

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Bedeutung der Galvanotechnik	17
2. Elektrochemische Grundlagen der Galvanotechnik	19
2.1. Elektrolyte	19
2.1.1. Elektrolytische Dissoziation	19
2.1.2. Säure - Base - Gleichgewichte	24
2.1.2.1. Säure - Base - Theorien	24
2.1.2.2. Wasser als Ampholyt	25
2.1.2.3. pH-Wert	25
2.1.2.4. Säurekonstante und Basekonstante	30
2.1.2.5. Neutralisation	30
2.1.2.6. Hydrolyse	30
2.1.2.7. Pufferung	32
2.2. Elektroden und Elektrodenreaktionen	32
2.2.1. Elektrodenarten	33
2.2.2. Katodenreaktionen	34
2.2.3. Anodenreaktionen	35
2.2.4. Elektrolysereaktionen	36
2.2.5. Elektrophorese	37
2.3. Elektrodenpotentiale und elektrochemische Spannungsreihe	37
2.3.1. Potentialbildung	37
2.3.2. Potentialmessung	39
2.3.3. Potentialabhängigkeit und Potentialänderung	40
2.3.4. Elektrochemische Spannungsreihe	42
2.4. Polarisation und Überspannung	45
2.4.1. Arten der Polarisation und Überspannung	45
2.4.2. Elektrodenpolarisation und Gesamtüberspannung	47
2.4.3. Wasserstoffüberspannung	48
2.4.4. Polarisationsspannung	49
2.4.5. Elektrolysespannung	50
2.5. Elektrodenpotential - Stromdichte - Kurven	50
2.5.1. Katodenpotential - Stromdichte - Kurven	51
2.5.2. Katodenpotential - Stromdichte - Kurven mehrfacher Elektroden	52

	Seite	
2.5.3.	Gleichzeitiges Entladen von Metall- und Wasserstoff-Ionen	55
2.5.4.	Galvanische Legierungsabscheidung	56
2.6.	Faradaysche Gesetze	57
2.6.1.	Elektrochemisches Äquivalent A_e	58
2.6.2.	Stoffmenge	59
2.6.3.	Schichtdicke	61
2.6.4.	Abscheidungsgeschwindigkeit	62
2.7.	Korrosion	62
2.7.1.	Korrosionsschäden	63
2.7.2.	Korrosionsursachen und Korrosionsmedien	63
2.7.3.	Korrosionsarten	64
2.7.4.	Korrosionsgrößen	66
2.7.5.	Korrosionsreaktionen und Korrosionsprodukte	67
2.7.6.	Kontaktkorrosion	68
2.7.7.	Korrosionsschutz	68
3.	Verfahrenstechnische Grundlagen	71
3.1.	Lösungen und Elektrolyte	71
3.1.1.	Wasser - Bedeutung des Wassers in der Galvanotechnik	71
3.1.1.1.	Wasserhärte und Enthärtung	72
3.1.1.2.	Vollentsalzung	73
3.1.2.	Lösungen	74
3.1.2.1.	Lösungsarten	74
3.1.2.2.	Chemisch-physikalische Stoffmengenbegriffe	75
3.1.2.3.	Konzentrationsmaße	76
3.1.2.4.	Dichte	78
3.1.2.5.	Richtlinien für das Herstellen von Lösungen	78
3.1.2.6.	Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt	79
3.1.2.7.	Mischungsrechnung	80
3.1.3.	Elektrolyte	81
3.1.3.1.	Elektrolytbestandteile	82
3.1.3.2.	Elektrolytverunreinigungen	83
3.1.3.3.	Elektrolytkorrektur	83
3.1.3.4.	Berechnen von Elektrolytansätzen und Elektrolytkorrekturen	84
3.1.3.5.	Elektrolytüberwachung	86
3.2.	Elektrolyteigenschaften	87
3.2.1.	Leitfähigkeit	87
3.2.2.	Stromausbeute	88
3.2.2.1.	Begriff der Stromausbeute	88
3.2.2.2.	Anodische und katodische Stromausbeute	89

