



Aluminium-Verlag

A m m
asc e b c

15. Auflage

Dr. Catrin Kammer

Herausgeber:
Aluminium-Zentrale Düsseldorf

Band 1: Grundlagen
und Werkstoffe



Inhaltsverzeichnis

1.	Aluminium-Bedeutung und -Gewinnung.	1
1.1	Produktion und Verbrauch von Aluminium.	1
1.2	Gewinnung von Aluminium.	12
1.2.1	Primäraluminium.	12
1.2.1.1	Grundlagen.	12
1.2.1.2	Rohstoffe.	14
1.2.1.3	Gewinnung von Aluminiumoxid.	16
1.2.1.4	Erzeugung von Primäraluminium.	21
1.2.2	Reinstaluminium.	28
1.2.3	Sekundäraluminium-Recycling.	30
1.2.3.1	Knetlegierungen.	32
1.2.3.2	Gußlegierungen.	33
1.2.4	Aluminium-Vorlegierungen.	34
1.3	Lieferformen.	34
1.3.1	Masseln.	34
1.3.1.1	Masseln aus unlegiertem Aluminium.	34
1.3.1.2	Masseln aus Aluminiumlegierungen.	35
1.3.2	Granalien, Gieß, Pulver.	35
1.3.3	Formate.	35
1.3.4	Flüssigaluminium.	36
1.4	Herstellung des Vormaterials für die Halbzeugfertigung.	37
1.4.1	Schmelzflüssiges Aluminium.	37
1.4.1.1	Schmelzen.	37
1.4.1.2	Gießen.	37
1.4.1.3	Temperaturmessungen.	38
1.4.2	Walz- und Preßbarren (Formate).	39
1.4.2.1	Vertikalstranggießen.	39
1.4.2.2	Horizontalstranggießen.	41
1.4.2.3	Bearbeiten der Barren.	41
1.4.3	Bänder, Drähte.	42
1.4.3.1	Gießwalzen.	46
1.4.3.2	Gießen zwischen Stahlbändern.	47
1.4.3.3	Gießen zwischen umlaufenden Raupenkokillen.	48
1.4.3.4	Kontinuierliches Drag-Casting.	49
1.4.3.5	Gießen zwischen Rad oder Walze und Stahlband.	50
	Literatur.	52

2.	Eigenschaften von reinem Aluminium. . . . .	.59
2.1	Physikalische Eigenschaften. . . . .	.60
2.1.1	Dichte. . . . .	.62
2.1.2	Wärmeausdehnungskoeffizient . . . . .	.63
2.1.3	Spezifische Wärme. . . . .	.63
2.1.4	Elastizitätseigenschaften. . . . .	.63
2.1.5	Elektrische Leitfähigkeit. . . . .	.64
2.1.6	Wärmeleitfähigkeit. . . . .	.68
2.1.7	Verhalten im Magnetfeld. . . . .	.68
2.1.8	Kernphysikalische Eigenschaften. . . . .	.68
2.1.9	Reibungseigenschaften. . . . .	.69
2.1.10	Optische Eigenschaften. . . . .	.69
2.2	Mechanische Eigenschaften. . . . .	.75
	Literatur. . . . .	.76

3.	Zustandsdiagramme der Aluminiumlegierungen.	79
3.1	Aluminiumlegierungen.	79
3.2	Bedeutung des Zustandsschaubildes.	79
3.3	Zustandsschaubilder des Aluminiums.	83
3.3.1	Binäre (Zweistoff-)Systeme.	84
3.3.1.2	Aluminium-Kupfer.	85
3.3.1.3	Aluminium-Magnesium.	87
3.3.1.4	Aluminium-Mangan.	88
3.3.1.5	Aluminium-Eisen.	89
3.3.1.6	Aluminium-Lithium.	90
3.3.1.7	Aluminium-Zink.	91
3.3.1.8	Aluminium-Titan.	91
3.3.1.9	Weitere binäre Systeme.	92
3.3.2	Ternäre (Dreistoff-)Systeme.	94
3.3.2.1	Aluminium-Eisen-Silicium.	94
3.3.2.2	Aluminium-Magnesium-Silicium.	97
3.3.2.3	Aluminium-Kupfer-Magnesium.	98
3.3.2.4	Aluminium-Kupfer-Silicium.	100
3.3.2.5	Aluminium-Zink-Magnesium.	100
3.3.2.6	Aluminium-Mangan-Eisen.	101
3.3.2.7	Aluminium-Magnesium-Lithium.	103
3.3.2.8	Aluminium-Kupfer-Lithium.	103
3.3.2.9	Aluminium-Titan-Vanadium.	103
3.3.3	Höhere Systeme.	104
3.4	Ungleichgewichtsschaubilder.	108
	Literatur.	110

