

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
<b>2 Schmelzschweißprozesse .....</b>	<b>7</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
<b>2.1 Gasschmelzschweißen (G/31) .....</b>	<b>8</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
<b>2.1.1 Brenngase .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.2 Sauerstoff .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.3 Armaturen .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.4 Schweißbrenner (DIN EN 731) .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.5 Schweißzusätze (DIN EN 12536) .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.6 Schweißarten .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.7 Unregelmäßigkeiten beim Gasschmelzschweißen .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Grundlagen des Lichtbogenschweißens .....</b>	<b>18</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
<b>2.2.1 Die Vorgänge im Lichtbogen .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2 Schweißstromquellen .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Das Lichtbogenhandschweißen (E/111) .....</b>	<b>32</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
<b>2.3.1 Stabelektroden .....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.2 Bezeichnung der Elektroden .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.3 Technik des Schweißens .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.4 Unregelmäßigkeiten beim Lichtbogenhandschweißen .....</b>	<b>42</b>
<b>2.4 Unterpulver-Schweißen .....</b>	<b>43</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
<b>2.4.1 Elektroden .....</b>	<b>44</b>
<b>2.4.2 Schweißpulver .....</b>	<b>45</b>

---

2.4.3	Draht-Pulver-Kombination .....	48
2.4.4	Schweißgeräte .....	50
2.4.5	Unregelmäßigkeiten beim UP-Schweißen .....	52
2.5	Schutzgasschweißen .....	53
	<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.1	Schutzgase zum Schweißen .....	53
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.2	Metall-Schutzgasschweißen (MSG) .....	60
	<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.3	Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) .....	72
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.5.4	Wolfram-Plasmenschweißen (WP) .....	78
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.6	Gießschmelzschweißen .....	81
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.7	Strahlschweißprozesse .....	84
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
2.7.1	Elektronenstrahlschweißen (EBW = Electron Beam Welding) .....	84
2.7.2	Laserschweißen .....	89
2.8	Elektroschlackeschweißen .....	96
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
3	Prozesse des Pressschweißens .....	99
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
3.1	Widerstandspressschweißen .....	100
	<i>H. J. Fahrenwaldt/V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.1.1	Punktschweißen (RP/21) .....	101
3.1.2	Pressstumpf- und Abbrennstumpfschweißen (RPS/25 und RA/24) .....	108
3.1.3	Induktives Widerstandspressschweißen (RI/74) .....	110
3.2	Gaspressschweißen (GP/47) .....	110
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
3.3	Lichtbogenpressschweißen .....	111
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.3.1	Bolzenschweißen .....	111
3.3.2	Pressschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBL) .....	119
3.4	Diffusionsschweißen .....	121
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.4.1	Ablauf .....	122
3.4.2	Werkstoffe .....	123
3.4.3	Anwendung .....	123

---

3.5	Reibschweißen .....	124
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.5.1	Verfahrensprinzip .....	125
3.5.2	Reibschweißmaschinen .....	126
3.5.3	Werkstoffe .....	127
3.6	Kaltpressschweißen .....	129
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.7	Sprengschweißen .....	132
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
3.7.1	Ablauf .....	132
3.7.2	Werkstoffe .....	133
3.7.3	Anwendung .....	134
3.8	Ultraschallschweißen (US/41) .....	134
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
<b>4</b>	<b>Löten .....</b>	<b>137</b>
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
4.1	Einteilung der Lötprozesses .....	137
4.1.1	Temperaturen beim Löten .....	140
4.1.2	Grundlagen des Löten .....	140
4.1.3	Kapillareffekt .....	141
4.1.4	Vor- und Nachteile des Löten .....	142
4.1.5	Lötbarkeit .....	143
4.1.6	Löteignung der Werkstoffe .....	143
4.2	Lötverfahren .....	143
4.3	Lote .....	146
4.3.1	Einteilung der Lote nach den Arbeitsbereichen (Temperatur) .....	146
4.4	Flussmittel .....	149
4.4.1	Lötgerechtes Konstruieren .....	152
4.4.2	Eigenschaften von Lötverbindungen .....	153
4.4.3	Festigkeit von Lötverbindungen .....	154
4.4.4	Unregelmäßigkeiten von Lötverbindungen .....	154
4.4.5	Prüfung von Personal und Verfahrensprüfungen .....	155
4.4.6	Arbeitsschutz beim Löten .....	156
<b>5</b>	<b>Metallkleben .....</b>	<b>157</b>
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
5.1	Grundlagen des Klebens .....	158
5.1.1	Oberflächeneigenschaften .....	159
5.1.2	Oberflächenvorbereitung .....	160
5.2	Klebstoffe .....	161

