

Fertigungsbedingte Beanspruchungen und Kaltrissicherheit in generativ gefertigten Bauteilen aus hochfesten Feinkornbaustählen

K. Wandtke¹, D. Schröpfer¹, R. Scharf-Wildenhain², A. Hälsig², A. Kromm¹, T. Kannengießner¹ und J. Hensel²

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fachbereich 9.4 / 9.2

² Technische Universität Chemnitz, Professur Schweißtechnik

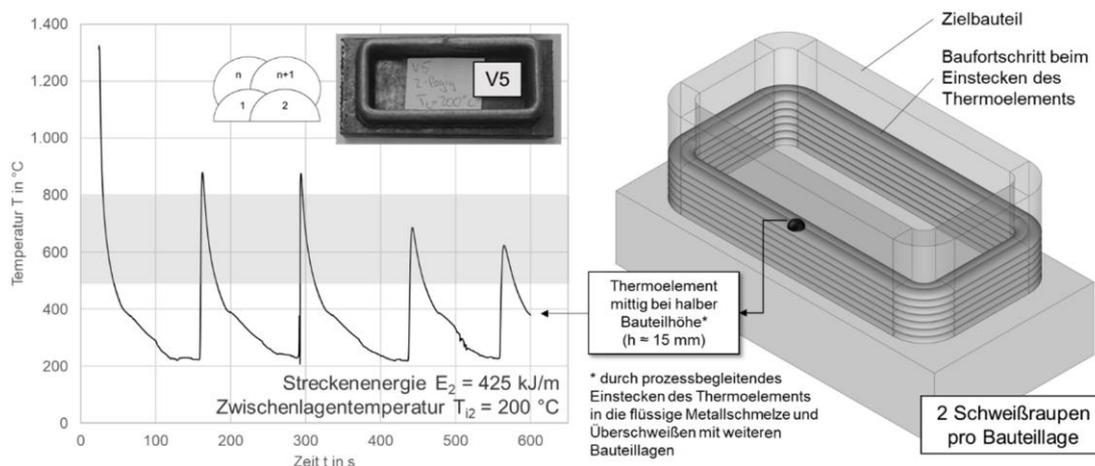


Abbildung 1. Temperatur-Zeit-Profil (Ausschnitt) der additiven Fertigung der im Vorhaben untersuchten Referenzprobe mit dem Zusatzwerkstoff 10NiMnMoCr8-7-6 (voestalpine 3Dprint AM 80 HD), $E = 425 \text{ kJ/m}$, $T_i = 200 \text{ °C}$.

Hochfeste Feinkornbaustähle werden heute aus wirtschaftlichen und konstruktiven Gründen zunehmend im modernen Stahlbau eingesetzt. Durch den Einsatz von Feinkornbaustählen mit höheren Streckgrenzen ($\geq 690 \text{ MPa}$) lassen sich durch die Reduzierung der Wanddicke deutliche Gewichtseinsparungen und geringere Verarbeitungskosten erzielen. Bestrebungen zum Leichtbau führen häufig zu komplexeren Bauteilen und Strukturen. Die additive bietet gegenüber der konventionellen Fertigung eine Vielzahl an Freiheiten der Herstellung und Modifikation von Bauteilen und dadurch viele wirtschaftliche Vorteile [1]. Darüber hinaus können durch die direkte Herstellung von endkonturnahen Bauteilen teure Bearbeitungsschritte eingespart werden [2]. Spezielle Schweißdrähte für die additive Herstellung hochfester Strukturbauteile, sind bereits auf dem Markt verfügbar. Eine breite industrielle Anwendung insbesondere für KMU ist aufgrund fehlender quantitativer Erkenntnisse und Richtlinien bezüglich schweißbedingter Beanspruchungen und Bauteilsicherheit während Herstellung und Betrieb derzeit stark limitiert.

