

Inhaltsverzeichnis

1.	Umformung 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	12
1.1.2.1	Allgemeine Anforderungen	12
1.1.2.2	Prozessstufenarme endabmessungsnahe Umformung	14
1.1.2.3	Prozess- und Qualitätssicherheit	15
1.1.2.4	Integrierte Prozesssteuerung, -automatisierung	15
1.1.2.5	Prozessmodellierung	17
1.1.2.6	Produktqualität	20
1.1.2.6.1	Qualitätsmerkmale	20
1.1.2.6.2	Strukturempfindliche Eigenschaften	20
1.1.2.6.3	Maß- und Formgenauigkeit	21
1.1.2.6.4	Oberflächenbeschaffenheit	23
1.1.3	Verfahrensarten der Umformung	24
1.1.3.1	Klassifizierung nach Kraftwirkungen	24
1.1.3.2	Klassifizierung nach Erzeugnisarten	28
1.1.3.2.1	Halbzeugherstellung	28
1.1.3.2.2	Teilefertigung	28
1.1.3.3	Kalt-, Halbwarm-, Warmumformung	28
1.1.3.3.1	Zuordnungskriterien	28
1.1.3.3.2	Kaltumformung	29
1.1.3.3.3	Halbwarmumformung	29
1.1.3.3.4	Warmumformung	30
1.1.3.3.5	Thermomechanische Behandlung	31
1.1.4	Kennzeichnende technologische Parameter	32
1.1.4.1	Fließbedingung	32
1.1.4.2	Umformgrade, Umformgeschwindigkeiten	34
1.1.4.3	Technologieparameter bei technisch wichtigen Verfahren	36
1.1.5	Tribologie der Umformung	37
1.1.5.1	Reibung und Verschleiß	37
1.1.5.2	Schmierstoffe	39
1.2	Umformverhalten und Umformeigenschaften	41
1.2.1	Umformverhalten	41
1.2.2	Fließkurven	41
1.2.2.1	Fließkurven der Kaltumformung	41
1.2.2.1.1	Werkstoff- und verfahrensbedingte Einflussgrößen	41
1.2.2.1.2	n-Wert	45
1.2.2.2	Fließkurven der Warmumformung	46
1.2.2.2.1	Grundtypen und Informationsgehalt	46

1.2.2.2.2	Werkstoff- und verfahrensbedingte Einflussgrößen	47
1.2.2.2.3	Mathematische Modellierung	50
1.2.2.2.4	Experimentelle Ermittlung	51
1.2.3	Statische Entfestigung nach der Warmumformung	51
1.2.4	Gefügeentwicklung bei der Umformung	52
1.2.4.1	Kaltumformung	52
1.2.4.2	Warmumformung	53
1.2.5	r-Wert	55
1.2.5.1	Senkrechte Anisotropie	55
1.2.5.2	Planare Anisotropie	56
1.2.6	Textur	56
1.2.6.1	Texturarten	56
1.2.6.2	Rekristallisationstexturen	58
1.2.6.3	Anisotropie der Eigenschaften	58
1.2.6.4	Zipfelbildung	59
1.2.6.5	Presseffekt	59
1.2.7	Umformbedingte Oberflächenveränderungen	60
1.2.7.1	Fließfiguren	60
1.2.7.2	Orangenhaut-Parabeln	61
1.2.7.3	Oberflächenglanz, Oberflächenmattigkeit	61
1.2.7.4	Oberflächenstrukturierung	62
1.2.8	Umformung – Ausscheidung – Phasenumwandlung	63
1.2.9	Mechanisch-technologische und physikalische Eigenschaften nach Kaltumformung	64
1.2.9.1	Eigenschaftsänderung durch Kaltumformen	64
1.2.9.2	Eigenschaftsänderung durch Erholung und Rekristallisation	64
1.2.9.3	Teilentfestigung	66
1.2.10	Umformvermögen	66
1.2.10.1	Werkstoff- und verfahrensbedingte Einflussfaktoren	66
1.2.10.2	Superplastizität	68
1.2.10.3	Bestimmungsmethoden	68
1.3	Aluminium-Halbzeug	69
1.3.1	Walzen von Drähten	69
1.3.1.1	Erzeugnisse und Werkstoffe	69
1.3.1.2	Stranggießwalzenverfahren	69
1.3.2	Warmwalzen von Bändern und Blechen	70
1.3.2.1	Erzeugnisse und Werkstoffe	70
1.3.2.2	Verfahrenswege der Warmbandherstellung	72
1.3.2.3	Oberflächenbearbeitung der Barren	72
1.3.2.4	Erwärmung	74
1.3.2.5	Warmbandwalzwerke, -technologie	76
1.3.3	Kaltwalzen von Bändern und Blechen	79

