

## Abstract

This thesis aims to establish a transient electro-thermomechanical model capable of characterizing the shape-morphing capabilities of shape memory alloy hybrid composites (SMAHCs). The particular SMAHC type examined in this study comprises a rigid substrate, a soft interlayer, and SMA wires sewed on top. The model was synthesized from the bottom up using well-established equations, methodologies, and solution procedures, taking into account appropriate simplifications and assumptions. The implementation was done with open-source solutions to ensure free availability. The model extends existing models to include aspects of external influences so that, for example, the efficiency and dynamics of the SMAHC can be predicted as a function of external mechanical loads and different ambient temperatures. Inputs to the model include geometric and material design factors and Joule's heat and ambient conditions, while outputs include the SMAHC's deflection, load-carrying capacities, bandwidth, and energy consumption. Individual components of the SMAHC were characterized to create simulation input parameters, and methodologies for characterization were devised. The thermomechanical and electro-thermomechanical model was validated by comparing experimental and simulated data. Regardless of the various assumptions and simplifications, the findings demonstrate that the transient deformation behavior during the electrically induced thermal activation of a SMAHC at room temperature and external loads of less than 19.2 N can be predicted with variations of less than 20 percent. With increasing mechanical stresses in the shape memory alloy attributable to external loads or rigid substrates and temperatures above the austenite start temperature or below  $-10^{\circ}\text{C}$ , the model's applicability may become unreasonable.

## Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein instationäres elektro-thermomechanisches Modell zu erstellen, das in der Lage ist, die Formveränderungsfähigkeiten von hybriden Verbundwerkstoffen mit Formgedächtnislegierung (SMAHC) zu charakterisieren. Der spezielle SMAHC Typ, welcher in dieser Arbeit untersucht wurde, besteht aus einem steifen Substrat, einer weichen Zwischenschicht und darauf vernähten SMA Drähten. Das Modell wurde mithilfe etablierter Gleichungen, Methoden und Lösungsverfahren entwickelt und die Komplexität durch sinnvoll getroffene Annahmen reduziert. Die Implementierung erfolgte mit Python um die freie Verfügbarkeit zu gewährleisten. Das Modell erweitert bestehende Modelle um Aspekte äußerer Einflüsse, so dass z.B. der Wirkungsgrad und die Dynamik des SMAHC in Abhängigkeit von äußeren mechanischen Belastungen und unterschiedlichen Umgebungstemperaturen vorhergesagt werden können. Zu den relevanten Eingangsgrößen in das Modell gehören geometrische und materielle Designfaktoren sowie die Joule'sche Wärmebedingungen und Umgebungsbedingungen. Ausgangsgrößen des Modells stellen die Auslenkung bzw. Biegelinie, das Vermögen, externe Lasten zu ertragen, die Bandbreite und der Energieverbrauch der SMAHC dar. Die Einzelkomponenten der SMAHC wurden zur Generierung von Input Parametern charakterisiert und die Methoden zur Charakterisierung wurden festgelegt. Das thermomechanische und elektro-thermomechanische Modell wurde durch den Vergleich von experimentellen und simulierten Daten validiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das transiente Formänderungsverhalten während der elektrisch induzierten thermischen Aktivierung einer SMAHC bei Raumtemperatur und externen Lasten von weniger als 19.2 N mit Abweichungen von weniger als 20% vorhergesagt werden kann. Bei größeren mechanischen Spannungen in der Formgedächtnislegierung, die auf äußere Belastungen oder starre Substrate zurückzuführen sind, und bei Temperaturen oberhalb der Austenit-Starttemperatur oder unter  $-10\text{ °C}$  können die simulierten Ergebnisse in der Form divergieren, dass das Modell unbrauchbar wird.