

Werkstoffanwendungen im Maschinenbau
hrsg. von Prof. Dr.-Ing. Christoph Broeckmann

Band 22

Johannes Kunz

**Legierungsentwicklung für die laserbasierte
additive Fertigung von hochlegierten
kohlenstoffreichen Stählen**

Shaker Verlag
Düren 2022

I.	Inhaltsverzeichnis	i
II.	Abbildungsverzeichnis	iv
III.	Tabellenverzeichnis	xiii
IV.	Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	xvi
1.	Einleitung	1
2.	Grundlagen und Stand der Technik	3
2.1.	„Laser Powder Bed Fusion“-Verfahren (LPBF)	3
2.1.1.	Parameter im LPBF-Verfahren	3
2.1.2.	Erstarrungsmorphologie im LPBF Prozess	5
2.1.3.	Wärmefluss während des LPBF-Prozesses	7
2.1.4.	Eigenspannungen und Risse im LPBF-Prozess	8
2.1.5.	Porosität in AM-Bauteilen	10
2.1.6.	Mechanische Eigenschaften von LPBF-Bauteilen	11
2.2.	Gefüge in hochlegierten kohlenstoffreichen Stählen	12
2.2.1.	Martensitbildung	12
2.2.2.	Einfluss der Legierungselemente auf das Gefüge von hochlegierten kohlenstoffreichen Stählen	16
2.2.3.	Additive Fertigung von hochlegierten kohlenstoffreichen Stählen	18
2.2.4.	Wärmebehandlung von hochlegierten kohlenstoffreichen Stählen	20
2.3.	Methoden der Legierungsentwicklung	23
3.	Zielsetzung, Forschungsfragen und Lösungsweg	26
3.1.	Zielsetzung und Forschungsfragen	26
3.2.	Lösungsweg	27
4.	Werkstoff und Methoden	29
4.1.	Werkstoff	29
4.1.1.	Pulver	30
4.1.2.	Referenzwerkstoffe	31
4.2.	Methoden	32

4.2.1.	Lasert Powder Bed Fusion	32
4.2.2.	Nachbehandlung und Probenherstellung	36
4.2.3.	Chemische Analyse	38
4.2.4.	Gefügecharakterisierung	39
4.2.5.	Dilatometrie	49
4.2.6.	Mechanische Charakterisierung	50
4.2.7.	Methoden der thermodynamischen Gleichgewichtssimulation	52
5.	LPBF von verschiedenen Werkzeugstählen	55
5.1.	HS 0-4-1	55
5.2.	PMHS 6-5-3-8	61
5.3.	PMHS 7-7-7-11	75
5.4.	Pulvermischungen der Legierungen PMHS 6-5-3-8 und PMHS 7-7-7-11	82
5.5.	Zwischenfazit	93
6.	Entwicklung einer thermischen Nachbehandlung und Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften nach einer Vergütung	97
6.1.	Auswirkungen von verschiedenen thermischen Nachbehandlungen auf das Werkstoffgefüge	97
6.1.1.	HS 0-4-1	97
6.1.2.	PMHS 6-5-3-8	102
6.2.	Einfluss unterschiedlicher Nachbehandlungen auf die mechanischen Eigenschaften	111
6.2.1.	Mechanischen Eigenschaften der Legierung HS 0-4-1	112
6.2.2.	Schwingfestigkeit der Legierung PMHS 6-5-3-8	119
6.3.	Einfluss der Ausgangsporosität auf die Schwingfestigkeit von nachverdichteten und vergüteten Proben	121
6.4.	Zwischenfazit	127
7.	Legierungsanpassung	130
7.1.	Strategie der Anpassungen	130
7.1.1.	LM 2-8-3-8 und LM 7-6-3-9	132
7.1.2.	LM 2-10-3-0, LM 1-2-7-8 und LM 1-3-2-0-Cr15	135
7.2.	Gefüge der modifizierten Legierungen	139
7.2.1.	LM 2-8-3-8 und LM 7-6-3-9	139

7.2.2.	LM 2-10-3-0, LM 1-2-7-8 und LM 1-3-2-0-Cr15	154
7.3.	Zwischenfazit	167
8.	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	169
8.1.	Zusammenfassung und Fazit	169
8.2.	Ausblick	173
	Literaturverzeichnis	175
	Anhang	185