

Jens Bliedtner / Hartmut Müller / Andrea Barz

Lasermaterial- bearbeitung

Grundlagen – Verfahren – Anwendungen – Beispiele

Mit 567 Abbildungen und 110 Tabellen sowie einer DVD



Fachbuchverlag Leipzig

im Carl Hanser Verlag

Inhalt

Vorwort.....	5	3	Laserstrahlungsquellen	46
Inhalt.....	7	3.1	Gaslaser.....	46
1	Einleitung.....	3.1.1	CO ₂ -Laser.....	46
2	Grundlagen der Lasertechnik.....	3.1.1.1	Geströimte Systeme.....	48
2.1	Licht als elektromagnetische Welle	3.1.1.2	Quasistationäre Systeme.....	50
2.2	Emission und Absorption.....	3.1.1.3	Stationäre Systeme (Sealed-Off). ..	51
2.3	Grundanordnung eines Lasers.....	3.1.2	Excimerlaser.....	53
2.3.1	Erzeugung einer Besetzungs- inversion	3.2	Halbleiterlaser.....	56
2.3.2	Linienbreite und Linienform	3.3	Festkörperlaser	61
2.3.3	Strahlungsverstärkung.....	3.3.1	Stablaser	63
2.4	Optische Resonatoren	3.3.2	Slablaser.....	66
2.4.1	Grundformen.....	3.3.3	Scheibenlaser.....	67
2.4.1.1	Stabiler Resonator	3.3.4	Faserlaser.....	69
2.4.1.2	Instabiler Resonator	3.3.5	Oszillator-Verstärker- Anordnungen	73
2.4.2	Resonatoranforderungen.....	3.3.6	Kurzpulslaser	75
2.4.3	Eigenschwingungen des Resonators (Moden)	4	Laserstrahleigenschaften und -parameter.....	80
2.4.3.1	Transversale Moden.....	4.1	Wellenlänge und Bandbreite.....	81
2.4.3.2	Axiale Moden	4.2	Laserleistung, Energie und Impulsparameter	84
2.4.4	Die Güte des Resonators.....	4.3	Polarisation	93
2.4.5	Zeitliche und räumliche Kohärenz.....	4.4	Strahlausbreitung und -geometrie.....	95
2.4.6	Kopplung von Eigenschwin- gungen (Modenkopplung).....	4.5	Intensität und Intensitätsverteilung.....	96
2.5	Betriebsarten des Lasers.....	4.6	Fokussieren von Laserstrahlung.....	97
2.5.1	Kontinuierlicher Betrieb.....	4.7	Strahlqualität	100
2.5.2	Impulsbetrieb.....	4.8	Laserstrahlstabilität.....	108
2.5.2.1	Elektrische Anregung.....	5	Wechselwirkungsprozesse	110
2.5.2.2	Güteschaltung	5.1	Reflexion, Absorption, Transmission	112
2.5.2.3	Methoden der Modenkopplung..	5.2	Thermische Wechselwirkungsvorgänge.....	121
2.5.2.4	Pulskompressionen.....	5.2.1	Wärmeeinflusszone.....	121
2.5.2.5	Frequenzvervielfachte Lasersysteme.....	5.2.2	Wärmeleitungsvorgänge	122
		5.2.3	Wärmeleitungsgleichungen.....	123
		5.2.4	Temperaturmessung	125
		5.3	Athermische Wechselwirkungsvorgänge	128

