

Abstract

This research investigates the force transfer mechanisms in active shape memory alloy hybrid composites (SMAHC), specifically focusing on the interface between the surfaces of selectively electrochemical structured nickel titanium (NiTi) shape memory alloy (SMA) wires and the surrounding epoxy polymer matrix. A novel approach that combines optical methods such as stress optics, synchrotron X-ray microcomputed tomography (μ CT) and scanning electron microscopy (SEM) with mechanical pull-out tests to quantitatively assess and observe the force transfer capability of surface structured SMA wires in SMAHC is developed and analyzed. Interface adhesion strength is crucial for the performance of SMAHC. Selective electrochemical etching of a one-way effect NiTi SMA wire enhances its adhesion to the polymer matrix, resulting in a significant increase in the force of the first (max. 3.3 times) and the complete interface failure compared to the as-delivered SMA wire during pull-out tests. The selective electrochemical etching process does not significantly influence the SMA wires' thermomechanical performance. This research also discusses the etching pit formation and distribution impacts on the resulting improvement of force transfer. High resolution μ CT *in situ* pull-out tests show the volume progression of interfacial failure, using digital volume correlation to relate the radial and axial strains of the structured SMA wire to the force of the first interfacial failure. This research highlights the complex mechanical interactions during the pull-out tests, which are influenced not only by shear stresses but also by normal stresses from the contraction of the SMA wire and external stresses from the polymer matrix.

Kurzfassung

In dieser Forschungsarbeit werden die Mechanismen der Kraftübertragung in aktiven Formgedächtnislegierungs-Hybridverbundwerkstoffen (engl. SMAHC) untersucht, wobei der Schwerpunkt auf der Schnittstelle zwischen der Oberfläche von selektiv elektrochemisch strukturierten Nickel Titan (NiTi)-Formgedächtnislegierungsdrähten (FGL engl. SMA) und der umgebenden Epoxid-Matrix liegt. Ein neuartiger Ansatz, der optische Methoden wie Spannungsoptik, Synchrotron-Röntgenmikrocomputertomographie (μ CT) und Rasterelektronenmikroskopie (SEM) mit mechanischen pull-out Versuchen kombiniert, um die Kraftübertragungsfähigkeit von oberflächenstrukturierten FGL-Drähten in SMAHC quantitativ zu bewerten, wird untersucht. Die Grenzflächenhaftung ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit von SMAHC. Das selektive elektrochemische Ätzen eines FGL-Drahtes mit Einweg-Effekt verbessert die Kraftübertragung zur umhüllenden Polymermatrix, was zu einer signifikanten Erhöhung der Kraft des ersten (3,3-fach) und des vollständigen Versagens der Grenzfläche im Vergleich zum FGL-Draht im Lieferzustand während der pull-out Versuche führt. Die thermomechanische Charakteristik der FGL-Drähte wird durch den selektiven elektrochemischen Ätzprozess nicht wesentlich beeinflusst. In dieser Studie wird auch der Einfluss der Ätzgrubenbildung und deren Verteilung auf die resultierende Verbesserung der Kraftübertragung diskutiert. Hochauflösende μ CT *in situ* pull-out Versuche zeigen den Verlauf des Grenzflächenversagens über das Volumen, wobei digitale Volumenkorrelation verwendet wird, um die radiale und axiale Dehnungen des FGL-Drahts mit der Kraft des ersten Grenzflächenversagens in Beziehung zu setzen. Diese Forschungsarbeit verdeutlicht die komplexen mechanischen Wechselwirkungen während der pull-out Versuche, die nicht nur durch Schubspannungen, sondern auch durch Normalspannungen, entstehend aus der Kontraktion des FGL-Drahtes und externen Spannungen durch die Einbettung des FGL-Drahtes in eine Polymer Matrix beeinflusst werden.