

Inhalt

	Seite
1 Aluminium – ein idealer Konstruktionswerkstoff	1
1.1 Positive Eigenschaften – große Anwendungsvielfalt	1
1.2 Aluminiumlegierungen	11
1.2.1 Wechsel im Normensystem	12
1.2.2 Einteilung der Aluminiumlegierungen	12
1.2.2.1 Bezeichnungen von Aluminiumknetlegierungen	13
1.2.2.2 Bezeichnungen von Aluminiumgusslegierungen	15
1.2.3 Unterscheidung nach dem Verfestigungsverhalten	16
1.2.4 Kennzeichnung des Werkstoffzustandes	18
Literatur Kapitel 1	21
2 Spanen und Trennen von Aluminium	23
2.1 Spanbarkeit von Aluminiumwerkstoffen	23
2.1.1 Aluminiumknetwerkstoffe	25
2.1.2 Automatenwerkstoffe	26
2.1.3 Aluminiumgusswerkstoffe	26
2.2 Werkzeuge, Maschinen, Hilfsstoffe	30
2.2.1 Schneidstoffe	30
2.2.1.1 Schnellarbeitsstähle	31
2.2.1.2 Hartmetalle	31
2.2.1.3 Diamant	32
2.2.1.4 Ungeeignete Schneidstoffe	34
2.2.2 Maschinen	35
2.2.3 Kühlschmiertechnik	37
2.3 Spanungsverfahren	46
2.3.1 Drehen	46
2.3.2 Fräsen	48
2.3.2.1 Fräswerkzeuge	48
2.3.2.2 Schnittbedingungen	52
2.3.3 Hochgeschwindigkeitsfräsen	54
2.3.4 Hobeln, Stoßen, Räumen	65
2.3.5 Bohren	66
2.3.5.1 Bohrwerkzeuge	66
2.3.5.2 Schnittbedingungen	71
2.3.6 Senken, Reiben, Gewindeschneiden	75
2.3.6.1 Senken	75
2.3.6.2 Reiben	76
2.3.6.3 Gewindeschneiden	77
2.3.6.4 Gewindebohrfräsen	81

	Seite	
2.3.7	Bearbeitung auf Dreh-Automaten	83
2.3.8	Sägen	85
2.3.9	Schleifen	87
2.3.10	Feinstbearbeitungsverfahren	88
2.3.10.1	Feinstdrehen (Glanz-drehen)	88
2.3.10.2	Honen	89
2.3.10.3	Schaben	89
2.3.10.4	Läppen	90
2.4	Trennverfahren	90
2.4.1	Funkenerodieren	90
2.4.1.1	Planetär-Senkerodieren	90
2.4.1.2	Drahterodieren	90
2.4.2	Laserstrahlschneiden	91
2.4.3	Wasserstrahlschneiden	92
	Literatur Kapitel 2	96
3	Fügen von Aluminium und seinen Legierungen	101
3.1	Schmelzschweißen	101
3.1.1	Werkstoffspezifische Besonderheiten	102
3.1.2	Aluminiumwerkstoffe	103
3.1.3	Einfluss der Schweißwärme auf die Werkstoffeigenschaften	103
3.1.4	Einfluss der Oxidschicht	107
3.1.5	Porenbildung beim Schweißen von Aluminium	109
3.1.6	Heißrissbildung beim Schweißen von Aluminiumwerkstoffen	113
3.1.7	Schweißzusatzwerkstoffe	115
3.1.7.1	Auswahl eines geeigneten Schweißzusatzwerkstoffs	115
3.1.7.2	Handhabung von Schweißzusatzwerkstoffen	120
3.1.8	Schutzgase	122
3.1.9	Vorarbeiten zum Schmelzschweißen	129
3.1.9.1	Allgemeine Sicherheitsvorkehrungen	129
3.1.9.2	Nahtfugenvorbereitung, Reinigung der Kanten	129
3.1.9.3	Heftschweißen	130
3.1.9.4	Vorwärmen	130
3.1.9.5	Schweißposition	131
3.1.9.6	Vorgehensweise beim Schweißen	131
3.1.10	Fehler an Schmelzschweißverbindungen	133
3.1.10.1	Risse	133
3.1.10.2	Bindefehler	134
3.1.10.3	Einbrandkerben	135
3.1.10.4	Lunker	135
3.1.10.5	Abweichende Nahtgeometrie	136