---

<b>6</b>	<b>Fügen durch Umformen .....</b>	<b>169</b>
<i>C. Bye</i>		
6.1	Grundlagen .....	169
6.2	Clinchen .....	171
6.2.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten .....	171
6.2.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	172
6.2.3	Anwendungen .....	173
6.2.4	Geräte und Systeme .....	173
6.3	Nieten .....	174
6.3.1	Stanznieten .....	175
6.3.2	Blindnieten .....	178
6.3.3	Schließringbolzen .....	180
6.3.4	Funktionselemente .....	182
<b>7</b>	<b>Kunststoffschweißen .....</b>	<b>189</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt</i>		
7.1	Warmgasschweißen .....	193
7.2	Warmgas-Extrusionsschweißen (WE) .....	194
7.3	Direktes Heizelementschweißen .....	195
7.4	Heizwendelschweißen .....	196
7.5	Indirektes Heizelementschweißen .....	196
7.6	Ultraschallschweißen .....	197
7.7	Reibschweißen und Vibrationsschweißen .....	200
7.8	Hochfrequenzschweißen .....	200
7.9	Induktionsschweißen .....	202
7.10	Strahlschweißen .....	203
7.11	Kleben von Kunststoffen .....	206
<b>8</b>	<b>Auftragschweißen und Thermisches Spritzen .....</b>	<b>209</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt/P. Heinrich/W. Krömer</i>		
8.1	Auftragschweißen .....	209
8.1.1	Schweißverfahren .....	210
8.1.2	Aufmischungsgrad .....	210
8.1.3	Gas-Pulver-Schweißen .....	211
8.1.4	Lichtbogenhand- und WIG-Schweißen .....	212
8.1.5	Metall-Schutzgas-Schweißen .....	212
8.1.6	Plasma-Pulver-Auftragschweißen .....	213
8.1.7	Laser-Auftragschweißen .....	213
8.1.8	Elektro-Schlacke-Bandauftragschweißen .....	215
8.1.9	Schweißzusatzwerkstoffe .....	216
8.1.10	Auftraglöten .....	218
8.2	Thermisches Spritzen .....	218

8.3	Verfahren des Thermischen Spritzens .....	221
8.3.1	Flammspritzen .....	221
8.3.2	Flammspritzen mit Draht .....	221
8.3.3	Flammspritzen mit Pulver .....	222
8.3.4	Einschmelzen selbstfließender Pulver .....	223
8.3.5	Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen .....	223
8.3.6	Verfahrensprinzip des Jet Kote-Spritzen .....	225
8.3.7	Vorhandene Systeme des Hochgeschwindigkeits-Flammspritzens .	226
8.3.8	Detonationsspritzen (amerikanische Bezeichnung: D-Gun-Spritzen) .....	228
8.3.9	Lichtbogenspritzen .....	229
8.3.10	Plasmaspritzen .....	230
8.3.11	Kaltgasspritzen .....	231
8.4	Wirtschaftlichkeit des Thermischen Spritzens als Beschichtungsverfahren...	233
8.4.1	Thermisches Spritzen .....	233
8.5	Beispiele wirtschaftlicher Einsätze und Anwendungen .....	234
9	<b>Thermisches Trennen .....</b>	241
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
9.1	Werkstoffe und Materialdicken .....	243
9.2	Autogenes Brennschneiden .....	244
9.2.1	Betriebsgase zum autogenen Brennschneiden .....	247
9.2.2	Brennschneidgeräte .....	248
9.2.3	Brennschnittgüte .....	250
9.2.4	Sonderverfahren des autogenen Brennschneidens .....	252
9.3	Plasmaschneiden .....	254
9.3.1	Verfahrensprinzip .....	254
9.3.2	Einteilung der Verfahren .....	255
9.3.3	Plasmagase .....	256
9.3.4	Plasmabrenner .....	257
9.3.5	Plasmafugen .....	258
9.3.6	HotWire-Plasmaschneiden .....	258
9.4	Laserstrahlschneiden .....	259
9.4.1	Laserarten zum Schneiden .....	260
9.5	Wasserstrahlschneiden .....	260
10	<b>Flammrichten .....</b>	265
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
10.1	Verfahrensprinzip .....	265
10.2	Ausführung .....	266
10.3	Ausrüstung .....	269
10.4	Eignung der Werkstoffe und Besonderheiten beim Flammrichten .....	270
10.4.1	Stähle .....	270

