

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort zur 2. Auflage

Vorwort zur 2. Auflage

1	Einteilung der Schweißverfahren	1
1.1	Kurze Geschichte der Schweißtechnik	1
1.2	Einordnung in die Fertigungsverfahren	2
1.3	Einteilung nach der deutschen Norm DIN 1910	2
2	Gasschweißen	5
2.1	Gasschmelzschweißen (Prozeß-Nr. 3)	5
2.1.1	Prinzip des Gasschmelzschweißens	5
2.1.2	Eigenschaften der Gase	5
2.1.2.1	Sauerstoff	5
2.1.2.2	Brenngase	5
2.1.3	Die Autogenflamme	7
2.1.3.1	Brenner und Zubehör	7
2.1.3.2	Flammeneinstellung	9
2.1.4	Methoden des Gasschmelzschweißens	9
2.1.4.1	Nachlinksschweißen	10
2.1.4.2	Nachrechtsschweißen	10
2.1.5	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	10
2.1.6	Anwendung des Gasschweißens	11
2.1.7	Fehler beim Gasschweißen	11
3	Grundlagen des Lichtbogenschweißens	13
3.1	Der Lichtbogen	13
3.1.1	Ladungsträger im Lichtbogen	13
3.1.2	Lichtbogenkennlinien	14
3.1.3	Magnetische Blaswirkung	15
3.2	Werkstoffübergang beim Lichtbogenschweißen	16
3.2.1	Arten des Werkstoffübergangs	16
3.3	Einstellen und Regeln von Schweißprozessen	19
3.3.1	Einstellen von Stromstärke und Lichtbogen spannung	20
3.3.2	Die Regelung der Lichtbogenlänge	20
3.3.2.1	Die äußere Regelung	20
3.3.2.2	Die innere Regelung	21
3.3.2.3	Vergleich der Regelungsarten	22
3.4	Schweißstromquellen	22
3.4.1	Stromquellenbauarten	22
3.4.1.1	Schweißtransformator	23
3.4.1.2	Schweißgleichrichter	23
3.4.1.3	Schweißumformer	24
3.4.1.4	Elektronische Stromquellen	24
3.4.2	Eigenschaften von Stromquellen	26
3.4.2.1	Statische Kennlinie	26
3.4.2.2	Dynamische Eigenschaften	27
3.4.2.3	Kennwerte	27

4	Metalllichtbogenschweißen (Prozeß-Nr. 101)	29
4.1	Lichtbogenhandschweißen (Prozeß-Nr. 111)	29
4.1.1	Prinzip des Verfahrens	29
4.1.2	Stabelektroden	29
4.1.2.1	Wirkung und Zweck von Umhüllungen	30
4.1.2.2	Umhüllungstypen	30
4.1.2.3	Eigenschaften von Stabelektroden	32
4.1.3	Leistungskennwerte	33
4.1.3.1	Strombelastbarkeit	33
4.1.3.2	Ausbringen	34
4.1.3.3	Abschmelzleistung	35
4.1.4	Technik des Schweißens	35
4.1.4.1	Zünden des Lichtbogens	35
4.1.4.2	Heften	35
4.1.4.3	Führen der Elektrode	36
4.1.5	Anwendung des Lichtbogenhandschweißens	36
4.1.6	Fehler beim Lichtbogenhandschweißen	37
4.2	Andere Methoden des Metalllichtbogenschweißens	38
4.2.1	Schwerkraft- (Prozeß-Nr. 112) und Federkraft-Lichtbogenschweißen	38
4.2.2	Schweißen mit selbstschützenden Fülldrahtelektroden (Prozeß-Nr. 114)	40
5	Wolfram-Schutzgasschweißen (Prozeß-Nr. 14)	41
5.1	WIG-Schweißen (Prozeß-Nr. 141)	41
5.1.1	Prinzip des Verfahrens	41
5.1.2	Ausrüstung zum WIG-Schweißen	42
5.1.2.1	WIG-Schweißgeräte	43
5.1.2.2	Schweißbrenner und Zubehör	43
5.1.2.3	Wolframelektroden	43
5.1.3	Schweißstäbe und Schutzgase	44
5.1.4	Technik des Schweißens	45
5.1.4.1	Einstellen der Anlage	46
5.1.4.2	Zünden des Lichtbogens	46
5.1.4.3	Brennerführung	47
5.1.4.4	Wurzelschutz	47
5.1.5	WIG-Schweißen mit Stromimpulsen	48
5.1.5.1	Einstellgrößen	48
5.1.5.2	Wirkung der Stromimpulse	48
5.1.6	Anwendung des WIG-Schweißens	49
5.1.7	Fehler beim WIG-Schweißen	51
5.2	Plasmaschweißen (Prozeß-Nr. 15)	51
5.2.1	Physikalische Grundlagen	51
5.2.2	Prinzip des Plasmaschweißens	51
5.2.3	Einteilung des Plasmaschweißens	52
5.2.3.1	Einteilung nach der Lichtbogenart	52
5.2.3.2	Einteilung nach der Leistung	53
	– Mikroplasmaschweißen	53
	– Softplasmaschweißen	54
	– Dickblechplasmaschweißen	54
5.2.3.3	Einteilung nach dem Zweck des Schweißens	54
	– Plasmaverbindungsschweißen	54
	– Plasmaauftragschweißen	55
5.2.4	Geräte zum Plasmaschweißen	56

