

Martin Janousek, Erlangen

**Mikrostruktur und
Verformungsverhalten
pulvermetallurgischer
Chrombasislegierungen
zwischen Raumtemperatur
und 1100 °C in
Abhängigkeit von der
Herstellungstechnologie**

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe

Nr. **476**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Die metallische bipolare Platte	3
2.1	Anforderungsprofil und Legierungsentwicklung	3
2.2	Binäre Legierungssysteme	5
2.2.1	Chrom-Eisen	5
2.2.2	Chrom-Titan	6
2.3	Herstellungsverfahren	7
2.3.1	Konventionelle Herstellungsmethode	8
2.3.2	Neue Technologien	10
2.3.2.1	Herstellungsrouten des heißisostatischen Pressens	10
2.3.2.2	Elektrochemischer Materialabtrag	13
2.3.2.3	Laser- und Wasserstrahlschneiden	15
3	Verformungsverhalten kubisch-raumzentrierter Metalle	19
3.1	Raum- und Übergangstemperaturverhalten	19
3.1.1	Tieftemperaturverfestigung	19
3.1.2	Spröd-Duktil Übergangverhalten	22
3.2	Hochtemperaturverformung	23
3.2.1	Kriechverhalten einphasiger Legierungen	24
3.2.2	Kriechverhalten teilchenhaltiger Legierungen	25
3.2.3	Chrom und Chromlegierungen	29
4	Experimentelle Methoden	31
4.1	Mikrostrukturelle Untersuchungen	31
4.2	Verformungsversuche	33
4.2.1	Weggesteuerte Verformungsversuche	33
4.2.1.1	Monotone Druckversuche	34
4.2.1.2	Monotone Zugversuche	35

4.2.1.3	Korrektur der Verformungs- geschwindigkeit	36
4.2.1.4	Spannungsrelaxationsversuche	37
4.2.1.5	Biegeversuche	38
4.2.1.5.1	Ermittlung des kritischen Spannungsintensitätsfaktors K_{Ic}	38
4.2.1.5.2	Ermittlung der Biegefestigkeit	44
4.2.2	Vakuumzeitstandversuche	46
4.2.2.1	Versuchsdurchführung	46
4.2.2.2	Spannungskorrektur	46
5	Mikrostrukturelle Ergebnisse	48
5.1	Die Matrixreferenzlegierung	48
5.2	Die teilchenhaltige elementar gemischte Variante	50
5.3	Die mechanisch legierten Varianten	52
5.3.1	Die Standardlegierung	52
5.3.2	Die titanhaltigen Legierungsmodifikationen	59
5.3.3	Die heißisostatisch gepreßte Legierungsvariante	62
5.4	Diskussion des Korngefüges	67
6	Das Verformungsverhalten bei Raumtemperatur	69
6.1	Streckgrenzenermittlung	69
6.2	Kritischer Spannungsintensitätsfaktor K_{Ic}	73
6.3	Biegefestigkeit	79
7	Das Verformungsverhalten im Übergangstemperaturbereich	82
7.1	CERT-Zugversuche	82
7.2	Kritischer Spannungsintensitätsfaktor $K_{Ic}(T)$	85
7.3	Diskussion des Übergangsverhaltens	86
8	Das Hochtemperatur-Verformungsverhalten	90
8.1	Verformungsversuche	90
8.1.1	Der Matrixreferenzwerkstoff	90
8.1.2	Einfluß des Pulverhomogenisierungsverfahrens	93
8.1.3	Die titanhaltigen Legierungsmodifikationen	96

8.1.4	Einfluß der Herstellungsrouten	98
8.2	Diskussion des Hochtemperatur-Verformungswiderstandes	104
8.2.1	Legierungen der konventionellen Herstellungstechnologie	104
8.2.2	Die heißisostatisch gepreßte Legierungsvariante	111
8.3	Quantitative Beschreibung des Hochtemperatur-Verformungswiderstandes einer Modellegierung	114
8.4	Zeitstandverhalten	122
8.5	Spannungsrelaxationsversuche	126
9	Zusammenfassung	130
10	Anhang	133
10.1	Physikalische und mechanische Eigenschaften	133
10.2	Planares SOFC-Konzept von Siemens	134
10.3	SOFC-Brenngasatmosphären	135
10.4	Korrosionsverhalten	135
10.5	Dilatometerkurven	136
10.6	Herstellungsrouten	137
10.7	Charakterisierung der Legierungspulver	138
10.7.1	Pulvergrößen	138
10.7.2	Pulververunreinigungen	140
10.8	Innere Spannungen	141
10.9	Laserschneiden der Standardlegierung	142
10.10	Fremdatomkonzentration	143
10.10.1	Stickstoffkonzentration	143
10.10.2	Sauerstoffkonzentration	143
10.11	Versuchsaufbau des monotonen Zugversuches	144
10.12	Chemische Zusammensetzung des Halbzeuges	146
10.13	Polfiguren	148
10.13.1	Matrixlegierung Cr-5Fe	148
10.13.2	Standardlegierung Cr-5Fe-1Y ₂ O ₃	150
10.13.3	Die heißisostatisch gepreßte Legierungsvariante	152
10.14	Dispersoidcharakterisierung	154
10.14.1	Standardlegierung	154

10.14.2	Die titanhaltige Legierungsmodifikation	155
10.15	Schmidfaktor im kubisch raumzentrierten Gitter	156
10.16	Mikrostruktur verformter Proben	157
10.17	Meßwerte der Verformungsversuche	157
10.17.1	Matrixlegierung Cr-5Fe	157
10.17.2	Matrixlegierung Cr-5Fe R	158
10.17.3	Die elementar gemischte Variante	158
10.17.4	Die Standardlegierung Cr-5Fe-1Y ₂ O ₃ MA	159
10.17.5	Die Legierung Cr-5Fe-1Y ₂ O ₃ MAR	162
10.17.6	Die Legierung Cr-5Fe-1Y ₂ O ₃ MA (88%)	163
10.17.7	Die Legierung Cr-5Fe-1Y ₂ O ₃ -0,3Ti MA	163
10.17.8	Die Legierung Cr-5Fe-0,5Y ₂ O ₃ -0,3Ti MA	164
10.17.9	Die Legierung Cr-5Fe-1Y ₂ O ₃ MAH	165
10.17.10	Die Legierung Cr-5Fe-1Y ₂ O ₃ MAHR	165
10.17.11	Raumtemperatur-Streckgrenzen und K _{IC} -Werte	166
10.17.12	Zeitstandverhalten	166
Literatur		167