

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Tragfähigkeit von Schweißverbindungen aus Aluminiumlegierungen</b> .....	<b>4</b>
2.1	Übersicht der Werkstoffe für geschweißte Aluminiumkonstruktionen .....	4
2.2	Statische Festigkeit und Schwingfestigkeit von Schweißverbindungen .....	11
2.2.1	Einführung .....	11
2.2.2	Unzulässiges Verformen .....	13
2.2.3	Plastisches Versagen .....	13
2.2.3.1	Werkstoffmechanische Grundlagen .....	13
2.2.3.2	Berücksichtigung der Entfestigung .....	14
2.2.3.3	Verschiedene Nachweise .....	15
2.2.4	Stabilitätsversagen .....	16
2.2.4.1	Allgemeines .....	16
2.2.4.2	Besonderheiten geschweißter Teile aus Aluminium .....	17
2.2.4.3	Entwicklung der Rechengänge .....	17
2.2.5	Spröbruch .....	18
2.2.5.1	Grundlagen .....	18
2.2.5.2	Werkstoffkennwerte .....	19
2.2.5.3	Spröbruchsicherung .....	19
2.2.6	Schwingfestigkeit .....	21
2.2.6.1	Grundlagen .....	21
2.2.6.1.1	Definition .....	21
2.2.6.1.2	Begriffe .....	21
2.2.6.1.3	Schaubilder zur Darstellung der Schwingfestigkeit .....	21
2.2.6.1.4	Kurzzeitschwingfestigkeit .....	22
2.2.6.1.5	Zeitschwingfestigkeit .....	23
2.2.6.1.6	Dauerschwingfestigkeit .....	23
2.2.6.2	Effekte und Einflüsse auf die Schwingfestigkeit .....	23
2.2.6.2.1	Werkstoff .....	23
2.2.6.2.2	Eigenspannungen .....	24
2.2.6.2.3	Korrosion .....	24
2.2.6.2.4	Kerben .....	25
2.2.6.2.5	Sonstige Effekte .....	26
2.2.6.2.6	Nachbehandlung .....	27
2.2.6.3	Rechnerisches Bemessen auf Schwingfestigkeit .....	29
2.2.6.3.1	Rechengang .....	29
2.2.6.3.2	Nachweismethoden .....	29
2.2.6.3.3	Schadensakkumulationsrechnung .....	30
2.2.6.4	Einfluß der Fertigungsimperfectionen .....	33
2.2.6.4.1	Grundlagen .....	33
2.2.6.4.2	Rechnerische Bewertung .....	34
2.2.6.5	Sicherheitsbetrachtungen .....	37
2.2.6.5.1	Streuungen der Schwingfestigkeiten .....	37
2.2.6.5.2	Sicherheitskonzepte .....	38
2.2.6.5.3	Verbessern der Schwingfestigkeit .....	38
2.2.7	Kriechen .....	38

2.3	Tragfähigkeit von geschweißten Bauteilen – statisch und schwingend beansprucht	39
2.3.1	Einführung	39
2.3.2	Ruhend beanspruchte Bauteile	40
2.3.2.1	Unzulässiges Verformen	40
2.3.2.2	Plastisches Versagen	40
2.3.2.3	Stabilitätsversagen	40
2.3.2.4	Sprödbruch	41
2.3.2.5	Kriechen	41
2.3.3	Schwingend beanspruchte Bauteile	43
<b>3</b>	<b>Bemessen von Schweißverbindungen aus Aluminiumlegierungen</b>	<b>46</b>
3.1	Einführung	46
3.2	Übersicht über Regelwerke	47
3.2.1	Übersicht	47
3.2.2	Einzelne Regelwerke	47
3.2.2.1	ECCS-Empfehlungen 1978	47
3.2.2.2	DIN 4113	48
3.2.2.3	UNI 8634 – 1985	49
3.2.2.4	BS 8118 (1992)	49
3.2.2.5	AD-Merkblätter (Druckbehälter)	53
3.2.2.6	Germanischer Lloyd (Schiffe)	54
3.2.2.7	ECCS-Empfehlungen (1992)	55
3.3	Berechnung der Nennspannungen bei Schweißverbindungen	64
3.3.1	Vorbemerkungen	64
3.3.2	Spannungsarten in einer Schweißverbindung	64
3.3.3	Querschnittswerte einer Schweißverbindung	64
3.3.4	Ermittlung der Nennspannungen	65
3.3.5	Vergleichsspannungen	66
3.4	Festigkeitsnachweise bei statischer und schwingender Beanspruchung	68
3.4.1	Nachweise nach Regelwerken	68
3.4.1.1	Vorbemerkungen	68
3.4.1.2	Allgemeiner Spannungsnachweis	69
3.4.1.2.1	Grundlagen	69
3.4.1.2.2	Längsbeanspruchte Stäbe	72
3.4.1.2.3	Biegebeanspruchte Stäbe	72
3.4.1.2.4	Schweißnähte	74
3.4.1.3	Stabilitätsnachweise	77
3.4.1.3.1	Biegeknicken einteiliger Stäbe	78
3.4.1.3.2	Biegedrillknicken	87
3.4.1.3.3	Mehrteilige Druckstäbe	91
3.4.1.3.4	Dünnwandige Querschnittsteile	91
3.4.1.3.5	Kippen	92
3.4.1.3.6	Beulen bei Biegeträgern	94
3.4.1.4	Schwingfestigkeit	97
3.4.1.4.1	Beanspruchungskollektiv	97
3.4.1.4.2	Kerbfälle und Schadensrechnung	99
3.4.2	Nachweise für Produkte im nicht geregelten Bereich	99
3.4.2.1	Allgemeine Empfehlungen	99
3.4.2.2	Schwingfestigkeit	102
3.4.2.3	Fertigungsunperfektionen und Schwingfestigkeit	102

