

Bachelorarbeit

Kollaborativ am ITM-KM und IAM-WK

„Modellierung mechanischer Eigenschaften eines lamellaren ultra-hochfesten Fe-Mn-C Stahls“ (ab Mai 2025)

Hintergrund

In der Arbeit von Sun et al. [1] wurde erstmals eine neuartige Prozessroute zur Herstellung von AHSS (engl. advanced high strength steels) der dritten Generation vorgestellt. Bei AHSS (engl. advanced high strength steels) handelt es sich um eine Gruppe von neuartigen Stählen, die bemerkenswerte Festigkeit bei gleichzeitig guter Duktilität sowie Umformbarkeit aufweisen. Ziel dieser Prozessroute ist die Einstellung eines fein-strukturierten Nichtgleichgewichtsgefüges aus Martensit und metastabilem Austenit im Fe-Mn-C-System. In Abb. 1 ist dargestellt, welche Schritte unternommen wurden, um ein solches Gefüge einzustellen. Der Ausgangszustand hier war ein vollständig perlitisches Gefüge. Bei der von Sun et al. [1] untersuchten eutektoiden Zusammensetzung mit einem Mn-Gehalt von 4.4 M.-% ist das Element in beiden Phasen substitutionell gelöst, jedoch mit einem deutlich höheren Anteil im Zementit $(\text{Fe,Mn})_3\text{C}$. Nach einer Kurzzeitaustenitisierung mit ausreichender Haltedauer liegt das Gefüge vollständig austenitisch vor. Aufgrund der langsamen Diffusion des Mn verbleibt das Element in lamellarer Anordnung bestehen. Wird ein solches Gefüge abgeschreckt, so liegt in den Mn-reichen Gebieten aufgrund des austenitstabilisierenden Elements metastabiler Austenit vor. Mit anschließendem Anlassen können bemerkenswerte Kombinationen aus Festigkeit und Duktilität erzielt werden. Nach aktuellem Stand der Literatur ist nicht bekannt, wie die Prozessroute hinsichtlich des Zielgefüges weiter optimiert werden kann. Variationen der Zusammensetzung sowie Wärmebehandlungsparameter erlauben das Einstellen von Gefügen, die sich in Phasenanteilen, Lamellenabständen sowie lokaler chemischer Zusammensetzung unterscheiden. Der Einfluss dieser Parameter auf Festigkeit und Verfestigungsverhalten sind dabei ungeklärt.

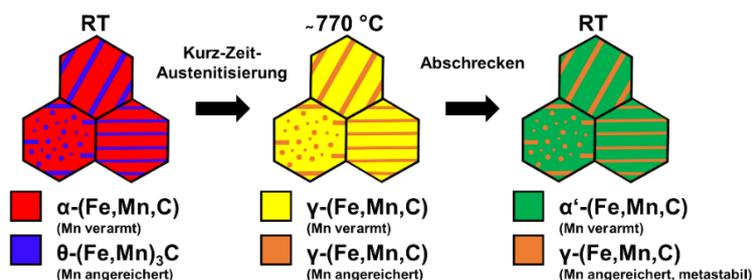


Abb. 1: Schematischer Ablauf der neuartigen Prozessroute. Der Ausgangszustand ist ein vollständig perlitisches Gefüge.

Zielsetzung

Um die experimentelle Legierungs- und Gefügeentwicklung hinsichtlich optimaler mechanischer Eigenschaften zu unterstützen, sind Simulationstechniken unersetzlich. Die anhand des beschriebenen Vorgehens entstehenden Gefüge sind jedoch in vielerlei Hinsicht kompliziert und stellen eine enorme Herausforderung für die Simulation effektiver, mechanischer Eigenschaften dar.

Übergeordnetes Ziel dieser Abschlussarbeit soll daher die Simulation der effektiven mechanischen Eigenschaften (insbesondere Fließgrenze, Verfestigung und Duktilität) von vollständig lamellaren Austenit-Martensit-Verbunden mit regelloser Verteilung der Lamellenkolonien sein.

Dazu wird ein mehrskaliges Homogenisierungsschema verwendet, welches die Mikrostruktur auf den relevanten Größenskalen berücksichtigt (siehe Abb.2). Hier erlaubt die vollständig lamellare Struktur eine deutliche Reduktion der Komplexität der Simulation, da das mechanische Verhalten einer einzelnen Kolonie effizient durch analytische Ansätze beschrieben wird. In Kombination mit numerischen Methoden, welche die Interaktion der Lamellenkolonien berücksichtigen, kann dadurch der Einfluss der verschiedenen Mikrostrukturparameter auf das makroskopische mechanische Verhalten untersucht werden.