1.3.3.1	Erzeugnisse	79
1.3.3.2	Kaltwalzwerke und -technologien	83
1.3.3.3	Dicken- und Planheitsregelung	86
1.3.3.4	Qualitätsaspekte	88
1.3.3.5	Reck-, Richt- und Teilanlagen	89
1.3.4	Walzen von Folien	89
1.3.4.1	Erzeugnisse	89
1.3.4.2	Folienwalzwerke	94
1.3.4.3	Oberflächenbehandlung, Folienveredelung	95
1.3.5	Blattaluminium	98
1.3.6	Strangpressen	99
1.3.6.1	Strangpresserzeugnisse	99
1.3.6.2	Fertigungsablauf	114
1.3.6.3	Erwärmung und Erwärmungseinrichtungen	115
1.3.6.4	Strangpressverfahren	119
1.3.6.4.1	Direktes Strangpressen	119
1.3.6.4.2	Indirektes Strangpressen	120
1.3.6.4.3	Conform-Strangpressen	120
1.3.6.4.4	Hydrostatisches Strangpressen – Hydrafilmverfahren	121
1.3.6.4.5	Strangpressen von Rohren und Hohlprofilen	122
1.3.6.5	Maschinen und Werkzeuge für das Strangpressen	124
1.3.6.5.1	Bauarten und Maschinenbaugruppen	124
1.3.6.5.2	Strangpresswerkzeuge (Matrizen)	126
1.3.6.6	Spezielle Strangpresstechnologien	128
1.3.6.6.1	Isothermes Strangpressen	128
1.3.6.6.2	Kontinuierliches Strangpressen	130
1.3.6.6.3	Abgesetztes, konisches, schraubenförmiges Pressen	130
1.3.6.6.4	Runden von Profilen beim Strangpressen	130
1.3.6.6.5	Plattieren beim Strangpressen	130
1.3.6.7	Werkstoffanstrengung beim Strangpressen	131
1.3.6.7.1	Werkstofffluss	131
1.3.6.7.2	Fehler an Strangpresserzeugnissen	132
1.3.6.8	Mechanische Beanspruchung der Pressen	133
1.3.6.8.1	Umformwiderstand, Umformarbeit, Presskraft	133
1.3.6.8.2	Arbeitsdiagramm des Strangpressens	134
1.3.6.9	Arbeitsgänge nach dem Strangpressen	135
1.3.6.9.1	Gesteuerte Abkühlung aus der Umformwärme	135
1.3.6.9.2	Ausziehen, Recken, Richten	136
1.3.6.9.3	Aushärten, Warmauslagern	137
1.3.7	Durchziehen	137
1.3.7.1	Werkstoffe, Zieherzeugnisse	137
1.3.7.2	Ziehen von Drähten	139

