

Hans J. Fahrenwaldt • Volkmar Schuler
Jürgen Tvrdek

Praxiswissen Schweißtechnik

Werkstoffe, Prozesse, Fertigung

5., vollständig überarbeitete Auflage

 **Springer Vieweg**

Inhaltsverzeichnis

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

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. /. 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-Plasmaschweißen (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
2H.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	Sprenschweißen	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>	
4	löten	137
	<i>V. Schuler/J. Twrdek</i>	
4.1	Einteilung der Lötprozesses	137
4.1.1	Temperaturen beim Löten	140
4.1.2	Grundlagen des Lötens	140
4.1.3	Kapillareffekt	141
4.1.4	Vor- und Nachteile des Lötens	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 Verfahrensprüflingen	155
4.4.6	Arbeitsschutz beim Löten	156
5	Metallkleben	157
	<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

6	Fügen durch Umformen	169
	<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
7	Kunststoffschweißen	189
	<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
8	Auftragschweißen und Thermisches Spritzen	209
	<i>H. / Fahrenwaldt/P. Heinrich/W. Krömmel</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	v... 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	Thermisches Trennen	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	Plasmaprenner	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	Flammrichten	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

11	Werkstoffe und Schweißen	277
	<i>H. J. Fahrenwaldt</i>	
11.1	Stahl und Eisen	277
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
11.2	Nichteisenmetalle	311
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
12	Anforderungsgerechte Gestaltung von Schweißkonstruktionen	335
	<i>V. Schuler/J. Tvrdek</i>	
12.1	Beanspruchungsgerechte Gestaltung	335
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
12.2	Fertigungsgerechte Gestaltung	351
12.3	Werkstoffgerechte Gestaltung	364
12.3.1	Nahtvorbereitung und Fugenform	364
12.3.2	Gestaltung bei Oberflächenbeschichtungen	365
12.3.3	Verbindungen an plattierten Blechen	368
12.3.4	Mischverbindungen	371
12.3.5	Verminderung der Terrassenbruchneigung	375
12.4	Korrosionsgerechte Gestaltung	376
12.5	Prüfgerechte Gestaltung	385
12.6	Instandsetzungsgerechte Gestaltung	387
12.6.1	Allgemeines zu Instandsetzung	387
12.6.2	Riegeln	390
12.7	Mechanisierungs-/Automatisierungsgerechte Gestaltung	393

13 Anwendungsgerechte Gestaltung von Schweißkonstruktionen	401
<i>V. Schuler/J. Tvrdek</i>	
13.1 Stahlbau – Trägergestaltung und Trägeranschlüsse	401
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
13.2 Behälter-, Apparate-, Druckgefäße-, Tank- und Rohrleitungsbau	427
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
13.3 Gestaltung von Maschinenelementen	457
13.3.1 Allgemeine Gestaltungsregeln	457
13.3.2 Hebel, Stangen und Gabeln	458
13.3.3 Drehende Maschinenteile	460
13.4 Gestaltung im Fahrzeugbau	461
13.5 Schweißen und Löten im Luft- und Raumfahrzeugbau	475
13.6 Schweißen in Feinwerktechnik und Elektronik	484

14	Berechnung von Schweißnähten	495
	<i>/.</i> <i>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
15	Schweiß Eigenspannungen und -Verformungen	507
	<i>V. Schuler/}. 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 Schweiß eigenspannungen ...	511
15.2.3	Bauteilverzug und Schweißfolgeplan	514
15.2.4	Abbau von Eigenspannungen	520
15.2.5	Auswirkungen von Schweiß eigenspannungen	523
15.2.6	Rechnerische Berücksichtigung der Eigenspannungen	524
16	Darstellung und Ausführung von Schweißverbindungen	527
	<i>/.</i> <i>Twrdek</i>	
16.1	Zeichnerische Darstellung von Schweißnähten	527
16.2	Stoßarten, Fugenformen und deren Auswahl	539
17	Wirtschaftlichkeitsüberlegungen	545
	<i>/.</i> <i>Twrdek</i>	
18	Qualitätssicherung	553
	<i>/.</i> <i>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 Schweißeinrichtungen	591
18.6	Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz (GABS)	602
19	Anhang	611
19.1	Tabellen und Diagramme <i>H. J. Fahrenwaldt/J. Twrdek</i>	611
19.2	Normen in der Schweißtechnik <i>J. Twrdek</i>	623
	Sachwortverzeichnis	639