



Aluminium-Verlag

A m

m

asc e b c

15. Auflage

Dr. Catrin Kammer

Herausgeber:  
Aluminium-Zentrale Düsseldorf

Band 1: Grundlagen  
und Werkstoffe



# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Aluminium-Bedeutung und -Gewinnung</b>	<b>1</b>
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, Grieß, 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

<b>2.</b>	<b>Eigenschaften von reinem Aluminium</b>	<b>.59</b>
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

<b>3.</b>	<b>Zustandsdiagramme der Aluminiumlegierungen.</b>	<b>.79</b>
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

<b>4.</b>	<b>Aufbau der Aluminium-Legierungen</b>	<b>.115</b>
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

<b>5.</b>	<b>Eigenschaften von Aluminium-Legierungen</b>	<b>145</b>
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	Wärmfestigkeitseigenschaften 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

<b>6. Beeinflussung der Eigenschaften durch thermische und mechanische Behandlung.</b>	<b>227</b>
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

<b>7.</b>	<b>Neue Werkstoffentwicklungen</b>	<b>299</b>
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

<b>8.</b>	<b>Chemisches Verhalten von Aluminium</b>	<b>355</b>
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

<b>9.</b>	<b>Werkstoffbezeichnungen nach Legierungs-zusammensetzungen und mechanischen Kennwerten . . . . .</b>	<b>435</b>
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

<b>10.</b>	<b>Werkstoffprüfung und Gütesicherung</b>	<b>505</b>
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 Hüttenzeugnissen, 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

<b>Anhang</b>	<b>Zusammensetzung und Gegenüberstellung vergleichbarer Aluminiumwerkstoffe.....</b>	<b>561</b>
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