

Inhaltsverzeichnis

1 Begriff der Schweißbarkeit	1
1.1 Aufgliederung des Begriffs der Schweißbarkeit	1
1.1.1 Schweißbeignung	2
1.1.2 Schweißsicherheit	2
1.1.3 Schweißmöglichkeit	3
1.2 Einflußgrößen	3
1.2.1 Der Werkstoff	3
1.2.2 Fertigungsbedingungen	4
1.2.3 Konstruktive Ausbildung	5
1.3 Gewährleistung	5
1.3.1 Gewährleistung der Schweißbarkeit	5
1.3.2 Bescheinigung über die Prüfung von Werkstoffen (Werksattest)	5
1.3.2.1 Werkbescheinigungen	6
1.3.2.2 Werkszeugnisse	6
1.3.2.3 Abnahmezeugnisse	7
1.3.3 Beanstandungen	7
1.4 Prüfung der Schweißbarkeit	7
1.4.1 Prüfung der Härbarkeit	8
1.4.2 Prüfung der Alterungsempfindlichkeit	10
1.4.3 Prüfung der Spröbruchempfindlichkeit	10
1.4.4 Prüfung der Rißanfälligkeit von Schweißgut und wärmebeeinflußter Zone (WEZ)	15
1.4.5 Prüfung der Rißzähigkeit hochfester Werkstoffe	18
1.4.6 Prüfung der Heißrißempfindlichkeit	20
1.4.6.1 Selbstbeanspruchte Proben	20
1.4.6.2 Fremdbeanspruchte Proben	21
1.5 Aussagen der Bruchmechanik	22
2 Werkstoffbeeinflussung durch den Schweißprozeß	31
2.1 Vorgänge bei Erwärmung und Abkühlung	31
2.1.1 Die Abkühlgeschwindigkeit	35
2.1.2 Ausbildung der Schweißnaht und Eigenschaften der wärmebeeinflußten Zone	37

2.1.2.1 Vermischung	37
2.1.2.2 Ausscheidungsvorgänge	38
2.1.2.3 Kristallseigerungen	39
2.1.2.4 Aufhärtung	40
2.1.2.5 Festigkeitseigenschaften	40
2.1.2.6 Schrumpfung	41
2.1.2.7 Eigenspannungen	41
2.2 Reaktionen mit den Gasen der Schweißatmosphäre	41
2.2.1 Sauerstoff	42
2.2.2 Stickstoff	42
2.2.3 Wasserstoff	43
2.3 Vorgänge bei und nach Kaltverformung	46
2.3.1 Gefüge und Festigkeit	46
2.3.2 Eigenspannungen	46
2.3.3 Alterung	48
2.3.3.1 Reckalterung	48
2.3.3.2 Abschreckalterung	49
2.3.4 Rekristallisation	49
2.3.5 Korrosion	50
2.3.6 Zusammenfassende Beurteilung des Schweißens in kaltverformten Bereichen	50
2.4 Wärmebehandlung	50
2.4.1 Vorwärmen	50
2.4.2 Spannungsarmglühen	51
2.4.3 Weichglühen	57
2.4.4 Normalglühen	58
2.4.5 Härten	58
2.4.6 Vergüten	59
2.4.7 Aushärten	60
2.4.8 Flammenspannen	60
2.4.9 Stabilglühen, Lösungsglühen, Diffusionsglühen, Blauwärme	61
2.4.10 Stufenglühen	61
2.5 Schweißnahtnachbehandlung	61
2.5.1 Mechanische Nachbehandlung	62
2.5.2 Thermische Nachbehandlung	62
3 Unlegierte Stähle	63
3.1 Erschmelzungs- und Vergießungsart	63
3.1.1 Erschmelzungsart	64
3.1.2 Vergießungsart	65
3.1.2.1 Unberuhigtes Vergießen (U)	65
3.1.2.2 Halbberuhigte Stähle	68
3.1.2.3 Beruhigtes Vergießen (R)	69
3.1.2.4 Stark beruhigtes Vergießen (RR)	69

