

Franz Roters, David Steinmetz,
Su Leen Wong
Max-Planck-Institut für Eisenforschung

Motivation

- Implementierung physikalischer Modelle für TWIP und TRIP Mechanismus in ein konstitutives Gesetz
- Untersuchung der Wechselwirkung zwischen TWIP und TRIP Effekt
- Erweiterung des TWIP Modells der ersten Phase um die Berücksichtigung des TRIP Effektes
- Ein verbessertes TWIP Modell wurde benötigt, da sich die Berechnung der Zwillingsnukleation als zu stark vereinfacht herausgestellt hatte.

Implementierung

Der TRIP Effekt wird als zusätzlicher Beitrag zur plastischen Deformationsrate modelliert

Slip only:

$$L_p := \dot{F}_p F_p^{-1} = \sum_{\alpha=1}^{N_{slip}} \dot{\gamma}^\alpha m^\alpha \otimes n^\alpha$$

Slip + TWIP:

$$L_p = \left(1 - \sum_{\beta=1}^{N_{twin}} f^\beta\right) \sum_{\alpha=1}^{N_{slip}} \dot{\gamma}^\alpha m^\alpha \otimes n^\alpha + \sum_{\beta=1}^{N_{twin}} \dot{\gamma}^\beta m^\beta \otimes n^\beta$$

Slip + TWIP + TRIP:

$$L_p = \left(1 - \sum_{\beta=1}^{N_{twin}} f^\beta - \sum_{\eta=1}^{N_{trans}} \xi^\eta\right) \sum_{\alpha=1}^{N_{slip}} \dot{\gamma}^\alpha m^\alpha \otimes n^\alpha + \sum_{\beta=1}^{N_{twin}} \dot{\gamma}^\beta m^\beta \otimes n^\beta + \sum_{\eta=1}^{N_{trans}} \dot{\xi}^\eta b^\eta \otimes d^\eta$$



Spannungsunterstützte Martensit Transformation:

$$\dot{\xi}_\eta^{stress} = c_{gro} \left(1 - \sum_{\eta=1}^{N_{trans}} \xi_\eta\right) F_\eta^{stress}$$

$$F_\eta^{stress} = \tau_\eta - c_{dwp} (2\xi_\eta - 6\xi_\eta^2 + 4\xi_\eta^3) - 12\Delta G (\xi_\eta^2 - \xi_\eta^3)$$

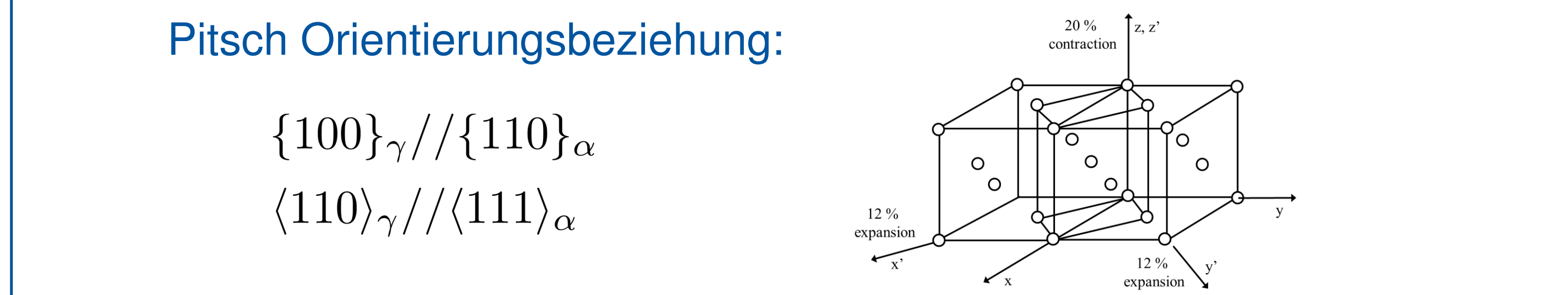
Dehnungsinduzierte Martensit Transformation:

$$\dot{\xi}_\eta^{strain} = c_{nuc} \left(1 - \sum_{\eta=1}^{N_{trans}} \xi_\eta\right) \dot{P}_\eta$$

$$\dot{P}_\eta = \frac{1}{\gamma_c^2} \frac{d}{dt} \left(\sum_{I,J=1}^{N_{slip}} \gamma_I^I \gamma_J^J \right)$$