<b>4</b>	<b>Berechnungsbeispiele</b> .....	<b>106</b>
4.1	Einführung .....	106
4.2	Beispiele von Einzel-Schweißverbindungen .....	106
4.2.1	Vorwiegend ruhende Belastung (statisch) .....	106
4.2.1.1	Beispiel 1: Stumpfnah auf Zug (querbelastet) .....	106
4.2.1.2	Beispiel 2: Flankenkehlnah in einem Stabanschluß .....	107
4.2.1.3	Beispiel 3: Zugstab (Grundwerkstoff) mit Querkehlnah .....	107
4.2.2	Schwingende Belastung (dynamisch) .....	108
4.2.2.1	Beispiel 4: Stumpfnah auf Zug (querbelastet) .....	108
4.2.2.2	Beispiel 5: Zugstab (Grundwerkstoff) mit Querkehlnah .....	109
4.2.2.3	Beispiel 6: Kehlnah (Kreuzstoß) (querbelastet) .....	109
4.2.2.4	Beispiel 7: Zugstab mit seitlichem Anschweißteil .....	110
4.3	Beispiele von geschweißten Bauelementen .....	110
4.3.1	Beispiel 8: Konsole biegesteif angeschlossen .....	110
4.3.2	Beispiel 9: Biegeträger .....	115
4.3.3	Beispiel 10: Druckstab .....	121
<b>5</b>	<b>Grundlagen der Gestaltung von geschweißten Aluminiumkonstruktionen</b> .....	<b>126</b>
5.1	Einführung .....	126
5.2	Einfluß des Werkstoffes auf die Gestaltung (werkstoffgerechte Gestaltung) .....	126
5.2.1	Allgemeine Hinweise .....	126
5.2.2	Einfluß der Legierungssysteme auf die Gestaltung .....	128
5.2.3	Einfluß des Elastizitätsmoduls auf die Gestaltung .....	128
5.2.4	Einfluß der Formgebung auf die Gestaltung; Strangpreßprofile für Schweißkonstruktionen .....	131
5.2.4.1	Das Angebot von Strangpreßprofilen .....	131
5.2.4.2	Konstruieren mit Strangpreßprofilen .....	135
5.2.4.3	Konstruieren von Schweißverbindungen mit Strangpreßprofilen .....	138
5.2.5	Verbindung von Aluminium mit anderen Metallen .....	139
5.2.5.1	Übersicht .....	139
5.2.5.2	Verhinderung von Kontaktkorrosion .....	139
5.2.5.3	Verbundkonstruktionen .....	143
5.2.5.4	Schweißverbindung von Aluminiumwerkstoffen mit anderen Metallen .....	145
5.2.6	Aluminium-Verbunde .....	145
5.2.6.1	Schweißübergangsstücke .....	145
5.2.6.2	Plattierungen .....	146
5.3	Einfluß der Schweißfertigung auf die Gestaltung (fertigungsgerechte Gestaltung) .....	147
5.3.1	Wahl des Fügeverfahrens und Wahl der Verbindungsart für Aluminiumkonstruktionen .....	147
5.3.1.1	Übersicht .....	147
5.3.1.2	Vorschlag für eine Methodik der Fügeverfahrenswahl .....	148
5.3.1.3	Hinweise über starre Verbindungen für Aluminiumwerkstoffe .....	151
5.3.2	Wahl des Schweißverfahrens .....	153
5.3.2.1	Übersicht für Aluminiumkonstruktionen .....	153
5.3.2.2	Übersicht und Bewertung der anwendbaren Schweißverfahren in bezug auf die einzelnen Aluminiumlegierungen .....	154
5.3.2.3	Übersicht und Bewertung der anwendbaren Schweißverfahren in bezug auf ausgewählte Gesichtspunkte .....	154
5.3.3	Allgemeine Hinweise zur Schweißfertigung von Aluminiumkonstruktionen .....	154
5.3.4	Schweißgerechte Gestaltung bei Schmelzschweißverfahren .....	158
5.3.4.1	MIG- und WIG-Schweißen .....	158

