

Nasser Kanani

Galvanotechnik

Grundlagen, Verfahren, Praxis

Mit 271 Abbildungen

HANSER

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Kapitel 1: Galvanotechnik - eine Schlüsseltechnologie?	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Beschichtungstechnologien	2
1.2.1 Aufdampfen	2
1.2.2 Auftragen	3
1.2.3 Lackieren	4
1.2.4 Thermisch Spritzen	4
1.2.5 Metallisieren	4
1.3 Galvanisierungsverfahren	5
1.3.1 Gestellgavanisierung	5
1.3.2 Massengalvanisierung	6
1.3.2.1 Trommelgalvanisierung	6
1.3.2.2 Glockengalvanisierung	7
1.3.3 Durchlaufgalvanisierung	7
1.3.4 Fertigungsintegrierte Galvanisierung	8
1.4 Galvanotechnik und ihre Schlüsselrolle	9
1.4.1 Metallische Schichten	11
1.4.1.1 Chromschichten	11
1.4.1.2 Edelmetallschichten	11
1.4.1.3 Nickelschichten	12
1.4.1.4 Zinkschichten	12
1.4.1.5 Schichtkombinationen	12
1.4.1.6 Lergierungsschichten	13
1.4.1.7 Dispersionsschichten	13
1.4.1.8 Umwandlungsschichten	13
1.4.1.9 Anodisierschichten	14
1.4.1.10 Galvanoformung	14
1.4.2 Anwendungsgebiete	15
1.5 Anforderungen an die Galvanotechnik	17
1.5.1 Qualität und Wirtschaftlichkeit	18
1.5.2 Ökologie und Umwelt	20
<i>Literaturverzeichnis</i>	<i>22</i>

Kapitel 2: Galvanisierbare Werkstoffe	25
2.1 Einleitung	25
2.2 Metalle	25
2.2.1 Nulldimensionale Gitterbaufehler	28
2.2.2 Eindimensionale Gitterbaufehler	30
2.2.3 Zweidimensionale Gitterbaufehler	37
2.3 Legierungen	42
2.3.1 Einlagerungsmischkristalle	43
2.3.2 Austauschmischkristalle	45
2.4 Kunststoffe	46
2.4.1 Amorphe Polymere	49
2.4.2 Teilkristalline Polymere	50
2.4.3 Intrinsisch leitfähige Polymere	54
<i>Literaturverzeichnis</i>	65

Kapitel 3: Elektrolyte zur Abscheidung metallischer Schichten	69
3.1 Einleitung	69
3.2 Abscheidungselektrolyte	72
3.2.1 Galvanische Elektrolyte	72
3.2.1.1 Saure Elektrolyte	73
3.2.1.2 Neutrale Elektrolyte	74
3.2.1.3 Alkalische Elektrolyte	75
3.2.1.3.1 Cyanidhaltige Elektrolyte	75
3.2.1.3.2 Cyanidfreie Elektrolyte	77
3.2.1.4 Elektrolytzusätze	78
3.2.1.4.1 Glanzbildner	78
3.2.1.4.2 Einebner	81
3.2.1.4.3 Netzmittel/Tenside	84
3.2.1.5 Elektrolyteigenschaften	86
3.2.1.5.1 Elektrische Leitfähigkeit	86
3.2.1.5.2 Deckfähigkeit	90
3.2.1.5.3 Makro-Streufähigkeit	91
3.2.1.5.4 Mikro-Streufähigkeit	94
3.2.2 Außenstromlose Elektrolyte	95
3.2.2.1 Elektrolytzusätze	98

3.2.2.1.1	Reduktionsmittel	99
3.2.2.1.2	Stabilisatoren	100
3.2.2.1.3	Komplexbildner	100
3.2.2.1.4	pH-Regulatoren	101
3.2.2.2	Elektrolytüberwachung	102
3.2.2.2.1	pH-Wert	103
3.2.2.2.2	Elektrolyttemperatur	105
<i>Literaturverzeichnis</i>		105
 Kapitel 4: Verfahren zur Abscheidung metallischer Schichten		
		109
4.1	Einleitung	109
4.2	Chemische Metallabscheidung	109
4.2.1	Abscheidung von Metallschichten	110
4.2.2	Abscheidung von Legierungsschichten	112
4.2.3	Abscheidung von Dispersionsschichten	114
4.2.4	Schichtdickenverteilung	115
4.3	Elektrochemische Metallabscheidung	117
4.3.1	Gleichstromverfahren	119
4.3.1.1	Abscheidung von Metallschichten	121
4.3.1.2	Abscheidung von Legierungsschichten	127
4.3.1.3	Abscheidung von Dispersionsschichten	133
4.3.1.4	Abscheidung von „Sandwich“-Schichten	138
4.3.1.5	Schichtdickenverteilung	141
4.3.2	Pulsstromverfahren	145
4.3.2.1	Abscheidung von Metallschichten	148
4.3.2.2	Abscheidung von Legierungsschichten	153
4.3.2.3	Abscheidung von Multilayern	156
4.3.2.4	Abscheidung von Dispersionsschichten	160
4.3.2.5	Schichtdickenverteilung	162
4.3.3	Laserinduzierte Metallabscheidung	164
4.3.3.1	Elektrochemisch	165
4.3.3.2	Chemisch	171
4.3.3.3	Oberflächenmorphologie	171
4.3.3.4	Anwendungsgebiete	171
<i>Literaturverzeichnis</i>		173