Slip systems and fault-band systems of the FCC crystal structure.		
α	Slip systems $d_s \otimes n_s$	Fault-band systems $f_b \otimes n_b$
1	$011 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[21] \otimes (111)/\sqrt{18}$
2	$101 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[12] \otimes (111)/\sqrt{18}$
3	$110 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[112] \otimes (111)/\sqrt{18}$
4	$011 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[21] \otimes (111)/\sqrt{18}$
5	$101 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[12] \otimes (111)/\sqrt{18}$
6	$110 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[112] \otimes (111)/\sqrt{18}$
7	$011 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[21] \otimes (111)/\sqrt{18}$
8	$101 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[12] \otimes (111)/\sqrt{18}$
9	$110 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[112] \otimes (111)/\sqrt{18}$
10	$011 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[21] \otimes (111)/\sqrt{18}$
11	$101 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[12] \otimes (111)/\sqrt{18}$
12	$110 \otimes (111)/\sqrt{6}$	$[112] \otimes (111)/\sqrt{18}$

FCC transformiert in BCC durch:
3 Bain Verzerrungen x 4 mögliche Rotationen = 12 Transformationssysteme



Veränderungen der mittleren freien Weglänge:

$$\Lambda_{slip} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\lambda_{slip}} + \frac{1}{\lambda_{sliptwin}} + \frac{1}{\lambda_{sliptrans}}$$

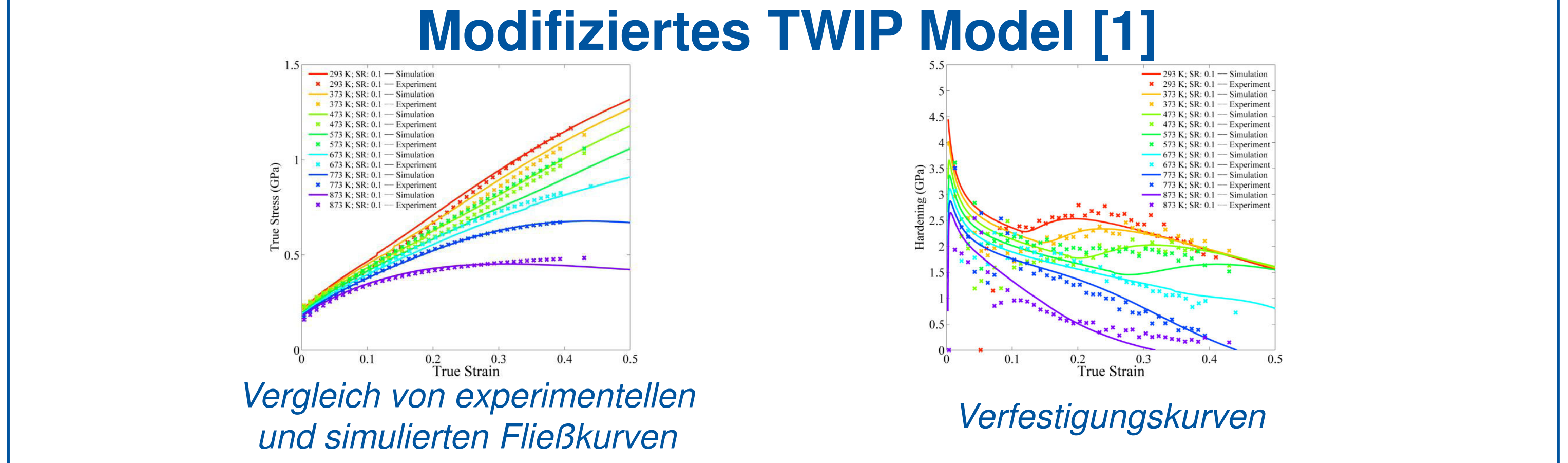
$$\lambda_{sliptrans} = \frac{f_{trans}^\eta}{l_{trans} \left(1 - \sum_{\eta=1}^{N_{trans}} f_{trans}^\eta\right)}$$