	Seite	
3.2.2.3.	Abhängigkeit der Stromausbeute	90
3.2.3.	Deckfähigkeit	90
3.2.4.	Streufähigkeit	91
3.2.4.1.	Primäre Stromdichteverteilung	92
3.2.4.2.	Sekundäre Stromdichteverteilung	93
3.2.4.3.	Einflüsse auf die Streufähigkeit	94
3.2.5.	Einebnung	94
3.3.	Schichteigenschaften	97
3.3.1.	Struktur	97
3.3.1.1.	Strukturtypen	97
3.3.1.2.	Einfluß der Elektrolytzusammensetzung und der Arbeitsbedingungen auf die Struktur	99
3.3.1.3.	Einfluß der Struktur auf die Schichteigenschaften	100
3.3.2.	Glanz	101
3.3.3.	Härte	102
3.3.4.	Verschleißfestigkeit	103
4.	Prüfung der Elektrolyte und Schichten	105
4.1.	Prüfung der Elektrolyte	105
4.1.1.	Grundlagen	105
4.1.2.	Kontrolle der Elektrolyt- und Elektrolyseparameter	105
4.1.2.1.	pH-Wert	105
4.1.2.2.	Dichte	108
4.1.2.3.	Oberflächenspannung	109
4.1.2.4.	Leitfähigkeit	109
4.1.2.5.	Temperatur	109
4.1.2.6.	Spannung, Stromstärke, Stromdichte	110
4.1.2.7.	Elektrizitätsmenge	110
4.1.3.	Analyse der Elektrolyte	110
4.1.3.1.	Probenahme	110
4.1.3.2.	Naßchemische Analysemethoden	111
4.1.3.3.	Instrumentalanalysen	112
4.1.3.4.	Bestimmungsmöglichkeiten von Elektrolytzusätzen	114
4.1.4.	Physikalische und elektrochemische Prüfung der Elektrolyteigenschaften	114
4.1.4.1.	Abscheidungsprobe	114
4.1.4.2.	Bestimmung der Stromausbeute	116
4.1.4.3.	Bestimmung der Streufähigkeit (Makrostreufähigkeit)	118
4.1.4.4.	Bestimmung der Einebnung	119
4.2.	Prüfung der Schichten	121
4.2.1.	Bestimmung der Schichteigenschaften	121
4.2.1.1.	Duktilität und Festigkeit	121
4.2.1.2.	Innere Spannungen	122

	Seite	
4.2.1.3.	Härte	124
4.2.1.4.	Elektrische Leitfähigkeit	126
4.2.1.5.	Hartfestigkeit	127
4.2.1.6.	Verschleißfestigkeit	128
4.2.1.7.	Glanz	129
4.2.2.	Bestimmung der Korrosionsbeständigkeit	129
4.2.2.1.	Freibewitterung	130
4.2.2.2.	Korrosionsprüfung unter bestimmten Anwendungs- und Lagerungsbedingungen	130
4.2.2.3.	Kurzzeitkorrosionsprüfung	130
4.2.3.	Schichtdickenbestimmung	133
4.2.3.1.	Zerstörende Schichtdickenmeßmethoden	133
4.2.3.2.	Zerstörungsfreie Schichtdickenmeßmethoden	138
4.2.4.	Identifizierung des Schicht- bzw. Anodenmetalls	143
5.	Oberflächenvorbehandlung und -nachbehandlung	144
5.1.	Mechanische Verfahren	144
5.1.1.	Mechanische Vorbehandlung von Gestellteilen	144
5.1.1.1.	Verfahren	144
5.1.1.2.	Schleifmittel und ihre Korngrößen	145
5.1.1.3.	Poliermittel	146
5.1.1.4.	Pasten und Emulsionen für das Schleifen und Polieren	147
5.1.1.5.	Schleif- und Poliermittelträger	147
5.1.1.6.	Technologie	149
5.1.1.7.	Schleif- und Poliermaschinen	150
5.1.1.8.	Schleif- und Polierautomaten	153
5.1.2.	Mechanische Vorbehandlung von Kleinteilen	153
5.1.2.1.	Verfahren	154
5.1.2.2.	Schleif- und Polierkörper	155
5.1.2.3.	Schleif- und Polierlösungen	156
5.1.2.4.	Ausrüstungen zum Schleifen und Polieren von Kleinteilen	158
5.2.	Chemische und elektrochemische Verfahren	159
5.2.1.	Reinigen und Entfetten	159
5.2.1.1.	Grundlagen	159
5.2.1.2.	Reinigen und Entfetten mit organischen Lösemitteln	161
5.2.1.3.	Reinigen und Entfetten mit alkalischen Reinigern	163
5.2.1.4.	Elektrolytisches Entfetten	171
5.2.1.5.	Reinigen und Entfetten mit Ultraschall	175
5.2.1.6.	Handentfetten	177
5.2.2.	Beizen	178
5.2.2.1.	Beizen von Stahl in Säuren	178
5.2.2.2.	Beizen von Stahl in sauren Elektrolyten	183

