

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1 Einführung	1
1.1 Systematik des Fügens	3
1.2 Fügen im Spannungsfeld von Konstruktion, Werkstoff und Wirtschaftlichkeit	6
1.3 Auswahl von Fügeverfahren	10
2 Fügen durch Schweißen	13
2.1 Schmelzschweißen durch Gas	15
2.1.1 Gasschmelzschweißen	15
2.1.1.1 Verfahrensprinzip	15
2.1.1.1.1 Wärmeerzeugung	17
2.1.1.1.2 Brenner	20
2.1.1.1.3 Gasversorgung	21
2.1.1.1.4 Zusatzwerkstoffe	23
2.1.1.1.5 Arbeitstechniken	24
2.1.1.2 Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	25
2.1.1.3 Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	25
2.1.1.4 Anwendung	26
2.1.1.5 Varianten	27
2.1.1.6 Spezieller Arbeitsschutz beim Gasschmelzschweißen	28
2.1.1.7 Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	29
2.2 Schmelzschweißen durch elektrische Gasentladung (Lichtbogenschweißen)	31
2.2.1 Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen)	35
2.2.1.1 Verfahrensprinzip	35
2.2.1.1.1 Wolframelektrode	36
2.2.1.1.2 Schutzgas	38
2.2.1.1.3 Schweißbrenner und Schlauchpaket	38
2.2.1.1.4 Zusatzwerkstoff und Zusatzwerkstoffzufuhr	39
2.2.1.1.5 Energiequelle	42
2.2.1.2 Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	43
2.2.1.3 Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	44
2.2.1.4 Anwendung	45
2.2.1.5 Varianten	46
2.2.1.6 Spezieller Arbeitsschutz	47
2.2.1.7 Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	47
2.2.2 Plasmaschweißen	50
2.2.2.1 Verfahrensprinzip	51
2.2.2.1.1 Stichlocheffekt – Wärmeleitungsschweißen	54
2.2.2.1.2 Schutzgas	55
2.2.2.1.3 Brenner und Schlauchpaket	55

2.2.2.1.4	Zusatzwerkstoff und Zusatzwerkstoffzufuhr	56
2.2.2.1.5	Energiequelle	57
2.2.2.2	Werkstoffe und Blechdicken, wirtschaftliche Kenndaten	57
2.2.2.3	Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	58
2.2.2.4	Anwendung	58
2.2.2.5	Varianten	59
2.2.2.6	Spezieller Arbeitsschutz	62
2.2.2.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	63
2.2.3	Lichtbogenhandschweißen	65
2.2.3.1	Verfahrensprinzip	65
2.2.3.1.1	Zusatzwerkstoff	66
2.2.3.1.2	Energiequelle	73
2.2.3.1.3	Sonstige Ausrüstung	75
2.2.3.2	Werkstoffe und Blechdicken, wirtschaftliche Kenndaten	75
2.2.3.3	Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	76
2.2.3.4	Anwendung	77
2.2.3.5	Varianten	78
2.2.3.6	Spezieller Arbeitsschutz	79
2.2.3.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	79
2.2.4	Metall-Schutzgasschweißen (MSG-Schweißen)	82
2.2.4.1	Verfahrensprinzip	82
2.2.4.1.1	Werkstoffübergang beim Metall-Schutzgasschweißen	83
2.2.4.1.2	Schweißparameter und Parametereinfluss	88
2.2.4.1.3	Brenner und Schlauchpaket	92
2.2.4.1.4	Drahtvorschubeinheit	93
2.2.4.1.5	Energiequelle	94
2.2.4.1.6	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	96
2.2.4.2	Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	101
2.2.4.3	Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	102
2.2.4.4	Anwendung	103
2.2.4.5	Varianten	104
2.2.4.6	Spezieller Arbeitsschutz	109
2.2.4.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	109
2.2.5	Elektrogasschweißen	113
2.2.5.1	Verfahrensprinzip	113
2.2.5.1.1	Schweißrüssel, Kupferschuhe und Schweißvorschub	114
2.2.5.1.2	Zusatzwerkstoff	115
2.2.5.1.3	Energiequelle	116
2.2.5.2	Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	116
2.2.5.3	Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	117
2.2.5.4	Anwendung	117
2.2.5.5	Varianten	118
2.2.5.6	Spezieller Arbeitsschutz	118
2.2.5.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	118

