Neumann

Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure

Teil 1: Grundlagen
Tragfähigkeit, Gestaltung

7., überarbeitete Auflage

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 7. Auflage

1	Theoretische Grundlagen für Schweißkonstruktionen aus Stählen	1
1.1	Beanspruchung und Tragfähigkeit	1
1.1.1	Übersicht der Werkstoffkennwerte für die Bemessung von Konstruktionen ..	1
1.1.1.1	Die Konstruktion als Tragwerk	1
1.1.1.2	Konzept der Bruchmechanik für Nachweise bei Schweißverbindungen ...	6
1.1.2	Gewalt-, Spröd- und Ermüdungsbruch an Stählen (metallphysikalische Deutung der Bruchentstehung)	11
1.1.2.1	Einführung	11
1.1.2.2	Metallphysikalische Grundlagen – Versetzungstheorie	12
1.2.2.3	Sprödbruch	16
1.2.2.4	Ermüdungsbruch	20
1.1.3	Statische Festigkeit von Schweißkonstruktionen	23
1.1.3.1	Werkstoffkennwerte für den „allgemeinen Spannungsnachweis“ im Nennspannungskonzept	23
1.1.3.1.1	Zugversuch	23
1.1.3.1.2	Bemessung nach Kurzzeitfestigkeit im Nennspannungskonzept	25
1.1.3.1.3	Statische Festigkeit von Stumpf- und Kehlnähten	26
1.1.3.1.4	Statische Festigkeit von Reibschweißverbindungen	31
1.1.3.1.5	Statische Festigkeit von Punktschweißverbindungen	32
1.1.3.1.5.1	Widerstandspunktschweißverbindungen	33
1.1.3.1.5.2	MAG-Punktschweißverbindungen	41
1.1.3.2	Einführende Grundlagen für das Traglastverhalten	42
1.1.3.3	Werkstoffkennwerte für Spannungsnachweise bei Langzeitbeanspruchung (Warmfestigkeit)	46
1.1.4	Ermüdung von Schweißkonstruktionen	50
1.1.4.1	Allgemeines	50
1.1.4.2	Einstufige Belastung (Zeit- und Dauerschwingfestigkeit bei Nennspannungskonzept)	52
1.1.4.2.1	Grundlagen; Werkstoffkennwerte der Stähle für die Bemessung von Konstruktionen bei einstufiger Belastung	52
1.1.4.2.1.1	Wöhlerkurven	52
1.1.4.2.1.2	Dauerschwingfestigkeitsschaubilder	59
1.1.4.2.1.3	Dauerschwingfestigkeitsschaubilder gekerbter Stähle	63
1.1.4.2.1.4	Richtwerte der Dauerschwingfestigkeit von Baustählen	67
1.1.4.2.1.5	Zusammenfassende Schlußfolgerungen zu Werkstoffkennwerten für einstufige Belastung	69
1.1.4.2.2	Dauerschwingfestigkeitsverhalten von Schweißverbindungen bei Belastung auf Zug bzw. Druck (Normalspannungen)	69
1.1.4.2.2.1	Übersicht: Schwingfestigkeitsklassen für Schweißverbindungen nach IIW ..	69
1.1.4.2.2.2	Einfluß der Schweißung auf die Dauerschwingfestigkeit (bei Kleinteilen) ..	76
1.1.4.2.2.3	Spannungsverteilungen an Schweißverbindungen (Finite-Element-Verfahren)	79
1.1.4.2.2.4	Einfluß der Gestalt und der Herstellung der Schweißverbindungen auf die Dauerschwingfestigkeit	82
1.1.4.2.2.5	Einfluß der Stahllarten auf die Dauerschwingfestigkeit der Schweißverbindungen	97

