Klaus-Jürgen Matthes
Werner Schneider (Hrsg.)

Schweißtechnik

Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen

6., aktualisierte Auflage
Mit 497 Bildern, 95 Tabellen und 21 Tafeln

Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Inhalt

Vorwort 5

1 Grundlagen 15
1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 15
1.2 Fügen durch Schweißen 17
1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen 19

2 Schweißbarkeit 29
2.1 Grundlagen und Einteilung 29
2.2 Schweißeignung von Stählen 31
2.3 Schweißsicherheit 36
2.3.1 Konstruktive Gestaltung 37
2.3.2 Beanspruchungszustand 40
2.3.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen. 40
2.3.4 Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke 43
2.4 Schweißmöglichkeit 44
2.4.1 Grundlagen 44
2.4.2 Vorbereitungen zum Schweißen 45
2.4.3 Durchführung des Schweißens 47
2.4.4 Nacharbeiten beim Schweißen 55
2.4.5 Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen 55
2.5 Qualitätssicherung beim Schweißen 56
2.6 Arbeitsschutz beim Schweißen 59
2.7 Schweißen im Produkt-, Umwelt- und Energiemanagement 60

3 Schweißen mit Lichtbogen 64
3.1 Grundlagen der Lichtbogentechnik 64
3.1.1 Physik des Lichtbogens 64
3.1.2 Zünden des Lichtbogens 67
3.1.3 Betrieb des Lichtbogens 68
3.2 Schweißstromquellen zum Lichtbogenschweißen 70
3.2.1 Überblick 70
3.2.2 Schweißumformer 70
3.2.3 Schweißtransformatoren 71
3.2.4 Schweißgleichrichter 72
3.2.5 Schweißumrichter 75
3.2.6 Statische Kennlinien von Schweißstromquellen 75
3.2.7 Dynamische Eigenschaften von Schweißstromquellen 76
3.2.8 Regelungsprinzipien zur Arbeitspunktstabilisierung .. 77
3.2.9 Modulationsarten bei Impulsstromquellen 78
3.2.10 Angaben auf dem Leistungsschild 79
3.3 Schweißbrenner zum Lichtbogenschweißen 81
3.3.1 Stabelektrodenhalter 81
3.3.2 Stromkontakteinrichtung zum UP-Schweißen 81
3.3.3 Schweißbrenner mit nichtabschmelzender Elektrode 82
3.3.4 Schweißbrenner mit abschmelzender Elektrode ... 84
3.3.5 Bolzenschweißpistolen 85
3.4 Drahtvorschubsysteme zum Lichtbogenschweißen 86
3.4.1 Grundaufbau 86
3.4.2 Stirnrollenantrieb 86
3.4.3 Planetarantrieb 88

