

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungen	IV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Technik	2
2.1 Werkzeugstähle und martensitaushärtende Stähle	2
2.2 Metallische additive Fertigungsverfahren	5
2.3 Selektives Laserstrahlschmelzen (PBF-LB)	6
2.3.1 Verfahrensgrundlagen	7
2.3.2 Einflussgrößen beim selektiven Laserstrahlschmelzen	8
2.3.3 Genauigkeit, Oberflächenqualität und Verzug beim PBF-LB-Prozess	15
2.4 Fräsen	17
2.4.1 Fräsarten	18
2.4.2 Einflussgrößen beim Fräsen	20
2.5 Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile	21
2.6 Fazit	23
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	25
3.1 Zielsetzung	25
3.2 Vorgehensweise	25
4 Methodik und Versuchsaufbau	27
4.1 Methodik	27
4.2 Untersuchte Stähle	29
4.2.1 Maraging 18Ni300 (1.2709)	29
4.2.2 Maraging 350 (Specialis® SLM-Alloy 2)	30
4.3 Selektives Laserstrahlschmelzen	31
4.3.1 Additive Fertigung	31
4.3.2 Wärmebehandlung	34
4.3.3 Oberflächenanalyse	35

4.3.4	Härte	35
4.3.5	Gefügestruktur	35
4.3.6	Relative Dichte	36
4.4	Fräsende Nachbearbeitung	37
4.4.1	Variation der Prozessstellgrößen beim Gleichlaufräsen	37
4.4.2	Verzugsuntersuchungen beim Gleichlaufräsen	45
4.4.3	Messmethoden	49
5	Analyse des selektiven Laserstrahlschmelzens am Werkstoff 1.2709	52
5.1	Volumenenergiedichte	52
5.2	Laserleistung	65
5.3	Scangeschwindigkeit	67
5.4	Spurabstand	68
5.5	Zusammenfassung der Wechselwirkungen der PBF-LB-Stellgrößen	70
6	Analyse des Fräsprozesses am Werkstoff 1.2709	74
6.1	Einfluss der Bauteilgeometrie	74
6.2	Variation der Stellgrößen in der Prozesskette PBF-LB-Fräsen	76
6.2.1	Stirnfräsen	76
6.2.2	Umfangsfräsen	95
6.2.3	Abgeleitete Wirkzusammenhänge	108
6.3	Fräsen dünnwandiger PBF-LB-Bauteile	110
6.3.1	Einfluss der Stellgrößen im Fräsprozess	110
6.3.2	Einfluss der PBF-LB-Stellgrößen	113
6.3.3	Abgeleitete Wirkzusammenhänge	116
7	Validierung am Werkstoff Specialis® SLM Alloy 2	117
7.1	Ergebnisse Fräsversuche	117
7.1.1	Vergleich treppenförmiger Proben	117
7.1.2	Untersuchung des Umfangsfräsens	119
7.1.3	Untersuchung Verzug dünnwandiger Bauteile	129
7.2	Vergleich mit abgeleiteten Zusammenhängen	132

8 Zusammenfassung und Ausblick	134
8.1 Zusammenfassung	134
8.2 Ausblick	136
Literaturverzeichnis	137
Liste der eigenen Publikationen	145
Werdegang	146
Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	VIII