5.4	<i>Wechselwirkungsprozess - Energieeinkopplung</i>	129	7	Verfahren der Lasermaterial- bearbeitung	173
5.4.1	Schmelzbaddynamik.....	131	7.1	<i>Abtragen und Strukturieren</i>	173
5.4.2	Laserinduziertes Plasma	133	7.1.1	Grundverfahren des Abtragens.....	173
5.4.3	Abtragsmodelle.....	133	7.1.2	Ausgewählte Verfahren des Abtragens und Strukturierens.	179
5.4.4	Geometrieausbildung infolge der Wechselwirkung.....	136	7.1.2.1	Laserstrahlentschichten	180
5.4.4.1	Ausbilden eines Bohrloches.....	136	7.1.2.2	Laserstrahlflächenabtragen	184
5.4.4.2	Ausbilden einer Dampf- kapillare (Keyhole).....	137	7.1.2.3	Laserstrahlformabtragen.....	187
5.4.4.3	Ausbilden eines Schneidspaltes	138	7.1.2.4	Laserstrahl- sublimationsabtragen	188
6	<i>Lasermaterialbearbeitungsanlagen</i>	140	7.2	<i>Laserstrahlbohren</i>	191
6.1	<i>Grundaufbau von Lasermaterial- bearbeitungsanlagen</i>	140	7.2.1	Grundlagen des Laser- strahlbohrens	192
6.2	<i>Strahlführung und Strahlformung</i>	141	7.2.2	Bohrverfahren.....	194
6.2.1	Optische Komponenten.....	141	7.2.3	Einflussgrößen auf den Bohrprozess.....	197
6.2.1.1	Planparallele Platten	142	7.2.4	Anwendungen	200
6.2.1.2	Linsen.....	143	7.3	<i>Beschriften</i>	208
6.2.1.3	Spiegel.....	145	7.3.1	Verfahrensgrundlagen.....	208
6.2.1.4	Diffraktive Elemente	146	7.3.2	Beschriftungsverfahren.....	211
6.2.1.5	Optische Fasern	147	7.3.3	Beschriftungsanlagen	215
6.2.1.6	Sonderformen	148	7.3.4	Lasertypen und Leistungsklassen.....	218
6.2.2	Opto-mechanische Komponenten	149	7.3.5	Beschriftungsparameter.....	219
6.2.3	Anordnungen zur Strahlführung.....	151	7.3.6	Ausgewählte Beschriftungsmethoden und Applikationsbeispiele	223
6.2.3.1	Grundanordnungen.....	151	7.3.6.1	Anlassbeschriften.....	223
6.2.3.2	Strahlteilung.....	153	7.3.6.2	Farbumschlag von Kunststoffen	225
6.2.4	Anordnungen zur Strahlformung.....	154	7.3.6.3	Abtragen von Oberflächenschichten	228
6.2.4.1	Strahlaufweitung	154	7.3.6.4	Gravur.....	230
6.2.4.2	Strahlfokussierung.....	156	7.4	<i>Laserstrahlschneiden</i>	232
6.2.4.3	Formung der Intensitätsverteilung.....	159	7.4.1	Verfahrensgrundlagen.....	233
6.2.4.4	Strahlüberlagerung	161	7.4.2	Schneidverfahren	236
6.3	<i>Bearbeitungseinrichtung</i>	163	7.4.2.1	Sublimationsschneiden	236
6.3.1	Grundanordnungen.....	163	7.4.2.2	Schmelzschneiden.....	239
6.3.2	Bewegungseinheiten	165	7.4.2.3	Brennschneiden.....	243
6.3.2.1	Eindimensionale Bearbeitung	165	7.4.2.4	Spezielle Schneidverfahren	247
6.3.2.2	Zweidimensionale Bearbeitung	166	7.4.2.4.1	Hochgeschwindigkeits- schneiden	247
6.3.2.3	Dreidimensionale Bearbeitung	167	7.4.2.4.2	Präzisionsschneiden	249
6.4	<i>Gesamtsystemlösungen</i>	170	7.4.2.4.3	Schneiden mit Scansystemen (Remoteschneiden)	253

7.4.2.4.4	Wasserstrahlunterstütztes Schneiden	256	7.5.6	Ausgewählte Anwendungen	309
7.4.3	Schneidsysteme	258	7.5.7	Schweißnahtqualitäten und -kontrolle.....	311
7.4.3.1	Laserstrahlungsquellen und -komponenten	258	7.6	<i>Löten</i>	312
7.4.3.2	Schneidanlagen.....	261	7.6.1	Grundlagen des Lötens.....	313
7.4.3.3	NC-Programmerstellung.....	262	7.6.2	Verfahren des Laserstrahlötens	314
7.4.4	Schneidstrategien.....	263	7.6.2.1	Weichlöten	315
7.4.5	Schnittkantendarstellung und -bewertung.....	268	7.6.2.2	Hartlöten	318
7.4.6	Fehlergrößen und -ursachen	270	7.6.2.3	Hochtemperaturlöten	324
7.5	<i>Schweißen</i>	273	7.7	<i>Oberflächenbehandlung mit Laserstrahlung</i>	327
7.5.1	Schweißtechnische Grundlagen.....	274	7.7.1	Laserstrahlhärten	328
7.5.2	Grundlegende Schweißverfahren.....	276	7.7.2	Umschmelzen und Glasieren....	332
7.5.2.1	Wärmeleitungsschweißen.....	277	7.7.3	Legieren, Beschichten, Dispergieren.....	334
7.5.2.2	Tiefschweißen	278	7.7.4	Spezielle Verfahren des Funktionalisierens von Bauteiloberflächen	338
7.5.3	Einflussgrößen der Schweißverfahren.....	280	7.7.5	Thermochemische Laserstrahlbehandlung von SiC-Oberflächen.....	340
7.5.3.1	Absorption der Laser- strahlung, Intensität und Einschweißtiefe.....	280	7.8	<i>Lasergestützte generative Fertigungsverfahren</i>	342
7.5.3.2	Nahtform und -qualität.....	282	7.8.1	Verfahrensgrundlagen.....	344
7.5.3.3	Prozessgase	284	7.8.2	Laserstrahlungsquellen.....	346
7.5.4	Ausgewählte Verfahren	289	7.8.3	Verfahren	347
7.5.4.1	Schweißen mit hoher Brillanz..	289	7.8.3.1	Generieren aus der flüssigen Phase	347
7.5.4.2	Feinschweißen/ Mikrobearbeitung.....	291	7.8.3.2	Generieren aus der pulverförmigen Phase	353
7.5.4.3	Schweißen beschichteter Werkstoffe.....	295	7.8.3.2.1	Direktes Selektives Lasersintern	355
7.5.4.4	Schweißen artfremder Materialien	296	7.8.3.2.2	Indirektes Lasersintern	364
7.5.4.5	Schweißen mit Zusatzwerkstoffen	296	7.8.3.3	Selektives Laserschmelzen.....	367
7.5.4.5.1	Schweißen mit Zusatzdraht	297	7.8.3.4	LaserCUSING / Concept Modelling	370
7.5.4.5.2	Schweißen mit Pulver	298	7.8.3.5	Layer Laminate Manufacturing	373
7.5.4.5.3	Automatisiertes Laserauftragsschweißen	300	8	Bearbeitung von Glaswerkstoffen	380
7.5.4.5.4	Handgeführtes und teilautomatisiertes Laserstrahlschweißen	301	8.1	<i>Grundlagen</i>	380
7.5.4.5.5	Mikropulverauftrags- schweißen (Micro-Cladding)	304	8.1.1	Werkstoffeigenschaften	380
7.5.4.6	Hybridschweißen.....	305	8.1.1.1	Transmission, Absorption und Reflexion	382
7.5.5	Ausgewählte Lasersysteme für das Schweißen	306	8.1.1.2	Ausdehnungskoeffizient.....	383
			8.1.1.3	Viskosität	383