1.3.7.3	Ziehen von Stangen, Profilen und Rohren	141
1.3.8	Freiform- und Gesenkschmieden	143
1.3.8.1	Erzeugnisse und Werkstoffe	143
1.3.8.2	Freiformschmieden	147
1.3.8.3	Gesenkschmieden	149
1.3.8.4	Kombiniertes Gießen- Gesenkschmieden	152
1.3.8.5	Axiales Gesenkwalzen	152
1.4	Teilefertigung durch Massivumformung	153
1.4.1	Fließpressen	153
1.4.1.1	Erzeugnisse und Werkstoffe	153
1.4.1.2	Fließpressverfahren	155
1.4.1.3	Maschinen und Werkzeuge	157
1.4.2	Formstauchen	158
1.4.3	Kaltpressen, Massivprägen	159
1.4.4	Innenhochdruckumformung	159
1.4.4.1	Verfahrensprinzip	159
1.4.4.2	Verfahrensarten	160
1.5	Teilefertigung durch Blechumformung	162
1.5.1	Erzeugnisse und Werkstoffe	162
1.5.2	Tiefziehen	164
1.5.2.1	Einstufiges Tiefziehen	164
1.5.2.2	Mehrstufiges Tiefziehen	168
1.5.2.3	Halbwarmtiefziehen	168
1.5.2.4	Niederhalterloses Tiefziehen	169
1.5.2.5	Stulpziehen	170
1.5.2.6	Pressenbauarten und Werkzeuge	170
1.5.2.7	Sonderverfahren des Tiefziehens	171
1.5.3	Streckziehen	174
1.5.4	Abstreckziehen	175
1.5.5	Superplastisches Umformen	175
1.5.6	Drücken, Drückwalzen	176
1.5.7	Biegen von Blechen	178
1.5.8	Sonstige Blechumformverfahren	184
1.6	Biegen von Bändern und Langprodukten	185
1.6.1	Walzprofilieren	185
1.6.2	Biegen von Rohren und Profilen	186
1.7	Sonderumformverfahren	189
1.7.1	Thixoforming-Thixoschmieden	189
1.7.2	Laserumformung	190
1.7.3	Kugelstrahlumformung	191
1.7.4	Fügeumformung	191
1.8	Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde aus Aluminium	194

1.8.1	Arten von Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden	194
1.8.2	Plattierte Verbundwerkstoffe	195
1.8.3	Partikelverstärkte Aluminiumlegierungen	198
1.8.3.1	Erzeugnisse und Eigenschaften	198
1.8.3.2	Verfahren und Verfahrenstechnologien	201
1.8.4	Kurz- und langfaserverstärkte Aluminium-Verbundwerkstoffe	203
1.8.4.1	Eigenschaftspotential und Erzeugnisse	203
1.8.4.2	Herstellung und Umformbarkeit	204
1.9	Wärmebehandlung zwischen und nach Umformungen	205
1.9.1	Wärmebehandlungsarten	205
1.9.2.	Entfestigungsglühung	209
1.9.3	Stabilisierungsglühung	210
1.9.4	Rekristallisations- und Weichglühen	210
1.9.5	Ausscheidungshärtung	212
1.9.6	Wärmebehandlungsanlagen	218
	Literatur zu Kapitel 1	219