3.1.3 Sekundärmetallurgie	69
3.1.3.1 Pfannenmetallurgie	70
3.1.3.2 Vakuummetallurgie	70
3.1.3.3 Umschmelzverfahren	70
3.2 Einfluß der Begleitelemente auf Festigkeit und Schweißbeugung	
der unlegierten Baustähle	71
3.2.1 Kohlenstoff	71
3.2.2 Silizium	74
3.2.3 Mangan	74
3.2.4 Phosphor	75
3.2.5 Schwefel	76
3.2.6 Stickstoff	78
3.2.7 Aluminium	78
3.2.8 Kupfer	79
3.2.9 Vanadin	79
3.2.10 Arsen, Antimon, Zinn	79
3.3 Das Sprödbbruchproblem	79
3.3.1 Werkstoffbedingte Faktoren	80
3.3.2 Konstruktiv- bzw. beanspruchungsbedingte Faktoren	82
3.3.2.1 Räumliche Spannungszustände	82
3.3.2.2 Örtliche Spannungskonzentration	84
3.3.2.3 Beanspruchungsgeschwindigkeit	85
3.3.2.4 Tiefe Temperaturen	85
3.3.2.5 Eigenspannungen	85
3.4 Die Massenbaustähle nach DIN 17100	86
3.4.1 Gewährleistung der Sprödbbruchunempfindlichkeit	86
3.4.2 Schweißbeugung der Massenbaustähle	87
3.4.2.1 Eignung der Stähle nach DIN 17100	
zum Schmelzschweißen	87
3.4.2.2 Eignung der Stähle nach DIN 17100 zum Wider-	
standsschweißen und Gaspreßschweißen	89
3.4.3 Auswahl der Stahlsorten und Gütegruppen nach DIN 17100	89
3.4.3.1 Werkstoffauswahl für den Stahl-, Kran-, Brücken-	
und Stahlwasserbau	89
3.4.3.2 Werkstoffauswahl für Tankbauwerke	91
3.4.3.3 Werkstoffauswahl für den Fahrzeugbau	93
3.5 Feinbleche aus unlegierten Stählen	95
3.6 Unlegierte Einsatz- und Vergütungsstähle	97
3.6.1 Unlegierte Einsatzstähle	97
3.6.2 Unlegierte Vergütungsstähle	97
3.7 Unlegierte Rohrstähe	98
3.7.1 Nahtlose Rohre	98
3.7.2 Geschweißte Rohre	98
3.7.3 Präzisionsstahlrohre	98
3.7.4 Gewinderohre	100

3.7.5 Stahlrohre für Wasserleitungen	100
3.7.6 Rohre für Fernleitungen	100
3.8 Unlegierte Kessel- und Druckbehälterstähle	101
3.8.1 Einsatz unlegierter Stähle bei höheren Temperaturen	101
3.9 Sonstige unlegierte Baustähle	102
3.9.1 Schiffbaustähle	103
3.9.2 Schienenstähle	105
3.9.3 Stähle für Schmiedeteile	107
3.9.4 Betonstähle	107
3.9.5 Offshorestähle	108
3.9.6 Wetterfeste Baustähle	110
3.10 Zusatzwerkstoffe für das Schweißen unlegierter Stähle	110
4 Niedriglegierte Stähle	111
4.1 Allgemeines	111
4.1.1 Verwendungsbereich	111
4.1.2 Einfluß der Legierungselemente auf die Werkstoffeigenschaften	111
4.2 Das Kohlenstoffäquivalent	112
4.3 Das ZTU-Diagramm	115
4.3.1 Das isotherme ZTU-Schaubild	115
4.3.2 Das kontinuierliche ZTU-Schaubild	115
4.3.3 Übertragung der aus dem ZTU-Diagramm gewonnenen Erkenntnisse auf die beim Schweißen ablaufenden Vorgänge	116
4.3.4 Die praktische Anwendung der ZTU-Schaubilder zur Beurteilung der Schweißbarkeit niedriglegierter Stähle	118
4.3.5 Das STAZ-Schaubild	121
4.4 Die CTS-Probe von Cottrell	123
4.5 Vorwärmtemperaturen und Energiezufuhr	125
4.6 Legierungselemente und Schweißbarkeit	127
4.7 Zusatzwerkstoffe für niedriglegierte Stähle	130
4.8 Schweißen der üblichen niedriglegierten Stähle	131
4.8.1 Einsatzstähle	131
4.8.2 Vergütungsstähle	133
4.8.3 Niedriglegierte und mikrolegierte schweißbare Feinkornbaustähle	135
4.8.3.1 Normalgeglühte Feinkornbaustähle	141
4.8.3.2 Wasservergütete hochfeste Feinkornbaustähle	144
4.8.4 Niedriglegierte ultrafeste Baustähle	149
4.8.5 Niedriglegierte Kessel-, Rohr- und druckwasserstoffbeständige Stähle	151
4.8.6 Niedriglegierte Flugzeugbaustähle	153
4.8.7 Niedriglegierte Tieftemperaturstähle	159