5.2.5	Vergleich mit dem WIG-Schweißen	57
5.2.6	Anwendung des Plasmaschweißens	58
5.2.7	Fehler beim Plasmaschweißen	60
6	Metall-Schutzgasschweißen (Prozeß-Nr. 13)	61
6.1	MIG-/MAG-Schweißen	61
6.1.1	Prinzip des Verfahrens	61
6.1.2	Ausrüstung zum MIG-/MAG-Schweißen	61
6.1.2.1	Stromquellen	62
6.1.2.2	Gerätebauarten	62
6.1.2.3	Drahtvorschubgeräte	62
6.1.2.4	Brenner und Schlauchpaket	62
6.1.3	Lichtbogenbetriebsarten	64
6.1.3.1	Kurzlichtbogen	64
6.1.3.2	Sprühlichtbogen	65
6.1.3.3	Langlichtbogen	65
6.1.3.4	Übergangslichtbogen	66
6.1.3.5	Impulslichtbogen	66
6.1.3.6	MAG-Hochleistungsschweißen	66
6.1.3.7	Arbeitsbereiche	67
6.1.4	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	68
6.1.4.1	Drahtelektroden	68
6.1.4.2	Eigenschaften von Schutzgasen	68
6.1.5	Technik des MIG-/MAG-Schweißens	70
6.1.5.1	Einstellen der Anlagen	71
6.1.5.2	Zünden des Lichtbogens	72
6.1.5.3	Brennerführung	72
6.1.6	Anwendung des MIG-/MAG-Schweißens	73
6.1.6.1	Teilmechanisches Schweißen	73
6.1.6.2	Vollmechanisches Schweißen	74
6.1.6.3	MIG-/MAG-Schweißen mit Industrierobotern	74
6.1.7	Fehler beim MIG-/MAG-Schweißen	75
7	Verdecktes Lichtbogenschweißen	77
7.1	Unterpulverschweißen (Prozeß-Nr. 12)	77
7.1.1	Prinzip des Verfahrens	77
7.1.2	Aufbau von Anlagen	78
7.1.3	Varianten des Unterpulverschweißens	78
7.1.3.1	Doppeldrahtschweißen (Prozeß-Nr. 123)	79
7.1.3.2	Tandem- (Mehdraht-) Schweißen (Prozeß-Nr. 123)	80
7.1.3.3	Bandelektrodenschweißen (Prozeß-Nr. 122)	81
7.1.4	Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe	82
7.1.4.1	Draht- (Band-) Elektroden	82
7.1.4.2	Schweißpulver	83
	– Herstellung von Schweißpulvern	83
	– Eigenschaften von Schweißpulvern	84
7.1.5	Verfahrensdurchführung	85
7.1.5.1	Einfluß der Schweißparameter	86
7.1.5.2	Einstellparameter	86
7.1.5.3	Badsicherungen	88
7.1.6	Anwendung des Unterpulverschweißens	89
7.1.7	Fehler beim Unterpulverschweißen	91

