

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Der Wettbewerb der Werkstoffe in den Märkten	1
1.2	Innovationsgrundlagen	3
	Literatur	7
2	Märkte und Anwendungen	9
2.1	Automobilbau	10
2.2	Nutzfahrzeugbau	34
2.3	Schienenfahrzeugbau	39
2.4	Schiffbau	48
2.5	Flugzeugbau	52
2.6	Architektur und Ingenieurbau	57
2.7	Sonstige Anwendungsmärkte	61
	Literatur	66
3	Legierungsaufbau, Wärmebehandlung, Normen	69
3.1	Gefügebausteine der Aluminiumwerkstoffe	71
3.1.1	Gefügematrix	71
3.1.2	Gitterfehler	73
3.1.3	Korngrenzen	80
3.1.4	Mischkristallbildung, Löslichkeit der Elemente	82
3.1.5	Primärphasen (Gussphasen)	88
3.1.6	Sekundärphasen	88
3.1.7	Warmverformungs-, Erholungs- und Rekristallisationsgefüge	96
3.1.8	Poren	97
3.1.9	Oxideinschlüsse	98
3.2	Konstitution und Wärmebehandlung der Knetwerkstoffe	98
3.2.1	Unlegiertes Aluminium	99
3.2.2	AlMn-Legierungen	100
3.2.3	AlMg(Mn)-Legierungen	102

3.2.4	AlCu(Mg, Si)-Legierungen	117
3.2.5	AlMgSi-Legierungen	124
3.2.6	AlZnMg(Cu)-Legierungen	142
3.2.7	Sonstige Knetlegierungen	152
3.2.8	Durchführung von Wärmebehandlungen	154
3.3	Gefügeaufbau und Wärmebehandlung von Gusswerkstoffen	167
3.3.1	Schmelze und Schmelzereinigung	168
3.3.2	Erstarrungsvorgang (Kristallisation)	171
3.3.3	Erstarrungsfehler	177
3.3.4	Fließ- und Formfüllungsvermögen	181
3.3.5	Aluminium-Gusslegierungen	182
3.3.6	Verarbeitungs- und Anwendungshinweise	187
3.3.7	Gießgerechte Gestaltung	188
3.4	Einführung in die Normen über Aluminiumlegierungen	189
3.4.1	Einführung in die Bezeichnungssysteme der Aluminiumwerkstoffe	189
3.4.2	Bezeichnungssystem für Knetlegierungen und deren Werkstoffzustände	191
3.4.3	Bezeichnungssystem für Formgusslegierungen, Gießverfahren und für die Werkstoffzustände von Formgussteilen	194
3.4.4	Halbzeugnormen	197
3.4.5	Garantierte und typische Eigenschaften	197
3.4.6	Legierungsauswahl – frei oder eingeschränkt?	198
	Literatur	199
4	Physikalische Eigenschaften	211
4.1	Physikalischen Eigenschaften des Aluminiums	211
4.1.1	Dichte	213
4.1.2	Elektrische Leitfähigkeit	213
4.1.3	Magnetische Eigenschaften	214
4.1.4	Wärmeleitfähigkeit	214
4.1.5	Reflexions- und Emissionseigenschaften	215
4.2	Physikalische Eigenschaften von Aluminiumoxid	215
	Literatur	216
5	Korrosion	217
5.1	Maßnahmen zur Vermeidung von Korrosionsschäden	218
5.2	Langzeiterfahrungen in Freibewitterung und Meerwasser	221
5.3	Oxidschicht und Korrosionsmechanismus des Aluminiums	222
5.3.1	Aufbau und Bedeutung der Oxidschicht	222
5.3.2	Verstärkung der natürlichen Oxidschicht	224

