

FREIBERGER FORSCHUNGSSHEFTE
Herausgegeben vom Rektor der TU Bergakademie Freiberg

B 396 Werkstoffwissenschaft

**Beitrag zum Verständnis der
Temperaturverteilung im FAST-Prozess von
CrMnNi-TRIP/Mg-PSZ-Gradientenwerkstoffen**

Markus Radajewski

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Kenntnisstand	4
2.1 Sintern	4
2.1.1 Grundlagen des Sinterprozesses	4
2.1.2 Mechanismen beim feld-/ stromunterstützten Sintern	6
2.1.3 Field-Assisted Sintering Technology (FAST)	9
2.1.3.1 Heizrate	12
2.1.3.2 Stempeldruck	13
2.1.3.3 Effekte des elektrischen Stroms und des Strompulsens	14
2.1.3.4 Temperaturverteilung	16
2.2 Untersuchungswerkstoffe	22
2.2.1 Metastabiler austenitischer Stahl	22
2.2.2 Zirkoniumdioxid und dessen Stabilisierung	26
2.2.3 Verbundwerkstoffe	30
2.2.4 Gradientenwerkstoffe	35
2.3 Elektrische Temperaturmessung	40
2.3.1 Berührungslose Temperaturmessung mittels Pyrometer	40
2.3.2 Berührende Temperaturmessung mittels Thermoelement	41
2.4 Zielstellung der Arbeit	45
3 Experimentelle Untersuchungsmethoden und Modellierung	48
3.1 Probenherstellung	50
3.1.1 Ausgangsmaterial	50
3.1.2 Zusammensetzung der Gradientenwerkstoffe	52
3.2 Sintern und Temperaturmessung	53
3.2.1 Kompaktierung der Gradientenwerkstoffe	53
3.2.2 Temperaturmessung	55
3.2.2.1 Vorversuche an Graphit-Sinterwerkzeugen	56
3.2.2.2 Temperaturmessung am FGM und der Referenzprobe	60
3.3 Charakterisierung der Gradientenwerkstoffe	62
3.3.1 Probenentnahme	62
3.3.2 Präparation der FGM-Proben	63

3.3.3	Mikrostrukturelle Untersuchung	64
3.3.4	Härtemessung	65
3.4	Bestimmung der thermo-elektrischen Eigenschaften und der Dichte	66
3.4.1	Probenherstellung	66
3.4.2	Elektrische Leitfähigkeit/ spezifischer elektrischer Widerstand	67
3.4.3	Wärmeleitfähigkeit	68
3.4.3.1	Thermischer Ausdehnungskoeffizient	68
3.4.3.2	Temperaturleitfähigkeit	69
3.4.3.3	Spezifische Wärmekapazität	69
3.4.3.4	Dichte	70
3.4.3.5	Berechnung der Wärmeleitfähigkeit	70
3.4.4	Wärmeleitfähigkeit und spezifischer elektrischer Widerstand der Zwischenschichten des Gradientenwerkstoffes	71
3.5	Modellierung	72
4	Ergebnisse und Diskussion	78
4.1	FEM-Simulation zur Temperaturverteilung	78
4.1.1	Simulation der Referenzprobe aus reinem TRIP-Stahl	79
4.1.2	Simulation der Gradientenwerkstoffe	82
4.2	Temperaturmessung	90
4.2.1	Vorversuche an Graphit-Sinterwerkzeugen	90
4.2.2	Versuche am FGM und der Referenzprobe aus TRIP-Stahl	96
4.2.2.1	Temperaturmessung an der Referenzprobe aus reinem TRIP-Stahl	98
4.2.2.2	Temperaturmessung an den FGM-Proben	101
4.3	Charakterisierung der FGM-Proben	108
4.3.1	Mikrostruktur der Schichten der Gradientenwerkstoffe	108
4.3.2	Härtemessung in den Schichten des Gradientenwerkstoffes	122
4.4	Gegenüberstellung der Ergebnisse zur Temperaturverteilung in den FGM-Proben	126
5	Zusammenfassung und Ausblick	130
	Literaturverzeichnis	135
	Abbildungsverzeichnis	150
	Tabellenverzeichnis	153
A	Beeinflussung der vertikalen Temperaturverteilung	155
A.1	FAST-Prozesse mit CFK-Platten	155
A.2	Einfluss der Graphitfolie	158
A.3	Kühlsystem	162
B	Konstruktionszeichnungen	163

C Thermo-elektrische Eigenschaften	167
C.1 Thermo-elektrische Eigenschaften der Untersuchungswerkstoffe	167
C.2 Thermo-elektrische Eigenschaften von CFK	168
D Mikrostruktur und Härte	169
E Simulation	173
F Temperaturmessung	174