

Inhaltsverzeichnis

0	Formel- und Kurzzeichen.....	IV
1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	4
2.1	Nickelbasis-Superlegierungen	4
2.1.1	Definition und Eigenschaften.....	4
2.1.2	Phasen und Härtungsmechanismen.....	6
2.1.3	Herstellungsarten und Anwendungsgebiete	9
2.1.4	Wärmenachbehandlung	12
2.1.5	Schweißseignung	15
2.2	Laserstrahlschmelzen.....	16
2.2.1	Einordnung.....	16
2.2.2	Funktionsprinzip	18
2.2.3	Einflussparameter	20
2.2.4	Einsatzgebiete mittels Laserstrahlschmelzen gefertigter Bauteile	22
2.3	Verarbeitung von Superlegierungen mittels Laserstrahlschmelzen.....	24
3	Zielsetzung und Vorgehensweise	27
4	Versuchsbedingungen und Messmethoden	30
4.1	Laserstrahlschmelzanlage	30
4.2	Ausgangsprozessparameter für das Laserstrahlschmelzen.....	31
4.3	Software zur Datenvorbereitung	32
4.4	Anlage und Parameter für das Heißisostatische Pressen (HIP)	32
4.5	Mess- und Analyseeinrichtungen.....	34
4.5.1	Charakterisierung des Pulverwerkstoffs	34
4.5.2	Präzisionswaage	35
4.5.3	Hochpräzisionsthermometer	36
4.5.4	Aufbau zur Dichtebestimmung	36
4.5.5	Rauheitsmessgeräte	37
4.5.6	Einrichtungen zur Durchführung metallographischer Untersuchungen	38
4.5.7	Zug-Druck-Prüfmaschine	39
4.5.8	Umlaufbiegemaschine.....	40
4.6	Ausgangswerkstoff	42
4.7	Versuchsstrategie.....	44
5	Prozessgrundparameter	47
5.1	Zuordnung von Prozessgrundparametern zu Belichtungsvektoren	47
5.2	Fokuslage x_F	48
5.2.1	Variation der Fokuslage x_F	48
5.2.2	Einfluss der Fokuslage auf Konturvektoren	49
5.2.3	Einfluss der Fokuslage auf Schraffurvektoren	50
5.3	Laserleistung P_L und Scangeschwindigkeit v_S	52
5.3.1	Variation von Laserleistung P_L und Scangeschwindigkeit v_S	52
5.3.2	Einfluss der Laserleistung und Scangeschwindigkeit auf Konturvektoren.....	53
5.3.3	Einfluss der Laserleistung und Scangeschwindigkeit auf Schraffurvektoren.....	55

5.4	Schraffurabstand Δy_s	58
5.4.1	Variation des Schraffurabstands Δy_s	58
5.4.2	Einfluss des Schraffurabstands auf Schraffurvektoren	59
5.5	Streifenüberlappung Δx_s	61
5.5.1	Variation der Streifenüberlappung Δx_s	61
5.5.2	Einfluss der Streifenüberlappung auf Schraffurvektoren.....	62
5.6	Identifizierte Prozessgrundparameter	64
6	Belichtungsstrategie	65
6.1	Grundlegende Belichtungsstrategien.....	65
6.1.1	Arten von Belichtungsstrategien.....	65
6.1.2	Einfluss auf die Rauheit.....	70
6.1.3	Einfluss auf die Dichte.....	73
6.1.4	Einfluss auf die quasistatische Festigkeit	75
6.2	Ausgabereihenfolge einzelner Felder der Schachbrettstrategie.....	79
6.2.1	Arten von Ausgabereihenfolgen	79
6.2.2	Einfluss auf die Rauheit.....	81
6.2.3	Einfluss auf die Dichte.....	83
6.2.4	Einfluss auf die quasistatische Festigkeit	84
6.3	Größe einzelner Felder der Schachbrettstrategie	87
6.3.1	Untersuchte Feldgrößen.....	87
6.3.2	Einfluss auf die Rauheit.....	88
6.3.3	Einfluss auf die Dichte.....	90
6.3.4	Einfluss auf die quasistatische Festigkeit	91
6.4	Breite einzelner Streifen der Streifenstrategie.....	94
6.4.1	Untersuchte Streifenbreiten.....	94
6.4.2	Einfluss auf die Rauheit.....	95
6.4.3	Einfluss auf die Dichte.....	97
6.4.4	Einfluss auf die quasistatische Festigkeit	98
6.5	Lage der Versatzkontur	100
6.5.1	Untersuchte Versatzkonturparameter.....	100
6.5.2	Einfluss auf die Rauheit.....	102
6.5.3	Einfluss auf die Dichte.....	105
6.5.4	Einfluss auf die quasistatische Festigkeit	106
6.6	Vollständiger Parametersatz.....	108
6.6.1	Gewählte Parameter	108
6.6.2	Einfluss auf die Rauheit.....	109
6.6.3	Einfluss auf die Dichte.....	111
6.6.4	Einfluss auf die quasistatische Festigkeit	112
7	Heißisostatisches Pressen	114
7.1	Untersuchte Werkstoffzustände.....	114
7.2	Einfluss auf die Rauheit.....	115
7.3	Einfluss auf die Dichte	117
7.4	Einfluss auf das Gefüge	118
7.4.1	Gefügefehler	118
7.4.2	Makrogefüge.....	121
7.4.3	Mikrogefüge	124

7.5	Einfluss auf die quasistatische Festigkeit.....	130
7.6	Einfluss auf die Biegewechselfestigkeit	135
8	Empfehlungen zum Einsatz und zur Prozessgestaltung	139
9	Zusammenfassung	142
10	Ausblick.....	145
11	Literaturverzeichnis	146