4.8.8 Niedriglegierte Kernreaktorstähle	161
4.8.9 Dualphasenstähle	163
5 Hochlegierte Stähle	164
5.1 Das Schaeffler-Diagramm	165
5.2 Ferritische Stähle	166
5.3 Austenitische Stähle	171
5.3.1 Metastabile austenitische Stähle	171
5.3.2 Austenitisch-ferritische Stähle	175
5.3.3 Stabile austenitische Stähle	176
5.4 Martensitische Stähle	180
5.5 Aushärtbare Stähle	182
5.6 Austenitformgehärtete, höchstfeste Stähle	184
5.7 Kaltzähe Tieftemperaturstähle	184
5.8 Warmarbeitsstähle	186
5.9 Schweißverfahren für hochlegierte Stähle	187
5.9.1 Metalllichtbogenschweißen mit Stabelektrode	187
5.9.2 Schutzgasschweißen	188
5.9.3 UP-Schweißen	189
5.9.4 Gasschweißen	190
5.10 Zusatzwerkstoffe für hochlegierte Stähle	191
5.11 Wurzelschutz beim Schweißen korrosionsbeständiger Stähle	192
5.12 Nachbehandlung	192
6 Plattierte Stähle und Schweißplattierungen	193
6.1 Plattierte Stähle	193
6.2 Schweißplattierungen	195
7 Eisen-Gußwerkstoffe	197
7.1 Stahlguß	197
7.1.1 Unlegierter Stahlguß	197
7.1.1.1 Instandsetzungs- und Fertigungsschweißungen	197
7.1.1.2 Konstruktionsschweißungen zwischen Stahlgußteilen	199
7.1.1.3 Verbindungen zwischen Gußteilen und Walzstahl ...	200
7.1.1.4 Brennschneiden von unlegiertem Stahlguß	200
7.1.2 Niedriglegierter Stahlguß	201
7.1.2.1 Instandsetzungs- und Fertigungsschweißungen	201
7.1.2.2 Konstruktionsschweißungen	201
7.1.2.3 Brennschneiden von niedriglegiertem Stahlguß	201
7.1.3 Hochlegierter Stahlguß	203
7.1.3.1 Nichtrostender Stahlguß	203

