

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Symbole	VIII
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	4
3 Grundlagen	7
3.1 Beschreibung von Bruch in Werkstoffen	7
3.1.1 Spröder Bruch	7
3.1.1.1 Kontinuumsmechanische Beschreibung des Bruchs	7
3.1.1.2 Atomistik des Bruchs	9
3.1.2 Konzepte der linear-elastischen Bruchmechanik	13
3.1.2.1 Spannungsfeld um Rißspitzen und das Konzept des Spannungsintensitätsfaktors	13
3.1.2.2 Konzept der Energiefreisetzung	15
3.1.2.3 Zusammenhang zwischen Spannungsintensität und Energie- freisetzung	18
3.1.2.4 LEBM mit Kleinbereichsfließen	19
3.1.2.5 Fließbruchmechanik: das J-Integral-Konzept	20
3.2 Verformung in kubisch-raumzentrierten Metallen	23
3.2.1 Gleit- und Zwillingsystem in krz-Metallen	24
3.2.2 Aufspaltung im Kern der Schraubenversetzungen	25
3.2.3 Temperaturabhängigkeit der Fließspannung	27
3.2.4 Anisotropie des Verformungsverhaltens	28
3.3 Literaturübersicht	30
3.3.1 Arbeiten zu Verformung und Bruch in Wolfram-Einkristallen	30
3.3.2 Arbeiten zum Spröd-duktil-Übergang	33
4 Probenmaterial und -geometrie	42
4.1 Charakterisierung des Probenmaterials	42
4.1.1 Wolfram-Einkristalle	42
4.1.2 Vielkristallines Wolfram-Material	43
4.2 Präparation von Wolfram-Einkristallen	44
4.3 Untersuchung der Mikrostruktur von Wolfram-Einkristallen	46
4.3.1 Elektronenstrahlbeugung	46
4.3.2 Transmissionselektronenmikroskopische (TEM) Untersuchung	48
4.4 Röntgenographische Orientierung der Wolfram-Einkristalle	50
4.5 Bruchmechanikproben	53
4.5.1 Geometrie	53
4.5.2 Herstellung	54
4.5.3 Complianceberechnung mit der Finite-Elemente-Methode (FEM)	55

5	Arbeitsmethoden	58
5.1	Anrißerzeugung	58
5.1.1	<i>Druckermüdung</i>	59
5.1.2	<i>Verbundbiegetechnik</i>	60
5.2	Messung der Bruchzähigkeit	64
5.2.1	<i>Versuchsaufbauten</i>	64
5.2.1.1	Biegevorrichtung	64
5.2.1.2	Prüfmaschine	66
5.2.2	<i>Stabilitätsverhalten der Prüfvorrichtungen</i>	67
5.2.3	<i>Compliance-Methode zur Rißlängenbestimmung</i>	70
5.3	Fraktographie	71
5.3.1	<i>Stereographische Auswertung von REM-Aufnahmen</i>	71
5.3.2	<i>Orientierungsbestimmung an Bruchflächenfacetten durch Laue-Rückstreu-Aufnahmen</i>	74
5.3.3	<i>Topographiebestimmung mit dem konfokalen Laser-Scan-Mikroskop</i>	74
6	Ergebnisse und Diskussion	76
6.1	Orientierungsabhängigkeit des Rißwiderstands in W-Einkristallen	76
6.1.1	<i>Vorversuche an Wolfram-Einkristallen mit Compact-Proben</i>	77
6.1.1.1	Versuchsdurchführung	77
6.1.1.2	Charakterisierung des Bruchverhaltens	78
6.1.2	<i>Versuche mit Biege-Proben</i>	85
6.1.3	<i>Risse auf der (100)-Spaltebene</i>	86
6.1.3.1	Bruchzähigkeitsmessungen	86
6.1.3.2	Einfluß der Kerbgrundgeometrie	88
6.1.3.3	Bruchflächencharakterisierung	89
6.1.3.4	Versetzungsätzung	97
6.1.4	<i>Risse auf der (110)-Spaltebene</i>	102
6.1.4.1	Bruchzähigkeitsmessungen	102
6.1.4.2	Bruchflächencharakterisierung	103
6.1.5	<i>Risse auf der (211)-Ebene</i>	114
6.1.5.1	Bruchzähigkeitsmessungen	114
6.1.5.2	Bruchflächencharakterisierung	116
6.1.6	<i>Risse auf der (111)-Ebene</i>	126
6.1.6.1	Bruchzähigkeitsmessungen	126
6.1.6.2	Bruchflächencharakterisierung	126
6.1.7	<i>Diskussion und Interpretation</i>	130
6.2	Spröd-duktil-Übergang in Wolfram-Einkristallen	140
6.2.1	<i>Versuchsdurchführung</i>	140
6.2.2	<i>Meßergebnisse</i>	140
6.2.2.1	Orientierungsabhängigkeit	142
6.2.2.2	Einfluß der Vorverformung	144
6.2.2.3	Lastratenabhängigkeit	145
6.2.2.4	Abhängigkeit vom Kerbgrundradius	148
6.2.3	<i>Modellierung des Spröd-duktil-Übergangs</i>	149
6.2.4	<i>Diskussion und Interpretation</i>	151
6.3	Bruchverhalten in vielkristallinem Wolfram-Material	161
6.3.1	<i>Versuchsvorbereitung und -durchführung</i>	161