Ergebnisse 2. Phase

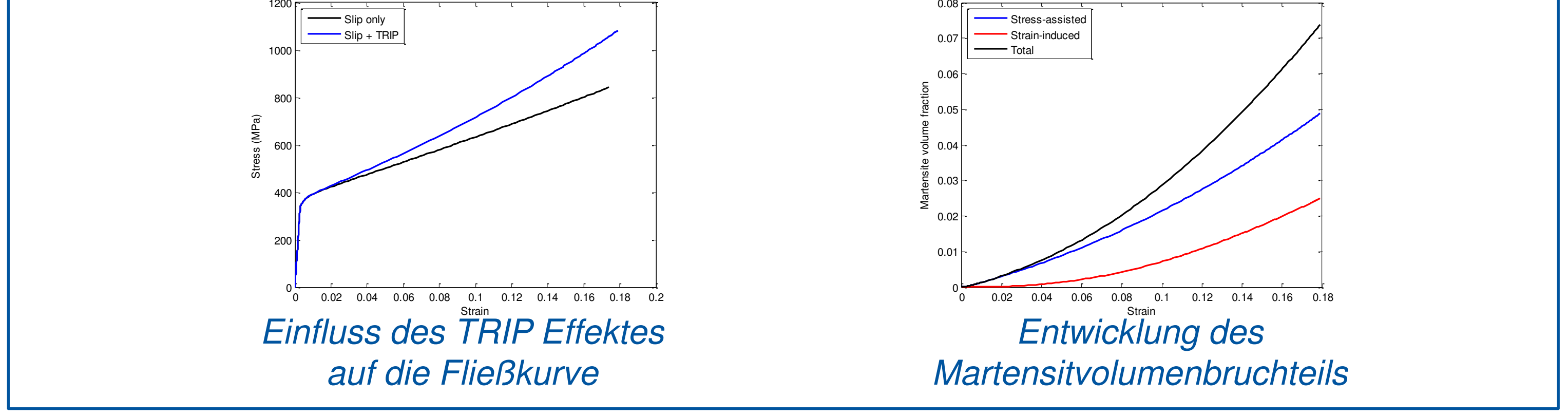
Methoden

- Erweiterung des plastischen Geschwindigkeitsgradienten um Beiträge aus TWIP und TRIP Effekt:
-
- $$F = F_e F_p$$
- $$S = \frac{C}{2} (F_e^T F_e - I)$$
- $$F_e = F F_p^{-1}$$
- $$L_p = f(S)$$
- $$\dot{F}_p = L_p F_p$$
- Verbessertes TWIP Modell auf Basis von Mahajan und Chin [1]. Berechnung der Nukleationsrate:
- $$\dot{N} = \dot{N}_0 \exp \left[- \left(\frac{\tau_c}{\tau} \right)^r \right]$$

Ergebnisse



Modellierung des TRIP Effektes



Impact

- Entwicklung eines konstitutiven Gesetzes, das sowohl den TWIP als auch den TRIP Effekt berücksichtigt.
- Entwicklung eines Verständnisses der Wechselwirkung von TWIP und TRIP Effekt in hoch Mangan Stählen

Literatur:
[1] D. R. Steinmetz; T. Jäpel; B. Wietbrock; P. Eisenlohr; I. Gutierrez-Urrutia; A. Saeed-Akbari; T. Hickel; F. Roters; D. Raabe: Acta Materialia 61 (2013) 494 – 510