

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Grundlagen der Materialermüdung	6
2.1	Historische Entwicklung der Materialermüdung	6
2.2	Versuchsführungen	9
2.2.1	Phänomenologische Lebensdauerbeschreibung	9
2.2.2	Ermittlung des zyklischen Spannungs-Dehnungsverhaltens bei isothermer Beanspruchung	12
2.2.3	Ermittlung des zyklischen Spannungs-Dehnungsverhaltens bei thermo-mechanischer Beanspruchung	14
2.3	Gebräuchliche Darstellungsformen des Wechselverformungsverhaltens	17
2.3.1	Spannungs-Dehnungs-Hysteresekurve	17
2.3.2	Wechselverformungskurve	20
2.3.3	Zyklische Spannungs-Dehnungskurve	21
3	Kenntnisstand	26
3.1	Einteilung der Metallschäume	26
3.2	Struktur von Metallschäumen	27
3.2.1	Kubisches Zellmodell nach Gibson und Ashby	28
3.2.2	Polyeder-Zellmodelle	31
3.2.3	Randomisierte Zellmodelle	35
3.2.4	Abbildungen realer Schäume	44
3.3	Metallschaumherstellung	47
3.3.1	Schmelzmetallurgische Herstellung offenporiger Schäume	48
3.3.2	Schmelzmetallurgische Herstellung geschlossenporiger Schäume	51
3.3.3	Pulvermetallurgische Herstellung geschlossenporiger Metallschäume	56
3.4	Verformungsverhalten metallischer Schaumwerkstoffe	60
3.4.1	Verformung bei einsinniger Beanspruchung	60
3.4.2	Verformung bei zyklischer Beanspruchung	68
3.4.3	Einsinniges Hochtemperaturverformungsverhalten bei statischer Beanspruchung	74
4	Experimentelles	86
4.1	Werkstoffauswahl	86
4.2	Metallographische Untersuchungen und Rasterelektronenmikroskopie	87
4.3	Probenfertigung und Probengeometrien	89
4.4	Einsinnige Druckversuche	89

4.5 Isotherme Raumtemperaturversuche im einsinnigen Zug und unter Ermüdungsbeanspruchung	93
4.6 Isotherme Hochtemperaturversuche und thermomechanische Ermüdungsversuche	96
4.6.1 Probenpräparation	96
4.6.2 Temperaturkammer	100
4.6.3 Örtliche Temperaturverteilung in der Temperaturkammer	102
4.6.4 Temperatursteuerung und Temperaturverlauf	103
4.6.5 Durchführung von Hochtemperaturversuchen unter einsinniger und wechselnder Beanspruchung	106
4.7 Kriechversuche	107
4.8 Relaxationsversuche	109
5 Ergebnisse und Diskussion	110
5.1 Werkstoffe und Mikrostruktur	110
5.1.1 Offenporiger Aluminiumschwamm PORMET	111
5.1.2 Offenporiger Aluminiumschwamm m-pore	117
5.1.3 Offenporiger Messingschwamm des Gießereiinstituts der RWTH Aachen	120
5.1.4 Geschlossenporiger Aluminiumschaum HAL	125
5.2 Verformungsverhalten unter einsinniger Beanspruchung	128
5.2.1 Dehnratenabhängigkeit im einsinnigen Druckversuch	128
5.2.2 Abhängigkeit des Zugverformungsverhaltens von der Strukturhomogenität und der Duktilität des Basiswerkstoffs	137
5.3 Mikromechanische Modellierung des Verformungsverhaltens offen-poriger Metallschwämme auf Basis experimenteller Ergebnisse	148
5.3.1 Konzept der verzerrungsenergiebasierten Homogenisierung	149
5.3.2 Abschätzung der elastischen Schaumeigenschaften bei nicht-linearer Zellstegeometrie	152
5.3.3 Einfluss des Spannungs- bzw. Dehnungszustands auf das Spannungs-Dehnungsverhalten von Metallschäumen	154
5.3.4 Abschätzung der lokalen Dichteschwankungen in einer Probe durch den Vergleich experimenteller Ergebnisse mit der Simulationsrechnung	157
5.4 Raumtemperaturermüdungsverhalten	163
5.4.1 Abhängigkeit des Verformungsverhaltens unter schwellender Druckbeanspruchung von der Homogenität der Schaumstruktur	163
5.4.2 Verformungsverhalten unter schwellender Zugbeanspruchung	172
5.4.3 Mechanisches Verhalten im Ermüdungsversuch mit symmetrischer Zug-Druck-Beanspruchung	180
5.5 Verformungsverhalten bei erhöhter Temperatur	188

5.5.1 Kriechverformung	188
5.5.2 Relaxationsverhalten	192
5.5.3 Abhängigkeit der Festigkeiten von der Prüftemperatur	195
5.5.4 Hochtemperaturermüdungsverhalten	199
5.5.5 Schädigungsmechanismen unter thermomechanischer Ermüdungsbeanspruchung	201
6 Zusammenfassende Diskussion	209
7 Zusammenfassung und Ausblick	214
8 Literatur	218