4.	Aufbau der Aluminium-Legierungen. . . . .	.115
4.1	Aufbau der naturharten Aluminium-Knetwerkstoffe. . . . .	.116
4.1.1	AlFeSi und Reinaluminium. . . . .	.116
4.1.2	AlMn-Knetlegierungen. . . . .	.117
4.1.3	AlMg- und AlMgMn-Knetlegierungen. . . . .	.118
4.2	Aushärtbare Aluminiumknetlegierungen. . . . .	.121
4.2.1	AlMgSi-Knetlegierungen. . . . .	.121
4.2.2	AlCuMg- und AlCuSiMn-Knetlegierungen. . . . .	.123
4.2.3	AlZnMg-Knetlegierungen. . . . .	.125
4.2.4	AlZnMgCu-Knetlegierungen. . . . .	.126
4.2.5	Aluminium-Knetlegierungen mit Pb. . . . .	.127
4.3	Sonstige Aluminium-Knetlegierungen. . . . .	.127
4.4	Aufbau der Aluminium-Gußwerkstoffe. . . . .	.127
4.4.1	AlSi-Gußlegierungen. . . . .	.128
4.4.2	AlSiMg-Gußlegierungen. . . . .	.129
4.4.3	AlSiCu-Gußlegierungen. . . . .	.131
4.4.4	AlMg-Gußlegierungen. . . . .	.133
4.4.5	AlCuTi-Gußlegierungen. . . . .	.134
4.4.6	AlZnMg-Gußlegierungen. . . . .	.136
4.4.7	Weitere Aluminium-Gußlegierungen. . . . .	.137
	Literatur. . . . .	.138

5.	Eigenschaften von Aluminium-Legierungen.	145
5.1	Mechanische Eigenschaften. ;	147
5.1.1	Härte.	147
5.1.2	Festigkeit im Zugversuch.	147
5.1.3	Druck-, Biege-, Scher- und Torsionsfestigkeit	150
5.1.4	Festigkeitseigenschaften bei höheren Temperaturen.	152
5.1.4.1	Übersicht	152
5.1.4.2	Anlaßbeständigkeit.	153
5.1.4.3	Warmfestigkeitseigenschaften im Kurzzeitversuch.	157
5.1.4.4	Zeitstandverhalten.	161
5.1.5	Festigkeitseigenschaften bei tiefen Temperaturen.	164
5.1.6	Dauerfestigkeit	169
5.1.6.1	Grundbegriffe.	169
5.1.6.2	Einfluß des Werkstoffzustandes.	171
5.1.6.3	Einfluß der Beanspruchung.	177
5.1.6.4	Einfluß von Spannungsspitzen (Kerbwirkung).	179
5.1.6.5	Einfluß von Oberflächenzustand und Umgebung	181
5.1.6.6	Einfluß des Schweißens.	182
5.1.6.7	Einfluß der Temperatur.	184
5.1.7	Festigkeit bei schlagartiger Beanspruchung.	187
5.2	Bruchverhalten.	188
5.2.1	Bruchmechanik.	188
5.2.2	Bruchmechanische Kennwerte.	189
5.2.3	Andere Kenngrößen.	192
5.3	Technologische Eigenschaften.	193
5.3.1	Abriebfestigkeit.	193
5.3.2	Blechumformbarkeit	193
5.3.3	Umformbarkeit bei Strangpreß- und Ziehprodukten.	197
5.3.4	Spanbarkeit	197
5.4	Physikalische Eigenschaften.	199
5.4.1	Überblick	199
5.4.2	Dichte	201
5.4.3	Wärmeausdehnungskoeffizient	201
5.4.4	Spezifische Wärme.	202
5.4.5	Elastizitätseigenschaften.	203
5.4.6	Dämpfungseigenschaften.	204
5.4.7	Elektrische Leitfähigkeit	205
5.4.8	Wärmeleitfähigkeit	210
5.4.9	Verhalten im Magnetfeld.	211
5.4.10	Kernphysikalische Eigenschaften.	211
5.4.11	Reibungseigenschaften.	213
5.4.12	Optische Eigenschaften.	215
	Literatur.	216

