



Masterarbeit

Thema: Phasenfeldbasierte Simulation der Gefügeentwicklung während der DED-LB/M-Prozessierung eines Warmarbeitsstahls

Betreuer: Jonathan Hann, M.Sc.

1. Prüfer: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Arne Röttger (Bergische Universität Wuppertal)

Einleitung/Hintergrund:

Die Directed Energy Deposition (DED) zählt zu den vielversprechendsten Technologien im Bereich der additiven Fertigung. Sie zeichnet sich durch eine hohe Materialauftragsrate und Bauraumfreiheit aus, was DED insbesondere für industrielle Anwendungen attraktiv macht. Im Kontext der Verarbeitung von Warmarbeitsstählen für die Werkzeugproduktion stellt jedoch die Kaltrissbildung eine bedeutende Herausforderung dar. Neben der Optimierung der Prozessparameter bietet der Low-Transition-Temperature (LTT)-Ansatz eine vielversprechende Möglichkeit, die Kaltrissbildung zu minimieren. Dies erfolgt durch gezielte Anpassungen der Legierungszusammensetzung.

Ein fundiertes Verständnis der Gefügeentstehung ist für die Entwicklung entsprechender Legierungssysteme essentiell. Ziel dieser Arbeit ist es daher, die Gefügeausbildung eines Warmarbeitsstahls unter Berücksichtigung prozessinduzierter thermischer Bedingungen mithilfe der Phasenfeldmethode numerisch zu beschreiben. Auf Grundlage dessen können zukünftig potenzielle Legierungskonzepte und Prozessfenster bereits vor experimentellen Untersuchungen bewertet werden, wodurch der experimentelle Aufwand signifikant reduziert werden kann.

Ziel:

Ziel dieser Arbeit ist die phasenfeldbasierte Simulation der Gefügeentwicklung eines mittels DED-LB/M prozessierten Warmarbeitsstahls unter Berücksichtigung realistischer thermischer Prozessbedingungen.

Wissenschaftlich-technologische Fragen:

- Wie lässt sich das Erstarrungs- und Phasenumwandlungsverhalten eines Warmarbeitsstahls unter den hohen Abkühlraten der DED-LB/M-Prozessierung modellieren?
- In welcher Weise beeinflussen unterschiedliche Abkühlraten und thermische Gradienten die Gefügeausbildung?
- Welche Modellannahmen und Parametrisierungen sind für eine realitätsnahe Abbildung der Gefügeentwicklung mittels Phasenfeldmethode erforderlich?
- Wie gut stimmen thermodynamische Vorhersagen, phasenfeldbasierte Simulationsergebnisse und experimentell beobachtete Gefügezustände überein?

Vorgehen:

AP1 Literaturrecherche

Zu Beginn wird der aktuelle Stand der Forschung zu den Themen „Directed Energy Deposition (DED)“, „MICRESS“, „hot work tool steel“, „Low-Transformation-Temperature (LTT) Steels“ und „phase-field method“ erfasst. Die Recherche erfolgt auf Plattformen wie Google Scholar,



Elsevier, Springer und Wiley, um relevante Studien und Veröffentlichungen zu identifizieren, die als Grundlage für die Analyse des Erstarrungsverhaltens dienen.

AP2 Phasenfeld- und thermodynamische Simulationen

Zur Beschreibung der Gefügeentwicklung werden gekoppelte thermodynamische und phasenfeldbasierte Simulationen durchgeführt. Hierzu kommen die Softwarepakete Thermo-Calc und MICRESS zum Einsatz. Im Fokus stehen dabei die Berechnung von Phasenstabilitäten und Phasenumwandlungen sowie die Simulation der Mikrostrukturentwicklung unter definierten thermischen Randbedingungen. Im Vorfeld werden die zugrunde liegenden Modelle und Annahmen kritisch diskutiert.

AP3 DED-LB-Probenfertigung

Zur experimentellen Validierung werden einfache Probengeometrien mit unterschiedlichen Fertigungsparametern mittels DED-LB/M gefertigt, wobei systematisch die Abkühlgeschwindigkeit gesteuert werden soll. Der Fertigungsprozess wird dabei unter Verwendung thermographischer und bildanalytischer Methoden überwacht, um die Prozessdynamik zu identifizieren. Die Versuchsplanung erfolgt systematisch im Vorfeld.

AP4 Analyse des Gefügebildungsprozesses im Festen anhand von werkstoffkundlichen Untersuchungen

Die im AP3 gefertigten Proben werden hinsichtlich ihres Gefügebildungsprozesses untersucht. Für die Analyse werden unterschiedliche methodische Ansätze genutzt, darunter metallographische Verfahren wie Licht- und Rasterelektronen-mikroskopie. Zur Phasenanalyse kommen röntgendiffraktographische Verfahren und Elektronenrückstreubeugung (EBSD) zum Einsatz. Diese Untersuchungen werden durch mechanische Prüfverfahren, insbesondere Härteprüfungen, ergänzt, um die Korrelation zwischen Gefüge und mechanischen Eigenschaften zu bewerten.

AP5 Vergleich der simulativ gewonnenen Erkenntnissen mit den experimentellen Ergebnissen

Dieses Arbeitspaket widmet sich dem systematischen Vergleich der mittels Thermo-Calc und MICRESS erzielten Ergebnisse aus AP2 mit den experimentellen Erkenntnissen aus AP4. Dabei werden die Simulationsergebnisse kritisch analysiert, mögliche Abweichungen aufgezeigt und auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse interpretiert. Ziel ist es, die Ursache von Abweichungen zu identifizieren und Rückschlüsse auf die Modellannahmen oder experimentellen Bedingungen zu ziehen, um das Verständnis für die zugrunde liegenden Gefügebildungsprozesse zu vertiefen.

AP6 Verschriftlichung

Abschließend werden die Ergebnisse ausgewertet und die Fragestellungen in einer Diskussion beantwortet. Der Fokus liegt auf der Gefügeausbildung sowie dem Vergleich simulativer und experimenteller Daten. Abschließend werden Empfehlungen für Forschung und Praxis formuliert und die Ergebnisse in einem wissenschaftlichen Bericht zusammengefasst.