

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Laserstrahlerzeugung.....	3
	2.1 Eigenschaften des Laserstrahles	6
	2.1.1 Kohärenz	6
	2.1.2 Gaußsche Optik.....	7
	2.1.3 Modenstruktur	8
	2.1.4 Zeitlicher Impulsverlauf.....	10
	2.1.5 Einfluß des Strahlenganges auf die Leistungsdichte.....	11
	2.1.6 Linsenfehler	14
	2.2 Optische Schalter	14
3	Laserarten.....	16
	3.1 Festkörperlaser	16
	3.1.1 Rubinlaser	17
	3.1.2 Nd-Laser	18
	3.1.2.1 Thermische Einflüsse beim Nd-Laser	19
	3.1.2.2 Aufbau von Nd-Laseranlagen	19
	3.1.3 Weiterentwicklung der Festkörperlaser	22
	3.1.3.1 Mehrfachresonatoren (Multi-rod-systems).....	22
	3.1.3.2 Parallel angeordnete Laserstabsysteme.....	23
	3.1.3.3 Slablaser	24
	3.1.4 Diodenlaser und andere Festkörperlaser.....	25

3.2 Gaslaser	26
3.2.1 CO ₂ -Laser	26
3.2.2 CO-Laser	28
3.2.3 Excimerlaser	28
4 Einsatz des Lasers zum Schweißen.....	30
4.1 Verfahrensmerkmale des Schweißens mit Festkörperlasern	30
4.2 Vergleich des Laserschweißens mit alternativen Fügeverfahren	32
4.2.1 Laserschweißen im Vergleich mit anderen Schweißverfahren	32
4.2.1.1 Widerstandsschweißen	32
4.2.1.2 Ultraschallschweißen.....	35
4.2.1.3 Thermokompressionsschweißen.....	38
4.2.1.4 Wolfram-Inertgas-Schweißen(WIG).....	40
4.2.1.5 Plasmaschweißen.....	42
4.2.1.6 Elektronenstrahlschweißen	44
4.2.1.7 Zusammenfassung des Schweißverfahren- Vergleiches.....	47
4.2.2 Laserschweißen im Vergleich zur Löt- und Klebtechnik.....	49
4.2.2.1 Hart- und Hochtemperaturlöten	49
4.2.2.2 Weichlöten	50
4.2.2.3 Kleben.....	50
4.3 Anwendungsbeispiele des Laserschweißens	52
4.3.1 Laserpunktschweißen	52
4.3.2 Lasernahtschweißen	52
5 Prozeßverlauf beim Laserschweißen.....	56
5.1 Verlauf der Absorption beim Laserpulsschweißen.....	56
5.1.1 Der Stichlocheffekt beim Schweißen mit Impulslasern	64

5.1.2 Plasmaausbildung bei kontinuierlichen CO ₂ - und Nd-Lasern.....	65
5.1.3 Plasmaausbildung bei gepulsten Nd-Lasern	67
6 Einfluß der Prozeßparameter	70
6.1 Leistungsdichte	70
6.2 Impulsfolgefrequenz	71
6.3 Laserimpulsverlaufsteuerung	72
6.4 Einfluß der Modenstruktur.....	75
6.5 Defokussierung.....	77
6.6 Werkstoffparameter	78
6.6.1 Die Einfluß der Absorption.....	78
6.6.2 Wärmeabfuhr.....	81
6.6.2.1 Wärmestrahlung und -konvektion	82
6.6.2.2 Energien der Phasenübergänge	83
6.6.2.3 Energieabfuhr durch Wärmeleitung	83
6.6.3 Energieausnutzung.....	86
6.6.4 Temperaturfeld-Berechnung.....	87
6.7 Einfluß von Schutzgas bzw. Vakuum auf den Laserschweißprozeß	91
6.7.1 Einfluß von Schutzgas.....	91
6.7.2 Einfluß verminderten Druckes.....	95
6.8 Nahtschweißen.....	95
6.8.1 Schweißfehler.....	97
6.8.2 Dichtschweißen.....	97
6.8.3 Nahtschweißen mit Hochleistungs-Festkörperlasern.....	100
6.9 Laserauftragsschweißen	102
6.10 Einfluß der konstruktiven Gestaltung auf das Schweißergebnis	105
6.10.1 Blech und blechähnliche Verbindungen.....	105
6.10.1.1 Zulässige Stoßtoleranzen beim Punktschweißen von Blechen.....	109

