

Formabtrag mit einem gepulsten Nd:YAG- Festkörperlaser in Slab-Geometrie

Von der Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik
der Technischen Universität Carolo Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

von

Jörg Freytag
aus Braunschweig

Eingereicht am:	21. Juni 1995
Mündliche Prüfung am:	22. März 1996
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. E. Westkämper
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. H. Wohlfahrt

Gliederung	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
2. Grundlagen zur Materialbearbeitung mittels Laserstrahlen	4
2.1 Grundlagen des Lasers	4
2.1.1 Longitudinale Moden im optischen Resonator	5
2.1.2 Transversale Moden im optischen Resonator	7
2.1.3 Stabilität optischer Resonatoren	8
2.2 Nd:YAG-Festkörperlaser in Slab-Geometrie	11
2.3 Ausbreitung und Fokussierung von Laserstrahlen	15
2.4 Wechselwirkungen zwischen Laserstrahl und Werkstück	20
2.4.1 Absorption von Laserstrahlung	20
2.4.2 Wärmeleitung im zu bearbeitenden Werkstoff	23
2.5 Grundlagen zum Formabtrag mittels Laserstrahlen	25
2.5.1 Verfahrensvarianten	25
2.5.2 Ein- und Ausgangsgrößen beim Laserstrahlformabtrag	27
2.5.3 Austreiben der Werkstoffschmelze	30
2.5.4 Abtragsleistungen	32
3. Stand der Erkenntnisse beim Laserstrahlformabtragen	34
4. Konkurrierende Abtragsverfahren	41
4.1 Fräsen	41
4.2 Funkenerosives Abtragen	45
4.3 Chemisches und elektrochemisches Abtragen	47
4.4 Konventionelle Techniken zum Abtragen hochharter Schleifscheiben	49
4.4.1 Profilieren von CBN-Schleifscheiben	50
4.4.2 Schärfen von CBN-Schleifscheiben	51
5. Versuchs- und Meßeinrichtungen	53
5.1 Laserbearbeitungssystem	53
5.2 Meßeinrichtungen und Meßmethoden	56
5.2.1 Erfassung der Laserstrahlleistung	56
5.2.2 Bestimmung der Laserstrahlkaustik	58
5.2.3 Erfassung von Prozeßgasdruck und Luftströmung	59

5.2.4	Bestimmung von Abtragsvolumen und Abtragsleistung	59
5.2.5	Beurteilung der Abtragsqualität	59
5.3	Versuchswerkstoffe	60
6.	Versuchsdurchführung	62
6.1	Versuchsplan und Variation der Prozeßparameter	62
6.2	Begriffsbestimmungen für das Laserstrahlabtragen	64
7.	Technologische Untersuchungen zum Laserstrahlabtragen	66
7.1	Optimierung des Schmelzaustriebs	66
7.1.1	Bestimmung von Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Düsenmündung	66
7.1.2	Optimierung der Düsengeometrie	67
7.1.3	Optimierung des Schmelzaustriebs	68
7.2	Untersuchungen zum Laserstrahlabtragen im Einzelpulsbetrieb	72
7.2.1	Einfluß von Laser- und Prozeßparametern auf das Abtragsergebnis	72
7.2.2	Einfluß von Prozeßgasart und -druck auf das Abtragsergebnis	76
7.3	Untersuchungen zum Einfluß ausgewählter Parameter beim zeilenförmigen Abtragen	80
7.3.1	Bearbeitungsstrategie beim zeilenförmigen Abtragen	80
7.3.2	Einfluß der Pulsenergie auf das Abtragsergebnis	83
7.3.3	Optimierung des Schmelzaustriebs bei tiefen Abtragsspuren	85
7.3.4	Einfluß der Pulsüberlappung auf das Abtragsergebnis	87
7.4	Untersuchungen zum Einfluß ausgewählter Parameter beim großflächigen Abtragen	91
7.4.1	Bearbeitungsstrategien beim großflächigen Abtragen	91
7.4.2	Einfluß der Pulsenergie auf das Abtragsergebnis	92
7.4.3	Einfluß der Spurüberlappung auf das Abtragsergebnis	95
7.5	Abtragen von CBN-Schleifscheiben mit Laserstrahlen	97
7.5.1	Bearbeitungsstrategien beim Einsatz von Laserstrahlen zum Profilieren und Schärfen von CBN-Schleifscheiben	97
7.5.2	Ergebnisse zum Abtragen kunstharzgebundener CBN-Schleifscheiben mit Laserstrahlen	101
8.	Zusammenfassung	116
9.	Schrifttum	119