

Inhaltsverzeichnis

1.	Umformen von Aluminium-Werkstoffen	1
1.1	Grundlagen der Umformtechnik und -technologie	1
1.1.1	Charakteristische Merkmale	1
1.1.2	Ansprüche und Ziele moderner Umformtechnik	6
1.1.2.1	Allgemeine Anforderungen	6
1.1.2.2	Prozeßstufenarme endabmessungsnahe Umformung	8
1.1.2.3	Prozeß- und Qualitätssicherheit	8
1.1.2.4	Integrierte Prozeßsteuerung, -automatisierung	9
1.1.2.5	Prozeßmodellierung	10
1.1.2.6	Produktqualität	13
1.1.2.6.1	Qualitätsmerkmale	13
1.1.2.6.2	Strukturempfindliche Eigenschaften	14
1.1.2.6.3	Maß- und Formgenauigkeit	15
1.1.2.6.4	Oberflächenbeschaffenheit	16
1.1.3	Verfahrensarten der Umformung	17
1.1.3.1	Klassifizierung nach Kraftwirkungen	17
1.1.3.2	Klassifizierung nach Erzeugnisarten	21
1.1.3.2.1	Halbzeugherstellung	21
1.1.3.2.2	Teilefertigung	21
1.1.3.3	Kalt-, Halbwarm-, Warmumformung	21
1.1.3.3.1	Zuordnungskriterien	21
1.1.3.3.2	Kaltumformung	22
1.1.3.3.3	Halbwarmumformung	23
1.1.3.3.4	Warmumformung	23
1.1.3.3.5	Thermomechanische Behandlung	24
1.1.4	Kennzeichnende technologische Parameter	25
1.1.4.1	Fließbedingung	25
1.1.4.2	Umformgrade, Umformgeschwindigkeiten	27
1.1.4.3	Technologieparameter bei technisch wichtigen Verfahren	29
1.1.5	Tribologie der Umformung	30
1.1.5.1	Reibung und Verschleiß	30
1.1.5.2	Schmierstoffe	32
1.2	Umformverhalten und Umformeigenschaften	34
1.2.1	Umformverhalten	34

1.2.2	Fließkurven	34
1.2.2.1	Fließkurven der Kaltumformung	34
1.2.2.1.1	Werkstoff- und verfahrensbedingte Einflußgrößen	34
1.2.2.2	Fließkurven der Warmumformung	38
1.2.2.2.1	Grundtypen und Informationsgehalt	38
1.2.2.2.2	Werkstoff- und verfahrensbedingte Einflußgrößen	39
1.2.2.2.3	Mathematische Modellierung	42
1.2.2.2.4	Experimentelle Ermittlung	43
1.2.3	Statische Entfestigung nach der Warmumformung	44
1.2.4	Gefügeentwicklung bei der Umformung	44
1.2.4.1	Kaltumformung	44
1.2.4.2	Warmumformung	45
1.2.5	r-Wert	47
1.2.5.1	Senkrechte Anisotropie	47
1.2.5.2	Planare Anisotropie	48
1.2.6	Textur	49
1.2.6.1	Texturarten	49
1.2.6.2	Rekristallisationstexturen	50
1.2.6.3	Anisotropie der Eigenschaften	51
1.2.6.4	Zipfelbildung	51
1.2.6.5	Preßeffekt	51
1.2.7	Umformbedingte Oberflächenveränderungen	52
1.2.7.1	Fließfiguren	52
1.2.7.2	Orangenhaut-Parabeln	53
1.2.7.3	Oberflächenglanz, Oberflächenmattigkeit	53
1.2.7.4	Oberflächenstrukturierung	54
1.2.8	Umform-Ausscheidung-Phasenumwandlung	55
1.2.9	Mechanisch-technologische und physikalische Eigenschaften nach Kaltumformung	56
1.2.9.1	Eigenschaftsänderung durch Kaltumformen	56
1.2.9.2	Eigenschaftsänderung durch Rekristallisation	56
1.2.9.3	Teilentfestigung	58
1.2.10	Umformvermögen	58
1.2.10.1	Werkstoff- und verfahrensbedingte Einflußfaktoren	58
1.2.10.2	Superplastizität	60
1.2.10.3	Bestimmungsmethoden	60