	Seite
3.1.10.6 Einschlüsse	136
3.1.10.7 Poren	136
3.1.11 Reparaturen durch Schmelzschiweißen	137
3.1.11.1 Einsetzen von Flickern	137
3.1.11.2 Ausbessern von Gussstücken	137
3.1.11.3 Schweißen gebrochener Gussstücke	138
3.1.12 Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schmelzschiweißen von Aluminiumwerkstoffen	138
3.1.13 SchutzgasschiweiBverfahren	140
3.1.13.1 Verfahrensübersicht und grundlegende Unterscheidungsmerkmale ...	140
3.1.13.2 Metall-Inertgas-Schiweißen (MIG-Schiweißen)	141
3.1.13.3 Wolfram-Inertgas-Schiweißen (WIG-Schiweißen)	161
3.1.13.4 Wolfram-Plasmalichtbogenschweißen (Plasmaschiweißen)	183
3.1.13.5 Plasma-MIG-Schiweißen	188
3.1.14 StrahlschiweiBverfahren	189
3.1.14.1 Elektronenstrahlschiweißen	189
3.1.14.2 Laserstrahlschiweißen	194
3.1.15 Thermisches Trennen	208
3.1.15.1 Plasmaschneiden	208
3.1.15.2 Schneiden mit Laserstrahlung	212
3.1.16 Sicherung der Güte von SchweiBarbeiten	216
3.2 Pressschiweißen	219
3.2.1 Widerstands-Pressschiweißen	219
3.2.1.1 Widerstands-Punktschiweißen	220
3.2.1.2 Rollennahtschiweißen	235
3.2.1.3 Abbrenn-Stumpfschiweißen	236
3.2.2 Lichtbogenbolzenschiweißen	238
3.2.2.1 Kondensatorentladungs-Bolzenschiweißen mit Spitzenzündung	238
3.2.2.2 Lichtbogenbolzenschiweißen mit Hubzündung	240
3.2.2.3 Anwendungshinweise	244
3.2.3 Kalt- und Warmpressschiweißen	244
3.2.3.1 Kaltpressschiweißen	246
3.2.3.2 KPS-Verfahren	248
3.2.3.3 Ultraschallschiweißen	250
3.2.3.4 Sprengschiweißen	250
3.2.3.5 Warmpressschiweißen	252
3.2.4 Rührreibschiweißen (FSW)	254
3.2.5 Reibschiweißen	260
3.2.6 Hochfrequenzschiweißen	265
3.3 Löten	267
3.3.1 Lötverfahren	267

	Seite	
3.3.2	Lötbarkeit	268
3.3.3	Eigenschaften von Lötverbindungen	268
3.3.4	Lote, Flussmittel	270
3.3.4.1	Lote	270
3.3.4.2	Flussmittel	270
3.3.5	Sicherheitsmaßnahmen	272
3.3.6	Hartlöten mit Flussmitteln	272
3.3.6.1	Gestalten der Verbindungsstellen	273
3.3.6.2	Wirkungsweise von Hartlötflussmitteln	273
3.3.6.3	Anbringen von Hartlötflussmitteln und Loten	274
3.3.6.4	Hartlötverfahren mit Flussmitteln und Durchführung	276
3.3.7	Hartlöten ohne Flussmittel	279
3.3.7.1	Lote für Hartlöten ohne Flussmittel	279
3.3.7.2	Hartlötverfahren ohne Flussmittel	279
3.3.8	Weichlöten	281
3.3.8.1	Verfahrensmerkmale	281
3.3.8.2	Weichlötverfahren	281
3.3.9	Lötverbindungen	282
3.3.9.1	Hartlöten (mit Aluminium-Zusatzwerkstoff)	282
3.3.9.2	Weichlöten	283
3.4	Kleben	283
3.4.1	Merkmale von Klebverbindungen	286
3.4.2	Klebstoffe	288
3.4.3	Klebgerechte Konstruktion	294
3.4.4	Oberflächenvorbehandlung	297
3.4.5	Ausführung des Klebens	299
3.4.6	Eigenschaften der Klebverbindungen	300
3.4.7	Berechnung der Klebverbindungen	304
3.4.7.1	Allgemeine Betrachtungen	304
3.4.7.2	Einflussparameter für die Berechnung	304
3.4.8	Klebverbindungen von Aluminium mit anderen Werkstoffen	305
3.5	Nieten	305
3.5.1	Vollniete	307
3.5.1.1	Nietwerkstoffe	309
3.5.1.2	Nietformen	309
3.5.1.3	Schließkopfformen	309
3.5.2	Schließbringbolzen	311
3.5.3	Blindniete	313
3.5.4	Stanzniete	317
3.5.5	Nietmuttern und -bolzen	319
3.5.6	Instandsetzen von Nietverbindungen	320