2.	Gießen von Aluminium-Teilen	243
2.1	Grundlagen des Gießereiprozesses	243
2.1.1	Verfahrensablauf im Gießereiprozess	245
2.2	Qualitätsmerkmale von Aluminium-Gussstücken	246
2.2.1	Verfahrensablauf und Gussstückqualität	251
2.3	Gießen und Gusskörperbildung	253
2.3.1	Gießen	253
2.3.2	Gusskörperbildung	255
2.3.2.1	Erstarrungsablauf	256
2.3.2.2	Erstarrungsgefüge	258
2.3.2.3	Lunkerung	260
2.3.2.4	Speisung	263
2.3.2.5	Warmrissbildung	265
2.3.2.6	Gasporosität	266
2.3.3	Modellierung und Simulation	268
2.3.3.1	Erstarrung	269
2.3.3.2	Formfüllung	273
2.3.3.3	Ergebnisse und Auswertung der Simulationsrechnungen	275
2.4	Aluminium-Gusswerkstoffe	289
2.4.1	Werkstoffgruppen	290
2.4.1.1	Al-Si-Legierungen	291
2.4.1.2	Aluminium-Magnesium-Legierungen	304
2.4.1.3	Aluminium-Kupfer-Legierungen	307
2.4.1.4	Aluminium-Zink-Legierungen	307
2.4.1.5	Aluminium-Sonderlegierungen	308
2.4.1.5.1	Verschleißfeste und warmfeste Al-Legierungen	308
2.4.1.5.2	Aluminium-Lithium-Legierungen	308
2.4.1.5.3	Aluminium-Verbundwerkstoffe	309
2.4.2	Normung der Aluminium-Gusswerkstoffe	314
2.5	Verfahren der Gussteilherstellung	337
2.6	Formherstellungs-, Kernherstellungs- und Gießverfahren	343
2.6.1	Verfahren der Sandformherstellung	343
2.6.1.1	Verfahren für töngebundene Formen	343
2.6.1.2	Form- und Kernformstoffe	347
2.6.1.3	Maskenformverfahren (Croning-Verfahren)	353
2.6.1.4	Vollformgießen	355
2.6.1.5	Feingussverfahren	359
2.6.1.6	Sonderformverfahren	362
2.6.2	Kernherstellungsverfahren	368
2.6.3	Dauerform-Gießverfahren	380
2.6.3.1	Kokillenguss	380
2.6.3.1.1	Schwerkraft-Kokillenguss	381

2.6.3.1.2	Kipp-Kokillenguss	382
2.6.3.1.3	Niederdruckkokillenguss	383
2.6.3.1.4	Gegendruck-Kokillenguss	385
2.6.3.1.5	Druck-Kokillenguss	386
2.6.3.1.6	Verdrängungs-Kokillenguss	386
2.6.3.1.7	Kokillen (Gießformen)	386
2.6.3.1.7.1	Wärmeaushalt der Kokillen	390
2.6.3.2	Druckguss	397
2.6.3.2.1	Verfahrensprinzip und Maschinentechnik	400
2.6.3.2.2	Sonderverfahren	407
2.6.3.2.3	Formen (Werkzeuge)	409
2.6.3.3	Sondergießverfahren	415
2.6.3.4	Schleuderguss	421
2.6.3.5	Verbundguss	421
2.6.4.	Sonderverfahren	423
2.6.4.1	Gießschmieden	423
2.6.4.2	Rapid Prototyping	424
2.7	Anschnitt- und Speisetechnik	425
2.7.1	Anschnittechnik	427
2.7.1.1	Dimensionierung des Anschnittsystems	427
2.7.2	Speisetechnik	433
2.8	Schmelztechnik	440
2.8.1	Schmelzführung	448
2.8.2	Schmelzebehandlung	450
2.8.2.1	Schmelzebehandlung mit Salzen	450
2.8.2.2	Schmelzebehandlung durch Filtrieren	450
2.8.2.3	Entgasungsbehandlung	451
2.8.2.4	Schmelzebehandlung zur Beeinflussung des Gefüges	454
2.8.2.4.1	Kornfeinungs-Behandlung	454
2.8.2.4.2	Veredelung von Al-Si-Legierungen	456
2.8.3	Schmelz- und Warmhalteöfen	466
2.8.3.1	Tiegelöfen	468
2.8.3.2	Tiegellose Öfen	472
2.8.4	Gießeinrichtungen	474
2.9	Wärmebehandlung der Gussstücke	476
2.9.1	Wärmebehandlung zur Beeinflussung der Festigkeitseigenschaften	476
2.9.2	Wärmebehandlung für Sonderzwecke	481
2.10	Nacharbeiten von Rohgussstücken	484
2.11	Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung	488
	Literatur	499

