

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Verfahrenstechnik und Stand der Technik beim Laserstrahlschweißen</b> .....	1
1.1	Grundlagen des Laserstrahlschweißprozesses .....	1
1.1.1	Veränderliche Parameter beim Laserstrahlschweißprozeß .....	4
1.1.2	Charakterisierung von Laserstrahlung .....	4
1.2	Einfluß der Bearbeitungsparameter auf den Schweißprozeß .....	6
1.2.1	Einfluß der Laserstrahlparameter auf den Schweißprozeß .....	6
1.2.2	Einfluß von Arbeitsgasen auf den Schweißprozeß .....	7
1.2.3	Einsatz von Schweißzusatzwerkstoff .....	8
1.2.4	Einsatz von Zusatzenergiequellen .....	9
1.3	Einfluß der Bearbeitungsparameter auf das Schweißergebnis .....	10
1.3.1	Mechanisch-technologische Eigenschaften .....	10
1.3.2	Einflüsse auf die Nahtqualität .....	11
1.3.2.1	Einfluß der Naht- und Kantenvorbereitung .....	12
1.3.2.2	Einflüsse auf die Porenbildung .....	13
1.3.2.3	Einflüsse auf die Ribbildung .....	14
1.3.3	Einflüsse auf die Nahtgeometrie .....	14
1.4	Komponenten einer Laseranlage .....	18
1.4.1	Anlagentechnik .....	18
1.4.2	Prozeßüberwachung .....	18
1.4.3	Lasergerät .....	19
1.4.4	Strahlführung .....	19
1.4.5	Strahlformung .....	19
1.4.6	Zusatzwerkstoff und Zuführungssystem .....	19
1.4.7	Zusatzenergiequellen .....	20
1.5	Schrifttum .....	20
<b>2</b>	<b>Laserstrahlschweißbeignung der Werkstoffe</b> .....	23
2.1	Werkstoffkundliche Grundlagen des Laserstrahlschweißens .....	23
2.1.1	Änderung der Eigenschaften und des Gefüges von metallischen Festkörpern bei Erwärmung und Abkühlung .....	23
2.1.1.1	Ohne Phasenumwandlung im festen Zustand .....	23
2.1.1.2	Mit Phasenumwandlung im festen Zustand .....	25
2.1.2	Vorgänge beim Schmelzen heterogener Werkstoffe .....	27
2.1.3	Eigenschaften metallischer Schmelzen .....	29
2.1.4	Vorgänge bei der Erstarrung .....	31
2.1.4.1	Reine Metalle .....	32
2.1.4.2	Legierungen .....	33
2.1.4.3	Reale Systeme .....	37
2.1.5	Schematischer Aufbau und Eigenschaftsprofil von (Laser-) Schweißnähten .....	43
2.1.5.1	Mikroskopische Beschreibung von Laserschweißnähten .....	43
2.1.5.2	Eigenstressungen, Verzug und Textur .....	46

2.1.6	Alterungsprozesse bei Laserschweißnähten .....	49
2.2	Laserstrahlschweißbeignung verschiedener Werkstoffgruppen .....	51
2.2.1	Einteilung der Stähle .....	51
2.2.2	Un- und niedriglegierte Stähle .....	51
2.2.2.1	Allgemeine Baustähle .....	51
2.2.2.2	Kaltzähe und warmfeste Baustähle .....	56
2.2.2.3	Einsatz-, Nitrier-, Vergütungs- und unlegierte Werkzeugstähle .....	56
2.2.3	Nichtrostende Stähle .....	57
2.2.3.1	Klassifikation der Werkstoffe .....	57
2.2.3.2	Ferritische Chrom-Stähle .....	59
2.2.3.3	Martensitische Chrom-Stähle .....	59
2.2.3.4	Austenitische Chrom-Nickel-(Molybdän-)Stähle .....	60
2.2.3.5	Austenitisch-ferritische Stähle (Duplex-Stähle) .....	61
