

English version

## Numerical Simulation of Laser Beam Welding for Aluminum-Copper Dissimilar Material Connections

This thesis deals with the thermo-mechanical simulation of laser beam welding for aluminum-copper joints, using the finite element method. Main focus lies on computational approaches to model the temperature field distribution and to describe the structural material behavior of pure aluminum and copper. First of all, the material behavior for the corresponding base materials is validated. This is followed by approaches for efficient heat source calibration and material modeling of heterogeneous aluminum-copper joints. Numerical computations are supported by experimental studies. To compute welding distortions, two different approaches are presented. Initially a generic elasto-plastic material model formulation is analyzed. Material parameters for the generic approach are calibrated based on tensile shear testing of overlap joint specimens. Next a novel approach is introduced with respect to common state of the art thermo-mechanical welding simulation, which tries to estimate effective material properties. The basic idea of this concept is to model the material behavior by incorporating all relevant microscale details. The macroscopic or effective material response is obtained by homogenization, based on representative volume elements or virtual microstructures. These representative volume elements include all necessary microstructures. On the example of mild mixing aluminum-copper lap joint welding, multiple volume elements are at various positions within the weld seam. Derived effective material properties are transferred to thermo-mechanical welding simulation and have been compared to experimental results.

---

Deutsche Fassung

## Numerische Simulation von laserstrahlgeschweißten artungleichen Aluminium-Kupfer Verbindungen

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der thermomechanischen Simulation des Laserstrahlschweißens von Aluminium-Kupfer-Verbindungen unter Verwendung der Finite-Elemente-Methode. Der Schwerpunkt liegt auf Berechnungsansätzen zur Modellierung der Temperaturfeldverteilung und zur Beschreibung des Strukturmaterialverhaltens von reinem Aluminium und Kupfer. Zunächst wird das Materialverhalten für die entsprechenden Grundwerkstoffe validiert. Es folgen Ansätze zur effizienten Wärmequellenkalibrierung und Materialmodellierung heterogener Aluminium-Kupfer-Mischverbindungen. Hierbei werden numerische Berechnungen durch experimentelle Untersuchungen unterstützt und ergänzt. Zur Berechnung des Schweißverzuges werden zwei verschiedene Ansätze vorgestellt. Zunächst wird eine generische elasto-plastische Materialmodellformulierung analysiert. Die Materialparameter des generischen Ansatzes werden mittels Scherzugprüfproben von Überlappstoßverbindungen kalibriert. Als nächstes wird ein neuartiger Ansatz für die thermo-mechanische Schweißsimulation solcher Verbindungen vorgestellt, der versucht effektive Materialeigenschaften solcher Mischverbindungen abzuschätzen. Die Grundidee dieses Ansatzes ist es, das Materialverhalten unter Einbeziehung aller relevanten Details auf der Mikroskala zu modellieren. Die makroskopische oder effektive Materialantwort wird durch Homogenisierung abgeleitet durch die Verwendung von sogenannten repräsentativen Volumenelementen oder virtuellen Mikrostrukturen. Diese repräsentativen Volumenelemente beinhalten alle notwendigen Mikrostrukturen. Am Beispiel einer milden Durchmischung beim Laserstrahlschweißen einer Aluminium-Kupfer-Überlappstoßverbindung werden mehrere Volumenelemente an verschiedenen Stellen innerhalb der Schweißnaht rekonstruiert. Abgeleitete effektive Materialeigenschaften werden auf die thermo-mechanische Schweißsimulation übertragen und mit experimentellen Ergebnissen verglichen.