	Seite	
5.2.2.3.	Beizen von Stahl in wäßrigen, alkalischen Elektrolyten und Salzschnmelzen	186
5.2.2.4.	Beizen von Gußeisen	189
5.2.2.5.	Beizen korrosionsbeständiger Stähle	190
5.2.2.6.	Beizen und Brennen von Kupfer und Kupferlegierungen	191
5.2.2.7.	Beizen von Aluminium und Aluminiumlegierungen	193
5.2.2.8.	Beizen von Zink, Zinn und Blei	194
5.2.2.9.	Regenerieren von Beizlösungen	195
5.2.3.	Beizentfetten	196
5.2.3.1.	Beizentfetten in sauren Lösungen	196
5.2.3.2.	Beizentfetten in alkalischen Lösungen	197
5.2.4.	Glänzen und Entgraten	198
5.2.4.1.	Elektrolytisches Glänzen und Entgraten	198
5.2.4.2.	Chemisches Glänzen	201
5.2.5.	Neutralisieren, Dekapieren	202
5.2.5.1.	Neutralisieren	202
5.2.5.2.	Dekapieren	203
5.2.6.	Spülen	204
5.2.6.1.	Ausschleppverluste	204
5.2.6.2.	Spülwasser	204
5.2.6.3.	Spülmethoden	205
5.2.6.4.	Berechnung der Konzentration von ausgeschlepptem Spülwasser	207
5.2.7.	Trocknen	208
5.2.7.1.	Trocknen von Gestellteilen	208
5.2.7.2.	Trocknen von Kleinteilen	209
5.2.8.	Entmetallisieren	210
6.	Elektrolytische und chemische Metallabscheidung	213
6.1.	Kupfer	214
6.1.1.	Eigenschaften	214
6.1.2.	Anwendungsgebiete	215
6.1.3.	Verfahrenstechnische Grundlagen	216
6.1.3.1.	Schwefelsaure Kupferelektrolyte	217
6.1.3.2.	Zyanidische Kupferelektrolyte	222
6.1.3.3.	Kupferdiphosphatelektrolyt	229
6.1.3.4.	Kupferfluoroboratelektrolyt	230
6.1.3.5.	Sonstige Kupferelektrolyte	231
6.2.	Nickel	231
6.2.1.	Eigenschaften	232
6.2.2.	Anwendungsgebiete	232
6.2.3.	Verfahrenstechnische Grundlagen	234
6.2.3.1.	Nickelsulfatelektrolyte	235
6.2.3.2.	Nickelsulfamatelektrolyt	247

	Seite	
6.2.3.3.	Nickelfluoroboratelektrolyt	248
6.2.3.4.	Schwarznickelelektrolyt	249
6.3.	Chrom	250
6.3.1.	Eigenschaften	250
6.3.2.	Anwendungsgebiete	251
6.3.3.	Verfahrenstechnische Grundlagen	251
6.3.4.	Elektrolyte	258
6.3.4.1.	Ansatz der Chromelektrolyte	258
6.3.4.2.	Elektrolyt auf Basis Schwefelsäure	259
6.3.4.3.	Elektrolyt auf Basis Kieselfluorwasserstoffsäure	261
6.3.4.4.	Elektrolyt mit niedriger Chromsäurekonzentration	262
6.3.5.	Anoden	263
6.3.6.	Wartung und Regenerierung der Chromelektrolyte	264
6.3.7.	Verchromungsverfahren	265
6.3.7.1.	Dekoratives Verchromen	265
6.3.7.2.	Technisches Verchromen	268
6.3.7.3.	Porösverchromung	273
6.3.7.4.	Schwarzverchromung	274
6.4.	Zink	274
6.4.1.	Eigenschaften	275
6.4.2.	Anwendungsgebiete	275
6.4.3.	Verfahrenstechnische Grundlagen	276
6.4.3.1.	Saure Zinkelektrolyte	279
6.4.3.2.	Alkalisch-zyanidische Zinkelektrolyte	280
6.4.3.3.	Alkalisch-zyanidfreie Zinkelektrolyte	285
6.4.3.4.	Schwachsaure Zinkelektrolyte	287
6.5.	Kadmium	290
6.5.1.	Eigenschaften	290
6.5.2.	Anwendungsgebiete	291
6.5.3.	Verfahrenstechnische Grundlagen	291
6.5.3.1.	Alkalisch-zyanidischer Kadmiumelektrolyt	292
6.5.3.2.	Saure Kadmiumelektrolyte	294
6.6.	Zinn	295
6.6.1.	Eigenschaften	296
6.6.2.	Anwendungsgebiete	297
6.6.3.	Verfahrenstechnische Grundlagen	297
6.6.3.1.	Saure Zinnelektrolyte	298
6.6.3.2.	Alkalischer Zinnelektrolyt	301
6.7.	Blei	304
6.7.1.	Eigenschaften und Anwendung	305
6.7.2.	Verfahrenstechnische Grundlagen	305
6.7.3.	Bleifluoroboratelektrolyt	305