2.2.4	Nickelbasislegierungen .....	61
2.2.5	Aluminiumlegierungen .....	63
2.2.5.1	Einteilung der Aluminiumwerkstoffe .....	63
2.2.5.2	Allgemeines zur Laserstrahlschweißbeignung von Aluminiumwerkstoffen .....	63
2.2.5.3	Gußlegierungen .....	64
2.2.5.4	Knetlegierungen .....	64
2.2.5.5	Beispiele .....	65
2.3	Schrifttum .....	66
<b>3</b>	<b>Laserstrahlschweißgerechtes Konstruieren .....</b>	<b>71</b>
3.1	Was ist laserstrahlschweißgerechte Konstruktion? .....	71
3.1.1	Begriffe und Definitionen .....	71
3.1.1.1	Vorteile und Potentiale des Lasers .....	72
3.1.2	Beispiele .....	74
3.2	Konstruktionshinweise .....	77
3.2.1	Werkstoffgerechte Gestaltung .....	77
3.2.2	Beanspruchungsgerechte Gestaltung .....	79
3.2.2.1	Einfluß auf die kritischen Werkstoffgrößen .....	80
3.2.2.2	Laserstrahlschweißgerechte Nahtgestaltung .....	81
3.2.3	Einflüsse des Fertigungsprozesses auf die Konstruktion .....	82
3.2.3.1	Verfahrensgerechte Konstruktion .....	82
3.2.3.2	Spanngerechte Konstruktion .....	84
3.2.3.3	Führungsmaschinengerechte Konstruktion .....	85
3.2.4	Anforderungen aus der Qualitätssicherung und der Prüftechnik .....	86
3.2.4.1	Qualitätssicherung .....	86
3.3	Berechnungsverfahren zur Auslegung einer Konstruktion .....	89
3.3.1	Analytische Verfahren .....	89
3.3.1.1	Auslegung bei vorwiegend ruhender Belastung .....	89
3.3.1.2	Bemessung bei schwingender Belastung .....	91
3.3.2	Numerische Verfahren .....	97
3.4	Schrifttum .....	100

<b>4</b>	<b>On-line-Qualitätssicherung bei Verfahren der Laserstrahlmaterialbearbeitung</b>	<b>103</b>
4.1	Physikalische Grundlagen von Strahl-Stoff-Wechselwirkungsprozessen .....	103
4.1.1	Optische Emissionen .....	103
4.1.2	Akustische Emissionen .....	104
4.1.3	Meßtechnische Erfassung und Verarbeitung von Prozeßsignalen .....	104
4.2	Systeme zur Prozeßbeobachtung .....	105
4.3	Anwendungen in der Fertigungspraxis .....	106
4.3.1	Qualitätsüberwachung beim Schweißen von Dachnähten im Automobilbau .....	107
4.3.2	Qualitätsüberwachung beim Schweißen mit dem Nd:YAG-Festkörperlaser .....	108
4.3.3	On-line-Detektion der Einschweißtiefe und innerer Nahtfehler beim Laserstrahl-tiefschweißen .....	110
4.3.3.1	Technische Realisierung .....	111
4.3.3.2	Meßwerterfassung und Auswertung .....	113
4.3.4	Überwachung der Einschweißtiefe und Qualitätskontrolle beim Laserstrahl- schweißen .....	113
4.4	Systeme zur Prozeßregelung und -steuerung .....	116
4.4.1	On-line-Prozeßüberwachung zur Schweißtiefen- und Nahtlagenkontrolle .....	117
4.4.2	Diodenlasersystem mit verstellbarer Leistungsdichteverteilung .....	120
4.4.3	Robuste Sensor-/Aktorsysteme für das Laserstrahlschweißen von Leichtbaufunktionsgruppen .....	122
4.4.4	Sensor-/Aktorsystem für das Nd:YAG-Laserstrahlschweißen mit Fokuslagen- kontrolle .....	123