---

<b>11 Werkstoffe und Schweißen .....</b>	<b>277</b>
<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
<b>11.1 Stahl und Eisen .....</b>	<b>277</b>
11.1.1 Die Beeinflussung des Grundwerkstoffs durch das Schweißen .....	277
11.1.2 Allgemeine Baustähle .....	286
11.1.3 Schweißgeeignete Betonstähle .....	289
11.1.4 Feinkornbaustähle .....	290
<i>I. Seidl</i>	
11.1.5 Hochlegierte Stähle .....	296
11.1.6 Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe .....	303
11.1.7 Schweißverbindungen von unterschiedlichen Metallen .....	308
<b>11.2 Nichteisenmetalle .....</b>	<b>311</b>
11.2.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen .....	311
11.2.2 Kupfer und Kupferlegierungen .....	318
11.2.3 Nickel und Nickellegierungen .....	324
11.2.4 Titan und Titanlegierungen .....	327
11.2.5 Molybdän und Molybdänlegierungen .....	329
11.2.6 Magnesium und Magnesiumlegierungen .....	330
<b>12 Anforderungsgerechte Gestaltung von Schweißkonstruktionen .....</b>	<b>335</b>
<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
<b>12.1 Beanspruchungsgerechte Gestaltung .....</b>	<b>335</b>
12.1.1 Statisch und dynamisch beanspruchte Bauteile .....	337
12.1.2 Biege- und verdrehsteife Konstruktionen .....	340
12.1.3 Zug- und druckbeanspruchte Stäbe .....	343
12.1.4 Vibrationsgerechte Gestaltung .....	345
12.1.5 Vakuumgerechte Gestaltung .....	349
<b>12.2 Fertigungsgerechte Gestaltung .....</b>	<b>351</b>
<b>12.3 Werkstoffgerechte Gestaltung .....</b>	<b>364</b>
12.3.1 Nahtvorbereitung und Fugenform .....	364
12.3.2 Gestaltung bei Oberflächenbeschichtungen .....	365
12.3.3 Verbindungen an platierten Blechen .....	368
12.3.4 Mischverbindungen .....	371
12.3.5 Verminderung der Terrassenbruchneigung .....	375
<b>12.4 Korrosionsgerechte Gestaltung .....</b>	<b>376</b>
<b>12.5 Prüfgerechte Gestaltung .....</b>	<b>385</b>
<b>12.6 Instandsetzungsgerechte Gestaltung .....</b>	<b>387</b>
12.6.1 Allgemeines zu Instandsetzung .....	387
12.6.2 Riegeln .....	390
<b>12.7 Mechanisierungs-/Automatisierungsgerechte Gestaltung .....</b>	<b>393</b>

