

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....i

Abkürzungsverzeichnis.....vii

Formelzeichenviii

Kurzfassungxiii

Abstract xv

1 Einleitung..... 1

2 Stand der Technik.....3

2.1 Einteilung von Verbundwerkstoffen 3

2.1.1 Einteilung von Verbundwerkstoffen nach der Werkstoffklasse der Matrixkomponente 3

2.1.2 Einteilung von Verbundwerkstoffen nach Art der Verstärkungskomponente 5

2.2 Spezifische Eigenschaften von Verbundwerkstoffen..... 8

2.2.1 Wirkmechanismen zur Steigerung der Festigkeit..... 8

2.2.2 Wirkmechanismen zur Steigerung der Bruchzähigkeit 10

2.2.3 Rule of Mixture 11

2.3 Methoden zur Charakterisierung von Verbundwerkstoffen..... 12

2.3.1 Bestimmung der Dichte 12

2.3.2 Bestimmung des E-Moduls 12

2.3.3 Bestimmung der Biegefestigkeit 13

2.3.4 Bestimmung der Verschleißbeständigkeit 14

2.3.5 Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität..... 14

2.3.6 Bestimmung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten 15

2.4 Konventionelle Herstellung von MKD 15

2.4.1 Herstellung von offenporigen Strukturen 15

2.4.2 Herstellung des Verbundes 17

2.4.3 Defizite konventioneller Herstellungsverfahren von MKD 19

2.5 Formgebung im teilflüssigen Zustand..... 22

2.5.1 Mechanismus der Thixotropie 22

2.5.2 Eigenschaften der Aluminiumlegierung A356 23

2.5.3 Verfahrensablauf der Formgebung im teilflüssigen Zustand 26

2.5.4 Verwendete Anlagentechnik..... 29

2.6	Grundlagen der numerischen Modellierung des Infiltrationsprozesses.....	30
2.6.1	Materialmodell und numerische Modellierung des Fließverhaltens teilflüssiger Legierungen.....	30
2.6.2	Infiltrationswiderstandsmodelle für poröse Medien.....	34
2.7	Fazit aus dem Stand der Technik	36
3	Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise der Arbeit	39
3.1	Motivation der Arbeit	39
3.2	Zielsetzung der Arbeit und Vorgehensweise	41
4	Charakterisierung der Komponenten des Metall-Keramik-Durchdringungsverbundwerkstoffes.....	43
4.1	Eigenschaften der metallischen Komponente.....	43
4.2	Eigenschaften der keramischen Komponente.....	44
4.2.1	Chemische Zusammensetzung der Keramik Al_2O_3	45
4.2.2	Morphologie der keramischen Komponente	46
4.2.3	Physikalische und mechanische Eigenschaften der keramischen Komponente....	50
4.3	Benetzungsverhalten der Aluminiumlegierung A356 auf Aluminiumoxidoberflächen.	50
4.4	Grenzflächenreaktionen zwischen der infiltrierenden Aluminiumlegierung und Aluminiumoxid.....	51
5	Entwicklung eines numerischen Infiltrationswiderstandsmodells.....	54
5.1	Simulationsmodell für die Formgebung im teilflüssigen Zustand.....	54
5.2	Numerische Modellierung des Infiltrationsvorgangs	56
5.2.1	Modellierung des Fließverhaltens der Aluminiumlegierung A356.....	56
5.2.2	Modellierung der offenporigen Struktur	57
5.3	Experimenteller Versuchsablauf zur Validierung und Kalibrierung des Infiltrationsvorgangs.....	64
5.4	Evaluierung des Infiltrationswiderstandsmodells.....	67
5.4.1	Bewertung der Modellierungsmöglichkeiten	67
5.4.2	Validierung anhand experimenteller Untersuchungen	70
5.5	Kalibrierung des Infiltrationswiderstandsmodells	73
6	Entwicklung eines Formgebungsprozesses zur Herstellung von Metall-Keramik-Durchdringungsverbundwerkstoffen.....	79
6.1	Auslegung der Probenkörpergeometrie	79
6.2	Untersuchte Prozessparameter	80
6.3	Grenzwerte der Zielgrößen	81

6.4	Numerische Betrachtung des Formgebungsprozesses	84
6.4.1	Numerische Berechnung der Infiltration der offenporigen Struktur	84
6.4.2	Bewertung der numerischen Versuchsergebnisse	85
6.5	Experimentelle Betrachtung des Formgebungsprozesses	102
6.5.1	Entwicklung des Versuchswerkzeuges.....	102
6.5.2	Experimenteller Versuchsaufbau.....	105
6.5.3	Bewertung der experimentellen Versuchsergebnisse	106
6.6	Bewertung der Versuchsergebnisse	117
6.6.1	Formfüllung der MKD.....	117
6.6.2	Restporosität der MKD.....	118
6.6.3	Beschädigung der keramischen Komponente.....	119
6.7	Festlegen eines Prozessfensters und Handlungsanweisungen zur Herstellung von MKD	119
7	Charakterisierung des hergestellten Metall-Keramik-Durchdringungsverbundwerkstoffes.....	121
7.1	Mechanische Eigenschaften des MKD	121
7.1.1	Dichte des MKD.....	121
7.1.2	E-Modul des MKD	122
7.1.3	Biegefestigkeit des MKD	122
7.1.4	Verschleißbeständigkeit des MKD.....	124
7.2	Versagensverhalten des MKD infolge mechanischer Beanspruchung	125
7.2.1	Fraktographische Beurteilung.....	126
7.2.2	Verschleißbild.....	127
7.3	Thermophysikalische Eigenschaften des MKD.....	128
7.3.1	Spezifische Wärmekapazität des MKD.....	128
7.3.2	Thermischer Ausdehnungskoeffizient des MKD	129
7.4	Eigenschaftsprofil der hergestellten MKD und dessen Vorhersagemöglichkeiten.....	129
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	131
8.1	Zusammenfassung.....	131
8.2	Ausblick und weiterer Handlungsbedarf.....	134
9	Anhang	136
9.1	Vollfaktorielle Versuchsmatrix	136
9.2	Berechnung der geometrischen Größen für das Infiltrationswiderstandsmodell.....	139

9.3	Berechnung der porösen Eigenschaften.....	140
9.4	Berechnung der Größen der Infiltrationswiderstandsmodelle	141
9.5	Numerische Versuchsergebnisse	143
9.6	Experimentelle Versuchsergebnisse	144
10	Literaturverzeichnis	145
	Curriculum Vitae	153