

Handbuchreihe

LASER IN DER MATERIALBEARBEITUNG · Band 5

Präzise optische Behandlung von Festkörpern

Oberflächenbearbeitung

Herausgegeben vom
VDI-Technologiezentrum
Physikalische Technologien

VDI VERLAG

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Organisation	2
1.3	Begriffsbestimmung	3
1.4	Lösungsansätze zur Verbesserung der Präzision beim Abtragen mit Laserstrahlen	4
2	Grundlagen des Abtragens mit Laserstrahlung	7
2.1	Strahltechnische Grundlagen	7
2.1.1	Laserstrahlcharakterisierung	7
2.1.2	Maßnahmen zur Verbesserung der Fokussierbarkeit und Abbildungsqualität	9
2.2	Fertigungstechnische Grundlagen	13
2.2.1	Verfahrensunabhängige Fehlergrößen bei der Lasermaterialbearbeitung	15
2.2.1.1	Randzonenbeeinflussung	15
2.2.1.2	Anschmelzung	16
2.2.1.3	Ablagerungsschicht	16
2.2.1.4	Bartbildung	16
2.2.1.5	Flankenwinkel/Konizität	17
2.2.2	Verfahrensspezifische Fehlergrößen bei der Lasermaterialbearbeitung	17
2.2.2.1	Laserstrahlschneiden	17
2.2.2.1.1	Schnittfugenbreite	17
2.2.2.1.2	Riefenbildung/Schnittflächenrauheit	17
2.2.2.2	Laserstrahlbohren	18
2.2.2.2.1	Bohrungsdurchmesser	19
2.2.2.2.2	Rundheit	19
2.2.2.3	Laserstrahlformabtrag	19
2.2.2.3.1	Oberflächentopographie	19
2.3	Werkstoffkundliche Grundlagen	22
3	Grundlagen der Strahl-Stoff-Wechselwirkung	29
3.1	Grundlagen des thermischen Materialabtrags	29
3.1.1	Prozeßparameter beim laserinduzierten Materialabtrag	29
3.1.2	Absorption	30

3.1.3	Anregung	30
3.1.4	Thermischer Austrieb	32
3.1.5	Schockwellenausbreitung	32
3.1.6	Plasmaerzeugung	33
3.1.7	Dynamik der Prozesse	33
3.2	Grundlagen des chemischen Materialabtrags	34
4	Modelle für das Abtragen mit Laserstrahlung für unterschiedliche Werkstoffklassen, Wellenlängen und Zeitregime	37
4.1	Einflußgrößen	37
4.2	Wechselwirkungsmechanismen	38
4.3	Klassifizierung	40
5	Verwendete Lasersysteme, Analytik, Werkstoffe und Messanordnungen	45
5.1	BIAS	45
5.2	WTM	47
5.2.1	Besonderheiten des verwendeten Lasersystems	48
5.2.2	Verwendete Werkstoffe	49
5.2.3	Eingesetzte Analytik	50
5.3	IFSW	51
5.3.1	Lasersysteme	51
5.3.1.1	Lasersystem 1	51
5.3.1.2	Lasersysteme 2 und 3	51
5.3.1.3	Lasersystem 4	52
5.3.2	Werkstoffe	52
5.3.2.1	Keramik	52
5.3.2.2	Stahl	53
5.3.3	Versuchsaufbauten	53
5.3.3.1	Bearbeitungsstation	53
5.3.3.2	Versuchsaufbau zur Aufnahme des Bearbeitungsprozesses	54
5.3.3.3	Versuchsaufbau Bestimmung des Transmissionsgrades	55
5.4	ILT	56
5.4.1	Pikosekunden Lasersystem	56
5.4.2	Versuchsaufbau und Meßanordnung	57
5.4.3	Eingesetzte Analytik	58
5.4.4	Verwendete Werkstoffe	59
5.5	LZH	59

