

Inhalt

Vorwort.....	5	3	Laserstrahlungsquellen	46
Inhalt..	7	3.1	<i>Gaslaser.....</i>	<i>46</i>
1	Einleitung.....	3.1.1	CO ₂ -Laser.....	46
2	Grundlagen der Lasertechnik.....	3.1.1.1	Geströimte Systeme.....	48
2.1	<i>Licht als elektromagnetische Welle</i>	3.1.1.2	Quasistationäre Systeme	50
2.2	<i>Emission und Absorption.....</i>	3.1.1.3	Stationäre Systeme (Sealed-Off) .	51
2.3	<i>Grundanordnung eines Lasers.....</i>	3.1.2	Excimerlaser.....	53
2.3.1	Erzeugung einer Besetzungs- inversion	3.2	<i>Halbleiterlaser</i>	<i>56</i>
2.3.2	Linienbreite und Linienform	3.3	<i>Festkörperlaser</i>	<i>61</i>
2.3.3	Strahlungsverstärkung.....	3.3.1	Stablaser	63
2.4	<i>Optische Resonatoren</i>	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	<i>Wellenlänge und Bandbreite</i>	<i>81</i>
2.4.3.2	Axiale Moden	4.2	<i>Laserleistung, Energie und Impulsparameter</i>	<i>84</i>
2.4.4	Die Güte des Resonators.....	4.3	<i>Polarisation</i>	<i>93</i>
2.4.5	Zeitliche und räumliche Kohärenz.....	4.4	<i>Strahlausbreitung und -geometrie.....</i>	<i>95</i>
2.4.6	Kopplung von Eigenschwin- gungen (Modenkopplung).....	4.5	<i>Intensität und Intensitätsverteilung.....</i>	<i>96</i>
2.5	<i>Betriebsarten des Lasers.....</i>	4.6	<i>Fokussieren von Laserstrahlung.....</i>	<i>97</i>
2.5.1	Kontinuierlicher Betrieb.....	4.7	<i>Strahlqualität</i>	<i>100</i>
2.5.2	Impulsbetrieb.....	4.8	<i>Laserstrahlstabilität.....</i>	<i>108</i>
2.5.2.1	Elektrische Anregung	5	Wechselwirkungsprozesse	110
2.5.2.2	Güteschaltung	5.1	<i>Reflexion, Absorption, Transmission</i>	<i>112</i>
2.5.2.3	Methoden der Modenkopplung..	5.2	<i>Thermische Wechselwirkungsvorgänge.....</i>	<i>121</i>
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	<i>Athermische Wechselwirkungsvorgänge</i>	<i>128</i>