8	Strahlschweißen	93
8.1	Elektronenstrahlschweißen (Prozeß-Nr. 51)	93
8.1.1	Prinzip des Elektronenstrahlschweißens	93
8.1.1.1	Strahlerzeugung	93
8.1.1.2	Umgebungsmedien	95
8.1.2	Wirkung des Elektronenstrahles	95
8.1.2.1	Eindringen in Metalle	95
8.1.2.2	Der Tiefeinbrandeffekt	95
8.1.3	Fugenvorbereitung	96
8.1.4	Schweißeignung einiger Werkstoffe	98
8.1.5	Strahl- und Maschinensteuerungen	99
8.1.6	Elektronenstrahlschweißmaschinen und Vorrichtungen	100
8.1.6.1	Elektronenstrahlgenerator	100
8.1.6.2	Arbeitskammer	101
8.1.6.3	Bewegungseinrichtungen	101
8.1.6.4	Hochspannungsversorgung	102
8.1.6.5	Vakuumpumpen	102
8.1.7	Anwendung des Elektronenstrahlschweißens	103
8.1.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	106
8.2	Laserstrahlschweißen (Prozeß-Nr. 52)	107
8.2.1	Grundlagen des Laserstrahls	107
8.2.2	Laserstrahlerzeugung	107
8.2.3	Lasertypen	109
8.2.3.1	Festkörperlaser	110
8.2.3.2	Gaslaser	112
8.2.3.3	Diodenlaser	114
8.2.4	Wirkung des Laserstrahls	116
8.2.5	Aufbau von Laseranlagen	119
8.2.5.1	Strahlführung und Strahlformung	119
8.2.5.2	Gasversorgung	122
8.2.5.3	Manipulatoren	122
8.2.6	Anwendung des Laserstrahlschweißens	123
8.2.7	Fehler beim Laserstrahlschweißen	125
9	Widerstandspreßschweißen	128
9.1	Definition des Widerstandsschweißens (Prozeß-Nr. 2)	128
9.2	Einteilung der Widerstandsschweißverfahren	128
9.3	Grundlagen des Widerstandspreßschweißens	128
9.3.1	Widerstände im Schweißstromkreis	128
9.3.2	Wärmewirkung des Stromes	131
9.3.3	Stromquellen zum Widerstandspreßschweißen	131
9.3.4	Schalten und Steuern von Strömen	132
9.4	Punktschweißen (Prozeß-Nr. 21)	134
9.4.1	Schweißmaschinen	135
9.4.2	Elektroden	135
9.4.3	Verfahrensdurchführung	138
9.4.3.1	Schweißparameter	138
9.4.3.2	Nebenschlußeffekt	139
9.4.3.3	Fensterwirkung	140
9.4.4	Prüfung von Schweißverbindungen	140
9.4.5	Anwendung des Punktschweißens	141
9.5	Buckelschweißen (Prozeß-Nr. 23)	142

9.5.1	Elektroden zum Buckelschweißen	142
9.5.2	Buckelformen	143
9.5.3	Durchführung des Buckelschweißens	144
9.5.4	Anwendung des Buckelschweißens	145
9.6	Rollennahtschweißen (Prozeß-Nr. 221)	145
9.6.1	Elektroden zum Rollennahtschweißen	146
9.6.2	Durchführung des Rollennahtschweißens	146
9.6.3	Anwendung des Rollennahtschweißens	147
9.7	Widerstandsstumpfschweißen	148
9.7.1	Einteilung der Verfahren	148
9.7.1.1	Preßstumpfschweißen (Prozeß-Nr. 25)	148
9.7.1.2	Abbrennstumpfschweißen (Prozeß-Nr. 24)	149
9.7.2	Abgrenzung der Verfahren	149
9.7.3	Anwendung des Widerstandsstumpfschweißens	149
10	Sonderverfahren	151
10.1	Elektroschlackeschweißen (Prozeß-Nr. 72)	151
10.1.1	Prinzip des Elektroschlackeschweißens	151
10.1.2	Elektroschlacke-Verbindungsschweißen	151
10.1.2.1	Verfahrensvarianten	151
10.1.2.2	Geräte zum Elektroschlackeschweißen	153
10.1.2.3	Drahtelektroden und Schweißpulver	153
10.1.3	Elektroschlacke-Auftragschweißen	154
10.1.3.1	Verfahren und Geräte	154
10.1.3.2	Breitbandschweißen	155
10.1.4	Anwendung des Elektroschlackeschweißens	155
10.2	Reibschweißen (Prozeß-Nr. 42)	157
10.2.1	Prinzip des Verfahrens	157
10.2.2	Verfahrensvarianten	158
10.2.3	Maschinen und Einrichtungen zum Schweißen	158
10.2.4	Anwendung des Reibschweißens	159
10.3	Lichtbogenpreßschweißen	160
10.3.1	Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen (Prozeß-Nr. 185)	160
10.3.1.1	Verfahrensbeschreibung	160
10.3.1.2	Anwendung des Verfahrens	161
10.3.2	Lichtbogenbolzenschweißen	162
10.3.2.1	Schweißen mit Hubzündung (Prozeß-Nr. 783)	162
10.3.2.2	Schweißen mit Spitzenzündung (Prozeß-Nr. 786)	163
10.3.2.3	Anwendung des Bolzenschweißens	163
10.4	Sonstige Verfahren	165
10.4.1	Kaltpreßschweißen (Prozeß-Nr. 48)	165
10.4.2	Diffusionsschweißen (Prozeß-Nr. 45)	166
10.4.3	Aluminothermisches Schweißen (Prozeß-Nr. 71)	167
11	Thermisches Schneiden	169
11.1	Autogenes Brennschneiden	169
11.1.1	Grundlagen des autogenen Brennschneidens	169
11.1.2	Das Werkzeug des Brennschneiders	170
11.1.3	Manuelles Brennschneiden	170
11.1.4	Maschinelles Brennschneiden	172
11.1.4.1	Handbrennschneidmaschinen	172
11.1.4.2	Kleinbrennschneidmaschinen	172