3.4.4 Bauformen mit potenzialführender Drahtelektrode 88
3.4.5 Bauformen mit nicht potenzialführender Drahtelektrode 89
3.4.6 Drahtrichteinheiten 90
3.5 Zusatzwerkstoffe zum Lichtbogenschweißen 90
3.5.1 Stabelektroden 90
3.5.2 Schweißstäbe 93
3.5.3 Massivdrahtelektroden 95
3.5.4 Fülldrahtelektroden 98
3.5.5 Schweißpulver zum UP-Schweißen 101
3.5.6 Schweißpulver zum Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA) 104
3.5.7 Schweißbolzen 104
3.6 Gase zum Lichtbogenschweißen 105
3.6.1 Aufgaben von Schutzgasen 105
3.6.2 Eigenschaften von Schutzgasen 106
3.6.3 Einteilung und Bezeichnung von Schutzgasen 107
3.6.4 Herstellung von Schutzgasen 107
3.6.5 Lieferarten und Entnahmestellen 109
3.6.6 Kennzeichnung von Druckgasflaschen 110
3.7 Lichtbogenhandschweißen (Prozess 111) 111
3.7.1 Verfahrensprinzipien und Anlagentechnik 111
3.7.1.1 Funktionsweise 111
3.7.1.2 Schweißstromquellen 112
3.7.1.3 Elektrodenhalter 112
3.7.1.4 Stabelektroden 112
3.7.2 Anwendung 117
3.7.2.1 Allgemeines 117
3.7.2.2 Reparaturschweißen 118
3.7.2.3 Auftragschweißen 118
3.7.2.4 Verbindungsschweißen 118
3.7.3 Fertigungshinweise 118
3.7.3.1 Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung 118
3.7.3.2 Zündvorgang 120
3.7.3.3 Führen der Elektrode 121
3.7.3.4 Schweißparameter 123
3.7.4 Fehler beim Lichtbogenhandschweißen 124
3.7.4.1 Häufige Ursachen und Fehlerbilder 124
3.7.4.2 Poren 124
3.7.4.3 Schlackeeinschlüsse 126
3.7.4.4 Bindefehler 126
3.7.4.5 Geometrische Unregelmäßigkeiten 126
3.7.5 Gefährdungen für den Schweißer 127
3.8 Wolfram-Inertgasschweißen (Prozess 141) 127
3.8.1 Verfahrensprinzip und Anlagentechnik 128
3.8.1.1 Funktionsweise 128
3.8.1.2 Schutzgase 129
3.8.1.3 Wolframelektroden 132
3.8.1.4 Zusatzwerkstoff 134
3.8.1.5 Schweißstromquellen und Brennertechnik 134
3.8.2 Verfahrensvarianten 135
3.8.2.1 Zünden des Lichtbogens 135
3.8.2.2 Stromart und Polarität 136
3.8.2.3 Mechanisierungsgrad 139
3.8.2.4 WIG-Schweißen mit Zusatzwerkstoff 139
3.8.3 Anwendung 141
3.8.3.1 Verbindungsschweißen 141
3.8.3.2 Reparaturschweißen 141
3.8.3.3 WIG-Orbitalschweißen 141
3.8.3.4 WIG-Punktschweißen 142
3.8.3.5 WIG-Engspaltschweißen 143
3.8.3.6 WIG-Auftragschweißen 145
3.8.3.7 Sonderanwendungen 145
3.8.4 Fertigungshinweise 146
3.8.4.1 Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung 146
3.8.4.2 Zündvorgang 146
3.8.4.3 Brennerführung 147
3.8.4.4 Heften 147
3.8.4.5 Gasschutz 148
3.8.4.6 Richtwerte 149
3.8.5 Fehler beim WIG-Schweißen 150
3.8.5.1 Gaseinschlüsse 150
3.8.5.2 Bindefehler 151