2.2.6 Unterpulverschweißen	120
2.2.6.1 Verfahrensprinzip	120
2.2.6.1.1 Schweißkopf	123
2.2.6.1.2 Drahtvorschub und Drahtführung	123
2.2.6.1.3 Energiequelle	123
2.2.6.1.4 Zusatzwerkstoff	123
2.2.6.2 Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	127
2.2.6.3 Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	127
2.2.6.4 Anwendung	128
2.2.6.5 Varianten	129
2.2.6.6 Spezieller Arbeitsschutz	131
2.2.6.7 Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	131
2.3 Schmelzschweißen durch elektrischen Strom / durch Widerstands- erwärmung	134
2.3.1 Elektroschlackeschweißen	134
2.3.1.1 Verfahrensprinzip	135
2.3.1.1.1 Schweißrüssel, Kupferschuhe und Schweißvorschub	136
2.3.1.1.2 Zusatzwerkstoff	137
2.3.1.1.3 Energiequelle	138
2.3.1.2 Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	138
2.3.1.3 Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	138
2.3.1.4 Anwendung	138
2.3.1.5 Varianten	139
2.3.1.6 Spezieller Arbeitsschutz	141
2.3.1.7 Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	142
2.4 Schmelzschweißen durch Strahlung (Strahlschweißen)	143
2.4.1 Laserstrahlschweißen	145
2.4.1.1 Verfahrensprinzip	145
2.4.1.1.1 Strahlerzeugung	146
2.4.1.1.2 Strahlführung und Strahlformung	150
2.4.1.1.3 Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	154
2.4.1.2 Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	155
2.4.1.3 Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	156
2.4.1.4 Anwendung	156
2.4.1.5 Varianten	158
2.4.1.6 Spezieller Arbeitsschutz	161
2.4.1.7 Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	161
2.4.2 Elektronenstrahlschweißen	164
2.4.2.1 Verfahrensprinzip	164
2.4.2.1.1 Strahlerzeugung	164
2.4.2.1.2 Strahlführung und -formung	166
2.4.2.1.3 Anlagenkonzepte	167
2.4.2.2 Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	169
2.4.2.3 Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	170
2.4.2.4 Anwendung	170
2.4.2.5 Varianten	172

2.4.2.6	Spezieller Arbeitsschutz beim Elektronenstrahlschweißen	174
2.4.2.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	175
2.5	Pressschweißen durch elektrischen Strom (Widerstandsschweißen)	178
2.5.1	Widerstandspunktschweißen	178
2.5.1.1	Verfahrensprinzip	178
2.5.1.1.1	Elektrodenkappenformen und Werkstoffe	181
2.5.1.1.2	Maschinen und Anlagen zum Widerstandspunktschweißen ..	181
2.5.1.2	Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	184
2.5.1.3	Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	184
2.5.1.4	Anwendung	185
2.5.1.5	Varianten	185
2.5.1.5.1	Buckelschweißen	186
2.5.1.5.2	Rollennahtschweißen	188
2.5.1.6	Spezieller Arbeitsschutz	189
2.5.1.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	190
2.6	Pressschweißen durch das Bewegen von Masse	193
2.6.1	Reibschweißen	193
2.6.1.1	Verfahrensprinzip	193
2.6.1.2	Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	194
2.6.1.3	Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	196
2.6.1.4	Anwendung	196
2.6.1.5	Varianten	196
2.6.1.5.1	Rührreibschweißen	197
2.6.1.5.2	Ultraschallschweißen	198
2.6.1.6	Spezieller Arbeitsschutz	200
2.6.1.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	200
2.7	Pressschweißen durch elektrische Gasentladung	202
2.7.1	Lichtbogenbolzenschweißen	202
2.7.1.1	Verfahrensprinzip	202
2.7.1.1.1	Bolzenschweißpistolen	203
2.7.1.1.2	Stromquellen	203
2.7.1.1.3	Bolzen	203
2.7.1.1.4	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	204
2.7.1.2	Werkstoffe und Blechdicken – wirtschaftliche Kenndaten	204
2.7.1.3	Mechanisierungs- und Automatisierungsmöglichkeiten	204
2.7.1.4	Anwendung	205
2.7.1.5	Varianten	206
2.7.1.6	Spezieller Arbeitsschutz	207
2.7.1.7	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	207
2.8	Weitere Verfahren	208
2.8.1	Pressstumpfschweißen	208
2.8.2	Gaspressschweißen	209
2.8.3	Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen	209
2.8.4	Abbrennstumpfschweißen	210
2.8.5	Induktions- und Hochfrequenzschweißen	211
2.8.6	Aluminothermisches Schweißen	213

