

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Stand der Forschung und Technik	5
2.1	Grundlagen	5
2.1.1	Datenaufbereitung	6
2.1.2	LPBF-Anlagen- und Steuerungstechnik	7
2.1.3	Schmelzspurformung und -stabilität	9
2.2	Defizite der konventionellen Prozessführung und neuartige Ansätze	15
2.2.1	Schmelzspuren im Spurverbund	15
2.2.2	Schichtverbund	21
3	Vorgehensweise	27
3.1	Problemstellung, Zielsetzung und Forschungsfrage	27
3.2	Vorgehen	28
3.3	LPBF-Laboranlage	31
3.4	Werkstoff	34
3.5	Prozessparameter	35
3.6	Analytik	37
4	Voruntersuchungen	43
4.1	Schmelzspuren im Spurverbund und freie Schmelzspuren	43
4.1.1	Repetitionszeit und Scanvektorlänge	49
4.1.2	Freie Schmelzspuren	56
4.2	Überhangstrukturen	59
4.3	Aufbaurate	63
4.3.1	Theoretische Aufbaurate	63
4.3.2	Reale Aufbaurate	64
4.4	Zwischenfazit	67
5	Anlagen- und Steuerungstechnik	69
5.1	Dynamische Anpassung von Prozessparametern	69
5.2	Dynamik von Laserstrahlquelle und Steuerkarte	69
5.3	Beschleunigungskompensation	71
5.4	Baujobdaten	75
6	Adaptive Prozessführung	77
6.1	Schmelzspuren im Spurverbund und freie Schmelzspuren	77

6 1.1	Schmelzspuren im Spurverbund	77
6 1.2	Freie Schmelzspuren	92
6 2	Überhangstrukturen	97
6 2 1	Vergroßerung der Steifigkeit	99
6 2.2	Thermisches Homogenisieren	103
6 2.3	Kombination der Vergroßerung der Steifigkeit mit dem thermischen Homogenisieren	110
6.2 4	Zwischenfazit	114
6 2 5	Breite des Überhangprobekörpers	116
6.2.6	Abstand zum Pulverbett zur Anpassung der Überhangparameter	117
6 2 7	Relative Dichte	119
6.3	Aufbaurrate	126
6.3.1	Sensitivitätsanalyse zur Vergroßerung der Aufbaurrate	126
6.3.2	Vergroßerung der Aufbaurrate durch dynamische Anpassung des Spurabstands	128
7	Anwendungserprobung	133
7.1	Software zur Datenaufbereitung	133
7 2	Fertigung von Bauteildemonstratoren	136
7.2 1	Anwenderspezifische Konturparameter	136
7.2.2	Turbinenschaufelsegment	138
7 2.3	Demonstratoren für Überhangstrukturen	141
8	Zusammenfassung und Ausblick	143
9	Kurzzusammenfassung/Abstract	149
10	Literaturangaben	151
11	Abkürzungen und Formelzeichen	159
12	Anhang	161
12.1	Vorgehensweise	161
12.1.1	Thermophysikalische Kennwerte für TiAl6V4	161
12.1.2	Querschliff eines würfelförmigen Probekörpers unter Verwendung von Standardparametern	162
12.1.3	Laserleistungsmessung	162
12 2	Voruntersuchungen	163
12.2.1	REM Aufnahmen des Spurwechselbereichs mit Belichtungspause	163
12.2.2	REM Aufnahmen von Einzelspuren sowie Schliffbilder mit ungefährender Schmelzbadkontur	164
12.3	Anlagen- und Steuerungstechnik	165

Inhalt

12.3.1	Befehlsliste 1FC-Dateien	165
12.4	Adaptive Prozessführung	166
12.4.1	Querschliffe von Stegstrukturen mit dynamischer Anpassung der Prozessparameter	166
12.4.2	Lichtmikroskopische Aufnahmen von Einzelspuren unter Variation von Laserleistung und Scangeschwindigkeit	167
12.4.3	Dreieckiger Probekörper mit dynamischer Leistungsanpassung und konstantem Spurabstand	168
12.4.4	Einzelschichtversuche für Spurabstände zwischen 0,01 mm und 0,04 mm	169
12.4.5	Prüfung der Umsetzbarkeit einer Scangeschwindigkeit von 4500 mm/s	170
12.4.6	Probekörper im Querschliff	171
12.4.7	Kennfelder zur Anpassung von Laserleistung und Scangeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Abstand zum Pulver	172
12.4.8	Probekörper mit Überhangwinkel von 10°, Überhanglänge von 40 mm und Überhangbreite von 10 mm gefertigt mit adaptiver Leistungsanpassung	172