

BERTRAM, A., KRASKA, M.

Beschreibung finiter plastischer Deformationen von Einkristallen mittels materieller Isomorphismen

Ein Materialmodell, welches finite inelastische Deformationen mittels materieller Isomorphismen beschreibt, wird für kubisch flächenzentrierte Einkristalle spezifiziert. Einige Ergebnisse der damit durchgeführten FE-Rechnungen werden vorgestellt.

1. Beschreibung des Materialmodelles

Das von BERTRAM [4], [5] auf der Grundlage von KRAWIETZ [3] entwickelte Materialmodell ist in den intrinsischen Variablen (s. [2]) formuliert: G ist die lokale Konfiguration, S der intrinsische Spannungstensor. Die betrachtete Stoffklasse wird durch zwei Annahmen beschrieben: 1.) Das Material hat elastische Bereiche (Index i), so daß in diesen ein elastischer Zusammenhang $S = h_i(G)$ gilt. 2.) Die elastischen Gesetze aller Bereiche sind gleich, d.h. es existiert zwischen je zwei Bereichen ein materieller Isomorphismus B so daß gilt:

$$h_i(B^*GB) = B^{-1}h_i(G)B^{*-1}$$

B heißt *inelastische Transformation* und ist im allgemeinen nicht symmetrisch. Ihre Entwicklung während inelastischer Prozesse (wenn die Fließbedingung erfüllt ist) wird durch eine Evolutionsgleichung gegeben.

Die Vorteile dieses Vorgehens sind:

- Das Prinzip der materiellen Objektivität ist aufgrund der intrinsischen Formulierung identisch erfüllt.
- Es ist keine (willkürlich) gewählte Bezugsplatzierung erforderlich.
- Es wird keine konstitutive Annahme zur Zerlegung der Deformation in elastisch und inelastisch benötigt.
- Keine künstliche Trennung von symmetrischer Fließregel und Gesetz für den *plastic spin*.
- Die Materialgesetze h_i in den elastischen Bereichen sind je nach Wahl elastisch oder hyperelastisch, linear oder nicht-linear.

2. Spezifizierung für kfz-Einkristalle

Das elastische Referenzgesetz berücksichtigt die kubische Anisotropie des elastischen Verhaltens und ist linear in S und G formuliert. Inelastische Deformationen finden gemäß der TAYLORSchen Gleitsystemtheorie als Scherungen in Gleitsystemen statt. Es werden die oktaedrischen Gleitsysteme berücksichtigt. Die Schergeschwindigkeit ist über ein eindimensionales Stoffgesetz von der SCHMID-Spannung im Gleitsystem abhängig. Wir verwenden eine Parallelschaltung von linear viskosem und Trockenreibungselement. Das Verfestigungsgesetz ist linear in den Gleitungen und unterscheidet Eigen- und Fremdverfestigung sowie auf Gleitsystemebene isotrope und kinematische Verfestigung. Je nach Wahl der Parameter im Gleitsystemstoffgesetz modellieren wir zusammen mit der Gitterelastizität einen elastischen Körper, einen MAXWELL-, einen PRANDTL- oder einen BINGHAM-Körper.

3. Ergebnisse

Das Stoffmodell wurde als Bestandteil eines Tetraeder-Elements mit homogener Verzerrung in ein FE-Programm implementiert. Von besonderem Interesse waren bei den durchgeführten Rechnungen die Drehungen des Kristallgitters. In den Bildern wird dessen Lage durch eine eingeblendete Gitterzelle visualisiert.

TAYLOR und ELAM [1] beobachteten beim Zugversuch mit Al-Einkristallen ein sogenanntes *overshooting*, welches durch größere Fremd- als Eigenverfestigung erklärt wird. Mit einer entsprechenden Wahl der Verfestigungsparameter konnte der Effekt unter sehr guter Übereinstimmung simuliert werden (Bild 1). Bei anisotropen asymmetrisch orientierten Zugproben treten Inhomogenitäten durch die feste Einspannung auf. Die Behinderung der Querschnittsneigung in den Einspannungen führt zu einer S-Krümmung des Stabes. Dieses Phänomen konnte bereits an einem grob elementierten Zugstab simuliert werden. Man beobachtet qualitativ verschiedenes Verhalten bei unterschiedlichen rheologischen Modellen auf Gleitsystemebene (Bild 2). Die Abhängigkeit von der Ausgangsorientierung ist stark ausgeprägt.

Interessant ist das Verhalten des Modells in der einfachen Scherung. Man beobachtet wieder eine starke Abhängigkeit des Verhaltens von der Ausgangsorientierung. Diese kann stabil oder instabil sein. Im instabilen Fall kann das Gitter in eine andauernde Drehung verfallen oder sich wieder in einer stabilen Lage fangen (Bild 4). Da die Schubspannungen abgesehen von der Verfestigung von der Lage der Gleitsysteme gegenüber der Scherebene abhängen, ergibt sich beispielsweise bei einer andauernden Drehung ein periodischer Schubspannungsverlauf (Bild 3).

