

# Inhalt

<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>1 Werkstoffkundliche Grundlagen</b>	<b>7</b>
1.1 Grundlagen der Einkristallverformung . . . . .	8
1.1.1 Elastisches Verhalten . . . . .	8
1.1.2 Bezeichnung der Gleitsysteme . . . . .	9
1.1.3 Das Schmid'sche 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

<b>2</b>	<b>Polykristallmodelle – Literaturübersicht</b>	<b>44</b>
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
<b>3</b>	<b>Ein neues kristallplastisches Werkstoffmodell</b>	<b>63</b>
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
<b>4</b>	<b>Ergebnisse von Simulationsrechnungen</b>	<b>91</b>
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 Gefügausschnitte . . . . .	135
4.3	Modellüberprüfung durch Vergleich mit einem Experiment . . . . .	137
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>142</b>
	<b>Anhang</b>	<b>146</b>
<b>A</b>	<b>Zu den werkstoffkundlichen Grundlagen</b>	<b>147</b>
A.1	Die Komponenten des Elastizitätstensors <b>E</b> . . . . .	147
A.2	Zur Bestimmung des Burgersvektors . . . . .	148
A.3	Verwendete stereographische Projektionen . . . . .	149
<b>B</b>	<b>Herleitungen</b>	<b>151</b>
B.1	Verträglichkeitsbedingungen für die kinematische Rückspannung . . . . .	151
B.2	Entwicklungsgleichungen für die Eulerwinkel . . . . .	153
B.3	Tangentenmodul . . . . .	154
<b>C</b>	<b>Gleitsystemnotationen</b>	<b>158</b>
<b>D</b>	<b>Matrizen</b>	<b>161</b>
D.1	Transformationsmatrizen . . . . .	161
D.2	Modellmatrizen . . . . .	163
<b>E</b>	<b>Wichtige Formelzeichen</b>	<b>165</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>170</b>