5.6	MBI	62
5.6.1	Experimenteller Aufbau	62
5.6.2	Charakterisierung der Proben	65
5.7	MPI	66
5.7.1	Verwendete Lasersysteme	66
5.7.2	Meßanordnung und Analytik	66
5.7.3	Werkstoffe	68
5.8	IWS	69
5.8.1	Vorbemerkung	69
5.8.2	Nachweis von Wärmeeinflußzonen	69
5.8.3	Nachweis der mechanischen Einflußzonen	71
6	Ergebnisse zum Abtragen mit Laserstrahlung	73
6.1	CW-laserunterstützter chemischer Abtrag	73
6.1.1	Laserinduziertes chemisches Ätzen von Metallen in Flüssigkeiten	73
6.1.1.1	Ergebnisse zum Mechanismus des Prozesses	73
6.1.1.2	Erzeugung von Mikrobohrungen durch Laserätzen	75
6.1.1.3	Erzeugung von Mikrokanälen durch Laserätzen	76
6.1.1.4	Schneiden von Metallfolien durch Laserätzen	77
6.1.2	Abtrag in gasförmiger reaktiver Umgebung mit kontinuierlicher Laserstrahlung	78
6.2	Physikalischer Abtrag mit Laserpulsen	78
6.2.1	Abtragen mit ns-Pulsen sichtbarer Strahlung einer CVL-MOPA-Kette	78
6.2.1.1	Kinetik des Abtrags und Werkstoffeinfluss beim Bohren	78
6.2.1.2	Stationarität und Reproduzierbarkeit	81
6.2.2	Ergebnisse zum Abtragen mit verschiedenen Festkörperlasern	85
6.2.2.1	Bearbeitung nichtoxidischer Keramiken mit ns- und ps-Laserpulsen	85
6.2.2.1.1	Experimentelle Ergebnisse	86
6.2.2.1.2	Untersuchung des Abtragsverhaltens	87
6.2.2.1.3	Erhöhung der Strukturpräzision und Charakterisierung der Werkstoffbeeinflussung	90
6.2.2.1.4	Anwendungsnahe Strukturen	91
6.2.2.2	Bearbeitung von Stählen mit cw-Laserstrahlung	91
6.2.3	Materialabtrag mit ps-Laserpulsen	95
6.2.3.1	Metalle	95
6.2.3.2	Halbleiter	100
6.2.3.3	Diamant	102
6.2.4	Ergebnisse zum Abtrag mit ns- bis fs-Pulsen sichtbarer Laserstrahlung	103

6.2.4.1	Metallische Werkstoffe (Stahl, Kupfer)	104
6.2.4.2	Nichtmetallische Werkstoffe (Silizium, Keramik, Glas)	108
6.2.5	Ergebnisse zum Abtrag mit fs-Pulsen sichtbarer Laserstrahlung	109
6.2.5.1	Simulation der Ablation von Silizium	110
6.2.5.2	Abhängigkeit der Zerstörschwelle von der Pulsdauer	113
6.2.5.3	Einfluß der Pulsbreite auf die laserinduzierte Strukturierung am Beispiel von amorphem SiO ₂ und CaF ₂	116
6.2.6	Abtrag mit gepulster UV-Laserstrahlung im Zeitbereich ns bis fs	119
6.2.6.1	Schwellenverhalten und Ablationseffizienz bei der Metallablation	119
6.2.6.2	Mikroskopische Ablation von Metallen	122
6.2.6.3	Flugzeitmessungen	124
6.2.7	Thermisch und mechanisch induzierte Strukturveränderungen beim Bohren mit Kurzpulslasern: Grundlegende Effekte und ihre Abhängigkeit von prozeßspezifischen Parametern	125
6.2.7.1	Vorbemerkung	125
6.2.7.2	Gefügezonen im Randbereich von Laserbohrungen	126
6.2.7.3	Verformung und Defektentstehung durch thermische Spannungen und durch Druckstöße	129
6.2.7.4	Schlußfolgerungen und Ausblick	133
7	Diskussion und Bewertung der Ergebnisse	135
8	Bearbeitungsbeispiele	141
8.1	Bearbeitung in reaktiver Umgebung (BIAS)	141
8.2	Laserstrahlschärfen (WTM)	143
8.3	Laserstrahlbohren (WTM)	144
8.4	Mikrooptisches System (IFSW)	145
8.5	Strukturierung von Stahl (IFSW)	145
8.6	Bearbeitung von Diamant (ILT/LLT)	146
8.7	Bearbeitung von Keramiken (ILT/LLT)	148
8.8	Strukturierung von Kupfer mit Femtosekunden-Titan- Saphir- Laserstrahlung (LZH e. V.)	149
8.9	Abtragen nahe der Zerstörschwelle (MBI)	150
8.10	Beispiele zum Bohren mit ps-Laserpulsen (MPI)	153
9	Zusammenfassung	155
10	Schrifttum	161

11	Stichwortverzeichnis	167
12	Anhang	171