

Inhaltsverzeichnis

Content

Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik in Forschung und Industrie	3
2.1 Prozessbeschreibung und thematische Abgrenzung	3
2.2 Wissenschaftlicher Erkenntnisstand zur Werkstoffumwandlung	7
2.2.1 Einfluss des Ausgangsgefüges auf die Aufheizphase	7
2.2.2 Thermisch induzierte Effekte während der Haltephase	10
2.2.3 Bildung des gehärteten Gefüges bei der Abkühlung	11
2.2.4 Fazit zum Zeit-Temperatur-Verlauf des Härtevorgangs	12
2.3 Prozesstechnischer Einfluss der Strahlformungssysteme	14
2.3.1 Abhängigkeit des Temperaturfeldes von Intensitätsverteilungen ...	14
2.3.2 Intensitätsverteilung an der Strahlungsquelle	18
2.3.3 Optische Elemente zur statischen Strahlformung	20
2.3.4 Optische Elemente zur dynamischen Strahlformung	25
2.3.5 Fazit zu den technisch eingesetzten Intensitätsverläufen	28
3 Zielsetzung, Aufgabenstellung und Vorgehensweise	31
4 Bewertungsgrößen des Laserstrahlhärtens	33
4.1 Qualitätsmerkmale laserstrahlgehärteter Werkstücke	33
4.2 Fertigungskosten steigernde Prozessmerkmale	39
4.3 Fazit zu den Bewertungsgrößen	44
5 Modell zur quantitativen Beschreibung der Bewertungsgrößen	45
5.1 Aufbau des Modells	45
5.2 Modellierung des Temperaturfeldes	47
5.3 Beschreibung der metallurgischen Vorgänge	50
5.3.1 Austenitbildung und Homogenisierung	50
5.3.2 Bildung des gehärteten Gefüges bei der Abkühlung	53
5.4 Bestimmung der Qualitätsmerkmale des gebildeten Gefüges	55
5.4.1 Modellbeschreibung der Basismerkmale	55
5.4.2 Modellbeschreibung der Rückweisungsmerkmale	55
5.4.3 Modellbeschreibung der Leistungsmerkmale	57
5.4.4 Modellbeschreibung weiterer Berechnungsgrößen	62
5.5 Experimentelle Verifikation von Teilmodellen	67
5.6 Fazit zum Modell	70
6 Modellbasierte Bewertung des Stands der Technik	73
6.1 Verifikation des Modells am Vergleichsprozess	73
6.1.1 Experimentelles Vorgehen	73

6.1.2	Auswertung des Vergleichsprozesses	78
6.2	Definition des Optimums für den Vergleichsprozess	88
7	Modellbegründete Herleitung optimierter Temperaturfelder	93
7.1	Grundlegende Überlegungen	93
7.2	Herleitung optimierter Temperaturverläufe	95
7.2.1	Homogene Oberflächentemperatur lateral zum Vorschub	95
7.2.2	Homogene Oberflächentemperatur in Vorschubrichtung	97
7.2.3	Temperaturfelder unter Einfluss der Oxidation	104
7.2.4	Temperaturfelder zur Erzeugung eines feinkörnigen Gefüges	109
7.2.5	Temperaturfeld zur Optimierung des Eigenspannungszustandes	113
7.3	Fazit zur modellbegründeten Herleitung	115
8	Experimentelle Validierung ausgewählter Profile	117
8.1	Experimentelles Vorgehen	117
8.2	Versuche mit isothermer Oberflächentemperatur	118
8.3	Versuche mit dem Profil zur Reduktion der Korngröße	125
8.4	Versuche zur optimierten Eigenspannung	129
8.5	Fazit zur experimentellen Validierung	133
9	Zusammenfassung und Ausblick	135
9.1	Zusammenfassung	135
9.2	Ausblick	137
Literaturverzeichnis		141
Anhang		163
Anhang A: Simulative Näherung eines isothermen Temperaturfelds		164
Anhang B: Annäherung der experimentellen Intensitätsverteilung		167
Anhang C: Herleitung des Temperaturverlaufs innerhalb der Oxidschicht		169
Anhang D: Prozessdiagramme		171