2.8.7 Sprengschweißen	215
2.8.8 Magnetimpulsschweißen	216
2.8.9 Diffusionsschweißen	217
3 Mechanisierung und Automatisierung	221
3.1 Mechanisierung von Schweißprozessen	221
3.2 Hilfsmittel und Geräte zur Mechanisierung und Automatisierung	225
3.2.1 Hilfsvorrichtungen zum manuellen und teilmechanischen Schweißen	225
3.2.2 Roboter	229
3.2.3 Sondermaschinen	232
3.3 Sensorik in der Schweißtechnik	234
3.3.1 Geometrieorientierte Sensoren	234
3.3.2 Prozessorientierte Sensoren	236
4 Werkstoffverhalten beim Schweißen	238
4.1 Der Schweißwärmezyklus und seine Beeinflussung	239
4.2 Eisenbasiswerkstoffe (Stahl)	242
4.2.1 Umwandlungsvorgänge beim Schweißen	243
4.2.2 Schweißen von Stahlwerkstoffen	246
4.2.2.1 Schweißen von unlegierten Stählen sowie hoch- und höher- festen Feinkornbaustählen	248
4.2.2.1.1 Ermittlung von Schweißparametern	249
4.2.2.1.2 Mehrlagenschweißen	253
4.2.2.2 Schweißen von korrosionsbeständigen Stahlwerkstoffen und anderen legierten Stählen	254
4.2.2.2.1 Schaeffler-Diagramm	255
4.2.2.3 Auswahl von Schweißzusätzen	261
4.2.2.4 Schweißen von Verbindungen unterschiedlicher Stahlqualitäten	262
4.2.2.4.1 Verbindungen unterschiedlicher Festigkeitsklassen	263
4.2.2.4.2 Verbindungen zwischen Stählen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung	263
4.3 Aluminiumlegierungen	265
4.3.1 Aushärtbare Aluminiumlegierungen	266
4.3.2 Nicht aushärtbare Aluminiumlegierungen	269
4.3.3 Schweißen von Aluminiumlegierungen	270
4.3.3.1 Festigkeitsverlust in der Wärmeeinflusszone	272
4.3.3.2 Einfluss der Oxidschicht	273
4.3.3.3 Porenbildung	274
4.3.3.4 Heißrisse	276
4.4 Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	277
5 Konstruktion	280
5.1 Anforderungen an die Konstruktion	280
5.1.1 Konstruktionsanforderungen unter Festigkeits- und Tragfähigkeits- aspekten (beanspruchungsgerechte Konstruktion)	281
5.1.1.1 Kerbwirkung	283