4.4.4.1	Sensor-/Aktorsystem für das CO <sub>2</sub> -Laserstrahlschweißen mit Fokuslagenkontrolle ..	124
4.5	Geregeltes Positionieren des Laserstrahls .....	125
4.5.1	Laserstrahlschneidkopf mit integrierter Sensorik zur kapazitiven Abstandsregelung	126
4.5.2	Optischer Sensor zur Geometrieerfassung beim Laserstrahlschweißen .....	127
4.6	Schrifttum .....	129
<b>5</b>	<b>Prüfung laserstrahlgeschweißter Verbindungen</b> .....	<b>131</b>
5.1	Genormte Prüfverfahren in der Schweißtechnik mit Relevanz für das Laserstrahlschweißen .....	132
5.2	Eigenschaften von Laserstrahlschweißverbindungen und Prüfproblematik .....	135
5.3	Laserspezifische Prüfstrategien zur Schweißverfahrensprüfung .....	136
5.3.1	Unregelmäßigkeiten .....	136
5.3.2	Festigkeit / Verformbarkeit .....	138
5.3.2.1	Zugversuch .....	138
5.3.2.2	Prüfung des Nahtverbundes und Ermittlung lokaler Schweißnahtkenngrößen .....	139
5.3.2.3	Biegeversuch .....	144
5.3.2.4	Betriebsfestigkeit .....	148
5.3.2.5	Härte .....	155
5.3.3	Zähigkeit .....	158
5.3.3.1	Kerbschlagbiegeversuch .....	158
5.3.3.2	Bruchmechanische Kennwertermittlung für Schweißverbindungen .....	166

5.4	Prüfung sonstiger Kenngrößen .....	169
5.4.1	Eigenspannungen .....	169
5.4.2	Korrosion .....	174
5.5	Relevanz der modifizierten Prüfstrategien zur Normung .....	176
5.5.1	Schweißverfahrensprüfungen .....	177
5.5.2	Strategien für die zerstörungsfreie Prüfung .....	178
5.5.3	Strategien für die zerstörende Prüfung .....	181
5.6	Schrifttum .....	182
<b>6</b>	<b>Normen und Regelwerke .....</b>	<b>185</b>
6.1	Die Sicherstellung der Qualitätsanforderungen durch Regelwerke .....	185
6.1.1	Die prinzipielle Bedeutung der Regelwerke für die Qualitätssicherung .....	185
6.1.2	Vertragliche Anwendung von Regelwerken .....	185
6.1.3	Die besonderen Anforderungen gesetzlich geregelter Bereiche .....	186
6.1.4	Die Komponenten der Qualitätssicherung .....	186
6.2	Bestehende Normen und Regelwerke in der Laserstrahlschweißtechnik .....	187
6.2.1	Begriffsbestimmung .....	188
6.2.2	Personalqualifizierung .....	188
6.2.3	Arbeitssicherheit – Laserschutzbeauftragter .....	189
6.2.4	Maschinenabnahme .....	190
6.2.5	Schweißanweisungen .....	190
6.2.6	Bewertung strahlgeschweißter Verbindungen .....	191
6.2.7	Verfahrensprüfung .....	192
6.3	Normen mit einem Bezug zur Lasertechnik .....	193
6.3.1	Anforderungen an Schweißaufsichtspersonen .....	193
6.3.2	Qualitätsmanagement nach ISO 9000 ff. ....	193
6.3.3	Anforderungen an die schweißtechnische Fertigung nach DIN EN 729 .....	194
6.3.4	Gestaltung eines Laserstrahlschweißprozesses unter Nutzung der Regelwerke – Verfahrensprüfung an einem Baustahl S355 .....	194
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>197</b>
	<b>Übersicht der Projektpartner .....</b>	<b>199</b>
	<b>Materialdatenbank auf beiliegender CD-ROM .....</b>	<b>(3. Umschlagseite)</b>