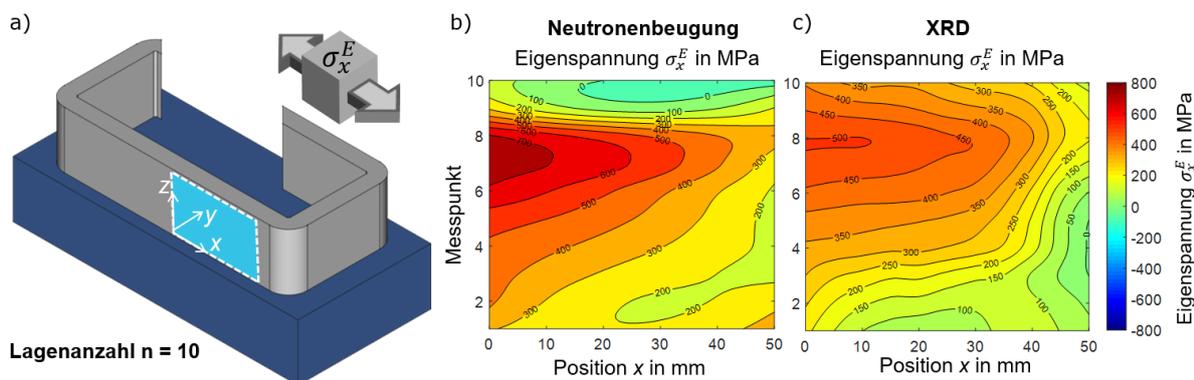


Abbildung 2. a) Analysebereich der Eigenspannungen; Längseigenspannungsverteilung $\sigma_x^E(x,z)$ analysiert mittels Neutronen- (b) und Röntgenbeugung (c) der Referenzprobe (10NiMnMoCr8-7-6, $E = 425 \text{ kJ/m}$, $T_i = 200 \text{ °C}$).

Anhand dieser Problemstellungen wurden für das Forschungsvorhaben FOSTA P1380 systematische Untersuchungen an Referenzproben durchgeführt. Übergeordnetes Ziel des Forschungsvorhabens war es, den stahlverarbeitenden Anwendern insbesondere KMU, eine riss sichere und beanspruchungsgerechte Herstellung und Modifizierung von Bauteilen und Halbzeugen aus hochfesten Feinkornbaustahl unter Verwendung MSG-basierter generativer

Verfahren zu ermöglichen. Hierfür wurden im Projekt detaillierte und anwenderbezogene Kenntnisse zu den komplexen Wechselwirkungen zwischen Schweißprozess und Wärmeführung während der Fertigung, der metallurgischen Vorgänge und insbesondere der vorliegenden konstruktiven Einflüsse auf die entstehenden Eigenspannungen erarbeitet und analysiert. Gerade beim Schweißen hochfester Stähle ist die Schweißwärmeführung maßgeblich für die zu erzielenden Gefüge und die resultierenden mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile. Im Rahmen des Projektes wurde der Einfluss der Streckenenergie und der Zwischenlagentemperatur auf die Abkühlbedingungen (vgl. Abbildung 1) in Verbindung mit den resultierenden Gefügen und den Eigenspannungen betrachtet, sowohl im Volumen mittels Neutronenbeugung als auch an den Oberflächen mittels Röntgenbeugung (vgl. Abbildung 2). So bewirkt eine Erhöhung der Streckenenergie signifikant niedrigere Abkühlraten und niedrigere Eigenspannungen [3]. Weitere Analysen der Eigenspannungen haben gezeigt, dass in Abhängigkeit der gewählten Wärmeführung selbst im Bauteilvolumen Beanspruchungen bis zur Dehngrenze des Materials (>700 MPa, vgl. Abbildung 2) erreicht werden können. Solche hohen Beanspruchungsniveaus gilt es zur Vermeidung eines hohen Risikos einer Rissbildung und frühzeitigen Bauteilversagens zu minimieren. In weiteren Untersuchungen ließen sich die Auswirkungen trennender Verfahren, wie dem Entfernen der Substratplatte sowie die spanende Bearbeitung der Vorformlinge zur Bauteil-Endgeometrien, aufzeigen. Es wurde quantitativ nachgewiesen, wie diese Fertigungsschritte unmittelbar den Eigenspannungszustand beeinflussen und einen deutlichem Bauteilverzug bewirken (vgl. Abbildung 3).