11.1.4.3 Gelenkarmbrennschneidmaschinen	173
11.1.4.4 Koordinatenbrennschneidmaschinen	174
11.1.4.5 Brennschneiden mit Industrierobotern	175
11.1.5 Schnittgüte beim Brennschneiden	176
11.1.6 Sonderverfahren des Trennens mit der Flamme	177
11.1.6.1 Pulverbrennschneiden	177
11.1.6.2 Mineralpulverbrennschneiden	178
11.1.6.3 Brennbohren	178
11.2 Plasmaschneiden	178
11.2.1 Prinzip des Plasmaschneidens	179
11.2.2 Plasmabildende Medien	179
11.2.3 Einrichtungen zum Plasmaschneiden	180
11.2.4 Anwendung des Plasmaschneidens	180
11.2.4.1 Plasmaschneiden mit spitzen Elektroden	180
11.2.4.2 Plasmaschneiden mit Druckluft	181
11.2.4.3 Plasmaschneiden im Wasser oder unter Wasser	181
11.2.5 Schnittgüten beim Plasmaschneiden	182
11.2.6 Sonderverfahren des Trennens mit dem Lichtbogen	182
11.2.6.1 Lichtbogen-Druckluft-Fugen	183
11.2.6.2 Lichtbogen-Sauerstoff-Schneiden	184
11.3 Laserstrahlschneiden	185
11.3.1 Prinzip des Laserstrahlschneidens	185
11.3.1.1 Laserstrahl-Brennschneiden	186
11.3.1.2 Laserstrahl-Schmelzschneiden	186
11.3.1.3 Laserstrahl-Sublimierschneiden	187
11.3.2 Schneidgase	187
11.3.3 Einrichtungen zum Laserstrahlschneiden	187
11.3.3.1 Strahlerzeuger	187
11.3.3.2 Strahlführungssysteme	188
11.3.3.3 Werkstückträger	190
11.3.4 Anwendung des Laserstrahlschneidens	190
Literatur	193

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort zur 2. Auflage

Vorwort zur 2. Auflage

1	Schweißmetallurgie	1
2	Energiequellen, Energieübertragung beim Schweißen	5
3	Reaktionsorte beim Schmelzschweißen	14
4	Schlußfolgerungen für die Schweißmetallurgie	20
5	Metallurgische Prozesse beim Schmelzschweißen	24
5.1	Oxidation der Metalle	24
5.1.1	Wirkung von Sauerstoff bei Schmelzschweißverfahren	25
5.1.2	Dissoziationsprozesse im Lichtbogenbereich	26
5.1.3	Bildung und Dissoziation von Oxiden	34
5.1.4	Oxidationsgeschwindigkeit und Oxidationsvermögen	38
5.1.5	Zweistoffsysteme Metall – Sauerstoff, ihre Bedeutung für den Schweißprozeß	40
5.1.6	Grundlagen der Desoxidation beim Schmelzschweißen	46
5.1.6.1	Desoxidationsvermögen der Elemente	46
5.1.6.2	Wirksamkeit von Desoxidationselementen	51
5.1.6.3	Einflußfaktoren auf die Ausscheidung der Desoxidationsprodukte	58
5.1.6.4	Desoxidation im Vakuum	65
5.1.6.5	Desoxidation beim Schmelzschweißen von Kupfer	66
5.2	Wechselwirkungen des Metalles mit Schlacken	67
5.2.1	Aufgaben der Schlacken beim Schmelzschweißen	67
5.2.2	Schlackenaufbau	68
5.2.3	Ionen- und Molekulartheorie der Schlacken	72
5.2.4	Eigenschaften von Schlacken beim Schmelzschweißen	73
5.2.4.1	Physikalische Eigenschaften	73
5.2.4.2	Zustandsschaubilder von Schlackensystemen	77
5.2.4.3	Metallurgische Eigenschaften von Schlacken	80
5.2.5	Wirkung von Schlacken zur Reduzierung des Phosphor- und Schwefelgehaltes im Schweißgut	82
5.3	Legierung des Schweißgutes	85
5.4	Wechselwirkung von Gasen mit dem Metall beim Schweißen und ihr Einfluß auf die Eigenschaften der Schweißverbindungen	91
5.4.1	Wechselwirkung Metall – Wasserstoff beim Schweißen	93
5.4.2	Wechselwirkung Metall – Stickstoff beim Schweißen	108
5.5	Metallverdampfung beim Schweißen	114
5.6	Bildung von Schweißaerosolen und Ozon	119
6	Metallurgische Probleme ausgewählter Schmelzschweißprozesse	124
6.1	Gasschmelzschweißen	125
6.2	Aluminothermisches Schweißen	132
6.3	Lichtbogenschweißen mit umhüllter Stabelektrode	132