6.	Beeinflussung der Eigenschaften durch thermische und mechanische Behandlung.	227
6.1	Grundlagen.	227
6.2	Verfestigung.	234
6.3	Entfestigung.	237
6.3.1	Erholung.	239
6.3.2	Rekristallisation.	241
6.3.2.1	Einfluß des Umformgrades.	241
6.3.2.2	Einfluß von Begleitelementen.	244
6.3.2.3	Einfluß des Gießverfahrens.	245
6.3.2.4	Einfluß der thermisch-mechanischen Vorgeschichte.	245
6.4	Weichglühen.	246
6.5	Stabilisieren.	246
6.6	Hochglühen, Homogenisieren.	248
6.7	Aushärten.	249
6.7.1	Lösungsglühen.	249
6.7.2	Abschrecken.	253
6.7.3	Auslagern.	253
6.7.3.1	Kaltauslagern.	254
6.7.3.2	Warmauslagern.	255
6.7.3.3	Überalterung.	255
6.7.4	Rückbildung.	255
6.8	Einfluß des Umformens auf das Aushärtungsverhalten.	256
6.8.1	Kaltumformen und Kaltaushärten.	258
6.8.2	Kaltumformen und Warmaushärten.	260
6.9	Aushärtungsverhalten verschiedener Knetwerkstoffe.	261
6.9.1	AlCuMg, AlCuSiMn. ; _____	261
6.9.2	AlMgSi.	264
6.9.3	AlZnMg.	267
6.9.4	AlZnMgCu.	270
6.10	Aushärtungsverhalten verschiedener Gußlegierungen.	272
6.11	Überlagerung von Entfestigungs- und Ausscheidungsprozessen.	275
6.11.1	Reinaluminium.	278
6.11.2	Aluminiumlegierungen.	280
6.12	Superplastizität	285
	Literatur.	287

7.	Neue Werkstoffentwicklungen.	299
7.1	Aluminium-Verbundwerkstoffe, MMC.	299
7.1.1	Künstliche faser- und teilchenverstärkte Aluminiumverbundwerkstoffe.	302
7.1.1.1	Verstärkungskomponenten für MMC auf Aluminiumbasis.	305
7.1.1.2	Herstellung von MMC's.	309
7.1.1.3	Eigenschaften und Anwendungsbeispiele von MMC.	316
7.1.2	»Natürliche« Faserverbundwerkstoffe (Eutektika).	322
7.2	Pulvermetallurgisch hergestellte dispersionshärtende Aluminiumwerkstoffe.	326
7.2.1	Verfahrenstechnik.	328
7.2.2	Eigenschaften ausgewählter PM-Legierungen.	330
7.3	Aluminium-Lithium-Legierungen.	334
7.4	Schaumaluminium.	339
7.5	Aluminide.	342
	Literatur.	344

8.	Chemisches Verhalten von Aluminium.	355
8.1	Aluminiumoberfläche.	356
8.1.1	Bildung von Oxid- und Deckschichten unter Umgebungseinfluß . . .	358
8.1.1.1	Natürliche Oxidschichten an Luft	358
8.1.1.2	Oxidische Deckschichten unter Witterungseinfluß.	359
8.1.1.3	Deckschichten durch Leitungs- oder Naturwässer.	360
8.1.2	Verstärkung der natürlichen Oxidschicht.	361
8.2	Korrosion.	362
8.2.1	Grundlagen.	362
8.2.2	Einflüsse auf die Korrosion.	363
8.2.2.1	Legierungselemente, Beimengungen.	363
8.2.2.2	Thermische und mechanische Behandlungen.	365
8.2.2.3	Oberflächenbeschaffenheit	366
8.2.3	Begriffe, Korrosionsarten.	366
8.2.3.1	Begriffe.	366
8.2.3.2	Korrosion ohne mechanische Beanspruchung.	367
8.2.3.3	Korrosion unter mechanischer Beanspruchung.	379
8.2.4	Korrosionsschutz.	388
8.2.4.1	Deckschicht.	388
8.2.4.2	Oberflächenschutz.	389
8.2.4.3	Inhibitoren.	389
8.3	Chemisches Verhalten gegenüber anderen Stoffen.	389
8.3.1	Stoffe und Verhalten.	389
8.3.2	Prüfen der chemischen Beständigkeit	417
8.3.2.1	Prüfmethodik	417
8.3.2.2	Prüfverfahren.	419
8.3.3	Gesundheitliche Unbedenklichkeit	421
	Literatur.	423

