

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 Einzelemente 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 Einzelemente 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 Härtbarkeit 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 erfc 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