6.4	Unterpulverschweißen, Elektro-Schlacke-Schweißen	142
6.4.1	Unterpulverschweißen	142
6.4.2	Elektro-Schlacke-Schweißen	154
6.5	Schutzgasschweißen	156
6.5.1	Anforderungen an die Schutzgase	157
6.5.2	Einsatz von Gasgemischen	162
6.5.3	Normung der Schutzgase (DIN EN 439)	169
6.5.4	Schweißzusätze für das Schutzgasschweißen	172
6.5.5	Fülldrahtelektroden	180
6.6	Elektronenstrahlschweißen	185
6.6.1	Metallurgische Besonderheiten des Elektronenstrahlschweißens	188
6.7	Laserstrahlschweißen	192
6.8	Thermische Trennverfahren	197
6.8.1	Autogenes Brennschneiden, Pulverbrennschneiden, Brennfugen, Brennflämmen	198
6.8.2	Schmelzschneiden	202
7	Schmelzbadbildung, Schmelzbadabmessungen, Kristallisation des Metalles ..	205
7.1	Schmelzbadbildung, Schmelzbadabmessungen	205
7.2	Energie- und Massetransfer beim Schmelzschweißen, Verhalten des Schmelzbades, Grenzflächenkonvektion	209
7.3	Grundlagen der Kristallisation	212
7.4	Besonderheiten der Kristallisation beim Schweißen	215
7.5	Inhomogenitäten in der Schweißgutzusammensetzung – Seigerungen	220
7.6	Beeinflussung der Kristallisationsprozesse beim Schweißen	223
7.7	Porenbildung	225
7.8	Nichtmetallische Einschlüsse	228
7.9	Heißrißbildung	230
Literatur	243
Anhang: Begriffe und Erläuterungen	255

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort zur 2. Auflage

Vorwort zur 2. Auflage

1	Einführung	1
1.1	Schweißbarkeit – Schweißseignung, Schweißsicherheit und Schweißmöglichkeit	1
1.2	Prüfung der Schweißbarkeit	2
1.2.1	Prüfung der Schweißseignung	2
1.2.2	Prüfung der Schweißsicherheit	3
2	Schweißseignung der unlegierten und anderen legierten Stähle	4
2.1	Werkstoffgrundlagen	4
2.1.1	Einteilung der Stähle	4
2.1.2	Bezeichnung der Stähle	6
2.1.2.1	Europäisches Bezeichnungssystem mit Kurznamen	6
2.1.2.2	Nummernsystem	8
2.1.2.3	Historische Kurznamen der deutschen Stähle	9
2.1.3	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	9
2.1.3.1	Reineisen	9
2.1.3.2	Eisen und Kohlenstoff	11
2.1.3.3	Gefügebau der Wärmeeinflußzone	13
2.1.4	Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder (ZTU-Schaubilder)	15
2.2	Aufhärtung und Kaltrißbildung	22
2.2.1	Grundbegriffe	22
2.2.2	Chemische Zusammensetzung und Kohlenstoffäquivalent	23
2.2.2.1	Kohlenstoff	23
2.2.2.2	Begleit- und Legierungselemente	24
	Schwefel	24
	Phosphor	25
	Silizium	25
	Mangan	26
	Stickstoff	26
	Wasserstoff	26
2.2.2.3	Kohlenstoffäquivalent	27
2.2.2.4	Kohlenstoffäquivalent, Härte und Vorwärmung	27
2.2.3	Schweiß-ZTU-Schaubilder	30
2.2.3.1	Bestimmung der Abkühlzeiten	30
2.2.3.2	Aufbau und Anwendung von Schweiß-ZTU-Schaubildern	34
2.2.4	Zur Deutung der Kaltrißbildung	35
2.2.5	Prüfung der Kaltrißbeständigkeit	37
2.2.5.1	Prüfverfahren mit sich selbstbeanspruchenden Proben	38
	CTS-Versuch	38
	Tekken-Versuch	39
2.2.5.2	Prüfverfahren mit fremdbeanspruchten Proben	40
	Implant-Versuch	40
	Weitere Prüfverfahren	41
2.3	Heißrißbildung	42