1.1.4.2.3	Dauerschwingfestigkeitsverhalten von Schweißverbindungen bei Belastung auf Torsion	100
1.1.4.2.3.1	Einfluß der Schweißung auf die Dauerschwingfestigkeit bei Torsion	101
1.1.4.2.3.2	Einfluß der Gestalt und der Herstellung der Schweißverbindungen auf die Dauerschwingfestigkeit bei Torsion	102
1.1.4.2.4	Dauerschwingfestigkeitsverhalten von geschweißten Bauelementen (Bauteilen)	105
1.1.4.2.4.1	Geschweißte Zug-Druck-Stäbe (Bauteile)	106
1.1.4.2.4.2	Geschweißte Biegeträger	107
1.1.4.2.4.3	Geschweißte Fachwerkträger	120
1.1.4.2.4.4	Geschweißte Bauteile mit Beanspruchung auf Torsion	124
1.1.4.3	Mehrstufige Belastung (Betriebsfestigkeit)	124
1.1.4.3.1	Grundlagen; Werkstoffkennwerte der Stähle für die Bemessung von Konstruktionen bei mehrstufiger Belastung	124
1.1.4.3.2	Ermüdungsverhalten von Schweißverbindungen bei mehrstufiger Belastung	130
1.1.5	Sprödbbruchverhalten von Schweißkonstruktionen	135
1.1.5.1	Schweißbeignung und Schweißsicherheit	135
1.1.5.2	Sprödbbruchverhalten von Schweißkonstruktionen bei Beanspruchung durch mehrachsigen Spannungszustand, tiefe Temperaturen und Schlag ..	140
1.1.5.2.1	Voraussetzungen für spröden Bruch	140
1.1.5.2.2	Ansätze zur rechnerischen Erfassung der Mehrachsigkeit der Spannungen als Kriterium für Spröd- bzw. Zähbruch	141
1.1.5.2.3	Einfluß des Schweißens auf den Sprödbbruch	144
1.1.6	Mehrachsiger Spannungszustand; Festigkeits- und Ermüdungsverhalten von Schweißkonstruktionen bei mehrachsiger Beanspruchung	150
1.1.6.1	Festigkeitshypothesen	150
1.1.6.1.1	Klassische Hypothesen der Vergleichsspannungen	151
1.1.6.1.1.1	Hypothese der maximalen Normalspannung	151
1.1.6.1.1.2	Hypothese der maximalen Dehnung	152
1.1.6.1.1.3	Hypothese der maximalen Schubspannungen	153
1.1.6.1.1.4	Hypothese der inneren Reibung	154
1.1.6.1.1.5	Hypothese der konstanten Gestaltänderungsarbeit	155
1.1.6.1.1.6	Hypothese der resultierenden Dehnung	156
1.1.6.1.2	Sonderhypothesen	157
1.1.6.1.2.1	Hypothese von Prager	157
1.1.6.1.2.2	Hypothese von Kudrjavcev	157
1.1.6.1.2.3	Hypothese von Yokobori	158
1.1.6.2	Festigkeitsverhalten von Schweißverbindungen im mehrachsigen Spannungszustand	159
1.1.6.2.1	Festigkeitshypothesen bei statischer Beanspruchung	159
1.1.6.2.2	Festigkeitshypothesen bei schwingender Beanspruchung	161
1.1.7	Steifigkeit, Schwingung, Dämpfung; Steifigkeits-, Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von geschweißten Konstruktionen	168
1.1.7.1	Einleitung	168
1.1.7.2	Grundlagen über statische und dynamische Steifigkeit	168
1.1.7.2.1	Statische Steifigkeit	168
1.1.7.2.2	Schwingungsverhalten, dynamische Steifigkeit	170
1.1.7.2.2.1	Freie Schwingungen	170
1.1.7.2.2.2	Erzwungene Schwingungen	171
1.1.7.3	Einfluß der Querschnittsgestaltung und der Werkstoffeigenschaften auf die statische Steifigkeit	177
1.1.7.3.1	Zug- und Druckbeanspruchung	177