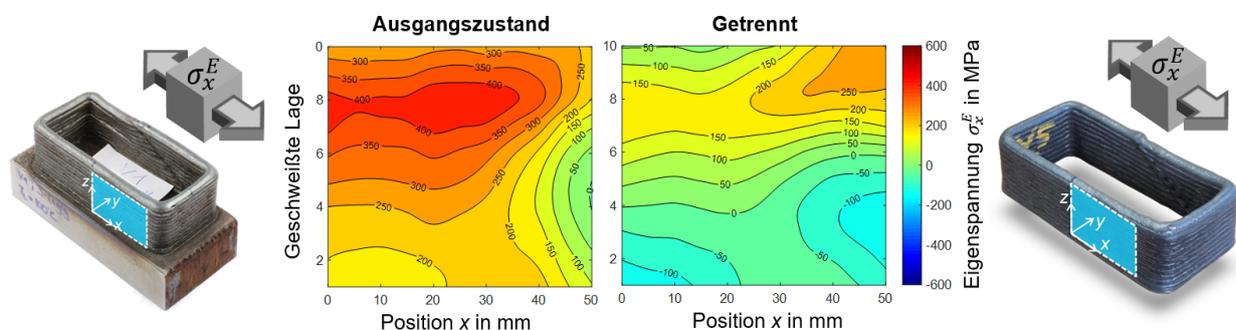


Abbildung 3. Einfluss des Trennens von der Substratplatte auf die Eigenspannungen des Referenz-Bauteils.

Die Forschungsergebnisse bieten eine wertvolle Grundlage für die Weiterentwicklung entsprechender Normen und Regelwerke. Die Vorstellung der erarbeiteten Kenntnisse und Verarbeitungsempfehlungen in entsprechenden Gremien zur Normung ermöglicht mittelfristig vor allem den KMU eine einfachere und sichere Verarbeitung hochfester Feinkornbaustähle. Die Projektergebnisse tragen zu einer sicheren und beanspruchungsgerechten generativen Bauteilfertigung und zugleich zu einer Erschließung neuer Einsatzgebiete für hochfeste Stähle bei. Die daraus resultierenden Vorteile sollen zu einer hohen Bauteilsicherheit und -performance hochfester Stahlstrukturen sowie zu einer hohen Ressourceneffizienz (Material, Kosten, Zeit) führen. Das Forschungsvorhaben wurde erfolgreich abgeschlossen. Eine umfangreiche Darstellung aller Ergebnisse kann dem Abschlussbericht entnommen werden, der demnächst von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. zur Verfügung gestellt wird.

*Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 21162 BG (P 1380) **Fertigungsbedingte Beanspruchungen und Kaltrissicherheit in generativ gefertigten Bauteilen aus hochfesten Feinkornbaustählen** der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- [1] Plangger, J.; Schabhüttl, P.; Vuherer, T.; Enzinger, N.: CMT Additive Manufacturing of a High Strength Steel Alloy for Application in Crane Construction, *Metals*, 9, 2019, doi:10.3390/met9060650.
- [2] Frazier, W. E.: Metal Additive Manufacturing: A Review, in: *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23, 2014, 1917-1928, doi:10.1007/s11665-014-0958-z.
- [3] Wandtke, K.; Schröpfer, D.; Scharf-Wildenhain, R.; Hälsig, A.; Kannengießler, T.; Kromm, A.; Hensel, J. Influence of the WAAM process and design aspects on residual stresses in high-strength structural steels, in: *Welding in the World*, 67, 2023, 987-996, doi:10.1007/s40194-023-01503-9.