

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2.1	Zielsetzung	3
2.2	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	4
3	Stand von Wissenschaft und Technik	7
3.1	Energieeinbringung und Abtragsprozess	7
3.1.1	Energieeinbringung beim UKP-Abtrag von Metallen	7
3.1.2	Abtragsmechanismen	10
3.2	Laserabtragen als Fertigungsverfahren	13
3.2.1	Abtragseffizienz	16
3.2.2	Periodische und Quasi-periodische Oberflächenstrukturen	19
3.2.3	Leistungsskalierung beim UKP-Abtrag	20
3.3	Puls-zu-Puls-Wechselwirkungen	23
3.3.1	Wärmeakkumulation	24
3.3.2	Puls-Plasma und Puls-Partikel-Wechselwirkungen	27
4	Modell zur Auswirkung von Puls-zu-Puls-Wechselwirkungen	31
4.1	Energiebilanz	31
4.2	Modelltheoretische Beschreibung der Effekte	34
4.2.1	Abschirmung durch Puls-Partikel-Wechselwirkungen	34
4.2.2	Wärmeeintrag durch Einzelpuls	35
4.2.3	Wärmeakkumulation	37
4.3	Anwendung auf den UKP-Abtrag von Inconel 718	40
4.3.1	Wärmeakkumulation	40
4.3.2	Puls-Partikel-Wechselwirkungen	48
4.3.3	Zusammenfassung	51
5	UKP-Abtrag von IN 718 bei hohen Repetitionsraten	55
5.1	Verwendete Systemtechnik	55
5.1.1	Hochleistungs-UKP-Laserstrahlquelle	55
5.1.2	Bearbeitungsanlage	60
5.1.3	Strahlableitung: Polygonscanner und Galvanometerscanner	60

5.2	Auswirkung von Puls-zu-Puls-Wechselwirkungen auf die Abtrags- effizienz und Oberflächenqualität	64
5.2.1	Vorgehen	64
5.2.2	Einfluss der Fluenz	65
5.2.3	Einfluss von Repetitionsrate und Vorschub	70
5.2.4	Einfluss der Pulsdauer	86
5.2.5	Einfluss des Spurversatzes	89
5.3	Zusammenfassung	90
6	Skalierung der Abtrage rate	93
6.1	Hochrateabtrag bei Verwendung des Polygonscanners	93
6.1.1	Vorgehen	93
6.1.2	Bearbeitungsbeispiele	97
6.1.3	Zusammenfassung	104
6.2	Hochrateabtrag bei Verwendung konventioneller Galvanometer- scanner	106
6.2.1	Hochrateabtrag als zweistufiger Prozess	106
6.2.2	Hochrateabtrag mittels Galvanometerscanner	106
6.2.3	Abtrag des Schmelzfilms	110
6.2.4	Vergleich zu konventionellem UKP-Abtrag	112
6.2.5	Einfluss auf mechanische Dauerfestigkeit	113
6.2.6	Zusammenfassung	117
7	Zusammenfassung und Ausblick	119
Anhang A		125
A.1	Reflexion von Inconel 718	125
A.2	Abtragschwelle und Eindringtiefe von Inconel 718	126
A.3	Transmission an der Werkstückoberfläche	127
A.4	Mathematica-Quellcode	129
Abkürzungsverzeichnis		135
Symbolverzeichnis		137
Literaturverzeichnis		139