

Kurzfassung

Mit dem aktuellen Anstieg der Nachfrage nach additiver Fertigung (AM) wächst der Bedarf an zuverlässigen Simulationswerkzeugen zur Unterstützung experimenteller Arbeiten. Computational Welding Mechanics Ansätze aus dem Verbindungsschweißen können die AM-Directed Energy Deposition (DED) Prozesse simulieren, sind aber im Allgemeinen nicht für AM-spezifische Effekte aus mehreren Temperaturzyklen validiert. Um Vertrauen in die Ergebnisse zu schaffen und die numerische Simulation zuverlässig einzusetzen, muss die Ergebnisqualität anhand von Experimenten für in-situ- und post-prozess-Fälle validiert werden. In dieser Arbeit wird ein thermomechanisches Struktursimulationsmodell vorgeschlagen und dessen Validierung demonstriert.

Zuerst wird die Wärmeeinbringung anhand von Experimenten kalibriert und anschließend die prädiktive Qualität des Modells für die in-situ Verformung und die Vorhersage von Verzug nach dem Prozess untersucht. Für die in-situ-Deformation wird ein Ansatz basierend auf 3Ddigitaler Bildkorrelation entwickelt, der die periodische Ausdehnung und Schrumpfung im Prozess quantifiziert. Das finale Verzugsbild wird mittels 3D-Scan und konfokaler Mikroskopie gemessen. Es werden drei Geometrien mit zunehmend höherer Komplexität untersucht. Insgesamt wird der DED Prozess durch den thermo-mechanischen Simulationsansatz gut prognostiziert, bedarf aber einiger Anpassungen, um die Ergänzung vieler nachgiebiger Schichten während des Aufbaus zu berücksichtigen. Schließlich werden die Berechnungszeiten aus den langen Schweißbahnen und der daraus resultierenden hohen Lastschrittzahl diskutiert und Modellverbesserungen und Vereinfachungen zur Reduzierung der Rechenzeit vorgestellt.

Abstract

With the recent rise in the demand for additive manufacturing (AM), the need for reliable simulation tools to support experimental efforts grows steadily. Computational welding mechanics approaches from fusion welding can simulate the AM directed energy deposition (DED) processes but are generally not validated for AM-specific effects originating from multiple heating and cooling cycles. To increase confidence in the outcomes and to use numerical simulation reliably, the result quality needs to be validated against experiments for in-situ and post-process cases. In this work, a structural thermomechanical simulation model is proposed and the validation process is demonstrated.

At first, the heat input is calibrated against experiments and subsequently, the model's predictive quality for in-situ deformation and post-process shape prediction of bulging is investigated. For the in-situ deformations, an approach using 3d-digital image correlation is developed, quantifying the periodic expansion and shrinkage as they occur. Post-process distortion and bulging is measured using 3d-scanning and confocal microscopy. A total of three geometries with progressively higher complexity are investigated. In general, the thermo-mechanical simulation approach estimates the AM DED process well but needs several adjustments to account for the addition of many low-stiffness layers during the build-up. Finally, the calculation times originating from long weld tracks are discussed and model improvements and simplifications to reduce the computational time are introduced.