1.3	Aluminium-Halbzeug	61
1.3.1	Walzen von Drähten	61
1.3.1.1	Erzeugnisse und Werkstoffe	61
1.3.1.2	Properzi-Gieß und Walzverfahren	61
1.3.2	Warmwalzen von Bändern und Blechen	62
1.3.2.1	Erzeugnisse und Werkstoffe	62
1.3.2.2	Verfahrenswege der Warmbandherstellung	64
1.3.2.3	Oberflächenbearbeitung der Barren	64
1.3.2.4	Erwärmung	66
1.3.2.5	Warmbandwalzwerke, -technologie	68
1.3.3	Kaltwalzen von Bändern und Blechen	72
1.3.3.1	Erzeugnisse	72
1.3.3.2	Kaltwalzwerke und -technologien	81
1.3.3.3	Dicken- und Planheitsregelung	83
1.3.3.4	Qualitätsaspekte	86
1.3.3.5	Reck-, Richt- und Teilanlagen	87
1.3.4	Walzen von Folien	87
1.3.4.1	Erzeugnisse	87
1.3.4.2	Folienwalzwerke	91
1.3.4.3	Oberflächenbehandlung, Folienveredelung	93
1.3.5	Blattaluminium	96
1.3.6	Strangpressen	96
1.3.6.1	Strangpreßerzeugnisse	96
1.3.6.2	Fertigungsablauf	106
1.3.6.3	Erwärmung und Erwärmungseinrichtungen	108
1.3.6.4	Strangpreßverfahren	112
1.3.6.4.1	Direktes Strangpressen	112
1.3.6.4.2	Indirektes Strangpressen	113
1.3.6.4.3	Conform-Strangpressen	113
1.3.6.4.4	Hydrostatisches Strangpressen - Hydrafilmmverfahren	114
1.3.6.4.5	Strangpressen von Rohren und Hohlprofilen	115
1.3.6.5	Maschinen und Werkzeuge für das Strangpressen	117
1.3.6.5.1	Bauarten und Maschinenbaugruppen	117
1.3.6.5.2	Strangpreßwerkzeuge (Matrizen)	120

1.9	Wärmebehandlung zwischen und nach Umformungen	198
1.9.1	Wärmebehandlungsarten	198
1.9.2	Rekristallisations- und Weichglühen	198
1.9.3	Ausscheidungshärtung	200
1.9.4	Wärmebehandlungsanlagen	205
	Literatur zu Kapitel 1	207
2.	Gießen von Aluminium-Teilen	229
2.1	Grundlagen des Gießereiprozesses	229
2.1.1	Verfahrensablauf im Gießereiprozeß	231
2.2	Qualitätsmerkmale von Aluminium-Gußstücken	232
2.2.1	Verfahrensablauf und Gußstückqualität	237
2.3	Gießen und Gußkörperbildung	238
2.3.1	Erstarrungsablauf	241
2.3.2	Erstarrungsgefüge	244
2.3.3	Lunkerverhalten	245
2.3.4	Speisung	248
2.3.5	Warmrißbildung	250
2.3.6	Gasporosität	251
2.3.7	Modellierung und Simulation	253
2.3.7.1	Erstarrungsprozeß	254
2.3.7.2	Formfüllprozeß	263
2.4	Aluminium-Gußwerkstoffe	268
2.4.1	Werkstoffgruppen	269
2.4.1.1	Al-Si-Legierungen	269
2.4.1.2	Aluminium-Magnesium-Legierungen	276
2.4.1.3	Aluminium-Kupfer-Legierungen	276
2.4.1.4	Aluminium-Zink-Legierungen	277
2.4.1.5	Aluminium-Sonderlegierungen	277
2.4.1.5.1	Verschleißfeste und warmfeste Al-Legierungen	277
2.4.1.5.2	Aluminium-Lithium-Legierungen	277
2.4.1.5.3	Aluminium-Verbundstoffe	278
2.4.2	Normung der Aluminium-Gußwerkstoffe	278

2.5	Verfahren der Gußteilherstellung	301
2.6	Formherstellungs-, Kernherstellungs- und Gießverfahren	306
2.6.1	Formherstellungsverfahren	306
2.6.1.1	Tongebundene Formen	306
2.6.1.2	Form- und Kernformstoffe	310
2.6.1.3	Maskenformverfahren (Croning-Verfahren)	316
2.6.1.4	Vollformgießen	318
2.6.1.5	Feingußverfahren	322
2.6.1.6	Sonderformverfahren	325
2.6.2	Kernherstellungsverfahren	331
2.6.3	Dauerform-Gießverfahren	341
2.6.3.1	Kokillenguß	341
2.6.3.1.1	Schwerkraft-Kokillenguß	342
2.6.3.1.2	Kipp-Kokillenguß	343
2.6.3.1.3	Niederdruckkokillenguß	345
2.6.3.1.4	Gegendruck-Kokillenguß	346
2.6.3.1.5	Druck-Kokillenguß	347
2.6.3.1.6	Verdrängungs-Kokillenguß	347
2.6.3.1.7	Kokillen (Gießformen)	347
2.6.3.1.7.1	Wärmehaushalt der Kokillen	350
2.6.3.2	Druckguß	357
2.6.3.2.1	Verfahrensprinzip und Maschinenteknik	359
2.6.3.2.2	Sonderverfahren	365
2.6.3.2.3	Formen (Werkzeuge)	368
2.6.3.3	Sondergießverfahren	371
2.6.3.4	Schleuderguß	374
2.6.3.5	Verbundguß	374
2.7	Anschnitt- und Speisetechnik	376
2.7.1.1	Dimensionierung des Anschnittsystems	378
2.7.2	Speisetechnik	383
2.8	Schmelztechnik	384
2.8.1	Schmelzführung	390
2.8.2	Schmelzebehandlung	392
2.8.2.1	Schmelzebehandlung mit Salzen	392