5.3.3	Beständigkeit der Oxidschicht	225
5.3.4	Elektrochemischer Korrosionsmechanismus	227
5.3.5	Freie und kritische Korrosionspotentiale	230
5.3.6	Stromdichte-Potentialkurven	231
5.3.7	Elektrochemische Wirkung intermetallischer Phasen	232
5.4	Korrosionsarten von Aluminium und seinen Legierungen	233
5.4.1	Lochkorrosion (LK)	233
5.4.2	Interkristalline Korrosion (IK)	236
5.4.3	Schichtkorrosion	244
5.4.4	Spannungsrissskorrosion (SprK)	245
5.4.5	Interkristalline Korrosion unter Spannung	248
5.4.6	Spaltkorrosion	249
5.4.7	Kontaktkorrosion	251
5.4.8	Korrosionsermüdung	256
5.4.9	Reibkorrosion	261
5.4.10	Filiformkorrosion	262
5.5	Beispiele für korrosionsgerechtes Konstruieren	262
	Literatur	267
6	Mechanische Eigenschaften	271
6.1	Mechanisch-technologische Werkstoffeigenschaften	272
6.1.1	Charakteristische Werte des Zugversuchs	273
6.1.2	Werkstoffgesetze für die Umformtechnik	275
6.1.3	Einflüsse auf Fließverhalten und Duktilität	283
6.1.4	Werkstoffverhalten bei hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten	290
6.1.5	Werkstoffverhalten bei unterschiedlichen Temperaturen	297
6.2	Schwingfestigkeitsverhalten	308
6.2.1	Werkstoffliche Grundlagen der Ermüdungsschädigung bis zum Anriss	310
6.2.2	Schwingfestigkeit von Proben und Bauteilen	322
6.3	Werkstoff- und Bauteilversagen	344
6.3.1	Makroskopische und mikroskopische Bruchphänomene	345
6.3.2	Werkstoffmodelle für Schädigung und Versagen	358
6.3.3	Bruchmechanische Werkstoffeigenschaften bei quasi-statischer Beanspruchung	362
6.3.4	Bruchmechanische Werkstoffeigenschaften bei zyklischer Beanspruchung	372
6.4	Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis	378
6.4.1	Bruchmechanik-Konzept	379
6.4.2	Bruchmechanischer Fehlerzustand	383

6.4.3	Bruchmechanischer Beanspruchungszustand	384
6.4.4	Bruchmechanischer Werkstoffzustand	390
6.4.5	Bewertung der Bauteilsicherheit bei quasi-statischer Beanspruchung	392
6.4.6	Bewertung der Bauteillebensdauer bei zyklischer Beanspruchung	394
6.4.7	Besondere Aspekte	396
6.4.8	Beispiel geschweißte Aluminium-Purifizierkolonne	400
	Literatur	406
7	Gießverfahren	419
7.1	Stranggießverfahren	419
7.2	Formgießverfahren	423
7.3	Vergleich der Formgießverfahren	437
	Literatur	440
8	Walzen	441
8.1	Walzprozesse	441
8.2	Qualitätsmerkmale von Warm- und Kaltwalzblechen	443
8.3	Oberflächenbeschichtete Walzfabrikate	447
8.4	Verbundhalbzeuge	449
	Literatur	450
9	Strangpressen	451
9.1	Strangpressverfahren	452
9.2	Grundformen von Profilen und Werkzeugen	455
9.3	Strangpressbarkeit von Aluminiumlegierungen	456
9.4	Prozesskette im Strangpresswerk	460
9.5	Strangpressgerechte Profil- und Werkzeuggestaltung	462
9.6	Gestalten von Strangpressprofilen	465
9.6.1	Funktionalitätsgruppen	465
9.6.2	Konstruktionen mittels Profilverbindungen	465
9.7	Sonderverfahren des Strangpressens von Aluminium	470
9.7.1	Strangpressen nach dem „Conform“-Verfahren	470
9.7.2	Hydrostatisches Strangpressen	470
9.7.3	Verbundstrangpressen	471
9.7.4	Warmbiegen von Profilen beim Pressvorgang	471
	Literatur	472
10	Schmieden von Aluminium	473
10.1	Prozess des Gesenkschmiedens	474
10.2	Schmiedegesenke	476