7.1.3.2	Warmfester Stahlguß	205
7.1.3.3	Hitzebeständiger Stahlguß	205
7.1.3.4	Kaltzäher Stahlguß	206
7.1.3.5	Sonstige hochlegierte Stahlgußsorten	207
7.2	Temperguß	207
7.2.1	Entkohlend geglühter (weißer) Temperguß (GTW)	208
7.2.2	Nicht entkohlend geglühter (schwarzer) Temperguß (GTS)	210
7.3	Gußeisen mit Lamellengraphit	211
7.3.1	Artgleiches Gußeisenschweißen mit Vorwärmen (Gußeisen-warmschweißen)	212
7.3.2	Artfremdes Gußeisenschweißen ohne Vorwärmen (Gußeisen-kaltschweißen)	212
7.3.3	Legiertes Gußeisen mit Lamellengraphit	213
7.4	Gußeisen mit Kugelgraphit	214
7.4.1	Unlegiertes Gußeisen mit Kugelgraphit	214
7.4.1.1	Schweißen mit artfremdem Zusatzwerkstoff	215
7.4.1.2	Schweißen mit artgleichem Zusatzwerkstoff	216
7.4.1.3	Schweißen mit Nahtformung	217
7.4.2	Legiertes Gußeisen mit Kugelgraphit	217
7.5	Gußeisen mit Vermiculargraphit	218
8	Nichteisenmetalle	219
8.1	NE-Schwermetalle	219
8.1.1	Blei	219
8.1.2	Gold	220
8.1.3	Hafnium	220
8.1.4	Iridium	221
8.1.5	Kobaltlegierungen	221
8.1.6	Kupfer und Kupferlegierungen	222
8.1.6.1	Kupfer	222
8.1.6.2	Kupferlegierungen	225
8.1.6.3	Hinweise für das Schweißen von Kupfer und seinen Legierungen	233
8.1.6.4	Hinweise für das Löten von Kupfer und Kupferlegierungen	240
8.1.6.5	Die Festigkeitseigenschaften geschweißter Verbindungen an Kupfer und Kupferlegierungen	242
8.1.7	Molybdän	242
8.1.8	Nickel und Nickellegierungen	245
8.1.8.1	Einfluß der Legierungselemente auf die Schweißbarkeit	245
8.1.8.2	Vorbehandlung zum Schweißen	252
8.1.8.3	Das Schweißen der Nickellegierungen	253
8.1.8.4	Das Löten der Nickellegierungen	255
8.1.8.5	Wärmebehandlung	255

8.1.9 Niob	258
8.1.10 Platin	259
8.1.11 Plutonium	260
8.1.12 Silber und Silberlegierungen	260
8.1.13 Tantal und Tantallegierungen	261
8.1.14 Thorium	262
8.1.15 Uran	262
8.1.16 Vanadin	263
8.1.17 Wolfram	264
8.1.18 Zink	265
8.1.19 Zinn	266
8.1.20 Zirkonium und Zirkoniumlegierungen	267
8.2 NE-Leichtmetalle	269
8.2.1 Aluminium und Aluminiumlegierungen	269
8.2.1.1 Einfluß des Anlieferungszustandes	272
8.2.1.2 Rißeigung beim Schweißen von Aluminium- legierungen	275
8.2.1.3 Poren	276
8.2.1.4 Zusatzwerkstoffe zum Schmelzschweißen von Aluminium	277
8.2.1.5 Anodische Oxidation (Eloxieren) von geschweißtem Aluminium	279
8.2.1.6 Tüpfelprobe zur orientierenden Bestimmung der Zusammensetzung von Aluminiumlegierungen	279
8.2.1.7 Schweißverfahren für Aluminium und Aluminium- legierungen	279
8.2.1.8 Schweißen von Aluminium-Sonderwerkstoffen	285
8.2.1.9 Thermisches Trennen von Aluminiumwerkstoffen ...	286
8.2.1.10 Löten von Aluminium	286
8.2.2 Beryllium	287
8.2.2.1 Verfahren zum Schweißen von Beryllium	288
8.2.2.2 Löten von Beryllium	290
8.2.3 Magnesium und Magnesiumlegierungen	290
8.2.3.1 Schweißbarkeit	292
8.2.3.2 Zusatzwerkstoff	292
8.2.3.3 Verfahren zum Schweißen von Magnesium	292
8.2.4 Titan und Titanlegierungen	292
8.2.4.1 Reinigung	296
8.2.4.2 Verfahren zum Schweißen von Titan	296
8.2.4.3 Thermisches Trennen von Titanwerkstoffen	299
8.2.4.4 Zusatzwerkstoffe zum Schutzgasschweißen von Titan	299
8.2.4.5 Löten von Titan	299
8.2.4.6 Verbindungen mit ungleichartigen Metallen	300
8.3 Legierungen aus intermetallischen Verbindungen	300