2.3.1	Begriffsbestimmung	42
2.3.2	Theorien der Heißrißbildung	42
2.3.2.1	Dehnungstheorie von Pellini	42
2.3.2.2	Heißrißtheorie von Borland	43
2.3.2.3	Heißrißtheorie nach Prokhorov	43
2.3.2.4	Weitere Heißrißtheorien	45
2.3.3	Prüfung der Heißrißbeständigkeit	45
2.3.3.1	Heißrißprüfverfahren mit sich selbstbeanspruchenden Proben	46
	Doppelkehlnahtprobe	46
	Fisco-Probe	47
	Hakenrißprobe	47
2.3.3.2	Heißrißprüfverfahren mit fremdbeanspruchten Proben	48
	Heißzugversuch (HZ-Versuch)	48
	Heiß-Deformationsrate-Versuch (HDR-Versuch)	48
	Modifizierter Varestreint-Transvarestreint-Versuch (MVT-Versuch)	49
	Programmierter Verformungs-Riß-Versuch (PVR-Versuch)	50
3	Schweißbeignung der hochfesten Feinkornbaustähle	52
3.1	Werkstoffgrundlagen	52
3.2	Entwicklung und Einteilung der hochfesten Feinkornbaustähle	54
3.3	Schweißbeignung der hochfesten Feinkornbaustähle	55
3.4	Fehlererscheinungen	56
3.4.1	Relaxationsversprödung	56
3.4.2	Lamellenrisse (Terrassenbrüche)	57
4	Schweißbeignung der hochlegierten Stähle	60
4.1	Werkstoffgrundlagen	60
4.1.1	Wirkung der Legierungselemente	60
4.1.1.1	Umwandlungstemperaturen und Umwandlungsverhalten	60
4.1.1.2	Karbide und intermetallische Verbindungen	61
4.1.2	Einteilung der hochlegierten Stähle	63
4.1.2.1	Warmfeste Stähle	64
4.1.2.2	Kaltzähe Stähle	64
4.1.2.3	Korrosionsbeständige Stähle	65
	Ferritische Chromstähle	66
	Martensitische Chromstähle	66
4.1.2.4	Hitze- und zunderbeständige Stähle	66
4.2	Schweißbeignung der hochlegierten Stähle	67
4.2.1	Austenitische Stähle	67
4.2.1.1	Schaeffler-Diagramm	67
4.2.1.2	Heißrißbildung	68
4.2.1.3	Interkristalline Korrosion	72
	Prüfverfahren	76
4.2.1.4	Spannungsrißkorrosion	76
4.2.2	Ferritische Stähle	77
4.2.2.1	Versprödungen	77
4.2.2.2	Interkristalline Korrosion	78
4.2.3	Ferritisch-martensitische Stähle	78
4.2.4	Ferritisch-austenitische Stähle	79
4.2.5	Schweißen unterschiedlicher Stähle	80
4.2.5.1	Schweißgutgefüge	80

5	Schweißbeignung gegossener Eisenwerkstoffe	83
5.1	Werkstoffgrundlagen	83
5.1.1	Einteilung und Kennzeichnung	83
5.1.2	Sättigungsgrad, Gußeisen-Diagramm und Graphitbildung	84
5.2	Schweißbeignung verschiedener Gußeisen- und Tempergußsorten	86
5.2.1	Gußeisen mit Lamellengraphit	86
5.2.2	Gußeisen mit Kugelgraphit	88
5.2.3	Austenitisches Gußeisen	88
5.2.4	Temperguß	89
5.3	Schlußbemerkung zur Schweißbeignung von Gußeisen-Werkstoffen	90
6	Schweißbeignung von Aluminium und Aluminiumlegierungen	92
6.1	Werkstoffgrundlagen	92
6.1.1	Einteilung und Kennzeichnung der Aluminiumwerkstoffe	92
6.1.2	Aushärten	94
6.1.3	Kaltverfestigung und Rekristallisation	95
6.2	Schweißbeignung	97
6.2.1	Wärmeeinflußzone beim Schmelzschweißen	97
6.2.2	Vorwärmen	99
6.2.3	Heißrißbildung	101
6.2.3.1	Heißrißbildung und chemische Zusammensetzung	101
6.2.3.2	Heißrißproben	103
6.3	Schweißbeignung wichtiger Aluminiumlegierungen	106
6.3.1	Kaltverfestigte Aluminiumlegierungen	106
6.3.2	Aushärtbare Aluminiumlegierungen	107
6.3.3	Festigkeit von Schweißverbindungen an Aluminiumlegierungen	109
6.3.4	Ursachen und Auswirkungen der Porosität	111
7	Schweißbeignung von Kupfer und Kupferlegierungen	113
7.1	Werkstoffgrundlagen	113
7.1.1	Wärmephysikalische und mechanische Eigenschaften von Kupfer	114
7.1.2	Sauerstoff im Kupfer	116
7.2	Schweißbeignung wichtiger Kupferwerkstoffe	117
7.2.1	Kupfer-Zink-Legierungen	117
7.2.2	Kupfer-Zinn-Legierungen	117
7.2.3	Kupfer-Nickel-Legierungen	118
7.2.4	Kupfer-Aluminium-Legierungen	118
7.2.5	Kupfer-Mangan-Legierungen	119
8	Schweißbeignung von Nickel und Nickellegierungen	121
8.1	Werkstoffgrundlagen	121
8.1.1	Reinnickel	121
8.1.2	Nickellegierungen	122
8.1.3	Wärmebehandlung von Nickellegierungen	123
8.2	Schweißbeignung von Nickel und wichtigen Nickellegierungen	125
8.2.1	Reinnickel	125
8.2.2	Nickellegierungen	125
9	Schweißbeignung von Titan und Titanlegierungen	127
9.1	Werkstoffgrundlagen	127
9.1.1	Einteilung der Titanwerkstoffe	127