3.8.5.3 Wolframeinschlüsse 151
3.8.5.4 Oxideinschlüsse 151
3.8.5.5 Häufige Fehlerbilder und Ursachen 152
3.8.6 Gefährdungen für den Schweißer 154
3.9 Plasmaschweißen (Prozess 15) 155
3.9.1 Verfahrensprinzip und Anlagentechnik 156
3.9.1.1 Funktionsweise 156
3.9.1.2 Prozess- und Schutzgase 159
3.9.1.3 Wolframelektroden 162
3.9.1.4 Zusatzwerkstoff 164
3.9.1.5 Schweißstromquellen und Brennertechnik 165
3.9.2 Verfahrensvarianten 168
3.9.2.1 Zünden des Lichtbogens 168
3.9.2.2 Stromart und Polarität 168
3.9.2.3 Mechanisierungsgrad 172
3.9.2.4 Plasmaschweißen mit Zusatzwerkstoff 172
3.9.2.5 Schmelzbadausbildung 174
3.9.3 Anwendung 175
3.9.3.1 Verbindungsschweißen 175
3.9.3.2 Plasma-Punktschweißen 175
3.9.3.3 Plasma-Auftragschweißen 177
3.9.3.4 Mikroplasmaschweißen 178
3.9.4 Fertigungshinweise 179
3.9.4.1 Allgemeines 179
3.9.4.2 Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung 180
3.9.4.3 Zündvorgang 180
3.9.4.4 Brennerführung 181
3.9.4.5 Heften 182
3.9.4.6 Gasschutz 182
3.9.4.7 Richtwerte 183
3.9.5 Fehler beim Plasmaschweißen 185
3.9.5.1 Gaseinschlüsse 185
3.9.5.2 Nahtunterwölbung 186
3.9.5.3 Einbrandkerben 186
3.9.5.4 Oxideinschlüsse 186
3.9.5.5 Häufige Fehlerbilder und Ursachen 186
3.9.6 Gefährdungen für den Schweißer 186
3.10 Metall-Schutzgasschweißen (Prozess 13) 188
3.10.1 Verfahrensprinzip und Anlagentechnik 189
3.10.1.1 Funktionsweise 189
3.10.1.2 Schutzgase 190
3.10.1.3 Zusatzwerkstoff 194
3.10.1.4 Schweißstromquellen und Brennertechnik 194
3.10.2 Lichtbogenarten 196
3.10.2.1 Allgemein 196
3.10.2.2 Kurzlichtbogen 196
3.10.2.3 Übergangslichtbogen 197
3.10.2.4 Sprühlichtbogen 197
3.10.2.5 Impulslichtbogen 197
3.10.2.6 Hochleistungs-Kurzlichtbogen 198
3.10.2.7 Instabiler Lichtbogen 198
3.10.2.8 Rotierender Lichtbogen 198
3.10.2.9 Hochleistungs-Sprühlichtbogen 199
3.10.2.10 Kräfte beim Werkstoffübergang 199
3.10.3 Verfahrensvarianten 201
3.10.3.1 Hochleistungsschweißen 201
3.10.3.2 Energiereduzierte MSG-Prozesse 205
3.10.3.3 Modifizierte MSG-Impulsprozesse 207
3.10.3.4 MSG-Hybridprozesse 209
3.10.3.5 Zünden des Lichtbogens 210
3.10.3.6 Mechanisierungsgrad 211
3.10.4 Anwendung 211
3.10.4.1 Verbindungsschweißen 211
3.10.4.2 MSG-Engspaltschweißen 212
3.10.4.3 MSG-Auftragschweißen 213
3.10.4.4 Sonderanwendungen 214
3.10.5 Fertigungshinweise 215
3.10.5.1 Konstruktive Gestaltung und Nahtvorbereitung 215
3.10.5.2 Zündvorgang 216
3.10.5.3 Brennerführung 216
3.10.5.4 Heften 218
3.10.5.5 Gasschutz 218
3.10.5.6 Richtwerte 219
3.10.6 Fehler beim MSG-Schweißen 220
3.10.6.1 Gaseinschlüsse 220
3.10.6.2 Bindefehler 221