6.3.2 Bruchzähigkeitsmessungen: Längsproben	162
6.3.2.1 Messungen im Stickstoffbad	162
6.3.2.2 Messungen bei Raumtemperatur	163
6.3.3 Bruchzähigkeitsmessungen: Querproben	164
6.3.3.1 Messungen im Stickstoffbad	164
6.3.3.2 Messungen bei Raumtemperatur	165
6.3.4 Bruchflächencharakterisierung: Längsproben	166
6.3.4.1 Morphologie der Anrißbruchfläche	166
6.3.4.2 Bruchflächenmorphologie nach Bruch bei 77K	166
6.3.4.3 Bruchflächenmorphologie nach Bruch bei Raumtemperatur	168
6.3.5 Bruchflächencharakterisierung: Querproben	171
6.3.5.1 Morphologie der Anrißbruchfläche	171
6.3.5.2 Bruchflächenmorphologie nach Bruch bei 77K	171
6.3.5.3 Bruchflächenmorphologie nach Bruch bei Raumtemperatur	171
6.3.6 Diskussion und Interpretation	174
6.4 Schlußbemerkungen	179
7 Anhang	181
7.1 Methoden bei Bruchexperimenten mit RCT-Proben	181
7.1.1 Probenherstellung und Complianceberechnung	181
7.1.2 Anrißerzeugung	183
7.1.2.1 Verbundbiegetechnik	183
7.1.2.2 Überlagerung von Druckspannungen	184
7.1.2.3 Überlagerung von Temperaturgradienten	188
7.1.3 Versuchsaufbau	188
7.1.4 Compliancemethode zur Rißlängenbestimmung	189
7.2 Linear-elastisches Rißspitzenfeld nach Irwin	192
7.3 Gleitsysteme vor den Rißsystemen	194
7.3.1 Rißsystem (100)[001]	197
7.3.2 Rißsystem (100)[011]	198
7.3.3 Rißsystem (011)[100]	199
7.3.4 Rißsystem (011)[0$\bar{1}1$]	200
7.3.5 Rißsystem (211)[0$\bar{1}1$]	201
7.3.6 Rißsystem (211)[$\bar{1}11$]	202
7.3.7 Rißsystem (111)[0$\bar{1}1$]	203
7.4 Listen der Einzelmessungen zur Orientierungsabhängigkeit	204
7.4.1 {100}-Rißsysteme	204
7.4.2 {110}-Rißsysteme	206
7.4.3 {211}-Rißsysteme	207
7.4.4 {111}-Rißsysteme	209
8 Quellennachweis	210