6.10.2 Draht-Draht- und Draht-Blech-Verbindungen	111
6.10.2.1 Zulässige Toleranzen bei Drahtverbindungen	121
6.11 Zusammenstellung von Strahlparametern zum Laserpunkt- und -nahtschweißen.....	122
6.11.1 Laserschweißen von Blechen bzw. Bändern	125
6.11.2 Laser-Schweißen von Drahtverbindungen.....	130
7 Metallurgie des Laserschweißens.....	134
7.1 Erstarrungsprozeß und Gefüge beim Laserstrahl- puls-schweißen	134
7.1.1 Wärmezyklus beim Laserschweißen.....	134
7.1.2 Erstarrung und Gefüge.....	134
7.2 Schweißfehler - Ursachen und Vermeidung	137
7.2.1 Ursachen von Schweißfehlern.....	137
7.2.2 Heiß- und Kaltrisse	137
7.2.3 Versprödung und Porosität durch Gas	139
7.2.4 Mikroporosität infolge Phasenumwandlung	140
7.2.5 Verdampfung von Legierungskomponenten	140
7.2.6 Einflüsse von Überzügen auf das Aufschmelzverhalten.....	142
7.3 Laserschweißbeignung der Werkstoffe	142
7.3.1 Laserschweißbeignung von Metallen	142
7.3.2 Schweißbeignung von Metallkombinationen	145
7.3.3 Schweißen von Nichtmetallen	147
7.3.3.1 Kunststoffe	148
7.3.3.2 Keramik und Glas	150
8 Laserlöten	151
8.2 Laserweichlöten.....	152
8.2.1 Löten von elektronischen Baugruppen.....	152
8.2.1.1 Herkömmliche Lötverfahren	153
8.2.3 Vor- und Nachteile des Laserlöten von elektronischen Bauelementen	164

8.3 Beispiele des Laserweichlötens.....	166
8.4 Laserhartlötten	168
8.5 Laserhochtemperaturlötens.....	169
9 Ermittlung der Laserstrahlparameter	170
9.1 Meßsysteme zur Erfassung der Strahlparameter	170
9.1.1 Messung der Leistung.....	171
9.1.2 Meßmethoden für den Fokusedurchmesser und die Energieverteilung.....	173
10 Qualitätssicherung von Laserschweißverbindungen	177
10.1 Qualitätsplanung	177
10.2 Qualitätssicherungsmaßnahmen vor dem Schweißen.....	178
10.3 Prozeßkontrolle und -regelung.....	180
10.3.1 Plasmadynamik und Strahlreflexion.....	180
10.3.2 Schallemission.....	182
10.4 Qualitätskontrollkarten	184
10.5 Prüfung von Schweißverbindungen	184
10.5.1 Metallographie	185
10.5.1.1 Präparation für metallographische Untersuchungen	185
10.5.1.2 Lichtmikroskopie	186
10.5.1.3 Elektronenmikroskopie	188
10.5.1.4 Röntgenographische Untersuchungen	190
10.5.1.5 Elektronenstrahlmikroanalyse (EMS-Analyse)	190
10.5.2 Ultraschallprüfung	191
10.5.3 Visuelle Inspektion	191
10.5.4 Festigkeitsprüfungen	191
10.5.5 Härteprüfung	192
10.5.6 Elektrische und thermische Leitfähigkeitsprüfung	192
11.1 Wirkungsweise von Glasfasern.....	195
11.2 Justieren von Glasfasern.....	198

11.3 Verluste in der Faser	200
11.4 Strahlteiler.....	202
12 Lasersysteme in der Produktion	204
12.1 Positionier- und Führungssysteme.....	204
12.2 Robotereinsatz beim Schweißen.....	206
13 Strahlenschutz	209
13.1 Sicherheitsmaßnahmen	209
13.2 Berechnung der zulässigen Bestrahlung.....	211
14 Zukunftstendenzen.....	215
15 Tabellenverzeichnis	216
16 Literaturverzeichnis	218
17 Stichwortverzeichnis	240