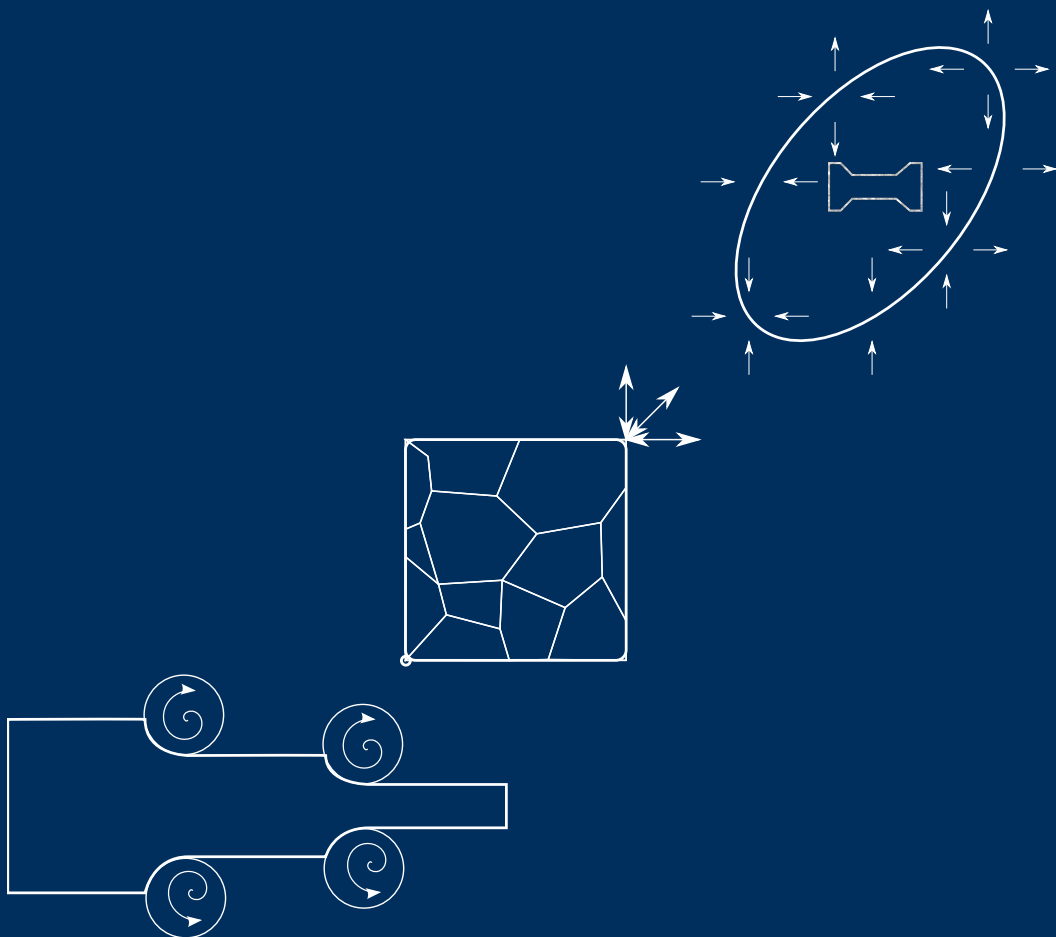




**MULTI-LEVEL MATERIAL MODELLING FOR THE STUDY OF PLASTIC  
ANISOTROPY OF DC04 STEEL UNDER CYCLIC LOADS**

**SHAHBAZ AHMED**

**DISSERTATION · FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN**



## Abstract

**Keywords:** Crystal plasticity, anisotropic effective model, Barlat Yld04-18p, transient hardening, Bauschinger effects

In the forming process of steel, large plastic deformation evolves as a complex mechanism. The virtual simulations with polycrystal material modeling provide detailed insight into the material characteristics. However, sheet-bulk metal forming become a complicated process that needs comprehensive information on strain history and complex loading states before and during service life. In general, the transient hardening, Bauschinger effects, and induced anisotropic plastic character make this process even more challenging under non-monotonic loadings. In order to quickly simulate the elastoplastic process under these circumstances without compromising accuracy, one needs to consider the sophisticated elastoplastic material models at coarser length scales motivated by microscopic length scale material modeling.

Plastic deformation is a microscopic length scale phenomenon that involves the dislocation activities within the grains of a polycrystal. Therefore, a physically motivated crystal plasticity model is developed to consider the plastic transformation based on the mobility of mean dislocation densities on multiple active slip planes. Following the resistance due to non-parallel (forest) and parallel (piled-up) dislocations, the evolution of persistent plastic state is also dealt with in implicit and explicit manners, respectively. To validate the influence of back stresses resulting from the incompatibility of plastic deformation within polycrystals, three statistically informed representative volume elements of DC04 material with different strain histories are deformed under cyclic loadings.