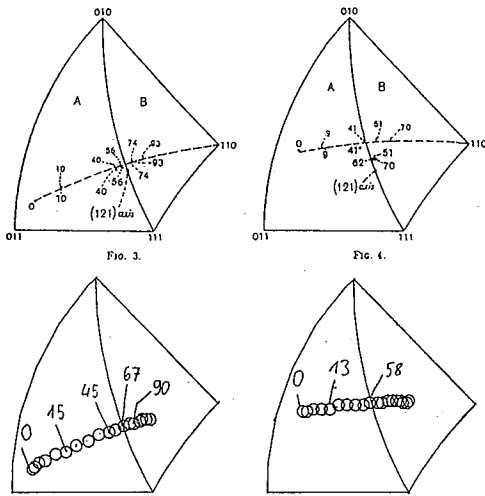


Bild 1. Zugrichtung in der inversen Polfigur nach [1] (oben) und Rechnung (unten)

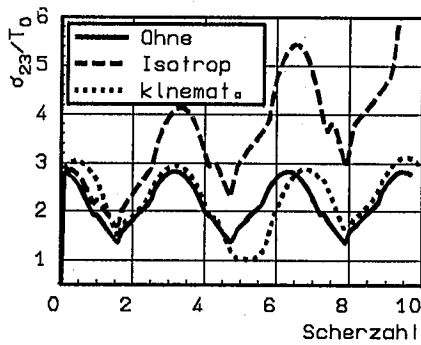


Bild 3. Schubspannungen bei andauernder Gitterdrehung (3. Zeile Nebenbild) für verschiedene Verfestigungen in der einfachen Scherung

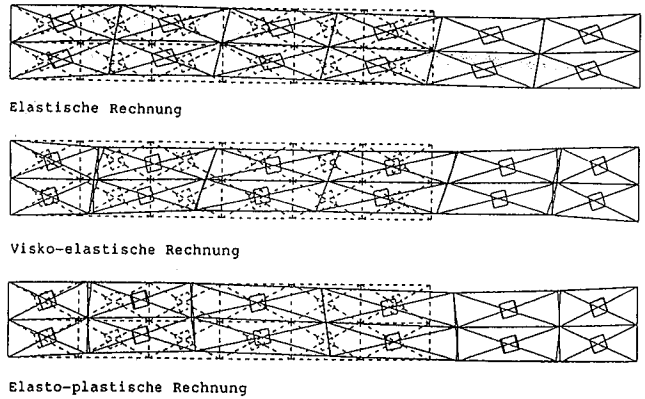


Bild 2. Anisotrope Effekte am eingespannten Zugstab

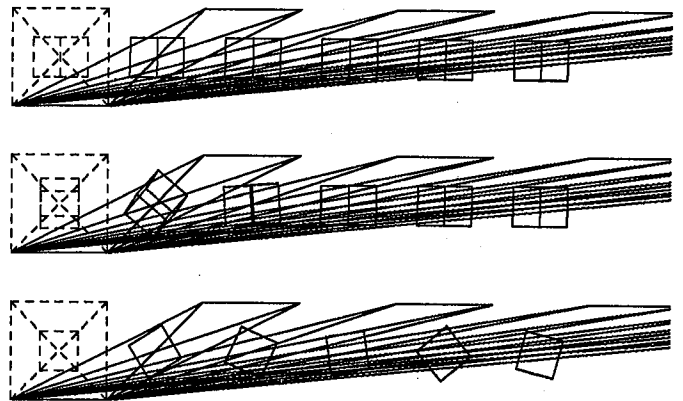


Bild 4. Gitterdrehung aus verschiedenen Anfangsorientierungen heraus in der einfachen Scherung

4. Literatur

- 1 TAYLOR, G. J.; ELAM, C. F.: The plastic extension and fracture of aluminium crystals. Proc. R. Soc., London, A 108 (1925), 28-51.
- 2 NOLL, W.: A new mathematical theory of simple materials. Arch. Rat. Mech. Anal. 48 (1972), 1-50.
- 3 KRAWIETZ, A.: Materialtheorie: Mathematische Beschreibung des phänomenologischen thermomechanischen Verhaltens. Berlin 1986.
- 4 BERTRAM, A.: Description of finite inelastic deformations. MECAMAT '92, Cachan, Frankreich (1992).
- 5 BERTRAM, A.: Beschreibung finiter inelastischer Deformationen mittels materieller Isomorphismen. Z. angew. Math. Mech. 74 (1994), T314-T316.

Anschriften:

BERTRAM, A., Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin
 KRASKA, M., Technische Universität Berlin, 1. Institut für Mechanik, Straße. des. 17. Juni, D-10623 Berlin