

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Inhaltsverzeichnis	7
Formelzeichen und Abkürzungen	9
1 Einleitung und Zielsetzung der Arbeit	11
2 Grundlagen	13
2.1 Metallkundliche Vorgänge	13
2.2 Energieeinkopplung	16
2.3 Wärmetransport	21
2.4 Einfluß der Strahlformung auf das Laserstrahlhärten	23
3 Stand der Technik	24
3.1 Strahlführung und -formung	24
3.1.1 Leistungsübertragung durch flexible Lichtleiter	24
3.1.2 Optische Systeme zur Strahlformung	26
3.1.2.1 Determinierte optische Systeme	28
3.1.2.2 Variable optische Systeme	30
3.2 Prozeßüberwachung und -kontrolle	32
3.3 Industrielle Anwendungen des Laserstrahlhärtens	34
3.4 Bisherige Ansätze zur Modellbildung	35
4 Neue Strahlformungssysteme	38
4.1 Beurteilungskriterien	38
4.1.1 Strahlanalyse zur Charakterisierung der Systeme	38
4.1.2 Beurteilung der Härteergebnisse	39
4.2 Strahlformungssysteme mit determinierten optischen Systemen	41
4.2.1 Optische Einzelelemente zur Strahlformung	42
4.2.1.1 Einzelfaser	42
4.2.1.2 Faserbündel / Faserstab	43
4.2.1.3 Kaleidoskop	44
4.2.1.4 Facettenintegrator	46
4.2.1.5 Axikon	47
4.2.1.6 Hologramm	48
4.2.2 Erweiterte Möglichkeiten durch eine zusätzliche Abbildung	49
4.2.3 Erprobung der Einzelelemente in Härteexperimenten	56
4.3 Strahlformung mit variablen optischen Systemen	64

4.3.1 Oszillatoroptik	64
4.3.2 Strahlkombinationsoptik	68
4.3.2.1 Addition von Strahlquellen	69
4.3.2.2 Aufteilung eines Einzelstrahls zur Nutzung der Brewster-Absorption	71
5 Exemplarische Anwendungen	74
5.1 Bearbeitung von Bauteilen.....	74
5.1.1 Kante	74
5.1.2 Sitzgeometrie.....	75
5.1.3 Innenliegende Flächen von Bohrungen.....	80
5.2 Integration in eine Bearbeitungsmaschine.....	87
6 Modellbildung und Simulation	91
6.1 Randbedingungen für das Simulationsmodell	91
6.2 Wärmeleitungsrechnung	92
6.2.1 Zweidimensionale Bearbeitungssituation.....	93
6.2.2 Dreidimensionale Bearbeitungssituation.....	94
6.3 Berechnung der lokalen Härteverteilung	96
6.3.1 Zweidimensionale Kohlenstoffdiffusion	102
6.3.2 Eindimensionale Kohlenstoffdiffusion.....	104
6.3.2.1 Lineare Diffusion	105
6.3.2.2 Kugeldiffusion.....	106
6.3.3 Überprüfung und Bewertung der Härteberechnungen	107
6.4 Härtung einer Innenkontur - Simulation und Experiment	108
6.5 Prozeßsimulation für Konstruktion und Fertigung	112
6.5.1 Kopplung zwischen CAD und Finite-Elemente-Programm.....	112
6.5.2 Parameterstudien in Simulation und Experiment.....	113
6.5.3 Untersuchung der Härtebarkeit eines Bauteils am Rechenmodell	116
7 Zusammenfassung und Ausblick	119
8 Literatur	122
Anhang	132
A: Analytische Berechnung der Wärmeleitung	132
A.1: Eindimensionale Wärmeleitung	132
A.2: Näherungslösung des Integrals ierfc der komplexen Fehlerfunktion.....	133
B: Einige experimentelle Ergebnisse im Detail.....	134
C: Numerische Ansätze zur Berechnung der Diffusion	140
C.1: Numerische Erfassung der linearen Diffusion	140
C.2: Numerische Erfassung der kugelsymmetrischen Diffusion	142
Danksagung	143