3.10.6.3 Häufige Fehlerbilder und Ursachen ... 222
3.10.7 Gefährdungen für den Schweißer ... 222
3.11 Unterpulverschweißen (Prozess 12) ... 224
3.11.1 Verfahrensprinzip und Anlagentechnik ... 224
3.11.1.1 Funktionsweise ... 224
3.11.1.2 Schweißpulver ... 226
3.11.1.3 Elektroden ... 241
3.11.1.4 Stromquellen und Brennertechnik ... 242
3.11.1.5 Stromart und Polung ... 242
3.11.1.6 Mechanisierungsgrad und Aufbau einer UP-Anlage ... 243
3.11.2 Verfahrensvarianten des Unterpulverschweißens ... 245
3.11.2.1 Schweißpositionen ... 245
3.11.2.2 Kaltdrahtschweißen ... 246
3.11.2.3 Bandschweißen ... 246
3.11.2.4 Heißdrahtschweißen mit zwei Schweißköpfen ... 248
3.11.2.5 Paralleldrahtschweißen ... 248
3.11.2.6 Tandemschweißen ... 249
3.11.2.7 Engspaltschweißen ... 250
3.11.2.8 Schweißen mit Metallpulverzugabe ... 252
3.11.3 Anwendung des UP-Verfahrens ... 252
3.11.4 Fertigungshinweise ... 253
3.11.4.1 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit ... 253
3.11.4.2 Fugenvorbereitung ... 253
3.11.4.3 Schmelzbadsicherungen ... 255
3.11.4.4 Nahtformung ... 256
3.11.4.5 Freie Drahtelektrodenlänge ... 257
3.11.4.6 Werkstückneigung ... 258
3.11.4.7 Zünden des UP-Lichtbogens ... 259
3.11.4.8 Heften ... 259
3.11.4.9 Richtwerte ... 259
3.11.4.10 Leistungsvergleiche ... 262
3.11.5 Fehler beim UP-Schweißen ... 262
3.11.6 Spezielle Gefährdungen durch das UP-Verfahren für den Bediener ... 263
3.12 Lichtbogenschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen ... 263
3.12.1 Grundlagen ... 263
3.12.2 Pressstumpfschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozess 185) ... 264
3.12.2.1 Verfahrensprinzip ... 264
3.12.2.2 Anwendungsbereiche ... 264
3.12.2.3 Ausrüstungen ... 264
3.12.2.4 Zusatzstoffe ... 265
3.12.2.5 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit ... 265
3.12.2.6 Fertigungshinweise ... 265
3.12.3 Schmelzschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (MBS-Schweißen) ... 266
3.12.3.1 Verfahrensprinzip ... 266
3.12.3.2 Anwendungsbereiche ... 266
3.12.3.3 Zusatzstoffe ... 266
3.12.3.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit ... 266
3.12.3.5 Fertigungshinweise ... 266
3.13 Lichtbogenbolzenschweißen ... 267
3.13.1 Grundlagen ... 267
3.13.2 Verfahrensprinzip ... 268
3.13.2.1 Kondensatorentladungs-Bolzenschweißen mit Hubzündung (Prozess 785) ... 268
3.13.2.2 Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung (Prozess 786) ... 268
3.13.2.3 Hubzündungs-Bolzenschweißen mit Keramikring oder Schutzgas (Prozess 783) ... 269
3.13.3 Anwendungsbereiche ... 270
3.13.4 Zusatzstoffe ... 270
3.13.5 Fertigungshinweise ... 270
3.13.6 Ausrüstungen ... 272
3.14 Sensorik beim Lichtbogenschweißen ... 273
3.14.1 Überblick ... 273
3.14.2 Taktile Sensoren ... 274
3.14.3 Elektromagnetische Sensoren ... 275
3.14.4 Lasersensoren ... 276
3.14.5 Lichtbogensensoren ... 277

3.15 Gefährdungen beim Lichtbogenschweißen ... 279
3.15.1 Elektrischer Strom ... 279
3.15.2 Elektromagnetische Strahlung ... 280
3.15.3 Rauch, Stäube und Gase ... 281
3.15.4 Sauerstoffmangel ... 282
3.15.5 Spritzer und Schlacke ... 282
3.15.6 Druckgasflaschen ... 282

