

Inhalt

1 Einführung: Strahlwerkzeug Laser	1
2 Das Werkzeug.....	8
2.1 Ausbreitung und Charakterisierung von Laserstrahlen.....	8
2.1.1 Die Energie des elektromagnetischen Feldes.....	9
2.1.2 Elektromagnetische Wellen	10
2.1.3 Die Intensität elektromagnetischer Wellen	14
2.1.4 Die Kohärenz.....	15
2.1.5 Paraxiale Wellen	16
2.1.6 Durchmesser und Divergenz von Laserstrahlen	22
2.1.7 Die Beugungsmaßzahl	24
2.1.8 Berechnung der Strahlausbreitung mit Hilfe der Strahlmatrizen.....	27
2.1.9 Die Fokussierung von Laserstrahlen.....	34
2.1.10 Licht im absorbierenden Medium.....	40
2.1.11 Zusammenfassung von Abschnitt 2.1	42
2.2 Erzeugung von Laserstrahlung	43
2.2.1 Die Energiequantelung	43
2.2.2 Die diskreten Energiezustände atomarer Systeme	46
2.2.3 Absorption und Emission von Licht	48
2.2.4 Erzeugung der Laseraktivität	51
2.2.5 Der Laser-Resonator.....	58
2.2.6 Betriebsarten von Lasern	60
2.2.7 Zusammenfassung von Abschnitt 2.2	61
2.3 Strahlquellen für die Fertigung	62
2.3.1 Festkörperlaser.....	62
2.3.2 Gaslaser	77
2.3.3 Zusammenfassung von Abschnitt 2.3	84
2.4 Systemtechnik.....	85
2.4.1 Optische Komponenten zur Strahlführung und Strahlformung	86
2.4.2 Gasdynamische Komponenten	106
2.4.3 Bearbeitungsstationen.....	112
2.4.4 Laserintegration in Werkzeugmaschinen	117
2.4.5 Zusammenfassung von Abschnitt 2.4	120

3 Grundlagen der Wechselwirkung Laserstrahl/Werkstück	121
3.1 Energieeinkopplung	122
3.1.1 Energiebilanz in der Wechselwirkungszone, Wirkungsgrade.....	122
3.1.2 Energiedeposition im Werkstück.....	128
3.1.3 Fresnelabsorption.....	131
3.1.4 Zusammenfassung von Abschnitt 3.1.....	154
3.2 Wärmewirkungen im Werkstück.....	155
3.2.1 Wärmeleitungseffekte	156
3.2.2 Phasenübergänge.....	184
3.2.3 Zusammenfassung von Abschnitt 3.2.....	188
3.3 Modifikation des einfallenden Laserstrahls	189
3.3.1 Laserinduzierte Plasmen	189
3.3.2 Streu- und Absorptionsvorgänge an Partikeln.....	206
3.3.3 Absorption an Molekülen.....	211
3.3.4 Zusammenfassung von Abschnitt 3.3.....	213
3.4 Abschätzung erzielbarer Prozessergebnisse aus der Energiebilanz.....	214
4 Schneiden	218
4.1 Verfahren.....	219
4.2 Energiebilanz und daraus ableitbare Prozessergebnisse.....	222
4.2.1 Energieeinkopplung durch Fresnelabsorption	223
4.2.2 Energiezufuhr infolge Oxidation.....	224
4.2.3 Verlustleistung.....	227
4.2.4 Experimentelle Evidenz	228
4.3 Einfluss der Laserstrahleigenschaften	233
4.3.1 Laserleistung	234
4.3.2 Polarisation	235
4.3.3 Wellenlänge.....	237
4.3.4 Strahlparameterprodukt, Fokuspunktdurchmesser	239
4.3.5 Fokuslage	240
4.4 Schmelzaustrieb	240
4.4.1 Schneiddüsen und charakteristische Strömungsfelder	240
4.4.2 Gasströmung im Schnittspalt und Schmelzeströmung	249
4.5 Qualitätsaspekte	254
4.6 Zusammenfassung von Kapitel 4	258

5 Schweißen	260
5.1 Schwellen: Wärmeleitungs- / Tiefschweißen.....	260
5.2 Verfahrensprinzip.....	268
5.3 Energieeinkopplung an der Kapillarwand.....	271
5.3.1 Energiebilanz	271
5.3.2 Kapillargeometrie	271
5.3.3 Fresnelabsorption.....	273
5.3.4 Modifikation der Energieeinkopplung durch Plasma in der Kapillare.....	276
5.4 Fluidmechanische Effekte.....	278
5.4.1 Auswirkungen gleitender Stufen an der Kapillarfront.....	280
5.4.2 Umströmung der Kapillare	283
5.4.3 Effekte der Oberflächenspannung.....	289
5.4.4 Dampfströmung in der Kapillare	295
5.5 Einfluss der Umgebungsatmosphäre.....	298
5.5.1 Metalldampf- und Schutzgasplasma	299
5.5.2 Streuung in Metalldampffackel.....	302
5.5.3 Zustand der Schmelzebadoberfläche	303
5.6 Prozessergebnisse	303
5.6.1 Prozesswirkungsgrad und energiespezifisches Volumen	304
5.6.2 Einfluss der Prozessparameter auf die Nahtgeometrie	308
5.7 Prozessinstabilitäten	313
5.7.1 Kapillarininstabilitäten: Spritzer und Auswürfe, Porenbildung	314
5.7.2 Schmelzebadinstabilitäten: Humping	318
5.8 Modifikationen des Schweißprozesses	321
5.8.1 Doppelfokusteknik	322
5.8.2 Elektromagnetische Volumenkräfte	325
5.9 Zusammenfassung von Kapitel 5	329
6 Laserstrahlverfahren zur Oberflächenmodifikation	332
6.1 Martensitisches Randschichthärteten.....	335
6.1.1 Verfahrensprinzip.....	336
6.1.2 Energieeinkopplung und Wärmeleitung	340
6.1.3 Prozessergebnisse	354
6.1.4 Temperaturgeregeltes Härteten.....	359
6.2 Beschichten.....	362

6.2.1	Verfahrensmerkmale	362
6.2.2	Energieeinkopplung	369
6.2.3	Prozessergebnisse.....	376
6.2.4	Einfluss der Prozessparameter auf die Spurgeometrie	378
6.2.5	Prozessoptimierungen	382
6.3	Zusammenfassung von Kapitel 6	385
7	Bohren und Abtragen	387
7.1	Thermische Ablation	389
7.1.1	Grundlegende Betrachtungen.....	389
7.1.2	Den Abtrag modifizierende Einflüsse	402
7.2	Bohren.....	408
7.2.1	Einzelpulsbohren.....	410
7.2.2	Perkussionsbohren	417
7.2.3	Trepanier- und Wendelbohren.....	424
7.3	Abtragen.....	426
7.3.1	Maskenabbildungsverfahren	427
7.3.2	Schreibende Verfahren	430
7.4	Spanendes Abtragen	434
7.5	Zusammenfassung von Kapitel 7	437
8	Literatur	439
9	Sachwortverzeichnis	466