Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielsetzung 1

2 Stand der Technik 5

2.1 Spritzgießen und Werkzeugtemperierung mit gebohrten Kühlkanälen 5
2.2 Fertigung von konturnahen Temperiersystemen 8
2.2.1 Fügen von spanend konturierten Blechen 8
2.2.2 Verarbeitung von Werkzeugstahl mit generativen pulverbettbasierten Verfahren 9
2.2.3 Kombination von generativen Verfahren 16
2.3 Zwischenfazit 17

3 Vorgehensweise 21

4 Werkzeugwerkstoff und Anlagentechnik 25

4.1 Werkzeugstähle für Formeinsätze 25
4.2 Warmarbeitsstähle X38CrMoV5-1 und X42Cr13 28
4.2.1 Chemische Zusammensetzung 28
4.2.2 Werkstoffeigenschaften und Verwendung 28
4.3 Pulverwerkstoff X38CrMoV5-1 und X42Cr13 30
4.4 Anlagentechnik 33
4.4.1 Mechanischer Aufbau 33
4.4.2 Prozessgassystem 34
4.4.3 Optischer Aufbau 38

5 Prozessentwicklung 43

5.1 Verfahrensparameter 43
5.1.1 Absorption 45
5.2 Bestimmung der Materialdichte von X42Cr13 47
5.2.1 Materialdichte 48
5.2.2 Einfluss der Vorheizung auf die Materialdichte 49
5.2.3 Fehlstellen im SLM erzeugten Werkstoffgefüge 54
5.3 Aufbaurate 57
5.4 Aufbaustrategie Hülle- Kern 60
5.4.1 Tatsächliche Aufbaurate 71
5.5 Oberflächenbeschaffenheiten von Werkzeugeinsätzen 74
5.5.1 Vertikale Werkzeugoberfläche 76
5.5.2 Geneigte Werkzeugoberfläche 83
5.5.3 Geneigte Werkzeugoberfläche - Überhang 89

6 Eigenspannungen und Verzug 103

6.1 Definition und Unterteilung von Eigenspannungen 104
6.2 SLM und Eigenspannungen im Bauteil 104
6.3 Einfluss von Verfahrensparametern auf den Bauteilverzug 106

Bibliografische Informationen
http://d-nb.info/1047815796

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

6.3.1 Versuchsgeometrie und -auswertung 106
6.3.2 Streifige Flächenbelichtung 108
6.3.3 Modelltheoretische Analyse des Schichtaufbaus 109
6.3.4 Vorheizung der Substratplatte 114
6.3.5 Spurversatz, Laserleistung, Scangeschwindigkeit 115
6.4 Belichtungsstrategie Streifen und Kachel 116
6.4.1 Streifenbelichtung 116
6.4.2 Vergleich mit dem Werkstoff X2CrNiMo17-12-2 119
6.4.3 Kachelbelichtung 120
6.5 Zwischenfazit 121

7 Wärmebehandlung und Bauteileigenschaften 123

7.1 Wärmebehandlung von konventionell hergestelltem Stahl X42Cr13 123
7.1.1 Werkstoffgefüge von X42Cr13 124
7.2 Gefüge nach dem SLM - ohne Vorheizung 125
7.3 Gefüge nach dem SLM - mit Vorheizung 127
7.4 Wärmebehandlung nach dem SLM 130
7.4.1 Dilatometrie 130
7.5 Mechanische Eigenschaften 135
7.5.1 Werkstoffhärte 135
7.5.2 Zugversuch 136
7.6 Polieren 138
7.7 Korrosionsbeständigkeit 142
7.7.1 Glättung 142
7.7.2 Beschichtung 143
7.7.3 Vergleich von Korrosion 144

8 Prozesskette zur Fertigung von konturnaher Temperierung in Formeinsätzen für Spritzgießwerkzeuge 147

8.1 Konventionelle Prozesskette 147
8.1.1 Fertigungskette 148
8.2 Erweiterte Prozesskette – SLM-Fertigung 149
8.2.1 SLM-Fertigungskette – Bau auf vorgefertigte Grundkörper 149
8.3 Industrielle Anwendungen 153
8.3.1 Anwendung verschiedener Aufbaustrategien für einen Werkzeugeinsatz 153
8.3.2 Werkzeug für Griffstücke von Zahnbürsten 155
8.3.3 Werkzeug für Mundstücke zum Arzneigebrauch 157

9 Zusammenfassung und Ausblick 163

10 Literaturverzeichnis 167

11 Anhang 177

11.1 Kunststoffformenstahl X38CrMoV5-1 und X42Cr13 177
11.2 Anlagentechnik 178

11.3 Prozessentwicklung 180
11.4 Eigenspannungen und Bauteilverzug 185
11.5 Technologische Bauteileigenschaften 186