4 Schweißen mit Brenngas-Sauerstoff-Flamme ... 283
4.1 Grundlagen der Autogentechnik ... 283
4.1.1 Autogenflamme ... 283
4.1.1.1 Allgemeines ... 283
4.1.1.2 Verbrennung ... 284
4.1.1.3 Flammeneinstellung ... 285
4.1.2 Autogenbrenner ... 287
4.1.2.1 Allgemeines ... 287
4.1.2.2 Brennerarten ... 288
4.1.2.3 Betreiben der Autogenbrenner ... 291
4.1.2.4 Flammenstörungen ... 291
4.1.3 Betriebsmittel der Autogentechnik ... 292
4.1.3.1 Allgemeines ... 292
4.1.3.2 Sauerstoff ... 292
4.1.3.3 Brenngase ... 292
4.1.3.4 Gegenüberstellung von Gasen der Autogentechnik ... 302
4.1.4 Sicherheitshinweise und -vorschriften für den Umgang mit Sauerstoff und Brenngasen ... 303
4.1.5 Armaturen und Zubehör ... 304
4.1.5.1 Allgemeines ... 304
4.1.5.2 Druckminderer ... 304
4.1.5.3 Gasschläuche ... 305
4.1.5.4 Sicherheitseinrichtungen ... 307
4.2 Einteilung der Verfahren der Autogentechnik nach DIN 8522 ... 309
4.3 Gasschmelzschweißen (Gasschweißen) ... 309
4.3.1 Grundlagen ... 309
4.3.2 Anwendung ... 312
4.3.2.1 Allgemeines ... 312
4.3.2.2 Fugenformen ... 312
4.3.2.3 Schweißpositionen ... 312
4.3.2.4 Werkstückdicken ... 312
4.3.3 Ausrüstung ... 312
4.3.4 Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe ... 315
4.3.5 Technologische Merkmale ... 317
4.3.5.1 Nachrechtsschweißen (NR) ... 317
4.3.5.2 Nachlinksschweißen (NL) ... 318
4.4 Gaspressschweißen (Prozess 47) ... 318
4.4.1 Verfahrensprinzip ... 319
4.4.2 Anwendungsbereiche ... 320
4.4.3 Zusatzstoffe ... 320
4.4.4 Fertigungshinweise ... 320
4.4.5 Ausrüstungen ... 321

5 Schweißen mit Widerstandserwärmung ... 322
5.1 Einteilung der Widerstandsschweißverfahren ... 322
5.2 Widerstandspressschweißen (Prozess 2) ... 323
5.2.1 Grundlagen des Widerstandspressschweißens ... 323
5.2.1.1 Widerstandserwärmung durch konduktive Stromübertragung ... 323
5.2.1.2 Widerstandserwärmung durch induktive Stromübertragung (Prozess 74) ... 324
5.3 Ausrüstungen zum Widerstandspressschweißen ... 324
5.3.1 Aufbau einer Widerstandsschweißmaschine (konduktive Stromübertragung) ... 324
5.3.1.1 Schweißstromquellen für das Punkt-, Rollennaht- und Buckelschweißen ... 325
5.3.1.2 Schweißstromquellen für das Abbrennstumpfschweißen und Stumpfschweißen ... 329
5.3.1.3 Mechanischer Teil der Schweißeinrichtungen ... 330
5.3.2 Aufbau einer Widerstandsschweißmaschine (induktive Stromübertragung) ... 330
5.4 Widerstandsschweißverfahren mit konduktiver Stromübertragung ... 331