	Seite
3.6 Schrauben	321
3.6.1 Schraubenwerkstoffe	321
3.6.1.1 Aluminiumlegierungen	321
3.6.1.2 Chromnickelstahl	322
3.6.1.3 Verzinkter Stahl	323
3.6.1.4 Ungeschützter Stahl	323
3.6.1.5 Kupferlegierungen	323
3.6.2 Schrauben in Aluminiumbauteilen	323
3.6.2.1 Flächenpressung unter Schraubenköpfen und Muttern	323
3.6.2.2 Mutterngewinde in Aluminium	324
3.6.2.3 Schraubeinsätze	328
3.6.2.4 Stiftschrauben	330
3.6.2.5 Neue Verbindungsaufgaben	330
3.6.3 Gewindeformende oder -schneidende Schrauben	331
3.6.3.1 Blechschrauben	331
3.6.3.2 Gewindefurchende Schrauben	334
3.6.3.3 Gewindegewindende Schrauben	334
3.6.4 Ausführung und Instandsetzung von Schraubenverbindungen	336
3.6.5 Sichern von Schraubenverbindungen	337
3.6.6 Sonstige Verbindungselemente aus Aluminium	338
3.6.6.1 Holzschrauben	338
3.6.6.2 Nägel, Klammern	339
3.7 Sonstige mechanische Fügeverfahren	339
3.7.1 Fügen durch Umformen	339
3.7.1.1 Umformen der Fügeteile	339
3.7.1.2 Durchsetzfügen	342
3.7.1.3 Umformen von oder mit Verbindungselementen	346
3.7.2 Fügen mit Steck-, Schnapp- und Klemmverbindungen	350
Literatur Kapitel 3	357
4 Konstruieren mit Aluminium	373
4.1 Leichtbau als Konstruktionsprinzip	373
4.1.1 Definitionen	373
4.1.2 Konstruktionssysteme	376
4.1.2.1 Bauformen	376
4.1.2.2 Beanspruchungsgerechtes Gestalten	378
4.2 Aluminium als Konstruktionswerkstoff	379
4.2.1 Auswahlkriterien	379
4.2.1.1 Werkstoffangebot	379
4.2.1.2 Festigkeit	382
4.2.1.3 Festigkeitsverändernde Einflüsse	384