2.8.2.2	Schmelzebehandlung durch Filtrieren	392
2.8.2.3	Entgasungsbehandlung	393
2.8.2.4	Schmelzebehandlung zur Beeinflussung des Gefüges	396
2.8.2.4.1	Kornfeinungs-Behandlung	396
2.8.2.4.2	Veredelung von Al-Si-Legierungen	398
2.8.3	Schmelz- und Warmhalteöfen	402
2.8.3.1	Tiegelöfen	405
2.8.3.2	Tiegellose Öfen	408
2.8.4	Gießeinrichtungen	410
2.9	Wärmebehandlung der Gußstücke	412
2.9.1	Wärmebehandlung zur Beeinflussung der Festigkeitseigenschaften	412
2.9.2	Wärmebehandlung für Sonderzwecke	416
2.10	Nacharbeiten von Rohgußstücken	419
2.11	Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung	421
	Literatur zu Kapitel 2	428

3.	Oberflächenbehandlung von Aluminium	437
3.1	Mechanische Oberflächenbehandlung	437
3.1.1	Entgraten und Putzen	440
3.1.2	Schleifen	440
3.1.3	Mattschleifen, Mattbürsten	444
3.1.4	Polieren	445
3.1.5	Strahlen	447
3.1.6	Dessinieren	448
3.2	Chemische Oberflächenbehandlung	449
3.2.1	Reinigen und Entfetten	449
3.2.1.1	Reinigungs- und Entfettungsmittel	449
3.2.1.2	Behälterwerkstoffe	451
3.2.2	Beizen	451
3.2.2.1	Alkalische Beizlösungen	455
3.2.2.2	Saure Beizlösungen	456
3.2.2.3	Spezialbeizen	457
3.2.2.4	Behälterwerkstoffe	457
3.2.3	Ätzen	457
3.2.3.1	Dekorative Anwendung	458
3.2.3.2	technische Anwendungen	459
3.2.4	Umwandlungsschichten	463
3.2.4.1	Chromatieren	464
3.2.4.2	Phosphatieren	467
3.2.4.3	Chromatfreie Konversionsschichten	468
3.2.4.4	Rahmentechnologie für das Chromatieren und Phosphatieren	469
3.2.5	Glänzen	472
3.2.5.1	Glänzwerkstoffe	472
3.2.5.2	Chemisches Glänzen	473
3.2.5.3	Elektrolytisches Glänzen	474
3.2.5.4	Fehler beim elektrolytischen Glänzen	476
3.2.6	Sicherheitsvorschriften bei chemischen Oberflächenbehandlungen	476
3.3	Die anodische Oxidation von Aluminium	478
3.3.1	Grundlagen der anodischen Oxidation	479
3.3.1.1	Wachstum und Aufbau anodisch erzeugter Oxidschichten	479
3.3.1.2	Werkstoffwahl für die anodische Oxidation	482

3.3.2	Technologie und Verfahren der anodischen Oxidation	482
3.3.2.1	Standard-Anodisierverfahren zur Erzeugung ungefärbter Oxidschichten	486
3.3.2.2	Verfahren zur Erzeugung farbiger Oxidschichten	486
3.3.2.3	Adsorptives Färben (Tauchfärbung)	486
3.3.2.4	Elektrolytisches Färben (Zweistufenverfahren)	487
3.3.2.5	Farbanodisation (Einstufenverfahren)	489
3.3.2.6	Kombiniertes Färben	490
3.3.2.7	Sonder-Anodisierverfahren	490
3.3.3	Eigenschaften anodisch erzeugter Oxidschichten	492
3.3.3.1	Eigenfärbung in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Werkstoffes	492
3.3.3.2	Aussehen, dekorative Wirkung	492
3.3.3.3	Anforderung an die Schichtdicke bei korrosiver Belastung	493
3.3.3.4	Härte, Verschleiß- und Abriebfestigkeit	494
3.3.3.5	Temperaturbeständigkeit	495
3.3.3.6	Reflexions- und Strahlungsvermögen	495
3.3.3.7	Elektrische Isolierwirkung	496
3.3.4	Hartanodisation	497
3.3.4.1	Verfahren der Hartanodisation	497
3.3.4.2	Werkstoffe für das Hartanodisieren	498
3.3.4.3	Eigenschaften von Hartoxidschichten	498
3.3.5	Verdichten anodisch erzeugter Oxidschichten	499
3.3.5.1	Konventionelles Verdichten	500
3.3.5.2	Kaltimprägnieren	500
3.3.5.3	Belagbildung	501
3.3.5.4	Altern der Oxidschicht	502
3.3.5.5	Prüfen anodisch erzeugter, verdichteter Oxidschichten	502
3.3.6	Färben, Bedrucken, Imprägnieren unverdichteter Oxidschichten	503
3.3.6.1	Aluchromie	504
3.3.6.2	Bedrucken	504
3.3.6.3	Impal-Imprägnierverfahren	504
3.3.6.4	Imprägnieren mit lichtempfindlichen Stoffen	504
3.3.6.5	Klischeefertigung	505
3.3.7	Einfluß der Verarbeitung auf das Anodisieren	505

