

Inhalt

Einleitung	5
1 Werkstoffkundliche Grundlagen	7
1.1 Grundlagen der Einkristallverformung	8
1.1.1 Elastisches Verhalten	8
1.1.2 Bezeichnung der Gleitsysteme	9
1.1.3 Das Schmidsche Schubspannungsgesetz	10
1.1.4 Einführung des Versetzungsbegriffs	12
1.1.5 Versetzungsbildung und -annihilation	14
1.1.6 Wechselwirkungen von Versetzungen	15
1.1.7 Zum Zusammenhang von Versetzungsbewegung und Abgleitung	18
1.2 Zugversuche an Einkristallen	21
1.2.1 Die drei Bereiche der Verfestigungskurve	21
1.2.2 Zur Erklärung von Bereich I	23
1.2.3 Gitterdrehung, Versetzungsdichteentwicklung	24
1.2.4 Zur Erklärung von Bereich II	27
1.2.5 Ergänzende Bemerkungen	28
1.3 Einkristallversuche mit Wechsel des Lastpfades	29
1.3.1 Experimentelle Ergebnisse zur latenten Verfestigung	29
1.3.2 Interpretation der unterschiedlich starken latenten Verfestigung auf den einzelnen Gleitsystemen	32
1.3.3 Zum Einfluß der kinematischen Rückspannung	36
1.3.4 Interpretation des Verlaufs der latenten Verfestigung in Abhängigkeit der Primärdehnung	38
1.4 Polykristallverformung	38
1.4.1 Zur Wechselwirkung verschieden orientierter Körner	39
1.4.2 Zum mikromechanischen Einfluß der Korngrenzen	41
1.4.3 Makroskopisches Verhalten	43

2 Polykristallmodelle – Literaturübersicht	44
2.1 Zum allgemeinen Vorgehen	45
2.1.1 Gefügemodellierung mit Finiten Elementen	45
2.1.2 Konstitutive Gleichungen, Einbettung	46
2.2 Vorstellung ausgewählter Modelle	48
2.2.1 Das Modell von Havlíček u.a.	50
2.2.2 Das Modell von Méric u.a.	50
2.2.3 Das Modell von Teodosiu u.a.	51
2.2.4 Die Modelle von Harren u.a., Becker u.a., Ohashi und Wei u.a.	52
2.2.5 Weitere Modelle	53
2.3 Diskussion und Kritik	54
2.3.1 Dimension, Verformungsbereich und Zeitverhalten	54
2.3.2 Berücksichtigung kurzreichender Versetzungsbehinderungen	55
2.3.3 Berücksichtigung weitreichender Spannungsfelder	59
3 Ein neues kristallplastisches Werkstoffmodell	63
3.1 Version für kleine Verformungen	63
3.1.1 Kinetische Gleichung	63
3.1.2 Isotrope Verfestigung	64
3.1.3 Kinematische Rückspannung	66
3.1.4 Zusammenstellung	70
3.1.5 Matrizenformulierung	72
3.2 Erweiterung für große Deformationen	76
3.2.1 Formulierung mit Berücksichtigung der Gittervektorverzerrungen	76
3.2.2 Formulierung unter Vernachlässigung der Gittervektorverzerrungen	83
3.2.3 Matrizenformulierung	84
3.3 Zur numerischen Umsetzung	86
3.3.1 Berechnungsrahmen des FE-Programms ABAQUS	87
3.3.2 Integration der Stoffgleichungen, Tangentenmodul	88
4 Ergebnisse von Simulationsrechnungen	91
4.1 Zugversuche an Einkristallen	91
4.1.1 FE-Modell, Parameter, Orientierungen	91
4.1.2 Analyse des Modellverhaltens bei „weicher“ und „harter“ Orientierung	94
4.1.3 Untersuchungen zum latenten Verfestigungsverhalten	102
4.1.4 Zum Einfluß der Modellparameter	104

4.2 Zugversuch an einem Polykristall	105
4.2.1 FE-Modell, Orientierungen	105
4.2.2 Der Übergang vom elastischen in den plastischen Bereich	108
4.2.2.1 Lokales Fließen bei makroskopisch elastischer Verformung . .	108
4.2.2.2 Das Zusammenwachsen der lokalen Fließzonen	113
4.2.2.3 Die aktiven Gleitsysteme – Auflistung und exemplarische Analysen	117
4.2.3 Der weitere Verlauf des Zugversuchs	121
4.2.3.1 Darstellung charakteristischer Ergebnisse	122
4.2.3.2 Analyse der Zusammenhänge	126
4.2.4 Zum Einfluß von Gitterdrehungen	131
4.2.5 Untersuchung „echt“ dreidimensionaler Gefügeausschnitte	135
4.3 Modellüberprüfung durch Vergleich mit einem Experiment	137
5 Zusammenfassung und Ausblick	142
Anhang	146
A Zu den werkstoffkundlichen Grundlagen	147
A.1 Die Komponenten des Elastizitätstensors \mathbf{E}	147
A.2 Zur Bestimmung des Burgersvektors	148
A.3 Verwendete stereographische Projektionen	149
B Herleitungen	151
B.1 Verträglichkeitsbedingungen für die kinematische Rückspannung	151
B.2 Entwicklungsgleichungen für die Eulerwinkel	153
B.3 Tangentenmodul	154
C Gleitsystemnotationen	158
D Matrizen	161
D.1 Transformationsmatrizen	161
D.2 Modellmatrizen	163
E Wichtige Formelzeichen	165
Literaturverzeichnis	170