	Seite	
4.2.1.4	Elastisches Formänderungsverhalten	385
4.2.1.5	Plastisches Formänderungs- und Bruchverhalten	385
4.2.1.6	Temperaturverhalten	386
4.2.1.7	Korrosionsverhalten	388
4.2.1.8	Verschleiß	389
4.2.1.9	Schwingungstechnische Eigenschaften	389
4.2.2	Werkstoffverbunde	390
4.2.2.1	Kombinationen Aluminium – Aluminium	390
4.2.2.2	Kombinationen Aluminium – andere Werkstoffe	390
4.3	Gestalten von Konstruktionselementen und Bauteilen	392
4.3.1	Funktioneller Einfluss des Elastizitätsmoduls	392
4.3.1.1	Dimensionieren auf Festigkeit	392
4.3.1.2	Dimensionieren auf zulässige Deformation und Stabilität	393
4.3.1.3	Elastisches Arbeitsvermögen und Reaktionswirkungen	399
4.3.1.4	Dynamisches Verhalten	400
4.3.1.5	Stoßbelastung auf ruhende Bauteile aus Aluminium	402
4.3.1.6	Stoßbelastung durch Aufprall bewegter Aluminiumkonstruktionen	402
4.3.1.7	Elastische Federung	402
4.3.1.8	Elastizität und plastische Formänderung	403
4.3.1.9	Elastizitätsmodul bei Mischkonstruktionen	403
4.3.2	Konstruieren mit Strangpressprofilen	403
4.3.2.1	Begriffe	404
4.3.2.2	Wirtschaftlichkeit, Funktionalität	407
4.3.2.3	Großprofile	412
4.3.2.4	Rohre mit Zusatzelementen	416
4.3.2.5	Klipstechnik	416
4.3.2.6	Kleinprofile	418
4.3.2.7	Profilabschnitte („Häckselteile“)	419
4.3.2.8	Sichtflächen, Auslaufebene	421
4.3.2.9	Gestaltungsprinzipien	422
4.3.2.10	Toleranzen	433
4.3.2.11	Kosten, Abnahmemengen, Bezugsquellen	437
4.3.2.12	Bestellung und Abnahme von Profilen/Toleranzauslegungen	439
4.3.3	Konstruieren mit Blechen	446
4.3.3.1	Flächige Bauelemente	447
4.3.3.2	Profilierte Bleche (Profiltafeln)	447
4.3.3.3	Kombinationen Profil/Blech	449
4.3.3.4	Aussteifen von Ausschnitten und Durchbrüchen	450
4.3.4	Konstruieren mit Formteilen aus Knetwerkstoffen	453
4.3.4.1	Blechformteile	453
4.3.4.2	Aluminium-Schmiedestücke	454

	Seite
4.3.4.3 Fließpressteile	466
4.3.5 Konstruieren von Formgussstücken aus Aluminium	468
4.3.5.1 Wahl des geeignetsten Aluminium-Gusswerkstoffes	470
4.3.5.2 Konstruktionsrichtlinien für Aluminium-Gussstücke	472
4.3.5.3 Allgemeine Konstruktionsrichtlinien für Gussstücke	473
4.3.5.4 Konstruktive Vermeidung unzulässiger Spannungen	483
4.3.5.5 Konstruktive Besonderheiten	487
4.3.6 Verbundkonstruktionen	506
4.3.6.1 Verbunde Aluminium mit Aluminium	507
4.3.6.2 Verbunde von Aluminium mit anderen Werkstoffen	508
4.3.7 Sandwich-Bauelemente	510
4.3.7.1 Sandwich mit Aluminium-Wabenkern	512
4.3.7.2 Sandwich mit Kern aus Kunststoffhartschaum bzw. Aluminiumschaum und Aluminiumdeckblechen	513
4.4 Verbindungen als Konstruktionsdetail	513
4.4.1 Schmelzschweißverbindungen	516
4.4.1.1 Werkstoffe	516
4.4.1.2 Gestalten der Verbindungen	516
4.4.2 Pressschweißverbindungen	523
4.4.2.1 Widerstands-Punktschweißverbindungen	523
4.4.2.2 KPS-Verbindungen	523
4.4.3 Lötverbindungen	525
4.4.4 Klebverbindungen	525
4.4.5 Nietverbindungen	527
4.4.6 Schraubverbindungen	532
4.4.6.1 Allgemeines	532
4.4.6.2 Schraubverbindungen am Strangpressprofil	535
4.4.7 Formschluss-Verbindungen zwischen Strangpressprofilen	539
4.5 Korrosionsschutz als Konstruktionsaufgabe	542
4.6 Bemessen und Berechnen von Konstruktionen	570
4.6.1 Methoden	570
4.6.1.1 Lastannahmen, Beanspruchung	571
4.6.1.2 Sicherheitsfaktoren	571
4.6.2 Berechnungsgrundlagen	572
4.6.2.1 Werkstoffkennwerte	572
4.6.2.2 Formeinflüsse	574
4.6.2.3 Gestaltfestigkeit	574
4.6.2.4 Eigenspannungen	576
4.6.3 Berechnungsverfahren	576
4.6.3.1 Ermittlung der vorhandenen Spannungen	576
4.6.3.2 Verformungsberechnungen	577