5.4	<i>Wechselwirkungsprozess - Energieeinkopplung.....</i>	129			
5.4.1	Schmelzbaddynamik.....	131			
5.4.2	Laserinduziertes Plasma.....	133			
5.4.3	Abtragsmodelle.....	133			
5.4.4	Geometrieausbildung infolge der Wechselwirkung.....	136			
5.4.4.1	Ausbilden eines Bohrloches.....	136			
5.4.4.2	Ausbilden einer Dampf- kapillare (Keyhole).....	137			
5.4.4.3	Ausbilden eines Schneidspaltes.....	138			
6	Lasermaterialbearbeitungsanlagen.....	140			
6.1	<i>Grundaufbau von Lasermaterial- bearbeitungsanlagen.....</i>	<i>140</i>			
6.2	<i>Strahlführung und Strahlformung.....</i>	<i>141</i>			
6.2.1	Optische Komponenten.....	141			
6.2.1.1	Planparallele Platten.....	142			
6.2.1.2	Linsen.....	143			
6.2.1.3	Spiegel.....	145			
6.2.1.4	Diffraktive Elemente.....	146			
6.2.1.5	Optische Fasern.....	147			
6.2.1.6	Sonderformen.....	148			
6.2.2	Opto-mechanische Komponenten.....	149			
6.2.3	Anordnungen zur Strahlführung.....	151			
6.2.3.1	Grundanordnungen.....	151			
6.2.3.2	Strahlteilung.....	153			
6.2.4	Anordnungen zur Strahlformung.....	154			
6.2.4.1	Strahlaufweitung.....	154			
6.2.4.2	Strahlfokussierung.....	156			
6.2.4.3	Formung der Intensitätsverteilung.....	159			
6.2.4.4	Strahlüberlagerung.....	161			
6.3	<i>Bearbeitungseinrichtung.....</i>	<i>163</i>			
6.3.1	Grundanordnungen.....	163			
6.3.2	Bewegungseinheiten.....	165			
6.3.2.1	Eindimensionale Bearbeitung.....	165			
6.3.2.2	Zweidimensionale Bearbeitung.....	166			
6.3.2.3	Dreidimensionale Bearbeitung.....	167			
6.4	<i>Gesamtsystemlösungen.....</i>	<i>170</i>			
7	Verfahren der Lasermaterial- bearbeitung.....	173			
7.1	<i>Abtragen und Strukturieren.....</i>	<i>173</i>			
7.1.1	Grundverfahren des Abtragens.....	173			
7.1.2	Ausgewählte Verfahren des Abtragens und Strukturierens.....	179			
7.1.2.1	Laserstrahlentschichten.....	180			
7.1.2.2	Laserstrahlflächenabtragen.....	184			
7.1.2.3	Laserstrahlformabtragen.....	187			
7.1.2.4	Laserstrahl- sublimationsabtragen.....	188			
7.2	<i>Laserstrahlbohren.....</i>	<i>191</i>			
7.2.1	Grundlagen des Laser- strahlbohrens.....	192			
7.2.2	Bohrverfahren.....	194			
7.2.3	Einflussgrößen auf den Bohrprozess.....	197			
7.2.4	Anwendungen.....	200			
7.3	<i>Beschriften.....</i>	<i>208</i>			
7.3.1	Verfahrensgrundlagen.....	208			
7.3.2	Beschriftungsverfahren.....	211			
7.3.3	Beschriftungsanlagen.....	215			
7.3.4	Lasertypen und Leistungsklassen.....	218			
7.3.5	Beschriftungsparameter.....	219			
7.3.6	Ausgewählte Beschriftungsmethoden und Applikationsbeispiele.....	223			
7.3.6.1	Anlassbeschriften.....	223			
7.3.6.2	Farbumschlag von Kunststoffen.....	225			
7.3.6.3	Abtragen von Oberflächenschichten.....	228			
7.3.6.4	Gravur.....	230			
7.4	<i>Laserstrahlschneiden.....</i>	<i>232</i>			
7.4.1	Verfahrensgrundlagen.....	233			
7.4.2	Schneidverfahren.....	236			
7.4.2.1	Sublimationsschneiden.....	236			
7.4.2.2	Schmelzschneiden.....	239			
7.4.2.3	Brennschneiden.....	243			
7.4.2.4	Spezielle Schneidverfahren.....	247			
7.4.2.4.1	Hochgeschwindigkeits- schneiden.....	247			
7.4.2.4.2	Präzisionsschneiden.....	249			
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	Löten	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	Schweißen	273	7.7	Oberflächenbehandlung mit Laserstrahlung	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	Lasergestützte generative Fertigungsverfahren	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	Grundlagen	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	<i>Laserstrahlschweißen von Kunststoffen.....</i>	<i>450</i>
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	<i>Abtragen und Strukturieren</i>	<i>388</i>	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	<i>Bohren.....</i>	<i>398</i>	9.2.7	Anwendungsbeispiele.....	461
8.4	<i>Schneiden.....</i>	<i>401</i>	9.3	<i>Laserstrahltrennen</i>	<i>464</i>
8.5	<i>Absprengen und Separieren.....</i>	<i>405</i>	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	<i>Beschriften.....</i>	<i>415</i>	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	<i>Beschriften.....</i>	<i>476</i>
8.7	<i>Laserstrahlpolieren.....</i>	<i>418</i>	9.5	<i>Abtragen und Strukturieren.....</i>	<i>480</i>
8.8	<i>Fügen.....</i>	<i>424</i>	10	Lasersicherheit	488
8.8.1	Schweißen von Glaswerkstoffen	424	10.1	<i>Laserklassen und Gefährdungspotenzial... </i>	<i>489</i>
8.8.1.1	Schweißen mit angepassten Strahlparametern	425	10.2	<i>Schutzmaßnahmen.....</i>	<i>489</i>
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	<i>Umformen.....</i>	<i>437</i>	10.2.2.2	Schutz der Haut	492
9	Bearbeitung von Kunst- und Verbundwerkstoffen	445	10.2.3	Organisatorische Maßnahmen.....	492
9.1	<i>Grundlagen.....</i>	<i>445</i>	10.3	<i>Normen und Richtlinien</i>	<i>493</i>
			10.4	<i>Ausgewählte Laserschutzkomponenten.....</i>	<i>494</i>
				Literaturverzeichnis.....	496
				Sachwortverzeichnis	516