

## **Thermomechanische Schweißsimulation unter Berücksichtigung von Gefügeumwandlungen**

Als wichtiges Fügeverfahren spielt das Schweißen in der Fertigungsprozesskette eine bedeutende Rolle. Die thermomechanische Schweißsimulation kann dazu beitragen, Eigenspannungen, Bauteilverzüge und mikrostrukturelle Veränderungen sowie resultierende Qualitätsmängel frühzeitig zu erkennen und deren Auswirkungen zu begrenzen.

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf die thermomechanische Schweißsimulation unter Berücksichtigung der Gefügeumwandlungen. Das Ziel besteht in der Vorstellung und Qualifizierung des Spitzentemperatur-Austenitisierungs-Abkühlzeit-Modells (STAAZ) für die numerische Schweißsimulation. Das Modell erfasst die für die Gefügeausbildung maßgebenden Temperaturzyklen durch seine drei so genannten STAAZ-Parameter: Spitzentemperatur, Austenitisierungs- und Abkühlzeit. Die Korrelation mit allen thermomechanischen gefügeabhängigen Werkstoffeigenschaften erfolgt auf Grundlage einer empirischen Datenbasis, die folgende Daten enthält:

- Wärmedehnungen,
- Spannungs-Dehnungsverhalten,
- Umwandlungsplastizität,
- Härte.

Die benötigten Werkstoffkennwerte werden in Versuchen unter Variation der STAAZ-Parameter bestimmt. Mit Hilfe der physikalischen Simulation findet die Ableitung der gefügeabhängigen Eigenschaften für alle Phasen der Temperaturzyklen an dem Werkstoff S355J2G3 statt.

Die Anwendung des STAAZ-Modells in FE-Simulationen erfolgt in mehreren Komplexitätsstufen. Zunächst demonstrieren Berechnungen an einem temperaturbeanspruchten Element die Funktionsweise des STAAZ-Modells. Simulationen des Laserstrahlschweißens von Platten identifizieren einzelne werkstoffkundliche Effekte auf die Eigenspannungs- und Verzugsausbildung. Eine anschließende Übertragung auf das Laserstrahlschweißen einer bauteilähnlichen Konstruktion weist die Eignung des STAAZ-Modells auch für praxisrelevante Problemstellungen nach. Alle thermomechanischen Schweißsimulationen werden durch instrumentierte experimentelle Untersuchungen begleitet. Der Vergleich von gemessenen mit berechneten Eigenspannungen und Verschiebungen erlaubt eine fundierte Bewertung der Ergebnisse.

Welding is an important manufacturing process. Thermomechanical simulation of welding can recognize residual stresses, distortions, changes of the microstructure and resulting defects in an early stage of the development process.

The present study deals with thermomechanical welding simulations taking into account the microstructural transformations. The objective is to introduce the maximum temperature austenisation and cooling time model (STAAZ) and to prove its applicability for the numerical welding simulation. The STAAZ model describes the temperature cycles responsible for the microstructural transformations by its three parameters: peak temperature, austenisation and cooling time. The correlation between the STAAZ parameters and the thermomechanical material properties results from an experimental database that contains:

- Thermal expansion,
- Stress strain behaviour,
- Transformation plasticity,
- Hardness.

The material properties are identified in systematic experimental studies by variation of the STAAZ parameters. With the help of physical simulation they are determined for the material S355J2G3 as a function of the microstructure for all phases of the thermal cycles.

The STAAZ model is applied to the finite element analyses at several levels of complexity. Initially, numerical simulations of a single temperature influenced element demonstrate the functionality of the STAAZ model. As a result, the laser beam welding simulations of plates identify discrete effects on the development of residual stresses and distortions. Subsequently, the adequacy of the STAAZ model is proved by transferring it to laser beam welding of a component with practical relevance. In addition, all numerical simulations are supported by welding studies. The comparison of measured and calculated residual stresses as well as distortions enables a substantial evaluation of the results.