

Diplomarbeit

FE-Simulation des elasto-plastischen Verhaltens heterogener Werkstoffe

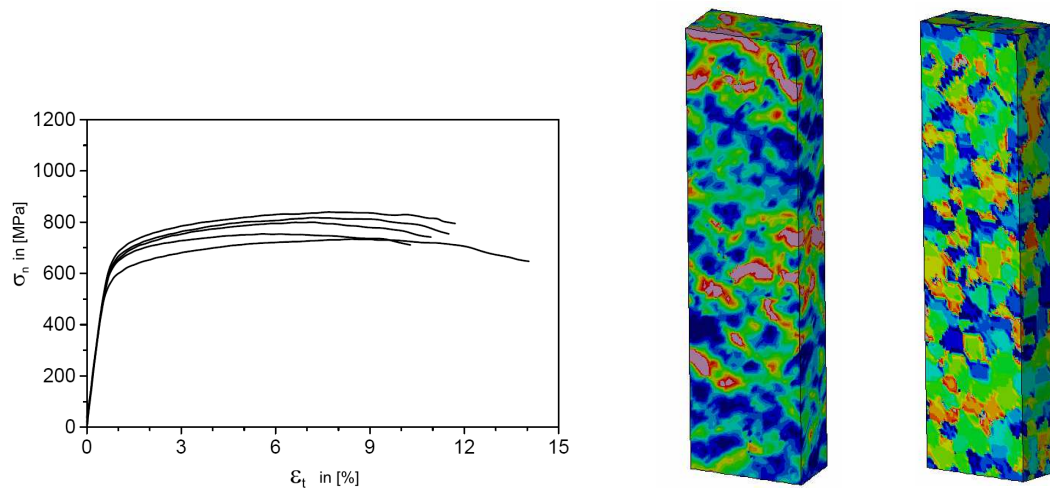


Abb.: Experimentelle Spannungs-Dehnungs-Kurven von Mikrozugproben (links); Inhomogenes Dehnungsfeld (mitte) als Ergebnis der FE-Simulation eines Mikrozugversuchs mit Voronoi-Mosaik als Korngefügemodell (rechts).

Problemstellung

Das Verformungsverhalten von Mikrobauteilen aus polykristallinem Werkstoff wird aufgrund der geringen Kornanzahl im Probenquerschnitt stark durch die Gefügestruktur des Materials beeinflusst. Vor allem die anisotrope Steifigkeit der Körner trägt zur Ausbildung eines inhomogenen Spannungs- und Dehnungsfeldes unter mechanischer Belastung bei. In Experimenten mit Mikrozugproben wird zudem eine signifikante Streuung der mechanischen Kennwerte, wie E -Modul und Fließspannung beobachtet. Ein Verständnis des Verformungsverhaltens mehrkristalliner Werkstoffe unter mechanischer Belastung ist für die Entwicklung und Dimensionierung von Mikrobauteilen unbedingt erforderlich. Die rechnerische Vorhersage der Verformungen mit der Finiten-Elemente-Methode bedarf dazu geeigneter Materialmodelle. Für die Simulation polykristalliner Werkstoffe soll zunächst ein Einkristall-Materialmodell diskutiert und numerisch in das FE-Programm ABAQUS implementiert werden.

Lösungsansatz

Das Einkristall-Modell basiert auf der geometrisch linearen Kontinuumstheorie und kann damit für kleine Deformationen verwendet werden. Ausgehend von einer kubischen Anisotropie des Einkristalls wird dessen Verformungsverhalten über ein elastisch-viskoplastisches Materialgesetz abgebildet. Dabei werden plastische

Deformationen nur durch Ableiten des kristallinen Materials in bestimmten Gleitsystemen ermöglicht. Die isotrope Verfestigung in den jeweiligen Gleitsystemen wird in Form einer Eigen- und einer Wechselverfestigung berücksichtigt. Die numerische Implementierung des Materialmodells erfolgt in ABAQUS über die Schnittstelle UMAT. Zur Integration der Zustandsvariablen wird das implizite Euler-Verfahren angewendet. Das Einkristallmodell wird zur Simulation des mechanischen Verhaltens polykristalliner Mikrozugproben verwendet, die durch ein periodisches Voronoi-Mosaik modelliert werden.

Ergebnisse

Nach der hinführenden Erarbeitung isotroper Materialmodelle wurde ein Algorithmus für ein Einkristall-Materialmodell entwickelt und erfolgreich in ABAQUS implementiert. Die Verifizierung und Validierung des Einkristall-Algorithmus erfolgte anhand von Simulationsbeispielen in ABAQUS und einer separaten Testumgebung. Dabei wurde grundsätzlich eine sehr gute Übereinstimmung mit einem bereits existierenden Einkristall-Modell für große Deformationen festgestellt.

Der Einsatz des Einkristall-Modells bei der Simulation polykristalliner Mikroproben bekräftigt dessen Leistungsfähigkeit. Wie in Experimenten beobachtet, so bestätigt die Simulation nicht nur die inhomogene Spannungs- und Dehnungsverteilung sondern auch deren Korrelation mit der Korngröße. Ansatzweise lässt sich auch die Streuung der mechanischen Kennwerte bei zufälliger Kornorientierungsverteilung rechnerisch nachweisen.

Literatur

- (1) Cuitino, A. M.; Ortiz, M.: Computational modelling of single crystals, *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*. **1**, 225–263, 1992
- (2) Wriggers, P.: *Nichtlineare Finite-Element-Methoden*. Springer, 2001

Betreuer

Dipl.-Ing. K. Jöchen
Prof. Dr.-Ing. Thomas Böhlke

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