Due to the higher geometrical resolution, it becomes difficult to solve the prescribed complex plastic transformation process for the entire domain in larger geometries. It further leads to the development of an effective material model based on the insights of the microscopic approach. Plastic transformation is driven by a total dislocation density equivalent state variable in an effective material modeling approach. Its evolution describes the non-linear isotropic hardening mechanism. Additionally, the Bauschinger effect can also be calculated with the Armstrong-Fredric kinematic hardening law. However, the absence of the microstructural feature, i.e., texture at this length scale, makes it challenging to include structural anisotropy in the effective material modeling. Advanced anisotropic yield models such as Barlat Yld2004-18p can tackle this problem. However, a further challenging experimental setup is required to predict the 18 parameters of these yield functions. A simulation strategy is proposed in the current work, which utilizes the homogenized stress tensors calculated by microscopic polycrystal material simulations to predict the anisotropic state of DC04 material. Two transformation tensors are optimized to reproduce an accurate representation of the distorted material symmetry. In the end, the effective material simulations are validated, which use the anisotropic yield functions along with the transformed tensors.

## Zusammenfassung

**Schlagwörter:** Crystal plasticity, anisotropic effective model, Barlat Yld04-18p, transient hardening, Bauschinger effects

Bei der Umformung von Stahl kommt es zu großen plastischen Verformungen, die einen komplexen Mechanismus darstellen. Virtuelle Simulationen mit polykristallinen Materialmodellen geben einen detaillierten Einblick in die Materialeigenschaften. Die Blechmassivumformung ist jedoch ein komplizierter Prozess, der umfassende Informationen über die Verformungshistorie und komplexe Belastungszustände vor und während der Lebensdauer erfordert. Im Allgemeinen machen die transiente Verfestigung, Bauschinger-Effekte und der induzierte anisotrope plastische Charakter diesen Prozess unter nicht-monotonen Belastungen zu einer noch größeren Herausforderung. Um den elastoplastischen Prozess unter diesen Umständen schnell zu simulieren, ohne die Genauigkeit zu beeinträchtigen, muss man die hochentwickelten elastoplastischen Materialmodelle auf größeren Längenskalen berücksichtigen, die durch die mikroskopische Längenskalen-Materialmodellierung motiviert sind.

Plastische Verformung ist ein Phänomen auf mikroskopischer Längenskala, das die Versetzungsaktivitäten innerhalb der Körner eines Polykristalls betrifft. Daher wird ein physikalisch motiviertes Kristallplastizitätsmodell entwickelt, um die plastische Umwandlung auf der Grundlage der Mobilität der mittleren Versetzungsdichten auf mehreren aktiven Gleitebenen zu berücksichtigen. In Anlehnung an den Widerstand durch nicht-parallele (Wald) und parallele (aufgetürmte) Versetzungen wird auch die Entwicklung des dauerhaften plastischen Zustands auf implizite bzw. explizite Weise behandelt. Um den Einfluss von Rückspannungen, die aus der Unverträglichkeit plastischer Verformung innerhalb von Polykristallen resultieren, zu validieren, werden drei statistisch informierte repräsentative Volumenelemente des DC04-Materials mit unterschiedlichen Dehnungsverläufen unter zyklischer Belastung verformt.

Aufgrund der höheren geometrischen Auflösung wird es bei größeren Geometrien schwierig, den vorgeschriebenen komplexen plastischen Umwandlungsprozess für den gesamten Bereich zu lösen. Dies führt zu der Entwicklung eines effektiven Materialmodells, das auf den Erkenntnissen des mikroskopischen Ansatzes basiert. Die plastische Umwandlung wird durch eine äquivalente Zustandsvariable der Gesamtversetzungsdichte in einem effektiven Materialmodellierungsansatz gesteuert. Ihre Entwicklung beschreibt den nichtlinearen isotropen Verfestigungsmechanismus. Zusätzlich kann der Bauschinger-Effekt auch mit dem kinematischen Verfestigungsgesetz von Armstrong-Fredric berechnet werden. Das Fehlen der mikrostrukturellen Merkmale, d. h. der Textur auf dieser Längenskala, macht es jedoch schwierig, strukturelle Anisotropie in die effektive Materialmodellierung einzubeziehen. Fortgeschrittene anisotrope Fließmodelle wie das Barlat Yld2004-18p können dieses Problem angehen. Allerdings ist ein weiterer anspruchsvoller Versuchsaufbau erforderlich, um die 18 Parameter dieser Fließfunktionen vorherzusagen. In der vorliegenden Arbeit wird eine Simulationsstrategie vorgeschlagen, die die durch mikroskopische Polykristall-Materialsimulationen berechneten homogenisierten Spannungstensoren nutzt, um den anisotropen Zustand des DC04-Materials vorherzusagen. Zwei Transformationstensoren werden optimiert, um

eine genaue Darstellung der verzerrten Materialsymmetrie zu reproduzieren. Am Ende werden die effektiven Materialsimulationen validiert, die die anisotropen Fließfunktionen zusammen mit den transformierten Tensoren verwenden.