1.1.7.3.2	Biegebeanspruchung	178
1.1.7.3.3	Torsionsbeanspruchung	180
1.1.7.4	Einfluß der Querschnittsgestaltung und der Werkstoffeigenschaften auf die Eigenfrequenz	182
1.1.7.4.1	Zug- und Druckbeanspruchung	182
1.1.7.4.2	Biegebeanspruchung	183
1.1.7.4.3	Torsionsbeanspruchung	184
1.1.7.5	Konstruktionsvergleiche durch Anwendung von Modellgesetzen	184
1.1.7.6	Steifigkeit von Bauteilen	188
1.1.7.6.1	Einfluß der Schweißung auf die Steifigkeit	188
1.1.7.6.2	Einfluß der Querschnittsgestaltung, Verrippung und Krafteinleitung auf die Steifigkeit	189
1.1.7.6.2.1	Stäbe, Träger	189
1.1.7.6.2.2	Platten	194
1.1.7.6.2.3	Ständer	194
1.1.7.6.2.4	Kästen	195
1.1.7.6.2.5	Konsolen	196
1.1.7.6.3	Einfluß von Durchbrüchen, Deckeln, Naben und Flanschen auf die Steifigkeit	196
1.1.7.7	Erhöhung der dynamischen Steifigkeit	203
1.1.7.7.1	Übersicht	203
1.1.7.7.2	Dämpfung an geschweißten Maschinen	204
1.1.7.7.2.1	Werkstoffdämpfung	204
1.1.7.7.2.2	Reibungsdämpfung	206
1.1.7.7.3	Reibungsdämpfer für Schweißkonstruktionen	207
1.2	Schrumpfungen und Eigenspannungen – Verformung und Tragfähigkeit ..	210
1.2.1	Einführung	210
1.2.2	Theoretische Grundlagen	213
1.2.3	Schrumpfungen und Verformungen	219
1.2.3.1	Querschrumpfung	220
1.2.3.2	Formänderung infolge außermittiger Querschrumpfung (Winkeländerung, Krümmung)	231
1.2.3.3	Längenänderungen und Formänderungen infolge Längsschrumpfung (Verkürzung, Krümmung)	239
1.2.4	Eigenspannungen	244
1.2.4.1	Größe und Verteilung der Eigenspannungen	244
1.2.4.2	Eigenspannungen und Verformungsfähigkeit	250
1.2.4.3	Zusammenwirken von Eigenspannungen und Lastspannungen	252
1.2.5	Einfluß der Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit	255
1.2.5.1	Einfluß auf die Dauerfestigkeit	256
1.2.5.2	Einfluß auf die Stabilität	258
1.2.5.3	Theoretische Deutung der Vorgänge beim Zusammenwirken von Eigen- und Lastspannungen und Einordnung in ein System charakteristischer Fälle	262
1.2.5.4	Schlußfolgerungen zum Einfluß der Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit ..	270
1.3	Wärmebehandlung von Schweißkonstruktionen	273
1.3.1	Allgemeines	273
1.3.2	Grundlagen der Wärmebehandlung	273
1.3.3	Wärmebehandlungsarten	278
1.3.4	Durchführung der Wärmebehandlung	283
1.3.5	Wärmen beim Schweißen	285

