی و شکست ناحیه‌ی آسیب با استفاده از پارامتر چگالی میکرو ترک و ضریب آسیب مشخص می‌شود. صحت معیارهای پیشنهادی از طریق ترکیبی از روش‌های تجربی و عددی روی ماده‌ی تابعی که از طریق متدی جدید بر اساس کنترل زمان ژل شدن رزین و تغییرات کسر حجمی الیاف خرد شده ساخته شده است، بررسی می‌شود. چقرمگی شکست مود ترکیبی بحرانی و مود II خالص نمونه‌های ساخته شده، از طریق آزمایش‌های خمش سه نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای تعیین می‌شود. در این پژوهش از میکروسکوپ الکترونی به منظور شناسایی میکرو مکانیسم‌های مختلف پل زنی الیاف در طول پیشروی ترک استفاده می‌شود. تأثیر مقاومت اصطکاکی میانی،

کسر حجمی و ضریب منظری الیاف بر اثربخشی این مکانیسم‌های پل زنی بررسی شده است. منحنی مقاومت در برابر رشد ترک و انرژی تلف شده برای هر لایه از ماده‌ی تابعی ترسیم می‌شود که نتایج حاصل نشان دهنده‌ی نقش مؤثر کسر حجمی الیاف بر مقاومت رشد ترک هر یک از لایه‌ها می‌باشد. تأثیر هر لایه بر مقاومت کلی در برابر رشد ترک، با تجزیه و تحلیل R-Curve ماده‌ی تابعی ارزیابی می‌شود، به طوری که تأثیر ناحیه‌ی فرآوری شکست در افزایش مقاومت ماده در برابر پیشروی ترک در این منحنی اعمال شده است. مقایسه‌ی داده‌های تجربی با منحنی‌های حد شکست به دست آمده، توانایی معیارهای جدید پیشنهادی برای بررسی شکست مود ترکیبی در مواد تابعی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: مواد تابعی ترک‌دار، نرخ آزاد سازی انرژی کرنشی، ناحیه‌ی فرآوری شکست، معیارهای

شکست مود ترکیبی I/II، منحنی مقاومت در برابر ترک، R-Curve، الیاف خرد شده با جهت‌گیری تصادفی

Abstract

New mixed mode I/II fracture criteria based on strain energy release rate theory are proposed for investigating fracture behavior in cracked functionally graded materials. The fracture process zone and the energy dissipated in this region are considered to enhance the prediction accuracy of the proposed criteria. The mechanical and fracture properties of the damage zone are characterized using the microcrack density parameter and damage factor. The proposed criteria are validated through a combination of experimental and numerical investigations, demonstrating its effectiveness in predicting crack growth behavior in functionally graded material fabricated using a new method based on controlling resin gel time and varying chopped fiber volume fractions. The critical mixed mode and pure mode II fracture toughness of the fabricated specimens are determined through three-point and four-point bending tests. Scanning electron microscopy is employed to identify different micro-mechanisms of fiber bridging during crack propagation. The impact of interface frictional resistance, fiber volume fraction, and fiber aspect ratio on the effectiveness of these bridging mechanisms is investigated. The crack resistance curve (R-curve) and dissipated energy were determined for each FGM layer, revealing the effective role of fiber volume fraction on the crack growth resistance of individual layers. The influence of each layer on the overall crack growth resistance of the FGM is assessed by analyzing the FGM R-curve, incorporating the effect of the fracture process zone on enhancing the material's resistance to crack propagation. A comparison of the experimental data with the fracture limit curves demonstrates the effectiveness of the newly proposed criteria for investigating mixed mode fracture in functionally graded materials.

key words: Cracked functionally graded materials (FGMs), strain energy release rate (SER), Fracture process zone (FPZ), Mixed mode I/II fracture criteria, Crack resistance curve, R-curve, Randomly oriented chopped fibers