3.	Oberflächenbehandlung von Aluminium	.519
3.1	Mechanische Oberflächenbehandlung	.519
3.1.1	Entgraten und Putzen	.521
3.1.2	Schleifen	.521
3.1.3	Mattschleifen, Mattbürsten	.526
3.1.4	Polieren	.527
3.1.5	Strahlen	.528
3.1.6	Dessinieren	.530
3.2	Chemische Oberflächenbehandlung	.530
3.2.1	Reinigen und Entfetten	.531
3.2.1.1	Reinigungs- und Entfettungsmittel	.531
3.2.1.2	Behälterwerkstoffe	.533
3.2.2	Beizen	.533
3.2.2.1	Alkalische Beizlösungen	.536
3.2.2.2	Saure Beizlösungen	.536
3.2.2.3	Spezialbeizen	.537
3.2.2.4	Behälterwerkstoffe1	.537
3.2.3	Ätzen	.537
3.2.3.1	Dekorative Anwendung	.538
3.2.3.2	Technische Anwendungen	.539
3.2.4	Umwandlungsschichten	.543
3.2.4.1	Chromatieren	.545
3.2.4.2	Phosphatieren	.547
3.2.4.3	Chromatfreie Konversionsschichten	.548
3.2.4.4	Rahmentechnologie für das Chromatieren und Phosphatieren	.550
3.2.5	Glänzen	.554
3.2.5.1	Glänzwerkstoffe	.554
3.2.5.2	Chemisches Glänzen	.555
3.2.5.3	Elektrolytisches Glänzen	.556
3.2.5.4	Fehler beim elektrolytischen Glänzen	.557
3.2.6	Sicherheitsvorschriften bei chemischen Oberflächenbehandlungen	.557
3.3	Die anodische Oxidation von Aluminium	.558
3.3.1	Grundlagen der anodischen Oxidation	.560
3.3.1.1	Wachstum und Aufbau anodisch erzeugter Oxidschichten	.560
3.3.1.2	Werkstoffwahl für die anodische Oxidation	.562
3.3.2	Technologie und Verfahren der anodischen Oxidation	.562
3.3.2.1	Standard-Anodisierverfahren zur Erzeugung ungefärbter Oxidschichten	.566
3.3.2.2	Verfahren zur Erzeugung farbiger Oxidschichten	.566
3.3.2.3	Adsorptives Färben (Tauchfärbung)	.566
3.3.2.4	Elektrolytisches Färben (Zweistufenverfahren)	.567
3.3.2.5	Farbanodisation (Einstufenverfahren)	.568
3.3.2.6	Kombiniertes Färben	.570

3.3.2.7	Sonder-Anodisierverfahren	570
3.3.3	Eigenschaften anodisch erzeugter Oxidschichten	571
3.3.3.1	Eigenfärbung in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Werkstoffs	571
3.3.3.2	Aussehen, dekorative Wirkung	572
3.3.3.3	Anforderungen an die Schichtdicke bei korrosiver Belastung	573
3.3.3.4	Härte, Verschleiß- und Abriebfestigkeit	574
3.3.3.5	Temperaturbeständigkeit	574
3.3.3.6	Reflexions- und Strahlungsvermögen	575
3.3.3.7	Elektrische Isolierwirkung	576
3.3.4	Hartanodisation	577
3.3.4.1	Verfahren der Hartanodisation	577
3.3.4.2	Werkstoffe für das Hartanodisieren	578
3.3.4.3	Eigenschaften von Hartoxidschichten	578
3.3.5	Verdichten anodisch erzeugter Oxidschichten	579
3.3.5.1	Konventionelles Verdichten	580
3.3.5.2	Kaltimprägnieren	580
3.3.5.3	Belagbildung	581
3.3.5.4	Altern der Oxidschicht	582
3.3.5.5	Prüfen anodisch erzeugter, verdichteter Oxidschichten	582
3.3.6	Färben, Bedrucken, Imprägnieren unverdichteter Oxidschichten	583
3.3.6.1	Aluchromie	584
3.3.6.2	Bedrucken	584
3.3.6.3	Impal-Imprägnierverfahren	584
3.3.6.4	Imprägnieren mit lichtempfindlichen Stoffen	584
3.3.6.5	Klischeefertigung	585
3.3.7	Einfluss der Verarbeitung auf das Anodisieren	585
3.3.8	Fehlerursachen bei anodisch erzeugten Oxidschichten	586
3.3.9	Reinigen von anodisierten Bauteilen	591
3.3.9.1	Anforderungen an die Reinigungsmittel	591
3.3.9.2	Schutz und Reinigung bei der Montage	592
3.4	Metallische Überzüge auf Aluminium	593
3.4.1	Vorbehandeln und Aktivieren	594
3.4.2	Stromlos abgeschiedene Metallüberzüge	596
3.4.2.1	Metallüberzüge im Tauch- und Sudverfahren	596
3.4.2.2	Chemisches Vernickeln	597
3.4.3	Galvanisch abgeschiedene Überzüge	599
3.4.3.1	Verkupfern	600
3.4.3.2	Vernickeln	600
3.4.3.3	Verchromen	601
3.4.3.3	Aluminieren	603
3.4.3.4	Sonstige galvanische Überzüge	604

