



Masterarbeit

Thema: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Fertigungsparameter der DED-LB/M-Prozessierung eines Warmarbeitsstahls auf den Eigenspannungszustand

Betreuer: Jonathan Hann, M.Sc.

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

Einleitung/Hintergrund:

Die Directed Energy Deposition (DED) ist eine der vielversprechendsten Technologien im Bereich der additiven Fertigung. Sie zeichnet sich durch eine hohe Materialauftragsrate und Bauraumfreiheit aus, wodurch sich DED insbesondere für industrielle Anwendungen eignet. Im Kontext der Verarbeitung von Warmarbeitsstählen für die Werkzeugproduktion stellt die Kaltrissbildung jedoch 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 des sich ausbildenden Eigenspannungszustands, der durch die schichtweise Materialdeposition maßgeblich beeinflusst wird, ist essenziell für die Entwicklung entsprechender Werkstoffe. Ziel dieser Arbeit ist es daher, den Einfluss unterschiedlicher Fertigungsparameter und Probengeometrien der DED-LB/M-Prozessierung eines LTT-Warmarbeitsstahls auf die Ausbildung des Eigenspannungszustands zu untersuchen. Darüber hinaus sollen Zusammenhänge zwischen Eigenspannungen und der resultierenden Gefügestruktur analysiert werden, um ein vertieftes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Prozessparametern und Werkstoffverhalten zu erlangen.

Ziel:

Ziel dieser Arbeit ist die experimentelle Untersuchung des Einflusses variierender Prozessparameter der DED-LB/M-Fertigung sowie unterschiedlicher Geometrien auf den Eigenspannungszustand eines LTT-Warmarbeitsstahls.

Wissenschaftlich-technologische Fragen:

- Wie lässt sich der Eigenspannungszustand eines Warmarbeitsstahls während der DED-LB/M-Fertigung systematisch beschreiben? Welche werkstoffphysikalischen Modelle sind hierfür geeignet?
- In welcher Weise beeinflussen variierende Probengeometrien sowie daraus resultierende Wärmeakkumulationen bzw. Wärmesenken den Eigenspannungszustand?
- Lassen sich Korrelationen zwischen Eigenspannungszustand und Rissbildung bzw. Bauteilverzug ableiten?
- In welchem Maß stimmen modellbasierte Eigenspannungsvorhersagen mit experimentell ermittelten Werten überein??

Vorgehen:

AP1 Literaturrecherche

Zu Beginn erfolgt eine systematische Literaturrecherche zum Stand der Technik in den Themenfeldern „Directed Energy Deposition (DED)“, „Additive Manufacturing“, „Hot Work Tool



Steels“, „Low-Transformation-Temperature (LTT) Steels“ sowie „Residual Stresses“. Die Recherche erfolgt über wissenschaftliche Datenbanken wie Google Scholar, Elsevier, Springer und Wiley.

AP2 DED-LB-Probenfertigung

Zur Untersuchung des Eigenspannungszustands werden ein- und mehrlagige Proben mit unterschiedlichen Geometrien mittels DED-LB gefertigt. Dabei werden verschiedene Scanstrategien systematisch variiert. Der Fertigungsprozess wird durch thermographische und bildanalytische Verfahren überwacht, um die Prozessdynamik zu charakterisieren. Grundlage bildet ein im Vorfeld entwickelter Versuchsplan.

AP3 Durchführung von thermodynamischen Berechnungen unter Verwendung der Software Thermo-Calc

Im Fokus dieses Arbeitspakets stehen thermodynamische Simulationen der Gefügeentwicklung. Mithilfe der Software Thermo-Calc sowie aktueller thermodynamischer und Mobilitäts-Datenbanken werden Phasenstabilitäten, Phasenanteile sowie insbesondere das Verhalten von Martensit und Restaustenit im untersuchten Werkstoff analysiert.

AP4 Experimentelle Analyse des Eigenspannungszustands (DIN EN 15305:2009-01)

Die in AP2 gefertigten Proben werden hinsichtlich ihres Eigenspannungszustands untersucht. Hierbei wird das röntgendiffraktometrische Verfahren gemäß DIN EN 15305:2009-01 eingesetzt. Die Auswertung erfolgt unter Anwendung des modifizierten χ -Verfahrens. Ergänzend werden weiterführende XRD-Analysen durchgeführt.

AP5 Analyse des Gefüges

Die mikrostrukturelle Charakterisierung der Proben erfolgt mittels metallographischer Verfahren, einschließlich Lichtmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie (REM). Zusätzlich wird die Elektronenrückstreuung (EBSD) zur detaillierten Analyse der Kristallstruktur eingesetzt sowie Restaustenitmessungen nach dem Standard ASTM E 975-13. Mechanische Prüfungen, insbesondere Härtemessungen, ergänzen die Untersuchungen, um die Korrelation zwischen Gefüge und mechanischen Eigenschaften zu bewerten.

AP6 Beurteilung des LTT-Ansatzes durch Verknüpfung der Eigenspannungsausbildung mit dem sich bildenden Gefüge

Auf Basis der in AP3 durchgeführten Simulationen sowie der experimentellen Ergebnisse aus AP4 und AP5 wird der Zusammenhang zwischen Eigenspannungszustand, Gefügeentwicklung und möglichen Defektmechanismen analysiert. Ziel ist eine fundierte Bewertung des LTT-Ansatzes im Kontext der DED-LB/M-Fertigung.

AP7 Verschriftlichung

Abschließend erfolgt die systematische Auswertung und Diskussion der Ergebnisse. Der Fokus liegt auf der Korrelation zwischen Prozessparametern, Probengeometrie, Eigenspannungszustand und Gefügeausbildung sowie auf dem Vergleich zwischen Simulation und Experiment. Die Resultate werden in einem wissenschaftlichen Bericht zusammengeführt und durch Handlungsempfehlungen für Forschung und industrielle Anwendung ergänzt.