

Inhalt

Kurzfassung	I
Abstract	II
Inhalt.....	III
Abkürzungen	V
Fachbegriffe	VIII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis.....	XVII
1 Einleitung und Zielsetzung.....	1
2 Grundlagen	4
2.1 Formgedächtnislegierungen und die Legierung NiTi.....	4
2.2 Verfahrenstechnik.....	15
2.2.1 Herstellung poröses NiTi in der Literatur.....	15
2.2.2 Pulvermetallurgie mit Platzhalter	19
2.3 Anwendungsnahe Charakterisierung.....	25
2.3.1 Implantatanwendung	26
2.3.2 Dämpfung und Energieabsorption.....	35
3 Experimenteller Teil	40
3.1 Verfahrenstechnik.....	40
3.1.1 Ausgangswerkstoffe	40
3.1.2 Sintern von Pulverschüttungen	44
3.1.3 Formgebung durch Warmpressen.....	46
3.1.4 Formgebung mit Hilfe des Metallpulverspritzgusses.....	47
3.1.5 Homogenisierung der Ausgangsmaterialien	48
3.1.6 Einspritzen des Feedstocks.....	50
3.1.7 Teilentbinderung mit Hilfe des Wickprozesses.....	54
3.1.8 Platzhalterentfernung	55
3.1.9 Thermische Entbinderung und Sintern.....	56
3.1.10 Wärmebehandlung	57
3.1.11 Heißisostatisches Pressen (HIP).....	57
3.2 Allgemeine Analysen und Messverfahren	58
3.2.1 Charakterisierung der Ausgangspulver.....	58
3.2.2 TG/DTA Analysen zur Ermittlung der Entbinderungsparameter	59
3.2.3 Dichte-/Porositätsbestimmungen	60
3.2.4 Chemische Analyse zur Bestimmung der Verunreinigungen.....	62
3.2.5 DSC zur Bestimmung der Umwandlungsverhalten	63
3.2.6 Metallographische Präparation / Lichtmikroskopie.....	64
3.2.7 Mikrostrukturuntersuchung: Rasterelektronenmikroskop (REM)	65
3.2.8 Mikrostrukturuntersuchung: Transmissions-Elektronen-Mikroskop (TEM)	66
3.2.9 Oberflächenanalyse: Röntgen-Photoelektronenspektroskopie	66
3.2.10 Oberflächenanalyse: Sekundärionen-Massenspektroskopie	67

Inhalt

3.3	Mechanische Charakterisierung	67
3.3.1	Wegeregelte statische Druckversuche	68
3.3.2	Wegeregelte zyklische Druckversuche	70
3.3.3	Ermüdung der pseudoelastischen Eigenschaften	74
3.3.4	Dynamische Belastungsversuche an porösem NiTi	75
3.4	Oberflächenbehandlungen und Zellkulturversuche	76
3.4.1	Oberflächenbehandlungen der porösen NiTi-Proben	77
3.4.2	Zellkulturversuche	81
3.4.3	Ni-Freisetzung - Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)	82
3.4.4	Korrosion	82
4	Ergebnisse und Diskussion	84
4.1	Optimierung der Verfahrenstechnik	84
4.1.1	NiTi-Pulver	84
4.1.2	Pulverschüttungen	88
4.1.3	Platzhalter	89
4.1.4	Einstellen des optimalen Binderanteils	97
4.1.5	Warmpressen	98
4.1.6	Optimierung der Sintertemperatur	100
4.1.7	Metallpulverspritzguss	102
4.2	Mikrostruktur, Chemie, Umwandlungsverhalten	106
4.2.1	Porosität	107
4.2.2	Verunreinigungsgehalte	111
4.2.3	DSC	114
4.3	Mechanische Eigenschaften	118
4.3.1	Statische Druckversuche	118
4.3.2	1-Wege-Effekt	126
4.3.3	Pseudoelastizität	133
4.3.4	Energiedissipation bei der Pseudoelastizität	145
4.3.5	Ermüdung der Pseudoelastizität	148
4.4	Biologische Eigenschaften von pulvermetallurgischem, porösem NiTi	154
4.4.1	Einfluss der NiTi-Partikelgröße auf die Biokompatibilität	154
4.4.2	Einfluss der Porosität auf die Biokompatibilität	157
4.4.3	Einfluss der Oberflächenbehandlungen auf die Biokompatibilität	159
4.4.4	Korrosionsbeständigkeit poröses NiTi	166
4.5	Bewertung poröses NiTi für Implantatanwendung	168
4.6	Bewertung poröses NiTi für Energieabsorption und Dämpfung	173
5	Ausblick	178
5.1	Ti(Ni,Cu) als ternäre Formgedächtnislegierung	178
5.2	2-Komponentenspritzguss von porösem Titan	180
6	Zusammenfassung	185
7	Literatur	189