

Kurzfassung

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) sind Hochleistungsverbundwerkstoffe, die sich durch ihre thermischen und gewichtsspezifischen mechanischen Eigenschaften auszeichnen. Eine glasige, hochvernetzte Epoxidharzmatrix verleiht dem Material einen hohen thermischen Widerstand, macht den Verbundwerkstoff jedoch auch spröde und anfällig für Risse und schlagartige Beanspruchungen. Eine Möglichkeit, diese Schlüsseleigenschaft, die Zähigkeit von Epoxidharzmatrixsystemen, zu erhöhen, ist die Modifikation der zugrundeliegenden Morphologie; das Einbringen zusätzlicher Substrukturen erhöht den Widerstand des Materials gegen Rissbildung und -fortschritt. Diese Arbeit liefert einen Beitrag zum Verständnis des Einflusses von Substruktur-bildenden, selbstorganisierenden Block-Copolymeren (BCP) und vorgeformten Kern-Schale-Partikeln (KSP) auf die Zähigkeit und die Schadenstoleranz von dünnen CFK-Strukturen und deren Epoxidharzmatrizes. Mittels einer neuen, thermo-optischen Messmethode wird gezeigt, dass die Bildung von BCP-reichen Substrukturen alleine vom chemischen Umsatz der Vernetzungsreaktion der Epoxidharzmatrix abhängt. Zudem wird die Substrukturbildung im CFK stark durch die Anwesenheit der Kohlenstofffasern beeinflusst. Bereits geringe BCP-Konzentrationen (7 Gew.-%) führen zu einer drastischen Erhöhung (250 %) des interlaminaren Risswiderstands des Faserverbunds (Mode I). Eine Modifikation mittels KSP wiederum steigert den benötigten Energieeintrag zur Initiierung von Delaminationen (160 %, Mode II). Durch eine Hybridisierung beider Modifikatoren ist es so möglich, das Schädigungsvolumen unter Schlagbeanspruchung, wenn beide Lastfälle kombiniert auftreten, um mehr als 67 % zu verringern. Die generierten Materialsysteme und das erarbeitete Verständnis erlauben es, zukünftig noch dünnere CFK-Strukturen herzustellen, ohne deren Strukturintegrität bei Schlagbeanspruchung zu reduzieren.

Abstract

Carbon fibre reinforced epoxies (CFRE) are a class of high performance, light-weight composites that show outstanding, weight-specific (thermo-)mechanical properties. A glassy and highly cross-linked epoxy matrix provides the composite with a high thermal resistance, but makes the CFRE also inherently brittle and susceptible to cracks and impacts. One strategy to overcome this drawback and to improve fracture toughness of epoxy matrices is to modify the underlying morphology with additional substructures (domains in the nano and/or micron size range). This allows increasing the energy that is required to initiate or propagate a crack within the material. The present work contributes to a better understanding of the effect of substructure-forming, self-assembling block copolymers (BCP) and pre-formed core-shell rubber particles (CSR) on the toughness and impact behaviour of thin CFREs and their epoxy matrices. Using a new thermo-optical measurement technique, it is shown that the phase-separation process of BCP-rich domains is solely driven by the degree of cure of the epoxy matrix. Also, it is found that the process of BCP phase-separation, e.g. the BCP-rich domain size, changes strongly in the presence of carbon fibres. Low concentrations of BCPs (7 wt.-%) yield a 2.5-fold enhancement of the resistance to interlaminar fracture of the CFRE (Mode I), already. Using CSR particles, on the other hand, the energy required to initiate delamination (Mode II) within the CFRE increases by 160 %. Subsequently, by a hybridization of BCP and CSR modifiers, after low energy impacts, when both load cases occur in combination, a synergistic damage volume reduction by more than 67 % is achieved. Hence, the generated material systems and the acquired understanding allow future CFRE based structures to be even thinner than current design solutions, without affecting their structural integrity under impact loads.