



## Bachelorarbeit von Hannes Erdle

# Modellierung der ferritischen Matrix in Dual-Phasen Stählen mittels eines versetzungsdichtegesteuerten Verfestigungsmodells

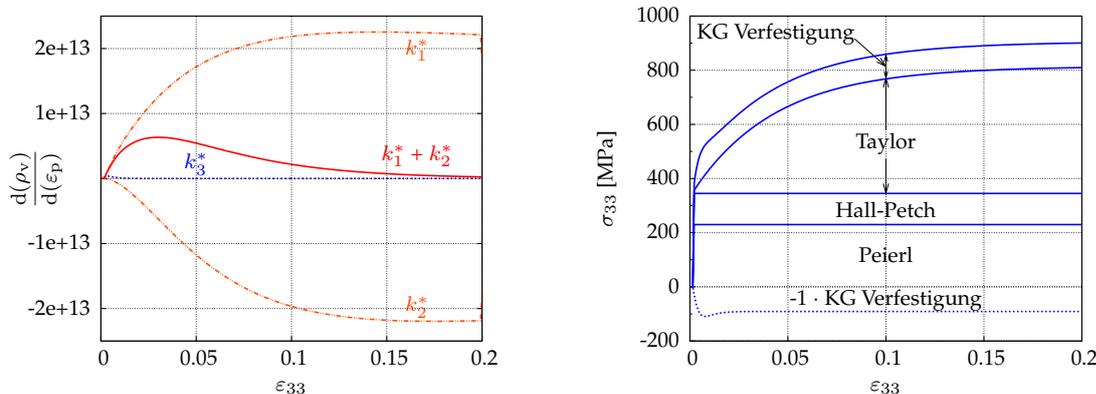


Abb.: Aufteilung der Entwicklung der Versetzungsdichte  $\frac{d(\rho_v)}{d(\epsilon_p)}$  (links) in Produktion ( $k_1^*$ ), Annihilation ( $k_2^*$ ) und Korngrenzenanteil ( $k_3^*$ ), sowie der Spannung in Zugrichtung  $\sigma_{33}$  (rechts) in die einzelnen Verfestigungsanteile

### Problemstellung

Dual-Phasen Stähle bieten eine für die Automobilindustrie vorteilhafte Kombination aus niedriger Streckgrenze, hoher Umformbarkeit und hoher Belastbarkeit. Einsatzgebiete sind beispielsweise Crash-Elemente zur Absorption der Aufprallenergien.

Die Mikrostruktur dieser Stähle zeichnet sich durch ein Komposit aus duktiler ferritischer Matrix und verstärkenden Martensiteinschlüssen aus. Für die Berechnung des kombinierten mechanischen Verhaltens mittels Homogenisierungsmethoden, ist die korrekte Modellierung der ferritischen Matrix von großer Bedeutung. Um das Materialverhalten der Ferritmatrix hinreichend genau beschreiben zu können, liegt die Verwendung physikalisch basierter Materialgesetze nahe. Dabei stellt die Versetzungsdichte eine wichtige Kenngröße für den Zustand des Materials dar.

Ziel dieser Arbeit ist die Modellierung der ferritischen Matrix des von Delince et al. (2007) entwickelten Materialmodells eines Dual-Phasen Stahls. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Modellierung der Korngrenzeneffekte.

## Lösungsansatz

Das Materialverhalten der ferritischen Matrix wird basierend auf der Entwicklung der Versetzungsdichte für ein implizites Zeitintegrationsverfahren modelliert. Das isotrope nichtlineare Verfestigungsmodell wird im Rahmen der von-Mises Plastizität für das kommerzielle Finite-Elemente-Programm ABAQUS als Fortran 2003 UMAT implementiert. Die Verifikation der User-Subroutine erfolgt mittels eines Patch-Tests, sowie anhand eines Zugversuchs an einer Lochscheibe.

Zur Untersuchung des Materialmodells wird die Verfestigung in die Anteile der einzelnen Verfestigungsmechanismen unterteilt, sowie eine Parameterstudie durchgeführt, um die Einflüsse der Materialparameter zu bewerten.

## Ergebnisse

Bei der Untersuchung ergab sich, dass schon bei einer geringen Dehnung der minimale Abstand zweier Versetzungen im Einflussbereich der Korngrenze erreicht wird und sich somit die Versetzungsdichte in diesem Bereich lediglich geringfügig entwickeln kann. Dies hat zur Folge, dass der indirekte Einfluss der Korngrenzen auf das Materialverhalten, hervorgerufen durch die Entwicklung der Versetzungsdichte, vernachlässigbar ist. Was den direkten Anteil der Korngrenzen, also die Rückspannung der daran aufgestauten Versetzungen betrifft, so konnte anhand der Parameterstudie eine starke Abhängigkeit bezüglich der Korngröße festgestellt werden. Anhand der Verfestigungsaufteilung wurde deutlich, dass die kinematische Verfestigung innerhalb der ferritischen Matrix großen Einfluss auf das Materialverhalten hat. Der Verlauf dieses Verfestigungsanteils wird maßgeblich durch die Wahl des Korngreneinflussbereiches und des minimalen Abstandes zweier Versetzungen in ebendiesem Bereich bestimmt.

## Literatur

- (1) M. Delincé, Y. Bréchet, J.D. Embury, M.G.D. Geers, P.J. Jacques, T. Pardoen: Structure-property optimization of ultrafine-grained dual-phase steels using a microstructure-based strain hardening model *Acta Materialia*. **55 (7)**, 2337–2350, 2007
- (2) Hull, D.: *Introduction to Dislocations*. Butterworth-Heinemann, 2001

## Betreuer

Dipl.-Ing. Florian Rieger  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Böhlke

rieger@itm.uni-karlsruhe.de  
boehlke@itm.uni-karlsruhe.de