

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung.....	iii
Liste der Patente und Veröffentlichungen	1
Inhaltsverzeichnis	v
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Additiv gefertigte Werkzeugeinsätze	3
2.2 SLM-Schweißneigung von Warmarbeitsstählen	5
2.3 Systems Engineering zur Werkstoffentwicklung	11
3 Zielsetzung.....	17
4 Theoretische Grundlagen.....	19
4.1 Grundlagen der Thermodynamik	19
4.1.1 Thermodynamische Kenngrößen.....	19
4.1.2 Thermodynamik von Mischungen	28
4.2 Konzept der CALPHAD-Methode	38
4.2.1 Berechnung für Gleichgewicht	38
4.2.2 Berechnung für Ungleichgewicht	41
5 Analyse-Phase.....	44
5.1 Prozess-Route	44
5.2 Werkstoff-Anforderungen.....	47
6 Design-Phase.....	48
6.1 Werkstoffkonzept	48
6.2 CALPHAD-Software.....	53
6.2.1 Thermo-Calc	53
6.2.2 QuesTek – MaDe.....	53
6.3 Werkstoffmodelle	54
6.3.1 Kornvergrößerung bei Härtetemperatur	54

6.3.2	Martensitstarttemperatur	55
6.3.3	M ₂ C-Karbid-Vergrößerung bei Anlasstemperatur	56
6.3.4	M ₂ C-Triebkraft Härte-Modell	57
6.3.5	Wärmeleitfähigkeit	59
6.4	Matrix-Warmarbeitsstahl Prototyp.....	60
6.4.1	Optimierung der M ₂ C-Verfestigung	61
6.4.2	Optimierung der Schweißseignung.....	69
6.4.3	Überprüfung der M _S -Temperatur und der Wärmeleitfähigkeit.....	73
6.4.4	Prototyp zur Validierung.....	75
7	Validierungs-Phase	77
7.1	Experimentelle Details	77
7.1.1	Metallzerstäubung.....	77
7.1.2	Selektives Laserschmelzen	78
7.1.3	Wärmebehandlung.....	79
7.1.4	Mikrostrukturelle Charakterisierung	80
7.1.5	Mechanische Charakterisierung	83
7.2	Charakterisierung des Prototyps.....	83
7.2.1	Metallzerstäubung.....	83
7.2.2	Optimierung der Schweißseignung.....	85
7.2.3	Optimierung der M ₂ C-Verfestigung.....	96
8	Zusammenfassung.....	104
9	Literaturverzeichnis	107
Anhang		115
	Anhang A – Protokoll zur Metallzerstäubung.....	115
	Anhang B – Lebenslauf	116