

Inhalt

Inhalt	i
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Technik	3
2.1 Laserauftragschweißen	3
2.1.1 Verfahrensprinzip	3
2.1.2 Verarbeitung von Nickelbasis-Superlegierungen	4
2.1.3 Systemtechnik für die Innenbearbeitung	8
2.2 Verfahrensprinzip der Laserwärmebehandlung	9
2.3 Werkstoffe	11
2.3.1 Nickelbasis-Superlegierungen	11
2.3.2 Alloy 718	11
2.3.3 Gefügeausbildung, Wärmebehandlung und mechanische Eigenschaften	12
3 Problemstellung, Zielsetzung und Herangehensweise	19
3.1 Problemstellung	19
3.2 Zielsetzung, Forschungsfrage und Herangehensweise	20
4 Anlagen- und Analysetechnik	23
4.1 Anlagentechnik	23
4.1.1 Strahlquelle	24
4.1.2 Pulverförderer	24
4.2 Pulver Alloy 718	25
4.3 Probengeometrie und Verfahrensparameter	25
4.4 Analysetechnik	26
4.4.1 Probenpräparation	26
4.4.2 Lichtmikroskopie und Porositätsanalyse	27
4.4.3 REM-, EBSD- und EDX-Analysen	28
4.4.4 Atomsondentomografie (APT)	29
4.4.5 Härtemessung	30
4.4.6 Mechanische Tests	30
4.4.7 Bruchflächenanalyse	30
5 Voruntersuchungen zum minimalinvasiven Laserauftragschweißen	31
5.1 Definition von Modellkavität und Beschichtung	31
5.2 Anforderungen an die Systemtechnik	31
5.3 Gestaltung und Aufbau Systemtechnikprototyp 1	34
5.4 Funktionstests Systemtechnikprototyp 1	35
5.5 Bearbeitungsstrategie innerhalb der Modellkavität	38
5.6 Untersuchungen zum Einfluss umherfliegender Pulverpartikel	39
5.7 Bearbeitungsstrategien für dünnwandiges Grundmaterial	42
5.8 Zwischenfazit	45

6	Weiterführende Untersuchungen zum minimalinvasiven Laserauftragschweißen.....	47
6.1	Anpassung der Systemtechnik.....	47
6.2	Gestaltung und Aufbau Systemtechnikprototyp 2	47
6.3	Labora Aufbau und Funktionstests Systemtechnikprototyp 2	53
6.4	Ergebnisse der Funktionstests	54
6.5	Herstellung von Materialprüfproben	60
6.6	Auswertung	62
6.7	Zwischenfazit	69
7	Minimalinvasives Funktionalisieren.....	71
7.1	Gestaltung und Aufbau Systemtechnikprototyp 3	71
7.2	Verfahrensentwicklung Funktionalisierung	74
7.3	Funktionstest und Versuche an Flachproben	75
7.4	Herstellung von Materialprüfproben	79
7.5	Auswertung	83
7.6	Zwischenfazit	104
8	Anwendungsdemonstration	107
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	111
10	Literaturverzeichnis.....	115
11	Abkürzungen und Formelzeichen	127
12	Anhang	131
12.1	Stand der Technik	131
12.1.1	Beschichtungseinheiten zur Innenbearbeitung.....	131
12.1.2	DED-LB/M-Gefüge und mechanische Eigenschaften für den nicht wärmebehandelten Zustand	132
12.1.3	Zyklische ‚In-situ‘- bzw. ‚intrinsische‘ Wärmebehandlung....	133
12.1.4	Beschichten.....	135
12.1.5	Innenbeschichten	138
12.1.6	Additive Fertigung	139
12.1.7	Reparatur	141
12.1.8	Simulative, messtechnische Analyse	143
12.1.9	Lokale Laserwärmebehandlung	144
12.2	Laserstrahlkaustik	145
12.3	Zertifikat des pulverförmigen Schweißzusatzwerkstoffes	146
12.4	Anforderungen Systemtechnikprototyp 1	147
12.5	Modellkavität	148
12.6	Berechnung der thermischen Belastung des Umlenkspiegels	149
12.7	Simulationsrechnung DED-LB/M-Prozessfenster.....	150
12.8	Beispiele für Flachproben aus der Verfahrensentwicklung.....	154
12.9	Simulationsrechnung für Spiegelkühlung	155

12.10 CAD-Modell des Systemtechnikprototyp 1 nach GOM-Scan	157
12.11 Anforderungen Systemtechnikprototyp 2	158
12.12 Zeit-Temperatur-Härte-Diagramm.....	159
12.13 Modellrechnungen für die Funktionalisierung mit Laserstrahlung ...	160
12.14 Schematische Darstellungen der duktilen Rissbildung und Bruchentstehung	166
12.15 Auswertung Demonstration	168