

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE
Herausgegeben vom Rektor der TU Bergakademie Freiberg

B 355 Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie

**Festigkeits-, Verformungs- und
Versagensverhalten zellularer TRIP-Stahl-
und TRIP-Matrix-Composite-Strukturen
in Abhängigkeit von Beanspruchung,
Temperatur und Geschwindigkeit**

David Ehinger

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	xviii
1 Einleitung	1
2 Kenntnisstand zu den Untersuchungswerkstoffen	3
2.1 Metastabiler austenitischer Stahl	3
2.1.1 Phasen und thermodynamische Triebkräfte	3
2.1.2 Kristallographie der Umgitterungsmechanismen des Austenits	5
2.1.3 Definition und Quantifizierung des TRIP-Effekts	10
2.1.4 Austenitstabilität und Stapelfehlerenergie	14
2.1.5 Fließspannungsverhalten als Funktion von Temperatur und Dehnrage	15
2.2 Zirkoniumdioxidkeramik.....	23
2.3 Partikelverstärkter Metall-Matrix-Verbundwerkstoff (MMC).....	26
2.3.1 Mechanisches Verhalten konventioneller partikelverstärkter MMCs.....	26
2.3.2 Festigkeits- und Verformungsverhalten von TRIP-Matrix-Compositen	30
3 Kenntnisstand zu porösen und zellularen Materialien	33
3.1 Festigkeits- und Verformungsverhalten von zellularen 2D-Strukturen	35
3.1.1 In-Plane (IP)-Druckverformung	35
3.1.2 Out-of-Plane (OOP)-Druckverformung.....	38
3.1.3 In-Plane-Biegeverformung von Hohlstrukturen	44
3.1.4 Auswirkungen von Temperatur und Dehngeschwindigkeit	46
3.2 Modellansätze zur Beschreibung des Strukturverhaltens	57
3.2.1 Platten- und Balkentheorien.....	57
3.2.2 Beulen zweidimensionaler Strukturen (Vorknickstadium).....	61
3.2.3 Plastisches Versagen zweidimensionaler Strukturen (Nachnickstadium).....	64
3.3 Funktionalität Energieabsorption und Crashtauglichkeit	69
4 Ableitung der Zielstellung dieser Arbeit	72
5 Werkstoffe und Methoden	74
5.1 Ausgangsmaterialien.....	74
5.2 Herstellungstechnologie	75
5.3 Geometrische und werkstoffspezifische Eigenschaften	76
5.4 Versuchsdurchführung	85
5.4.1 Zugversuche	85
5.4.2 Druckversuche bei quasistatischen bis dynamischen Dehnraten	86
5.4.3 Hochdynamische Druckversuche im SHPB-Prüfaufbau	88

5.4.4	Biegeversuche an Wabenstrukturen und Hohlprofilen	92
5.4.5	Versuchsplan und Prüfspektrum	94
5.5	Werkstoffanalytische Untersuchungsmethoden	94
5.5.1	Probentrennung und Untersuchungspositionen	94
5.5.2	Charakterisierung der Wabenstrukturen	95
5.5.3	Thermographie-Untersuchungen	97
5.5.4	Magnetisches Prüfverfahren	97
6	Ergebnisse und Diskussion	98
6.1	Verhalten der Kompaktwerkstoffe unter einsinniger Beanspruchung.....	98
6.2	Verhalten der Wabenstrukturen unter In-Plane-Druckbeanspruchung.....	107
6.3	Verhalten der Strukturen unter Out-of-Plane-Druckbeanspruchung.....	111
6.3.1	Auswirkungen der Partikelverstärkung.....	118
6.3.2	Temperaturabhängiges Fließspannungsverhalten.....	125
6.3.3	Dehnratenabhängiges Fließspannungsverhalten.....	131
6.3.4	Kombinierter Einfluss von Prüftemperatur und Dehngeschwindigkeit.....	146
6.4	Verhalten der Strukturen unter In-plane-Biegebeanspruchung.....	150
6.5	Mikrostruktur- und Phasenentwicklung in den Wabenkörpern	154
6.5.1	Einfluss der Prüftemperatur.....	159
6.5.2	Einfluss der Dehngeschwindigkeit.....	163
6.5.3	Auswirkungen einer Temperatur- und Dehnratenänderung	167
6.6	Modellierung des Fließspannungs- und Strukturverhaltens	170
6.6.1	Fließkurvenmodellierung als Funktion von der Dehngeschwindigkeit.....	170
6.6.2	Analytische Modellierung des Knick- und Versagensverhaltens.....	174
6.7	Vergleich der Wabenstrukturen mit anderen Materialien.....	188
7	Zusammenfassung und Ausblick	191
8	Literaturverzeichnis	197
9	Anhang	226