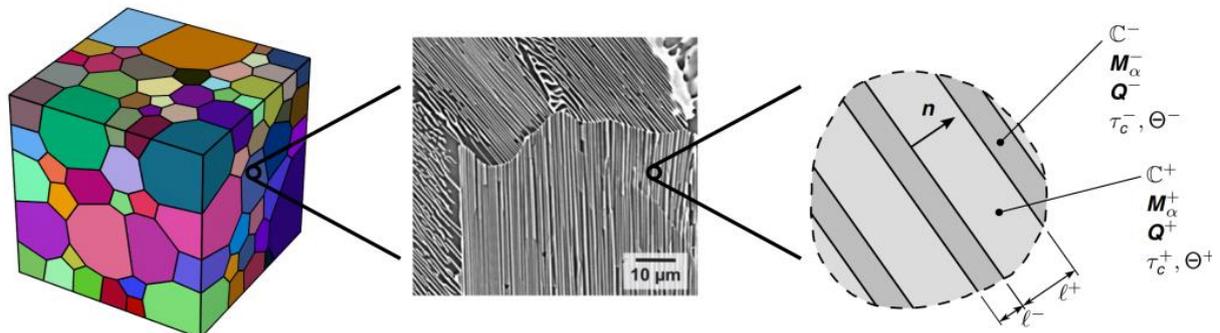


Abb. 2: Generiertes Kolonieaggregat (links), reale Laminatstruktur (Mitte, aus [2]) und idealisiert (rechts).

Die konkrete Umsetzung der Modellierung erfolgt dabei auf Basis experimenteller Daten einer eutektoiden Fe-5Mn-0,6C (M.-%) Legierung sowie anhand von Literaturdaten.

Die Modellierung des regellosen Laminats, wird zunächst mittels experimenteller Daten aus Druckversuchen validiert. Im Anschluss soll die Variation von Schlüsselparametern mit der Entwicklung typischer Festigkeitskennwerten sowie Verfestigung korreliert werden. Die Ergebnisse lassen sowohl Rückschlüsse auf die Optimierung von Legierung und Gefüge sowie aktiver Verformungsmechanismen zu.

Vorgehensweise

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine Kollaboration zwischen dem ITM und dem IAM-WK. Da hauptsächlich modelliert werden soll, wird die Anfertigung der Arbeit am ITM erfolgen.

Prof. Martin Heilmaier
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Angewandte Materialien (IAM-WK)
Engelbert-Arnold-Straße 4
Campus Süd, Geb. 10.91, Raum 036
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608 46594
Fax: +49 721 608 48044
martin.heilmaier@kit.edu

Prof. Thomas Böhlke
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technische Mechanik (ITM-KM)
Kaiserstraße 10
Campus Süd, Geb. 10.23, Raum 301.4
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608 48852
Fax: +49 721 608 44187
thomas.boehlke@kit.edu



Zeitlicher Ablauf

Bachelorarbeit:

1. Monat: Literaturrecherche/Einarbeitung in die bestehende Simulationskette
2. Monat: Durchführen und Auswertung der Mehrskalensimulation
Vergleich zu experimentellen Daten
3. Monat: Verfassen der Arbeit

Ansprechpersonen

M.Sc. Claudius Klein (claudius.klein@kit.edu)

M.Sc. Marcel Münch (marcel.muench@kit.edu)

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kauffmann (alexander.kauffmann@ruhr-uni-bochum.de)

Literaturverzeichnis

- [1] W. W. Sun, Y. X. Wu, S. C. Yang, und C. R. Hutchinson, „Advanced high strength steel (AHSS) development through chemical patterning of austenite“, *Scripta Materialia*, Bd. 146, S. 60–63, 2018, doi: 10.1016/j.scriptamat.2017.11.007.
- [2] A. Schmitt, K.S. Kumar, A. Kauffmann, X. Li, F. Stein und M. Heilmaier, „Creep of binary Fe-Al alloys with ultrafine lamellar microstructures“, *Intermetallics*, „, Bd. 90, S. 180–187, 2017, doi: 10.1016/j.intermet.2017.07.016.