9.	Werkstoffbezeichnungen nach Legierungs- zusammensetzungen und mechanischen Kennwerten.	435
9.1	Werkstoffbezeichnungen.	436
9.1.2	Bezeichnung nach Herkunft oder Reinheit.	436
9.1.3	Bezeichnung nach Verarbeitung oder Lieferform.	437
9.1.4	Bezeichnung nach der chemischen Zusammensetzung und damit verwendete Zustandsbezeichnungen.	438
9.1.4.1	Zusammensetzung.	438
9.1.4.2	Werkstoffzustand.	439
9.1.5	Numerisches Bezeichnungssystem mit Werkstoffnummern.	440
9.1.5.1	Bezeichnung nach DIN 17007, Teil 4.	441
9.1.5.2	Bezeichnungen nach DIN EN.	443
9.1.6	Bezeichnung nach der Aushärtbarkeit.	446
9.1.7	Bezeichnung nach der Anwendung.	446
9.1.8	Werkstoffauswahl für Sondereinsatzzwecke.	447
9.2	Genormte mechanische Werkstoffkennwerte.	447
9.2.1	Normenübersicht.	447
9.2.2	Aluminium-Knethalbzeug.	455
9.2.3	Aluminiumguß.	489
	Literatur.	504

10.	Werkstoffprüfung und Gütesicherung.	505
10.1	Prüfen der chemischen Zusammensetzung.	505
10.1.1	Allgemeines.	505
10.1.2	Probenahme und Probenvorbereitung.	506
10.1.3	Automatische Schnellanalyse.	507
10.1.4	Referenzanalysen.	508
10.2	Untersuchung des Gefüges.	511
10.2.1	Makroskopische Untersuchungen.	511
10.2.2	Lichtmikroskopische Untersuchungen an Mikroschliffen.	514
10.2.3	Elektronenmikroskopische Untersuchungen.	519
10.2.4	Mikrosonde.	521
10.3	Prüfen von Hüttenerzeugnissen, Halbzeug und Gußstücken.	521
10.3.1	Prüfumfang, Probenahme.	534
10.3.2	Prüfziele, Verfahren.	534
10.3.2.1	Oberflächenprüfung.	535
10.3.2.2	Zerstörungsfreies Prüfen auf innere Fehler.	536
10.3.2.4	Prüfung des Werkstoffzustandes über Leitfähigkeitsmessungen . . .	538
10.3.3	Prüfung der mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur (RT).	538
10.3.3.1	Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze, Bruchdehnung.	538
10.3.3.2	Härteprüfung.	539
10.3.3.3	Druckfestigkeit, 0,2%-Stauchgrenze, Bruchstauchung.	540
10.3.3.4	Prüfen sonstiger mechanischer Eigenschaften bei Raumtemperatur.	541
10.3.4	Prüfen der Dauerfestigkeit.	542
10.4	Prüfung von Schweißverbindungen und Schweißnähten.	543
10.5	Gütesicherung.	547
10.5.1	Gütesicherung für Halbzeuge und Gußstücke.	547
10.5.2	Gütesicherung bei der Weiterverarbeitung.	548
	Literatur.	549

Anhang	Zusammensetzung und Gegenüberstellung vergleichbarer Aluminiumwerkstoffe.....	561
Anhang 1	Werkstoffe nach DIN und DIN EN.....	564
Anhang 2	Nichtgenormte deutsche Gußwerkstoffe.....	592
Anhang 3	Werkstoffe nach Werkstoffleistungsblättern.....	593
Anhang 4	Werkstoffe nach dem Internationalen Legierungsregister und der AA-Liste Gußlegierungen.....	599
Anhang 5	Gegenüberstellung internationaler Werkstoff bezeichnungen.....	628
Anhang 6	Gegenüberstellung von Zustandsbezeichnungen.....	636
Anhang 7	Werkstoffe für den Automobilbau.....	645
Anhang 8	Lager- und Sinterwerkstoffe.....	648
Anhang 9	Gegenüberstellung deutscher Firmen- und Markenbezeichnungen.....	652
Anhang 10	Kennzeichnung von Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	659
Anhang 11	Organisationen und Verbände.....	660
Anhang 12	Bezeichnungen nach dem Internationalen Einheitensystem.....	664