9 Nichtmetallische Werkstoffe	301
9.1 Kunststoffe	301
9.1.1 Polyvinylchlorid (PVC)	305
9.1.2 Polyethylen (PE)	305
9.1.3 Polypropylen (PP)	307
9.1.4 Polystyrol (PS)	307
9.1.5 Styrol-Acrylnitril-Copolymere (SAN)	307
9.1.6 Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisate (ABS)	308
9.1.7 Polytetrafluorethylen (PTFE)	308
9.1.8 Polyamide (PA)	309
9.1.9 Polymethylmethacrylat (PMMA)	310
9.1.10 Polyacetal (POM)	310
9.1.11 Polycarbonat (PC)	310
9.1.12 Polyvinylidenfluorid (PVDF)	311
9.1.13 Schweißzusätze für thermoplastische Kunststoffe	311
9.1.14 Verbindungen zwischen ungleichartigen Kunststoffen	311
9.1.15 Kunststoff-Metall-Verbindungen	311
9.2 Glas	312
9.3 Keramik	314
9.3.1 Löten von Keramik	315
9.3.2 Diffusionsschweißen von Keramik	317
9.3.3 Reibschweißen von Keramik	317
9.3.4 Kleben von Keramik	317
9.3.5 Thermisches Spritzen von Keramik	317
9.3.6 Thermisches Schneiden von Keramik	318
9.4 Silizium	318
9.5 Graphit und Diamant	319
9.6 Beton	319
9.7 Biologische Stoffe	320
9.7.1 Gewebe	320
9.7.2 Knochen	321
Literatur	322
Sachverzeichnis	343

Inhaltsübersichten

Band II (Verfahren und Fertigung)

- 10 Verfahren zum Schweißen von Metallen
- 11 Verfahren zum thermischen Schneiden
- 12 Verfahren zum Schweißen und Schneiden von Kunststoffen
- 13 Löten
- 14 Sonderverfahren
- 15 Kleben von Metallen und nichtmetallischen Werkstoffen
- 16 Technische Unterlagen für die Fertigung
- 17 Werkstätten und Werkstatteinrichtung
- 18 Nahtvorbereitung
- 19 Mechanisierung und Automatisierung von Schweißprozeß und Qualitätskontrolle
- 20 Ausbildung und Prüfung von Schweißern und Aufsichtspersonal
- 21 Gütesicherung und Betriebszulassung
- 22 Prüfung und Abnahme des Erzeugnisses
- 23 Fehler, ihre Ursachen, ihre Vermeidung und ihre Beseitigung
- 24 Arbeits- und Brandschutz
- 25 Sonderfragen
- 26 Wirtschaftlichkeit

Band III (Konstruktive Gestaltung der Bauteile)

- 27 Der Auftrag
- 28 Indikationen für die geschweißte, gelötete und geklebte Konstruktion
- 29 Gestaltung von Schweißkonstruktionen
- 30 Detailgestaltung von Schweißverbindungen
- 31 Detailgestaltung von Lötverbindungen
- 32 Detailgestaltung von Klebverbindungen
- 33 Anwendungsbedingte Besonderheiten der Bauteilgestaltung
- 34 Konstruktionsbedingte Schadensfälle

Band IV (Berechnung von Schweißkonstruktionen)

- 35 Berechnung von Schweißverbindungen
- 36 Berechnung von Lötverbindungen
- 37 Berechnung von Klebverbindungen
- 38 Anwendung programmierbarer Taschenrechner
- 39 Rechnerunterstütztes Konstruieren
- 40 Methode der finiten Elemente