	Seite	
4.6.3.3	Stabilitätsversagen	577
4.6.3.4	Wärmespannungen	578
4.6.3.5	Berechnen von Mischkonstruktionen	578
4.6.4	Berechnen von Verbindungen	579
4.6.4.1	Schmelzschweißverbindungen	579
4.6.4.2	Widerstands-Punktschweißverbindungen	580
4.6.4.3	Klebverbindungen	586
4.6.4.4	Nietverbindungen	586
4.6.4.5	Schraubverbindungen	586
4.6.5	Ermüdungsanfällige Tragwerke	586
4.7	Vorschriften für Lastannahmen und Berechnung	587
4.7.1	Hochbau – Konstruktiver Ingenieurbau	587
4.7.2	Schienenfahrzeuge	588
4.7.3	Druckbehälter	588
	Literatur Kapitel 4	590
5	Anwendung von Aluminium	597
5.1	Aluminium im Verkehrswesen	608
5.1.1	Historische Entwicklung	608
5.1.2	Stand der Aluminiumanwendung im Verkehrswesen	610
5.1.2.1	Personenkraftwagen	610
5.1.2.2	Pkw-Anhänger	633
5.1.2.3	Zweirad-Fahrzeuge	633
5.1.2.4	Nutzfahrzeuge	638
5.1.2.5	Schienenfahrzeuge	650
5.1.2.6	Schiff- und Bootsbau	658
5.1.2.7	Luft- und Raumfahrt	661
5.2	Aluminium im Maschinenbau	662
5.2.1	Aluminiumlegierungen für Gleitlager	667
5.2.2	Aluminium im Werkzeug-, Vorrichtungs- und Formenbau	668
5.2.3	Tragkörper für Werkzeuge	670
5.2.4	Spezielle Walzerzeugnisse für Sondergebiete des Maschinenbaus	671
5.2.4.1	Pressbleche	671
5.2.4.2	Lithobleche	672
5.2.5	Strangpresserzeugnisse im Maschinenbau	673
5.3	Aluminium in der Elektrotechnik und Elektronik	675
5.3.1	Arten und Eigenschaften von Aluminium-Leitwerkstoffen	676
5.3.1.1	Genormte Werkstoffe	676
5.3.1.2	Nichtgenormte Werkstoffe	678
5.3.1.3	Anwendung und Eigenschaften	678
5.3.2	Fügetechniken für elektrisch leitende Anschlüsse	683

	Seite
5.3.2.1 Unlösbare Anschlüsse	683
5.3.2.2 Lösbare Anschlüsse	691
5.3.2.3 Stromschienenanschlüsse	692
5.3.2.4 Korrosionsverhalten von Kontaktstellen	695
5.3.3 Stromschienen aus Aluminium	696
5.3.3.1 Lieferformen	696
5.3.3.2 Eigenschaften, Bemessung	696
5.3.3.3 Zurichten und Anpassen	697
5.3.3.4 Ausdehnungsstellen	697
5.3.3.5 Stromschienen für Bahnen	698
5.3.4 Aluminiumkabel	699
5.3.4.1 Aluminiumleiter in Kabeln	699
5.3.4.2 Kabelmäntel aus Aluminium	700
5.3.4.3 Verlegen	700
5.3.4.4 Belastbarkeit	700
5.3.5 Aluminium-Freileitungen	701
5.3.5.1 Seiltypen, Anwendung	701
5.3.5.2 Normen, Lieferbedingungen, Vorschriften	704
5.3.5.3 Dimensionierung, Belastbarkeit	704
5.3.5.4 Zugspannungen, Spannweiten	706
5.3.5.5 Verbindungen, Befestigungen	706
5.3.5.6 Schwingungsschutz	709
5.3.6 Aluminiumwicklungen	709
5.3.6.1 Drahtwicklungen	709
5.3.6.2 Bandwicklungen	710
5.3.6.3 Kurzschlussläufer	710
5.3.7 Aluminium für Blitzableiter	711
5.3.8 Aluminiumbauteile für Hochfrequenztechnik, Elektronik	712
5.3.8.1 Hochfrequenzleiter	712
5.3.8.2 Kondensatoren	712
5.3.8.3 Halbleitertechnik	715
5.3.9 Aluminium-Luft-Zellen	718
5.4 Aluminium im Bauwesen	721
5.4.1 Normen, Richtlinien	722
5.4.2 Metallbau	723
5.4.2.1 Bauelementsysteme	724
5.4.2.2 Individuelle Metallbaukonstruktionen	729
5.4.3 Ausbau und Installation	731
5.4.3.1 Dachdeckung, Dampf- und Wassersperren	731
5.4.3.2 Wärmedämmung mit Aluminiumfolien	732
5.4.3.3 Heizungs- und Klimatechnik	737