2	Entwurf und Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Stählen	287
2.1	Konstruktiver Entwicklungsprozeß	287
2.1.1	Grundlagen des Konstruierens	287
2.1.1.1	Übersicht – Denkprozesse beim Konstruieren	287
2.1.1.2	Konstruktionssystematik	288
2.1.1.3	Grundprinzip und Flußbilder des konstruktiven Entwicklungsprozesses ..	289
2.1.1.4	Theorie technischer Systeme in der Konstruktionswissenschaft	296
2.1.1.5	Entscheidungshilfen in der Konstruktion	297
2.1.1.6	CAD/CAM/CIM-Systeme	299
2.1.1.7	CAD und Expertensystem der Konstruktion	303
2.1.2	Übersicht der konstruktiven und technologischen Fertigungsvorbereitung in der Schweißtechnik	308
2.1.2.1	Grundlagen	308
2.1.2.2	Zusammenwirken von Konstruktion und Fertigung in der Schweißtechnik	308
2.1.2.3	Übersicht der konstruktiven Vorbereitung geschweißter Erzeugnisse	310
2.1.2.4	Übersicht der technologischen Fertigungsvorbereitung geschweißter Erzeugnisse	313
2.1.3	Rechnergestützte Gestaltung und Berechnung von Schweißkonstruktionen	315
2.1.3.1	Einführung	315
2.1.3.2	Konstruktionskataloge und Rechnerprogramme für Schweißverbindungen	321
2.1.4	Mathematische Optimierung im Konstruktionsprozeß	328
2.2	Grundsätze der Auswahl von Werkstoffen für Schweißkonstruktionen aus Stählen	332
2.2.1	Einführung	332
2.2.1.1	Werkstoffwahl im konstruktiven Entwicklungsprozeß	332
2.2.1.2	Werkstoffwahl in bezug auf die Sicherheit gegen Versagen einer geschweißten Konstruktion	334
2.2.2	Stahlgütewahl für Schweißkonstruktionen	336
2.2.2.1	Bestehende Richtlinien und Vorschriften und deren Erläuterung	336
2.2.2.2	Zusammenhang: Schweißtechnologie und Stahlgütewahl (Bedeutung der Zeit-Temperatur-Verläufe bei Schweißverfahren)	338
2.2.2.3	Vorschläge für näherungsweise Sprödbruchsicherheitsnachweise	341
2.2.2.3.1	Überschläglicher Nachweis ohne Lasten	341
2.2.2.3.2	Rechnerischer Nachweis auf der Basis von Last- und Eigenspannungen ...	344
2.3	Bemessungen von Schweißkonstruktionen aus Stählen	356
2.4	Grundsätze der Gestaltung von Schweißkonstruktionen aus Stählen	359
2.4.1	Schweißzeichnung	359
2.4.1.1	Einleitung	359
2.4.1.2	Zusammenhang der europäischen Normen über Schweißzeichnungen und Qualitätsanforderungen der Schweißtechnik	360
2.4.1.3	Angaben in Schweißzeichnungen	361
2.4.1.4	Fugenformen (Nahtvorbereitung)	365
2.4.2	Gestaltungsmethode von Schweißkonstruktionen in Abhängigkeit von der Funktion, besonders der Beanspruchung (beanspruchungsgerechte Gestaltung)	366
2.4.2.1	Allgemeine Grundsätze der Gestaltung von Schweißkonstruktionen	366
2.4.2.1.1	Übersicht: Funktion und Gestaltung	366
2.4.2.1.2	Bauweisen und Gestaltungsmerkmale	367

2.4.2.2	Gestaltungsmerkmale von Schweißkonstruktionen in bezug auf statische und dynamische (schwingende) Beanspruchung	373
2.4.2.3	Gestaltungsmerkmale von geschweißten Konstruktionen aus Baustahl zur Vermeidung von Terrassenbrüchen	381
2.4.2.4	Gestaltungsmerkmale von Schweißkonstruktionen in bezug auf statische und dynamische Steifigkeit	385
2.4.3	Gestaltungsmerkmale in Abhängigkeit der Schweißfertigung	396
2.4.3.1	Schweißfertigungsgerechte Gestaltung	396
2.4.3.2	Prüfgerechte Gestaltung von Schweißkonstruktionen	418
2.4.3.3	Konstruktive und technologische Maßnahmen zur Beherrschung von Verformungen und Spannungen	424
2.4.3.4	Zusammenbaufolgen (Zusammenbaufolgepläne und Schweißfolgepläne) ..	430
2.4.3.4.1	Übersicht	430
2.4.3.4.2	Zusammenbaufolgepläne	432
2.4.3.4.3	Schweißfolgen – Grundsätze bei Stumpf- und Kehlnähten	442
2.5	Grundsätze der Auswahl von Schweißverfahren	448
2.5.1	Auswahl der Schweißverfahren beim Entwerfen und Gestalten	448
2.5.2	Schweißverfahren (stichwortartige Übersicht mit Anwendungsbereichen) .	458
2.6	Qualitätssicherung der Schweißtechnik	473
2.6.1	Übersicht über Qualitätssicherung der Schweißtechnik auf dem europäischen Markt	473
2.6.1.1	Die Bedeutung der europäischen Normung für jeden Betrieb der Schweißtechnik	473
2.6.1.2	Die Begriffe der Qualität	475
2.6.1.3	Globales Konzept für Prüfwesen und Zertifizieren (7 Module); Qualitätssicherungssysteme	477
2.6.1.4	Europäische Richtlinie Produkthaftung (Produkthaftungsgesetz – ProdHaftG)	485
2.6.1.5	Europäische Richtlinien für Produkte aus verschiedenen Anwendungsbereichen	489
2.6.1.6	Europäische Normen als Instrument zur Harmonisierung der schweißtechnischen Fertigung	490
2.6.1.7	Qualitätsanforderungen an die Schweißtechnik nach europäischen Normen (DIN EN 729)	492
2.6.1.8	DIN EN ISO 9000 ff in Verbindung mit DIN EN 729-2 – Qualitätsmanagementsysteme der Schweißtechnik	496
2.6.1.9	Die europäischen Normen der Schweißtechnik	498
2.6.2	Bewertungsgruppen (Qualitätsstufen) der Schweißverbindungen	506
2.6.2.1	Allgemeine Übersicht der Bewertungsgruppen (Qualitätsstufen) der Schweißverbindungen und deren Bedeutung für Konstruktion und Fertigung	506
2.6.2.2	Bewertungsgruppen der Lichtbogen-Schmelzschweißverbindungen aus Stählen nach DIN EN 25817 (1992)	509
2.6.2.2.1	Übersicht zu DIN EN 25817	509
2.6.2.2.2	Auswahl der Bewertungsgruppen von Schmelzschweißverbindungen für Konstruktionen	510
2.6.2.2.2.1	Zusammenhang von Auswahl der Bewertungsgruppe und von Berechnung der Schweißverbindung	510