5.1.1.2	Eigenspannungen	286
5.1.1.3	Mehrachsige Spannungszustände	288
5.1.1.4	Belastungssituation	291
5.1.2	Konstruktionsanforderungen aus dem Fügeverfahren (fertigungsgerechte Konstruktion)	292
5.1.2.1	Lichtbogenschweißen	293
5.1.2.2	Strahlschweißen	298
5.1.2.3	Widerstandsschweißen	299
5.1.3	Konstruktionsanforderungen für Mechanisierung und Automatisierung (ebenfalls fertigungsgerecht)	302
5.1.4	Konstruktionsanforderungen im Hinblick auf den Werkstoff	306
5.1.5	Konstruktionsanforderungen im Hinblick auf die Prüfbarkeit	307
5.2	Auslegungs- und Berechnungsmethoden	309
5.2.1	Abschätzung der Beanspruchung bei statischer und quasistatischer Belastung	312
5.2.2	Abschätzung der Beanspruchbarkeit bei zyklischer Belastung	314
5.3	Dokumentation in Zeichnung und Schweißplan	316
5.4	Schadensanalyse	318
5.5	Normung / Regelwerke / weiterführende Literatur	321
6	Qualitätssicherung und Prüfung	323
6.1	Qualitätssicherung in der Schweißtechnik	323
6.1.1	Qualitätsüberwachende Sensoriken	327
6.2	Unregelmäßigkeiten / Schweißfehler	329
6.2.1	Arten von Unregelmäßigkeiten	330
6.2.1.1	Oberflächenunregelmäßigkeiten	330
6.2.1.2	Innere Unregelmäßigkeiten	332
6.3	Zerstörende Prüfung	333
6.3.1	Bauteilversuche	334
6.3.2	Standardprüfverfahren	334
6.3.2.1	Zugversuch	335
6.3.2.2	Kerbschlagbiegeversuch	337
6.3.2.3	Metallografie / Querschliff	339
6.4	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	340
6.4.1	Sichtprüfung	340
6.4.2	Eindringprüfung	341
6.4.3	Magnetpulverprüfung	342
6.4.4	Durchstrahlungsprüfung	343
6.4.5	Ultraschallprüfung	344
6.5	Normung / Richtlinien	345
7	Arbeitsschutz in der Fügetechnik	350
7.1	Gefährdungen	350
7.2	Schutzmaßnahmen	353
7.3	Normung / Richtlinien / weiterführende Literatur	355

8 Auftragschweißen	356
8.1 Normung / Merkblätter / weiterführende Literatur	357
9 Löten	358
9.1 Einführung	358
9.2 Lötprozess	360
9.3 Lote und Lotklassen	364
9.3.1 Weichlote	366
9.3.2 Hartlote und Hochtemperaturlote	366
9.4 Flussmittel	367
9.5 Verfahrensvarianten	369
9.5.1 Verbindungshartlöten durch Gas / Flammhartlöten	369
9.5.2 Widerstandslöten	372
9.5.3 Induktionshartlöten	373
9.5.4 Ofenlöten	374
9.5.5 Hartlöten mit Schweißverfahren als Wärmequelle	376
9.6 Konstruktionshinweise	377
9.7 Arbeitsschutz	379
9.8 Normung / Richtlinien / weiterführende Literatur	379
10 Kleben	381
10.1 Einführung	381
10.2 Klebprozess	381
10.3 Eigenschaften von Klebungen	383
10.3.1 Vor- und Nachteile	384
10.3.2 Funktionen	387
10.4 Klebstoffe	392
10.4.1 Schmelzklebstoffe	394
10.4.2 Plastisole	395
10.4.3 Haftklebstoffe	395
10.4.4 Acrylatklebstoffe	396
10.4.5 Epoxidklebstoffe	398
10.4.6 Polyurethanklebstoffe	400
10.5 Benetzung und Adhäsion	401
10.6 Klebprozess	403
10.6.1 Oberflächenbehandlung	403
10.6.2 Oberflächen von Metallen	405
10.6.3 Verfahren zur Oberflächenvorbereitung	407
10.6.4 Verfahren zur Oberflächenvorbehandlung	408
10.6.5 Verfahren zur Oberflächennachbehandlung	409
10.6.6 Dosierung, Anwendung und Automatisierung	409
10.6.7 Aushärtungsprozess	411
10.7 Konstruktion	413
10.7.1 Anforderungen an die Konstruktion	413
10.7.2 Berechnungsmethoden	415

10.8	Qualitätssicherung und Prüfung	415
10.8.1	Qualitätssicherung in der Klebtechnik	415
10.8.2	Zerstörende Prüfung	418
10.9	Arbeits- und Umweltschutz in der Klebtechnik	421
11	Glossar / Begriffsdefinitionen	423
12	Literatur	432