	Seite	
6.8.	Edelmetalle	306
6.8.1.	Silber	307
6.8.1.1.	Eigenschaften	307
6.8.1.2.	Anwendungsgebiete	307
6.8.1.3.	Elektrolyte	308
6.8.2.	Gold	310
6.8.2.1.	Eigenschaften	310
6.8.2.2.	Anwendungsgebiete	310
6.8.2.3.	Elektrolyte	311
6.8.3.	Rhodium	312
6.8.4.	Palladium	313
6.8.5.	Platin	313
6.9.	Legierungen	313
6.9.1.	Eigenschaften und Anwendungsgebiete	313
6.9.2.	Elektrolyttypen	315
6.9.3.	Anoden	316
6.9.4.	Ausgewählte Legierungselektrolyte	317
6.9.4.1.	Kupfer-Zink (Messing)	317
6.9.4.2.	Nickel-Eisen	318
6.9.4.3.	Zinn-Blei	320
6.10.	Chemische Metallabscheidung	322
6.10.1.	Verfahrenstechnische Grundlagen	322
6.10.2.	Reduktionsverfahren	322
6.10.2.1.	Nickel	324
6.10.2.2.	Kupfer	326
6.10.3.	Ionenaustauschverfahren	328
6.11.	Metallisieren von Plästen	329
6.11.1.	Verfahrenstechnische Grundlagen	329
6.11.2.	ABS-Polymerisate	330
6.11.2.1.	Zusammensetzung und Eigenschaften	330
6.11.2.2.	Vorbehandlung	331
6.11.2.3.	Lösungen und Arbeitsbedingungen zur Vorbehandlung	333
6.11.3.	Metallisierverfahren	334
6.11.3.1.	Leitschicht	334
6.11.3.2.	Elektrolytische Metallabscheidung	334
6.11.4.	Anwendungsgebiete der Plastmetallisierung	335
6.12.	Aluminium	336
7.	Elektrolytische und chemische Oberflächenumwandlung	338
7.1.	Oxydieren von Aluminium	338
7.1.1.	Chemisches Oxydieren	339
7.1.1.1.	Böhmit-Verfahren	339
7.1.1.2.	MBV-Verfahren	339

	Seite	
7.1.2.	Elektrolytisches Oxydieren	340
7.1.2.1.	Verfahrenstechnische Grundlagen	340
7.1.2.2.	Werkstoffe	345
7.1.2.3.	Eigenschaften der Oxidschicht	346
7.1.2.4.	Oxydieren nach dem GS-Verfahren	350
7.1.2.5.	Oxydieren nach dem GSX-Verfahren	355
7.1.2.6.	Sonstige Anodisierverfahren	356
7.1.2.7.	Elektrolytische Färbeverfahren	357
7.1.2.8.	Oxydieren in Phosphorsäurelösung	357
7.2.	Phosphatieren	357
7.2.1.	Schichtbildung	358
7.2.2.	Eigenschaften der Phosphatschichten	359
7.2.3.	Phosphatierverfahren	360
7.3.	Oxydieren von Stahl	361
7.3.1.	Grundlagen	361
7.3.2.	Oxydieren in alkalischen Salzlösungen	362
7.3.3.	Oxydieren in alkalischen Salzschnelzen	363
7.4.	Chromatieren	364
7.4.1.	Grundlagen	364
7.4.2.	Schichtbildung	364
7.4.3.	Eigenschaften der Chromatschichten	365
7.4.4.	Chromatieren von Zink und Kadmium	366
7.4.5.	Chromatieren von Aluminium und seinen Legierungen	368
7.4.6.	Chromatieren von Kupfer, Kupferlegierungen und Silber	369
7.5.	Färben von Nichteisenmetallen	369
7.5.1.	Grundlagen	369
7.5.2.	Beispiele von chemischen Färbelösungen	370
7.5.3.	Elektrochemische Färbeverfahren	372
8.	Technologien	373
8.1.	Grundlagen	373
8.2.	Einflußfaktoren des Werkstücks auf die Technologie	373
8.3.	Ausgewählte Typentechnologien	374
8.3.1.	Vorbehandlung	374
8.3.2.	Elektrolytisches Abscheiden metallischer Schichten	375
8.3.3.	Metallisieren von ABS-Plasten	375
8.3.4.	Chemisches und elektrochemisches Erzeugen nichtmetallischer Schichten	375
9.	Galvanoplastik	406
9.1.	Definition und Aufgaben der Galvanoplastik	406
9.2.	Galvanoformung	406