5.4.1 Widerstandspunktschweißen (Prozess 21) ... 331
5.4.1.1 Verfahrensmerkmale ... 331
5.4.1.2 Verfahrensprinzip/-beschreibung ... 332
5.4.1.3 Elektroden ... 334
5.4.1.4 Schweißeignung ... 337
5.4.1.5 Konstruktive Gestaltung ... 341
5.4.1.6 Fertigungshinweise ... 344
5.4.1.7 Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren ... 349
5.4.1.8 Schweißanlagenaufbau ... 357
5.4.1.9 Qualitätssicherungsgeräte ... 359
5.4.2 Rollennahtschweißen (Prozess 22) ... 360
5.4.2.1 Verfahrensmerkmale ... 360
5.4.2.2 Verfahrensprinzip/-beschreibung ... 361
5.4.2.3 Rollenelektroden für Nahtschweißen ... 361
5.4.2.4 Schweißeignung ... 362
5.4.2.5 Konstruktive Gestaltung ... 363
5.4.2.6 Fertigungshinweise ... 363
5.4.2.7 Schweißanlagenaufbau ... 366
5.4.2.8 Verfahrensvarianten ... 368
5.4.3 Buckelschweißen (Prozess 23) ... 369
5.4.3.1 Verfahrensmerkmale ... 369
5.4.3.2 Verfahrensprinzip/-beschreibung ... 370
5.4.3.3 Elektroden zum Buckelschweißen ... 370
5.4.3.4 Schweißeignung ... 371
5.4.3.5 Konstruktive Gestaltung ... 373
5.4.3.6 Fertigungshinweise ... 375
5.4.3.7 Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren ... 376
5.4.3.8 Schweißanlagen ... 376
5.4.4 Abbrennstumpfschweißen (Prozess 24) ... 378
5.4.4.1 Verfahrensmerkmale ... 378
5.4.4.2 Verfahrensprinzip/-beschreibung ... 380
5.4.4.3 Schweißeignung ... 380
5.4.4.4 Konstruktive Gestaltung ... 381
5.4.4.5 Prozessparameter ... 383
5.4.4.6 Qualitätsmerkmale, Gütesicherung und Prüfverfahren ... 383
5.4.4.7 Schweißanlagen ... 384
5.4.5 Pressstumpfschweißen (Prozess 25) ... 385
5.4.5.1 Verfahrensmerkmale ... 385
5.4.5.2 Verfahrensprinzip/-beschreibung ... 385
5.4.5.3 Konstruktive Gestaltung ... 386
5.4.5.4 Prozessparameter ... 386
5.4.5.5 Schweißanlagen ... 386
5.5 Widerstandsschweißverfahren mit induktiver Stromübertragung ... 387
5.5.1 Induktionsschweißen (Prozess 74) ... 387
5.5.1.1 Verfahrensmerkmale ... 387
5.5.1.2 Verfahrensprinzip/-beschreibung ... 387
5.5.1.3 Schweißeignung ... 389
5.5.1.4 Fertigungshinweise ... 389
5.5.2 Verfahrensvarianten ... 389
5.6 Arbeits- und Gesundheitsschutz ... 390

6 Widerstandsschmelzschweißen ... 391
6.1 Grundlagen zum Elektroschlackeschweißen (Prozess 72) ... 391
6.2 Elektroschlacke-Verbindungsschweißen ... 392
6.2.1 Zusatzwerkstoffe und Pulver 393
6.2.2 Schweißeignung ... 393
6.2.3 Fertigungshinweise ... 393
6.2.4 Schweißeinrichtungen ... 394
6.3 Elektroschlacke-Auftragschweißen mit Bandelektrode ... 395
6.3.1 Zusatzwerkstoffe und Pulver 395
6.3.2 Fertigungshinweise ... 395
6.3.3 Schweißeinrichtungen ... 396

7 Schweißen mit Strahlen ... 397
7.1 Grundlagen der Strahltechnik ... 397
7.2 Lichtstrahlschweißen - Schweißen mit inkohärentem Licht (Prozess 75) ... 398
7.3 Elektronenstrahlschweißen (Prozess 51). 399
7.3.1 Grundlagen des Elektronenstrahlschweißens ... 400
7.3.1.1 Entstehung und Besonderheiten des Elektronenstrahls 400
7.3.1.2 Elektronenstrahlerzeugung ... 401

7.3.1.3 Elektronenstrahlführung 402
7.3.1.4 Elektronenstrahlschweißanlagen 403
7.3.2 Anwendung des Elektronenstrahlschweißens 407
7.3.2.1 Tiefschweißeffekt 407
7.3.2.2 Vorbereitung der Werkstücke 409
7.3.2.3 Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis 411
7.3.2.4 Schweißeignung metallischer Werkstoffe 415
7.3.2.5 Industrielle Anwendung 418
7.3.3 Weitere Verfahren der Elektronenstrahlmaterialbearbeitung 419
7.3.4 Strahlenschutz 420
7.4 Laserstrahlschweißen (Prozess 52) 420
7.4.1 Grundlagen des Laserstrahlschweißens 423
7.4.1.1 Entstehung und Besonderheiten von Laserlicht 423
7.4.1.2 Eigenschaften des Laserlichts 424
7.4.2 Laseranlagen 425
7.4.2.1 Laserstrahlquellen 425
7.4.2.2 Laserstrahlführung 432
7.4.2.3 Fokussierende Optiken 433
7.4.2.4 Bewegungseinrichtungen 434
7.4.2.5 Steuerung und Bedienung 434
7.4.3 Anwendung des Laserstrahlschweißens 435
7.4.3.1 Tiefschweißeffekt 435
7.4.3.2 Vorbereitung der Werkstücke 436
7.4.3.3 Schweißparameter und Hinweise für die Schweißpraxis 436
7.4.3.4 Schweißeignung metallischer Werkstoffe 442
7.4.3.5 Industrielle Anwendung 443
7.4.4 Weitere Verfahren der Lasermaterialbearbeitung 445
7.4.5 Strahlenschutz 447
7.4.6 Gegenüberstellung Elektronenstrahlschweißen - Laserstrahlschweißen 449