	Seite
5.4.4 Bauteile für die Nutzung alternativer Energien	738
5.4.5 Aluminiumguss in Architektur und Kunst	745
5.4.5.1 Aluminium-Gussplatten als dekorative Bauelemente für Fassaden	745
5.4.5.2 Aluminium-Kunstguss	745
5.4.5.3 Aluminium-Skulpturen	746
5.4.6 Ingenieurbau	746
5.4.6.1 Tragende Aluminiumkonstruktionen	746
5.4.6.2 Ortfeste Brücken aus Aluminium	748
5.4.6.3 Transportable Brücken aus Aluminium	754
5.5 Verpackungen mit Aluminium	755
5.5.1 Packstoff Aluminiumfolie, dünnes Band	759
5.5.1.1 Eigenschaften	762
5.5.1.2 Anwendungen von Folienverpackungen	765
5.5.1.3 Verschließen von Folienpackungen	768
5.5.1.4 Anwendungen von Verpackungen aus dünnem Band	768
5.5.2 Fließgepresste Verpackungen	772
5.5.3 Verpackungsrunddraht	773
5.6 Behälter, Geräte und Haushaltswaren	774
5.7 Aluminiumpulver, Aluminiumgriß	779
5.7.1 Pulver, Paste	779
5.7.2 Griß, Kleingranalien	781
5.7.3 Anwendungen von Pulver und Griß	782
5.7.3.1 Pigment für Aluminiumfarbe	782
5.7.3.2 Füllstoff für Kunststoffe	783
5.7.3.3 Reaktionsmittel bei der Aluminothermie	784
5.7.3.4 Reaktionsmittel für Gasbetonherstellung	785
5.7.3.5 Reaktionsmittel in der Pyrotechnik	785
5.7.3.6 Sonstige Anwendungen	786
5.8 Metallurgische Anwendungen	786
5.8.1 Stahldesoxidation mit Aluminium	786
5.8.2 Aluminium als Legierungskomponente	787
5.8.2.1 Stahl, Gusseisen	787
5.8.2.2 Kupferlegierungen, Aluminiumbronzen	789
5.8.2.3 Zinklegierungen	790
5.8.2.4 Magnesium	790
5.8.2.5 Titanlegierungen	794
5.8.2.6 Nickellegierungen	798
5.9 Aluminium zum Schutz von Stahl	798
5.9.1 Beschichten von Stahl – Aluminieren	798
5.9.1.1 Flamm-spritzen (Spritzaluminieren)	798
5.9.1.2 Alitieren	799

	Seite
5.9.1.3 Tauchaluminieren (Feuraluminieren)	800
5.9.1.4 Tauchbeschichten (Galfan, Galvalume)	803
5.9.1.5 Walzplattieren, Ziehplattieren	806
5.9.1.6 Chemo-mechanisches Aluminieren	808
5.9.2 Kathodischer Schutz von Stahl	809
5.10 Bedampfen, Abscheiden	813
5.10.1 Bedampfen mit Aluminium	813
5.10.2 Abscheidungen für Sonderzwecke	813
Literatur Kapitel 5	816
Stichwortverzeichnis	827