9.1.2	Umwandlungsverhalten und Aushärtung von Titanlegierungen	128
9.1.3	Einfluß von Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff	129
9.1.4	Wärmebehandlung von Titan und Titanlegierungen	130
9.2	Schweißignung von Titan und wichtigen Titanlegierungen	130
9.2.1	Titan	131
9.2.2	Titanlegierungen	133
9.2.2.1	α -Legierungen	133
9.2.2.2	α + β -Legierungen	134
9.2.2.3	β -Legierungen	135
9.3	Festigkeitseigenschaften geschweißter Titanlegierungen	135
10	Sicherheit von Schweißkonstruktionen	137
10.1	Grundlagen zum Bruchversagen	137
10.1.1	Brucherscheinungen	137
	Zähbruch (Verformungsbruch)	138
	Sprödbbruch	138
10.1.2	Bruchanalyse-Schaubild (FAD)	139
10.2	Zähigkeitsprüfungen	140
10.2.1	Statische Zugversuche mit gekerbten Proben	141
10.2.1.1	Tipper-Probe	141
10.2.1.2	Kahn-Probe	142
10.2.2	Statische Biegeversuche mit gekerbten Proben	142
10.2.2.1	Van-der-Veen-Probe	142
10.2.2.2	Aufschweißbiegeprobe	142
10.2.3	Dynamische Prüfverfahren	144
10.2.3.1	Kerbschlagbiegeversuch	144
10.2.3.2	Fallgewichtsversuch (Drop-Weight-Test)	146
10.2.3.3	Rißauffangversuch	148
10.2.3.4	Rißaufweitungsversuch	149
10.2.4	Konventionelle Zähigkeitsprüfung und das Bauteilverhalten	150
10.3	Bruchmechanik	151
10.3.1	Linear-elastische Bruchmechanik	151
10.3.2	Fließbruchmechanik	154
10.3.3	Ermittlung bruchmechanischer Kennwerte	155
10.3.4	Anwendungshinweise	156
Literatur	158

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort zur 2. Auflage

Vorwort zur 2. Auflage

1	Entwurf von Schweißkonstruktionen	1
1.1	Übersicht über den konstruktiven Entwicklungsprozeß	1
1.1.1	Konstruktions-Methodik	1
1.1.2	Übersicht zu konstruktiver und technologischer Vorbereitung geschweißter Konstruktionen	4
1.2	Qualitätssicherung in der Schweißtechnik nach europäischen Bestimmungen und Regelwerken	8
1.2.1	Einführung	8
1.2.2	Allgemeingültige Bestimmungen zur Qualitätssicherung von Produkten	8
1.2.3	Europäische Regelwerke in der Schweißtechnik – Schweißtechnische Qualitätsanforderungen nach DIN EN 729	11
1.3	Bewertungsgruppen von Schweißverbindungen an Stählen und an Aluminiumwerkstoffen	13
1.3.1	Einführung	13
1.3.2	Bewertungsgruppen für Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl nach DIN EN 25817	15
1.3.3	Bewertungsgruppen für Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminiumwerkstoffen nach DIN EN 30042	15
1.3.4	Schlußbetrachtung	15
1.4	Darstellung von Schweißkonstruktionen in Zeichnungen	16
1.4.1	Einführung	16
1.4.2	Zusammenhang von europäischen Normen über Schweißzeichnung und Qualitätsanforderungen der Schweißtechnik	17
1.4.3	Angaben in Schweißzeichnungen – Übersicht	18
1.5	Beanspruchung von Schweißverbindungen	31
1.5.1	Übersicht	31
1.5.2	Statische Beanspruchung (statisches Festigkeitsverhalten)	33
1.5.3	Schwingende Beanspruchung (Ermüdungsverhalten)	35
1.6	Bemessungskonzepte für Schweißkonstruktionen	41
2	Schweißkonstruktionen aus Stählen	45
2.1	Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Stählen	45
2.1.1	Allgemeine Regeln für die Gestaltung von Schweißkonstruktionen	45
2.1.2	Fertigungsgerechte Gestaltung	46
2.1.3	Beanspruchungsgerechte Gestaltung	69
2.1.4	Gestaltung und Stahlart	72
2.1.5	Bauweisen der Schweißkonstruktionen im Stahlbau, Maschinenbau und Apparatebau	75
2.1.6	Gestaltungsbeispiele für Schweißkonstruktionen	87
2.1.6.1	Stahlbau	87
2.1.6.2	Druckgerätebau (Dampfkessel, Apparate, Rohrleitungen)	90
2.1.6.3	Maschinenbau und Gerätebau	97
2.2	Berechnung von Schweißverbindungen aus Stählen	105