2.6.2.2.2.2	Empfehlungen zur Auswahl von Bewertungsgruppen nach DIN EN 25817 und ISO 5817; Stumpfnähte und Kehlnähte an Stahl (Auszüge aus Merkblatt DVS 0705/März 1994)	511
2.6.2.2.2.3	Empfehlungen für den Einsatz von Bewertungsgruppen im nicht geregelten Bereich	531
2.6.2.3	Bewertungsgruppen von Reibschweißverbindungen aus Stählen	533
2.6.2.4	Sicherheitsklassen von widerstandspunktgeschweißten Baugruppen (nach Merkblatt DVS 2915)	535
2.6.2.5	Bewertungsgruppen von Elektronenstrahl- und Laserstrahl-Schweißverbindungen	535
2.6.2.6	Bewertungsgruppen von Bolzenschweißverbindungen	535

Literaturverzeichnis	536
-----------------------------------	-----

Anhänge

Anhang A.1 Tabellen für den Entwurf von Schweißkonstruktionen	575
A.1.1 Rechteck- und Rundprofile	575
A.1.2 Schweißprofile	582
A.1.3 Trägheits- und Widerstandsmomente – gebräuchliche Querschnitte	604
Anhang A.2 Auszüge aus Regelwerken und Richtlinien	611
A.2.1 Auszüge zur Qualitätssicherung (Bewertungsgruppen für Schweißnähte) ..	611
A.2.1.1 Bewertungsgruppen für Stumpf- und Kehlnähte (Auszug aus DIN EN 25817)	611
A.2.1.2 Sicherung der Güte von Schweißarbeiten; Elektronenstrahl- und Laserstrahl-Schweißverbindungen an Stahl; Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten (Auszug aus DIN 8563 Teil 11; März 1992)	618
A.2.1.3 Vorschlag für Bewertungsgruppen von Reibschweißverbindungen (nach [1.521])	627
A.2.1.4 Vorschlag für Bewertungsgruppen von Bolzenschweißverbindungen (nach D. Kluge)	631
A.2.2 Auszüge zur Werkstoffwahl für Schweißkonstruktionen	642
A.2.2.1 DAST-Richtlinie 009 – Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppe für geschweißte Stahlbauten (Dez. 1992)	642
A.2.2.2 SEW 088 Schweißgeeignete Feinkornbaustähle (April 1987)	646
A.2.2.3 Richtlinie DVS 1001 – Prüfung des Kaltrißverhaltens beim Schweißen – Implant-Test (Okt. 1985)	662
A.2.3 Auszüge zur Schweißzeichnung	667
A.2.3.1 DIN EN 22553 (ISO 2553); August 1994; Schweiß- und Lötnähte, Symbolische Darstellung in Zeichnungen	667
Anhang A.3	674
Gesamtübersicht der EN-Normen der Schweißtechnik (Stand 1996)	674
Verzeichnis über Europäische Normen und Europäische Norm-Entwürfe, die das Fachgebiet „Schweißtechnik“ berühren, sowie deren Zusammenhang mit DIN (Stand 1995)	682