	Seite	
9.2.1.	Grundlagen	406
9.2.2.	Eigenschaften der Metallschichten für Galvanoformen	407
9.2.3.	Einsatzgebiete der Galvanoformung	408
9.3.	Elektrolytische Halbzeugfertigung	408
9.3.1.	Folien	408
9.3.2.	Siebe	409
9.4.	Oberzugsgalvanoplastik	409
9.5.	Elektrolyte und Anwendungsgebiete	409
9.5.1.	Kupfer	409
9.5.2.	Nickel	410
9.5.3.	Eisen	411
9.5.3.1.	Eisenchloridelektrolyt	411
9.5.3.2.	Eisenfluoroboratelektrolyt	412
10.	Grundausrüstungen	414
10.1.	Apparative Grundausrüstungen	414
10.1.1.	Behälter	414
10.1.1.1.	Behälter aus Stahl	414
10.1.1.2.	Behälter aus Chromnickelstahl	415
10.1.1.3.	Behälter aus Plast	415
10.1.2.	Beheizung	417
10.1.2.1.	Beheizungsarten	418
10.1.2.2.	Heizeinrichtungen für Dampf und Heißwasser	419
10.1.2.3.	Elektrische Heizeinrichtungen	421
10.1.3.	Kühlung	422
10.1.4.	Elektrolyt- und Werkstückbewegung	424
10.1.5.	Filtereinrichtung	425
10.1.6.	Absaugeinrichtungen	428
10.2.	Elektrische Ausrüstungen	429
10.2.1.	Galvanikgleichrichter	429
10.2.2.	Umpoleinrichtungen	433
10.2.3.	Meßgeräte für Strom und Spannung	434
10.2.4.	Gleichstrom-Mengenmeßgeräte	435
10.2.5.	Temperaturregeleinrichtungen	437
10.2.6.	Füllstandsregelung	438
10.2.7.	pH-Wert-Regelung	439
10.3.	Galvanisiergestelle	440
10.3.1.	Gestellwerkstoff	440
10.3.2.	Gestellstruktur, Werkstückanordnung und Kontaktgabe	441
10.3.3.	Gestellisolierung	442
10.4.	Typische Galvanisierausrüstungen	443
10.4.1.	Galvanisieren von Kleinteilen	443

	Seite	
10.4.2.	Galvanisieren von Gestellteilen	446
10.4.3.	Galvanisierautomaten	447
11.	Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie Brandschutz	451
11.1.	Allgemeine Grundsätze	451
11.2.	Gesetzliche Bestimmungen	451
11.3.	Körperschutzmittel	453
11.4.	Gesundheits- und Körperpflege	454
11.5.	Schleifen und Polieren	455
11.6.	Umgang mit Chemikalien	455
11.6.1.	Organische Lösemittel	455
11.6.2.	Säuren	455
11.6.3.	Alkalische Lösungen	456
11.6.4.	Zyanidische Salze und Lösungen	456
11.6.5.	Chrom(VI)-salze und -lösungen	457
11.6.6.	Nickelelektrolyt	457
11.6.7.	Elektrolytproben	457
11.7.	Befähigungsnachweis für Giftbeauftragte	458
11,8.	Erste Hilfe	458
11.9.	Antihavarieordnung	460
12.	Umweltschutz in der Galvanotechnik	461
12.1.	Gesetzliche Bestimmungen	461
12.2.	Abstoffarme Technologien	461
12.2.1.	Umweltfreundliche Prozeßlösungen	461
12.2.2.	Spültechnik	462
12.2.3.	Rückgewinnung von Stoffen und Prozeßlösungen	462
12.3.	Methoden der Abwasserreinigung	463
12.3.1.	Behandlungsgrundsätze	463
12.3.2.	Chemische Behandlung verdünnter Abwässer	465
12.3.2.1.	Zyanidhaltige Abwässer	465
12.3.2.2.	Chromat- und chromsäurehaltige Abwässer	466
12.3.2.3.	Reinigung durch Ionenaustauschverfahren	466
12.3.2.4.	Saure oder alkalische Abwässer	468
12.3.2.5.	Entsorgung wäßriger Reiniger und organischer Lösemittel	468
12.3.3.	Schlußreinigung der Abwässer	468
12.3.4.	Chemische Behandlung von Konzentraten	469
	Anhang	470
	Sachwörterverzeichnis	503