

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Werkstoffkundliche Grundlagen	5
2.1 Grundlagen der Einkristallverformung	6
2.1.1 Elastisches Verhalten	7
2.1.2 Plastisches Verhalten aufgrund von Abgleitungsvorgängen	9
2.1.3 SCHMIDSche Schubspannungen	11
2.1.4 Versetzungen	12
2.1.5 Versetzungsmultiplikation und -annihilation	15
2.1.6 Verfestigung	17
2.1.7 Stapelfehlerenergie	22
2.2 Legierungen	24
2.2.1 Einfluß von Fremdatomen	25
2.2.2 Nahordnung	26
2.2.3 Inhomogene Gleitung	28
3 Grundlagen der Kontinuumsmechanik	31
3.1 Verformungskinematik	31
3.1.1 Bewegung der Materie	31
3.1.2 Ortsbeschreibungen tensorieller Größen	32
3.1.3 Verformung der Materie	33
3.2 Mitrotierende Zeitableitung	37
3.3 Bilanzgleichungen	38
3.3.1 Massenbilanz	39
3.3.2 Impulsbilanz	40
3.3.3 Drehimpulsbilanz	40
3.3.4 Energiebilanz	42
4 Werkstoffmodell für nahgeordnete CuAl-Legierungen	43
4.1 Nicht-lokale Beschreibung	43
4.2 Das HARDER-Modell für kleine Deformationen	49
4.3 Erweiterung des HARDER-Modells	55

Inhaltsverzeichnis

5 Numerik	61
5.1 Vorbereitung der partiellen Differentialgleichungen	61
5.1.1 Impulsbilanz und die Umwandlung in die schwache Form . .	61
5.1.2 Bilanz der Versetzungsdichte	63
5.1.3 Zum Randterm der Versetzungsdichte	64
5.2 Raumdiskretisierung beim isoparametrischen Konzept	66
5.2.1 Anwendung auf die schwache Form des Impulssatzes	68
5.2.2 Anwendung auf die Bilanz der Versetzungsdichte	69
5.3 Berechnungsrahmen des FE-Programms	71
5.3.1 Globale Zeitdiskretisierung	71
5.3.2 Linearisierung des neuen Werkstoffmodells	75
5.3.3 Verschiebungsrandbedingungen	79
5.3.4 Integration der Volumenintegrale	80
5.3.5 Randeinfluß der Versetzungsdichte	81
5.3.6 Zeitintegration der Evolutionsgleichungen	82
5.3.7 Schnittstelle zwischen FE-Programm und der Element-Routine	82
6 Numerische Untersuchung des Modellverhaltens	87
6.1 Vereinfachung des Werkstoffmodells	87
6.2 Numerische Umsetzung	89
6.3 Verifikationsrechnungen	92
6.3.1 Lokales Verhalten	92
6.3.2 Vorwärts-Differenzen-Annäherung	95
6.3.3 Verifikation des FE-Programms	96
6.4 Ergebnisse bei abfallender Reibspannung – ohne Gradienten .	99
6.5 Ergebnisse bei abfallender Reibspannung – mit Gradienten .	101
7 Ergebnisse der 3D-Rechnung	107
7.1 Das FE-Modell	107
7.2 Transport der Versetzungen	108
7.2.1 Gerichtete Versetzungsbewegung	108
7.2.2 Einfluß des Randterms	111
7.2.3 Versetzungsbewegung bei zusätzlichem Quergleiten	114
7.3 Berücksichtigung der Impulsbilanz	117
8 Zusammenfassung und Ausblick	125
Anhang	129
A Zum Tangentenmodul	131

B Verwendete Matrizen	135
B.1 Matrizen zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens	135
B.1.1 Elastizitätstensor	135
B.1.2 Transformation zwischen lokalen und globalen Koordinaten .	135
B.1.3 Gleitsystemnotation	137
B.1.4 Verfestigungs-Matrix	140
B.1.5 Zuordnung der Waldversetzungen	140
B.2 Matrizen zur Formulierung der Elementeigenschaften	141
C Vereinfachte Spannungszustände	147
D Umformungen	149
Literaturverzeichnis	151