3.3.8	Fehlerursachen bei anodisch erzeugten Oxidschichten	507
3.3.9	Reinigen von anodisierten Bauteilen	510
3.3.9.1	Anforderungen an die Reinigungsmittel	511
3.3.9.2	Schutz und Reinigung bei der Montage	512
3.4	Metallische Überzüge auf Aluminium	514
3.4.1	Metallüberzüge im Tauch- und Sudverfahren	514
3.4.2	Außenstromloses (chemisches) Vernickeln	514
3.4.3	Galvanisieren	516
3.4.3.1	Vorbehandeln und Aktivieren	516
3.4.3.2	Verkupfern	519
3.4.3.3	Vernickeln	519
3.4.3.4	Verchromen	520
3.4.3.5	Sonstige galvanische Überzüge	521
3.4.3.6	Dispersionsschichten	522
3.4.3.7	Galvanisches Abscheiden von Aluminium	523
3.5	Thermisches Spritzen auf Aluminium	524
3.6	Organische Beschichtungen	527
3.6.1	Oberflächenvorbereitung	528
3.6.2	Flüssiglackbeschichtungen	530
3.6.3	Coil-Coating-Verfahren	531
3.6.4	Pulverlackbeschichtungen	532
3.6.5	Prüfen der Beschichtung	532
3.6.6	Ausbesserungsanstriche	533
3.6.7	Anstriche zum Schutz gegen Beton und Erdreich	534
3.6.8	Schiffsanstriche	534
3.6.9	Kunststoffüberzüge	535
3.7	Kaschieren	536
3.8	Emaillieren	537
3.9	Sonstige Beschichtungen	538
	Literatur zu Kapitel 3	540

4.	Recycling und Ökologie	553
4.1	Ökologische Betrachtung des Werkstoffes Aluminium	553
4.1.1	Grundlegende Zusammenhänge	553
4.1.2	Ökobilanzen	554
4.1.2.1	Aufbau und Aussagen von Ökobilanzen	555
4.1.2.2	Position der Aluminiumindustrie zu Ökobilanzen	562
4.1.3	Ökologische Chancen von Aluminium	563
4.2	Grundlagen des Aluminium-Recyclings	565
4.2.1	Recyclingformen	565
4.2.2	Voraussetzungen für das Recycling	569
4.2.2.1	Bedeutung der Werkstoffeigenschaften für das Recycling	569
4.2.2.2	Recyclinggerechte Gestaltung	572
4.2.2.3	Recyclingeigenschaften	575
4.2.3	Energetische Aspekte	576
4.2.4	Materialströme des Aluminiums	578
4.2.5	Aluminium-Schrotte	583
4.2.5.1	Schrottkreisläufe	584
4.2.5.2	Aufbereitung und Sortierung	592
4.3	Technische Aspekte des Aluminium-Recyclings	596
4.3.1	Grundlagen, Prinzipien	596
4.3.2	Schmelzkonzepte zur Produktion von Sekundäraluminium	599
4.3.3	Schrottausbeuten und Schmelzverluste	603
4.3.4	Elemente in der Schmelze	604
4.4	Ausgewählte Recyclingkonzepte für Aluminium	608
4.4.1	Recycling des Produktionsrücklaufes	608
4.4.1.1	Minimierung des Produktionsrücklaufes durch recyclinggerechte Konstruktion und Herstellverfahren	608
4.4.1.2	Aluminiumrückgewinnung aus Krätzen	609
4.4.2	Produktrecycling	614
4.4.3	Recycling und Produktgebrauch	615
4.4.3.1	Beispiel Verpackungen	615
4.4.3.2	Beispiel Bauwesen	621
4.4.3.3	Beispiel Automobil	623
	Literatur zu Kapitel 4	632
	Sichwortverzeichnis	641