8.1.1.4	Wärmeleitfähigkeit und Temperatur- wechselbeständigkeit.....	384	9.2	Laserstrahlschweißen von Kunststoffen.....	450
8.1.1.5	Festigkeit.....	385	9.2.1	Verfahrensprinzip	450
8.1.1.6	Spannungszustände.....	385	9.2.2	Materialeignung und Auswahl der Farbstoffe und Pigmente	452
8.1.2	Verfahren und ausgewählte Wechselwirkungsprozesse.....	386	9.2.3	Schweißtechnologien	454
8.2	Abtragen und Strukturieren	388	9.2.4	Laserstrahlungsquellen und Systeme	457
8.2.1	Direktes Abtragen	388	9.2.5	Prozesskontrolle	458
8.2.2	Indirektes Abtragen	396	9.2.6	Ausgewählte Prüfverfahren	460
8.3	Bohren.....	398	9.2.7	Anwendungsbeispiele.....	461
8.4	Schneiden.....	401	9.3	Laserstrahltrennen	464
8.5	Absprengen und Separieren.....	405	9.3.1	Grundlagen.....	464
8.5.1	Spannungsinduziertes Separieren von Flachgläsern	405	9.3.2	Laserstrahlungsquellen und Systeme	465
8.5.2	Absprengen und Separieren rotations- symmetrischer Gläser.....	410	9.3.3	Ausgewählte Anwendungen	466
8.6	Beschriften.....	415	9.3.4	Trennen von Verbundwerkstoffen.....	469
8.6.1	Direkte Laserkenn- zeichnung	415	9.3.5	Schadstoffemissionen	475
8.6.2	Indirektes Laserstrahl- beschriften.....	417	9.4	Beschriften.....	476
8.7	Laserstrahlpolieren.....	418	9.5	Abtragen und Strukturieren.....	480
8.8	Fügen.....	424	10	Lasersicherheit	488
8.8.1	Schweißen von Glaswerkstoffen	424	10.1	Laserklassen und Gefährdungspotenzial	489
8.8.1.1	Schweißen mit angepassten Strahlparametern	425	10.2	Schutzmaßnahmen.....	489
8.8.1.2	Bearbeiten mit mehreren Arbeitsstrahlen	427	10.2.1	Technische und bauliche Schutzmaßnahmen.....	489
8.8.1.3	Hybrides Laserstrahl- schweißen	430	10.2.2	Persönliche Schutzmaßnahmen.....	490
8.8.2	Löten	432	10.2.2.1	Schutz der Augen	490
8.9	Umformen.....	437	10.2.2.2	Schutz der Haut	492
9	Bearbeitung von Kunst- und Verbundwerkstoffen	445	10.2.3	Organisatorische Maßnahmen.....	492
9.1	Grundlagen.....	445	10.3	Normen und Richtlinien	493
			10.4	Ausgewählte Laserschutzkomponenten.....	494
				Literaturverzeichnis.....	496
				Sachwortverzeichnis	516