8 Schweißen durch Bewegungsenergie 452
8.1 Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie 452
8.2 Rotationsreibschweißen (Prozess 42) 452
8.2.1 Verfahrensprinzip 453
8.2.2 Ausrüstungen 454
8.2.3 Anwendungsbereich 455
8.2.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit 455
8.2.5 Fertigungshinweise 457
8.3 Rührreibschweißen (FSW - Friction Stir Welding) 459
8.3.1 Verfahrensprinzip 459
8.3.2 Ausrüstungen 460
8.3.3 Anwendungsbereiche 461
8.3.4 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit 462
8.3.5 Fertigungshinweise 463
8.3.6 Punktreibschweißen 464
8.3.6.1 Verfahrensprinzip 464
8.3.6.2 Anwendungsbereiche 464
8.4 Ultraschallschweißen (Prozess 41) 465
8.4.1 Verfahrensprinzip 465
8.4.2 Anwendungsbereiche 466
8.4.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit 467
8.4.4 Fertigungshinweise 467
8.4.5 Ausrüstungen 468
8.5 Kaltpressschweißen (Prozess 48) 469
8.5.1 Verfahrensprinzip 469
8.5.2 Anwendungsbereich und Ausrüstungen 470
8.5.3 Konstruktive Gestaltung 470
8.5.4 Fertigungshinweise 471
8.6 Sprengschweißen (Prozess 441) 472
8.6.1 Verfahrensprinzip 472
8.6.2 Anwendungsbereich 472
8.6.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit 474
8.6.4 Fertigungshinweise 474
8.6.5 Spezielle Gefährdungen 474

9 Schweißen durch festen Körper 475
9.1 Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung von Heizelementen 475
9.2 Heizelementschweißen 475
9.2.1 Verfahrensprinzip 475
9.2.2 Anwendungsbereich, Ausrüstungen 476
9.2.3 Konstruktive Gestaltung und Festigkeit 477
9.2.4 Fertigungshinweise 477

10 Schweißen mit Metallschmelzen 478
10.1 Grundlagen der schweißtechnischen Nutzung von Metallschmelzen 478
10.2 Gießschweißen (Thermitschweißen) 478
10.2.1 Aluminothermisches Schmelzschweißen (Prozess 71) 478
10.2.1.1 Verfahrensprinzip 478
10.2.1.2 Anwendungsbereich 479
10.2.1.3 Ausrüstungen 479
10.2.1.4 Fertigungshinweise 480
10.2.2 Aluminothermisches Pressschweißen 481
10.2.2.1 Verfahrensprinzip 481
10.2.2.2 Anwendungsbereich 481
10.2.2.3 Fertigungshinweise 481
10.3 Besondere Gefährdungen 482

11 Schweißen durch Diffusion 483
11.1 Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung der Diffusion 483
11.2 Diffusionsschweißen (Prozess 45) 483
11.2.1 Verfahrensprinzip 484
11.2.2 Anwendungsbereich 485
11.2.3 Konstruktive Gestaltung 485
11.2.4 Fertigungshinweise 485

Literaturverzeichnis 488

Sachwortverzeichnis 505