5.3.4.2	Weitere konventionelle Schmelzschweißverfahren (G-, E-, UP-Verfahren) .....	169
5.3.4.3	Weitere Schmelzschweißverfahren (Plasma-, Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen) .....	170
5.3.5	Schweißgerechte Gestaltung bei Preßschweißverfahren .....	171
5.3.5.1	Widerstandspunkt- und Rollennahtschweißen .....	171
5.3.5.2	Widerstandsbuckelschweißen .....	183
5.3.5.3	Abtrennstumpfschweißen .....	185
5.3.5.4	Kaltpreßschweißen .....	187
5.3.5.5	Reibschweißen .....	188
5.4	Einfluß der Beanspruchung auf die Gestaltung (beanspruchungsgerechte Gestaltung) .....	190
5.4.1	Allgemeine Hinweise .....	190
5.4.2	Wahl zwischen Stumpf- und Kehlnaht .....	192
5.4.3	Wahl von Punktschweißverbindungen .....	193
5.4.4	Allgemeine Regeln für die Gestaltung hochbeanspruchter Schmelzschweißverbindungen .....	194
5.4.5	Gestaltungsgrundsätze bei statischer und schwingender Beanspruchung .....	194
5.4.6	Einfluß der Temperaturbeanspruchung auf die Gestaltung .....	198
5.5	Einfluß der Qualitätssicherung einschließlich Prüfung der Schweißverbindungen auf die Gestaltung (qualitäts- und prüfgerechte Gestaltung) .....	202
5.5.1	Übersicht zur Qualitätssicherung von geschweißten Aluminiumkonstruktionen ...	202
5.5.2	Qualitätsstufen von Schweißverbindungen aus Aluminiumwerkstoffen .....	209
5.5.2.1	Bewertungsgruppen nach ISO-, EN- und DIN-Normen; Unregelmäßigkeiten ...	209
5.5.2.2	Vorschlag zur Auswahl von Bewertungsgruppen der Stumpf- und Kehlnähte für Aluminiumkonstruktionen .....	209
5.5.2.2.1	Übersicht .....	209
5.5.2.2.2	Bisherige Empfehlungen zur Auswahl von Bewertungsgruppen .....	210
5.5.2.2.3	Anforderungen bei der Auswahl von Bewertungsgruppen für Aluminiumkonstruktionen .....	210
5.5.3	Prüfung von Schweißverbindungen aus Aluminiumwerkstoffen .....	216
5.5.3.1	Übersicht .....	216
5.5.3.2	Prüfverfahren von Schweißverbindungen .....	217
5.5.3.3	Kontinuierliche Prozeßkontrolle .....	217
5.5.4	Zusammenwirken von Qualitätssicherung, Gestaltung und Wirtschaftlichkeit bei Aluminiumschweißkonstruktionen .....	218
<b>6</b>	<b>Anwendung von geschweißten Tragwerken aus Aluminium .....</b>	<b>219</b>
6.1	Übersicht über die maßgeblichen Fachbereiche und dazugehörige Statistik .....	219
6.2	Die Aluminiumschweißkonstruktion im Schienenfahrzeugbau .....	220
6.3	Die Aluminiumschweißkonstruktion im Straßenfahrzeugbau .....	236
6.4	Die Aluminiumschweißkonstruktion im Hoch- und Brückenbau .....	241
6.5	Die Aluminiumschweißkonstruktion im Behälter-, Apparate- und Rohrleitungsbau .....	244
6.6	Die Aluminiumschweißkonstruktion im Luft- und Raumfahrzeugbau .....	250
6.7	Die Aluminiumschweißkonstruktion im Schiffbau .....	275

## Anhang

<b>A.1</b>	<b>Katalog von Beispielen günstiger Gestaltung geschweißter Aluminiumkonstruktionen mit Strangpressprofilen und Blechen</b> .....	296
	Einführung zu Anhang A.1 .....	297
	Teil I – Schienenfahrzeugbau .....	301
	Teil II – Straßenfahrzeugbau .....	308
	Teil III – Hochbau .....	312
	Teil IV – Brückenbau .....	316
	Teil V – Fördertechnik .....	324
	Teil VI – Behälter-, Apparate- und Rohrleitungsbau .....	327
	Teil VII – Schiffbau .....	341
	Teil VIII – Maschinen- und Gerätebau .....	347
	Schrifttum zu Anhang A.1 .....	355
<b>A.2</b>	<b>Zusammenstellung der Regelwerke für geschweißte Aluminiumkonstruktionen</b> .....	358
	Teil I: DIN-Normen für Aluminium .....	359
	Teil II: EN-Normen für Aluminiumschweißen .....	364
	Teil III: Regeln, technische Vorschriften, Verordnungen für Aluminium- anwendung .....	365
	Teil IV: DVS-Richtlinien und -Merkblätter für Aluminiumschweißen .....	366
<b>A.3</b>	<b>Grenzwerte für Unregelmäßigkeiten für Schweißverbindungen aus Aluminiumwerk- stoffen nach prEN 630 (1992)</b> .....	367