2.2.1	Einleitung	105
2.2.2	Belastungsannahmen	105
2.2.3	Nennspannungen	106
2.2.4	Festigkeitsnachweise bzw. Sicherheitsnachweise (Übersicht europäischer und nationaler Regelwerke zur Durchführung von Festigkeits- bzw. Sicherheitsnachweisen für Schweißverbindungen)	113
2.2.5	Empfehlungen zur Berechnung von Schweißverbindungen im gesetzlich nicht geregelten Bereich (unter Berücksichtigung der Bewertungsgruppen nach DIN EN 25817)	114
2.3	Tragfähigkeit von Schweißverbindungen an Stählen	126
2.3.1	Festigkeits- und Ermüdungsverhalten von Schweißverbindungen an Stählen ..	126
2.3.1.1	Einflüsse auf Festigkeit und Ermüdung	126
2.3.1.2	Ermüdungsfestigkeits-Klassen (FAT) nach IIW für Schweißverbindungen	137
2.3.2	Sprödbbruchverhalten von Schweißkonstruktionen aus Stahl	142
2.3.2.1	Werkstoffwahl und Schweißbarkeit von Bauteilen	142
2.3.2.2	Sprödbbruchverhalten von Schweißkonstruktionen	144
3	Schweißkonstruktionen aus Aluminiumwerkstoffen	152
3.1	Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Aluminiumwerkstoffen	152
3.1.1	Gestaltungsgrundsätze für Aluminium-Schweißkonstruktionen	152
3.1.1.1	Bauweisen der Schweißkonstruktionen aus Aluminiumwerkstoffen	152
3.1.1.2	Allgemeine Regeln für die Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Aluminiumwerkstoffen (Übersicht über die Einflußfaktoren auf die Gestaltung)	152
3.1.1.3	Gestaltung und Art des Aluminiumwerkstoffes	153
3.1.1.4	Einfluß der Schweißverfahren und der Fertigungsweisen auf die Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Aluminiumwerkstoffen	154
3.1.1.5	Gestaltung und Beanspruchung – Gestaltungsgrundsätze bei statischer und dynamischer Beanspruchung	161
3.1.2	Anwendungsbeispiele von Schweißkonstruktionen aus Aluminiumwerkstoffen	172
3.2	Übersicht zur Berechnung von Schweißverbindungen an Aluminiumwerkstoffen	176
3.2.1	Einführung	176
3.2.2	Belastungsannahmen	176
3.2.3	Nennspannungen	176
3.2.4	Festigkeits- und Sicherheitsnachweise für Aluminium-Schweißkonstruktionen (Übersicht zu europäischen und nationalen Regelwerken für die Festigkeits- bzw. Sicherheitsnachweise von Schweißverbindungen an Aluminiumwerkstoffen)	176
3.2.5	Empfehlungen zur Berechnung von Schweißverbindungen an Aluminiumlegierungen im staatlich nicht geregelten Bereich (unter Berücksichtigung der Bewertungsgruppen nach DIN EN 30042 und Merkblatt DVS 0713)	177
3.2.5.1	Einführung	177
3.2.5.2	Empfehlungen zur Ermittlung der Bewertungsgruppen bei vorwiegend ruhender Beanspruchung (statisch)	178
3.2.5.3	Empfehlungen zur Ermittlung der Bewertungsgruppen bei nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung (dynamisch)	183
3.3	Tragfähigkeitsverhalten von Schweißverbindungen aus Aluminiumwerkstoffen	193
3.3.1	Aluminium als Konstruktionswerkstoff	193

3.3.2	Festigkeits- und Ermüdungsverhalten von Schweißverbindungen aus Aluminiumwerkstoffen	202
3.3.2.1	Einflüsse auf das Festigkeits- und Ermüdungsverhalten der Aluminium-Grundwerkstoffe	202
3.3.2.2	Einflüsse auf das Festigkeits- und Ermüdungsverhalten der Schweißverbindungen aus Aluminiumwerkstoffen	207
3.3.2.3	Stabilitätsverhalten von Aluminium-Schweißkonstruktionen	220
	Weiterführende Literatur	222