10.3	Stofffluss und Faserverlauf	478
10.4	Schmiedelegerungen, Vormaterial, Gefüge und Arbeitsablauf	481
10.5	Gestalten von Schmiedeteilen	486
	Literatur	487
11	Kaltfließpressen von Aluminium	489
11.1	Charakteristische Merkmale von Kaltfließpressteilen	489
11.2	Aluminium für technische Fließpressteile	492
11.2.1	Vormaterial: Butzen	492
11.2.2	Aluminiumlegierungen für das Kaltfließpressen	493
11.2.3	Alternative Ausgangszustände für das Kaltfließpressen	495
11.3	Fließpressverfahren	497
11.3.1	Grundverfahren des Fließpressens	497
11.3.2	Werkzeuge für das Kaltfließpressen	500
11.3.3	Kraftbedarf beim Kaltfließpressen	501
	Literatur	502
12	Blechumformung	505
12.1	Werkstoffeigenschaften für die Blechumformung	506
12.1.1	Werkstoffeigenschaften aus Zugversuchen	506
12.1.2	Werkstoffeigenschaften aus technologischen Prüfungen	507
12.1.3	Biegefähigkeit	515
12.1.4	Rückfederung	521
12.1.5	Aluminiumlegierungen für Karosserieanwendungen	522
12.2	Tribologisches Verhalten	527
12.2.1	Reibungsmechanismus	527
12.2.2	Das Tribosystem Blech-Werkzeug-Schmierstoff	528
12.3	Scherschneiden	534
12.3.1	Trennvorgang beim Normalschneiden	535
12.3.2	Genauschneiden	539
12.3.3	Feinschneiden	541
	Literatur	543
13	Sondergebiete der Umformtechnik	547
13.1	Weiterverarbeitung von Profilen und Rohren	547
13.2	Halbwarmumformen	558
13.3	Superplastische Umformung	560
	Literatur	564
14	Spanende Formgebung von Aluminium	567
14.1	Spanbildung	569
14.2	Spanformen bei Aluminiumwerkstoffen	571

14.3	Aluminiumwerkstoffe für Zerspanungszwecke	573
14.4	Zerspanbarkeit	575
14.5	Werkzeugverschleiß	577
14.6	Schneidwerkstoffe für die Aluminiumzerspanung	579
14.7	Kühlschmierstoffe	581
14.8	Oberflächen spanend bearbeiteter Al-Werkstoffe	582
14.9	Funkenerosive Bearbeitung	583
	Literatur	584
15	Oberflächenbehandlungen	587
15.1	Reinigungsprozess	589
15.2	Vorbehandlung	591
15.3	Beschichtungen	592
	Literatur	598
16	Schmelzschweißen	599
16.1	Schweißbeugung der Aluminiumwerkstoffe	600
16.2	Eigenschaften von Aluminiumschweißverbindungen	609
16.3	Schmelzschweißverfahren für Aluminium	615
16.3.1	Schutzgas-Lichtbogenschweißen	615
16.3.2	Strahlschweißverfahren	623
16.4	Schweißimperfektionen	628
	Literatur	629
17	Widerstandsschweißen	631
17.1	Widerstandspunktschweißen (WPS)	632
17.2	Buckelschweißen	642
17.3	Punktschweißkleben	643
	Literatur	644
18	Mechanisches Fügen	647
18.1	Merkmale mechanischer Fügetechniken	647
18.2	Durchsetzfügen	650
18.3	Nieten	654
18.3.1	Vollniete	654
18.3.2	Blindniete	655
18.3.3	Schließringbolzen	656
18.3.4	Stanzniet	657
18.4	Schraubverbindungen	659
18.5	Neuere Verfahrensentwicklungen	662
18.6	Festigkeitseigenschaften mechanisch gefügter Verbindungen	663
	Literatur	665

19 Sonderverfahren der Fügetechnik	667
19.1 Rührreibschweißen (Friction Stir Welding/FSW)	667
19.2 Reibschweißen	671
19.3 Explosivschweißen	676
19.4 Hartlöten	677
Literatur	683
20 Konstruieren mit Aluminium (Einführung)	685
20.1 Gestaltungsgrundsätze	686
20.2 Elastizitätsmodul und Leichtbau	688
20.3 Schweißkonstruktionen	693
20.4 Eigenspannungen in Schweißverbindungen	698
20.5 Schwingfestigkeitsnachweis von Schweißverbindungen	706
20.6 Nachbehandlung zur Schwingfestigkeitsverbesserung	717
Literatur	719
21 Sonderwerkstoffe	723
21.1 Aluminiumpulvermetallurgie	723
21.2 Aluminiummatrix-Verbundwerkstoffe	730
21.3 Aluminiumschaumwerkstoffe	736
Literatur	739
22 Gewinnung, Recycling, Ökologie	741
22.1 Primäraluminium	741
22.2 Sekundäraluminium	746
22.3 Versorgungslage in Deutschland	749
22.4 Ökologische Betrachtungen	749
Literatur	753
Anhang	755
Sachverzeichnis	815