---

<b>13 Anwendungsgerechte Gestaltung von Schweißkonstruktionen .....</b>	<b>401</b>
<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
<b>13.1 Stahlbau – Trägergestaltung und Trägeranschlüsse .....</b>	<b>401</b>
13.1.1 DIN 18800 versus DIN EN 1090 .....	401
13.1.2 Tragwerke .....	406
13.1.3 Vorschriften .....	408
13.1.4 Werkstoffe .....	409
13.1.5 Schweißzusätze .....	409
13.1.6 Halbzeuge .....	410
13.1.7 Herstellung .....	410
13.1.8 Grundsätze für die Konstruktion .....	411
13.1.9 Vollwandträger .....	412
13.1.10 Aussteifungen .....	416
13.1.11 Fachwerkträger .....	419
13.1.12 Hohlprofilkonstruktionen .....	423
13.1.13 Rahmenecken .....	424
13.1.14 Trägeranschlüsse .....	425
<b>13.2 Behälter-, Apparate-, Druckgefäß-, Tank- und Rohrleitungsbau .....</b>	<b>427</b>
13.2.1 Vorschriften .....	428
13.2.2 Herstellung .....	429
13.2.3 Werkstoffe .....	430
13.2.4 Schweißzusätze .....	431
13.2.5 Allgemeine Gestaltungsregeln .....	432
13.2.6 Nahtformen und Schweißnahtvorbereitungen .....	435
13.2.7 Flanschanschlüsse .....	436
13.2.8 Rohrverbindungen .....	440
13.2.9 Stutzenanschlüsse .....	443
13.2.10 Kompensatoren .....	445
13.2.11 Mäntel, Böden und Doppelmäntel für Behälter, Apparate und Tanks .....	446
13.2.12 Halbrohre zum Anschweißen an Behälter .....	453
13.2.13 Einschweißen von Rohren in Rohrböden .....	454
13.2.14 Rauchgasdichte Rohrwände .....	455
13.2.15 Bestiften (Bolzenschweißung) an leeren Rohren .....	456
<b>13.3 Gestaltung von Maschinenelementen .....</b>	<b>457</b>
13.3.1 Allgemeine Gestaltungsregeln .....	457
13.3.2 Hebel, Stangen und Gabeln .....	458
13.3.3 Drehende Maschinenteile .....	460
<b>13.4 Gestaltung im Fahrzeugbau .....</b>	<b>461</b>
<b>13.5 Schweißen und Löten im Luft- und Raumfahrzeugbau .....</b>	<b>475</b>
<b>13.6 Schweißen in Feinwerktechnik und Elektronik .....</b>	<b>484</b>

---

<b>14 Berechnung von Schweißnähten .....</b>	<b>495</b>
<i>J. Twrdek</i>	
14.1 Grundsätze der Schweißnahtberechnung im Maschinenbau .....	495
14.2 Grundregeln für die Fugenformen von Schweißnähten .....	498
14.2.1 T-Stoß .....	499
14.2.2 Stumpfstoß .....	500
<b>15 Schweißeigenspannungen und -verformungen .....</b>	<b>507</b>
<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
15.1 Entstehung von Eigenspannungen .....	507
15.2 Schrumpfungsarten .....	508
15.2.1 Beeinflussende Faktoren .....	511
15.2.2 Maßnahmen zur Verminderung von Schweißeigenspannungen .....	511
15.2.3 Bauteilverzug und Schweißfolgeplan .....	514
15.2.4 Abbau von Eigenspannungen .....	520
15.2.5 Auswirkungen von Schweißeigenspannungen .....	523
15.2.6 Rechnerische Berücksichtigung der Eigenspannungen .....	524
<b>16 Darstellung und Ausführung von Schweißverbindungen .....</b>	<b>527</b>
<i>J. Twrdek</i>	
16.1 Zeichnerische Darstellung von Schweißnähten .....	527
16.2 Stoßarten, Fugenformen und deren Auswahl .....	539
<b>17 Wirtschaftlichkeitsüberlegungen .....</b>	<b>545</b>
<i>J. Twrdek</i>	
<b>18 Qualitätssicherung .....</b>	<b>553</b>
<i>J. Twrdek</i>	
18.1 Schweißtechnische Qualitätsanforderungen und Schweißaufsicht .....	554
18.2 Schweißen in gesetzlich geregelten Bereichen .....	560
18.3 Schweißnaht – Verfahren und Möglichkeiten der Prüfung .....	564
18.4 Fehlertoleranzen und Unregelmäßigkeiten von Schweißverbindungen .....	577
18.5 Schulung und Prüfung von Schweißern und Bedienern von Schweiseinrichtungen .....	591
18.6 Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz (GABS) .....	602
<b>19 Anhang .....</b>	<b>611</b>
19.1 Tabellen und Diagramme .....	611
<i>H. J. Fahrenwaldt/J. Twrdek</i>	
19.2 Normen in der Schweißtechnik .....	623
<i>J. Twrdek</i>	
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>639</b>