4.	Recycling und Ökologie	635
4.1	Ökologische Betrachtung des Werkstoffes Aluminium	635
4.1.1	Grundlegende Zusammenhänge	635
4.1.2	Ökobilanzen	637
4.1.3	Weitere Instrumente zur Bewertung von Umwelteinflüssen	645
4.1.4	Aluminium – ein nachhaltiger Werkstoff	647
4.2	Grundlagen des Aluminium-Recyclings	652
4.2.1	Recyclingformen	652
4.2.2	Voraussetzungen für das Recycling	656
4.2.2.1	Bedeutung der Werkstoffeigenschaften für das Recycling	656
4.2.2.2	Recyclinggerechte Gestaltung	659
4.2.2.3	Recyclingeigenschaften	661
4.2.3	Energetische Aspekte	663
4.2.4	Materialströme des Aluminiums	665
4.2.5	Aluminium-Schrotte	672
4.2.5.1	Schrottkreisläufe – Stoffströme	673
4.2.5.2	Aufbereitung und Sortierung	683
4.3	Technische Aspekte des Aluminium-Recyclings	689
4.3.1	Grundlagen, Prinzipien	689
4.3.2	Schmelzkonzepte zur Produktion von Sekundäraluminium	692
4.3.3	Schrottausbeuten und Schmelzverluste	697
4.3.4	Elemente in der Schmelze	698
4.4	Ausgewählte Recyclingkonzepte für Aluminium	701
4.4.1	Recycling des Produktionsrücklaufes	701
4.4.1.1	Minimierung des Produktionsrücklaufes durch recyclinggerechte Konstruktion und Herstellverfahren	702
4.4.1.2	Aluminiumrückgewinnung aus Kräften	703
4.4.2	Produktrecycling	707
4.4.3	Recycling nach Produktgebrauch	708
4.4.3.1	Verpackungen	708
4.4.3.2	Recycling im Bauwesen	717
4.4.3.3	Beispiel Automobil	720
	Literatur	727
	Stichwortverzeichnis	737

3.4.4	Prüfung von metallischen Überzügen	605
3.5	Thermisches Spritzen	605
3.6	Beschichtungen	608
3.6.1	Oberflächenvorbehandlung/-vorbereitung vor dem Beschichten	609
3.6.2	Beschichten mit Flüssigbeschichtungsstoffen	610
3.6.3	Beschichten mit Pulver-Beschichtungsstoffen	612
3.6.4	Coil-Coating-Verfahren	612
3.6.5	Instandsetzung	612
3.6.6	Sonstige Beschichtungsstoffe	613
3.6.7	Prüfen der Beschichtung	614
3.7	Kaschieren	614
3.8	Emaillieren	615
3.9	Sonstige Beschichtungen	617
3.10	Vakuumbeschichtung	617
3.10.1	Allgemeine Beschreibung des Verfahrens	617
3.10.2	Industriell eingeführte Verfahren zur Beschichtung von Aluminium und Aluminiumlegierungen sowie Trends	620
	Literatur	622