Kapitel 5: Atomistische Betrachtung der Schichtentstehung	177
5.1 Einleitung	177
5.2 Aufbau der Metallionen	178
5.3 Aufbau der elektrolytischen Doppelschicht	181
5.3.1 HELMHOLTZ-PERRIN-Modell	181
5.3.2 GouY-CHAPMAN-Modell	183
5.3.3 STERN-GRAHAM-Modell	184
5.4 Reaktionshemmungen	185
5.4.1 Konzentrationsüberspannung	188
5.4.2 Durchtrittsüberspannung	189
5.4.3 Kristallisationsüberspannung	189
5.4.4 Widerstandsüberspannung	190
5.5 Elektrokristallisation	190
5.5.1 Keimbildung	191
5.5.1.1 Homogene Keimbildung	191
5.5.1.2 Heterogene Keimbildung	193
5.5.1.2.1 Nulldimensionale Keime	197
5.5.1.2.2 Eindimensionale Keime	197
5.5.1.2.3 Zweidimensionale Keime	198
5.5.1.2.4 Dreidimensionale Keime	199
5.5.2 Keimwachstum	201
5.5.2.1 KossEL-STRANSKI-Modell	202
5.5.2.2 Wachstumstypen	203
5.5.2.2.1 Feldorientierter Isolationstyp (FI-Typ)	203
5.5.2.2.2 Basisorientierter Reproduktionstyp (BR-Typ)	204
5.5.2.2.3 Feldorientierter Texturtyp (FT-Zyp)	205
5.5.2.2.4 Unorientierter Dispersionstyp (DU-Typ)	205
5.5.2.2.5 Zwillingsübergangstyp (Z-Typ)	206
5.5.2.3 FRANK-Modell	206
5.5.2.4 Einflußgrößen	209
5.5.2.4.1 Einfluß des Substrats	209
5.5.2.4.2 Einfluß der Stromdichte	211
5.6 Whiskerwachstum	214
<i>Literaturverzeichnis</i>	219

Kapitel 6: In-situ Beobachtung der Schichtentstehung	223
6.1 Einleitung	223
6.2 Rastersondenmikroskopie (SPM)	223
6.2.1 Rastertunnelmikroskopie (STM)	225
6.2.1.1 Grundlagen, Verfahren	225
6.2.1.2 In-situ Rastertunnelmikroskopie	235
6.2.1.2.1 VOLMER-WEBER-Mechanismus	237
6.2.1.2.2 FRANK-VAN-DER-MERWE-Mechanismus	239
6.2.1.2.3 STRENSKI-KRASTANOV-Mechanismus	241
6.2.1.2.4 Einfluß von Elektrolytzusätzen	242
6.2.1.2.5 Oberflächentopographie	246
6.2.1.2.6 Wachstumsspiralen	249
6.2.2 Rasterkraftmikroskopie (SFM)	252
6.2.2.1 Grundlagen, Verfahren	252
6.2.2.2 In-situ Rasterkraftmikroskopie	256
6.2.2.2.1 Oberflächenvorbehandlung	257
6.2.2.2.2 Oberflächenaktivierung	260
6.2.2.2.3 Durchkontaktierung von Leiterplatten	261
6.2.2.2.4 Oberflächenmorphologie	262
<i>Literaturverzeichnis</i>	266
 Kapitel 7: Haftfestigkeit und ihre Bestimmung	271
7.1 Einleitung	271
7.2 Metall/Metall-Haftung	272
7.2.1 Diffusionstheorie	272
7.3 Polymer/Metall-Haftung	280
7.3.1 „Druckknopf“-Theorie	281
7.3.2 Benetzungstheorie	284
7.3.3 Elektrostatische Theorie	285
7.4 Methoden zur Haftfestigkeitsprüfung	286
7.4.1 Qualitative Prüfverfahren	287
7.4.1.1 Biege-Test	288
7.4.1.2 Dornbiege-Test	289
7.4.1.3 Gitterschnitt-Test	289
7.4.1.4 Reib-Test	289
7.4.1.5 Feil-Test	290
7.4.1.6 Hammerschlag-Test	291

7.4.1.7	Tiefungs-Test	291
7.4.1.8	Elektrolytischer Test	292
7.4.1.9	Torsions-Test	293
7.4.1.10	Wickel-Test	293
7.4.2	Quantitative Prüfverfahren	294
7.4.2.1	Schäl-Test	295
7.4.2.2	Kobaltkegel-Test	297
7.4.2.3	OLLARD-Test	298
7.4.2.4	Zugversuch	299
7.4.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	300
7.4.3.1	Thermoschock-Test	301
7.4.3.2	Ultraschall-Test	303
7.4.3.3	Schallemissions-Test	304
	<i>Literaturverzeichnis</i>	306

Kapitel 8: Schichtdicke und ihre Bestimmung **309**

8.1	Einleitung	309
8.2	Zerstörende Verfahren	311
8.2.1	Mikroskopische Verfahren	311
8.2.1.1	Probenpräparation	315
8.2.1.2	Schliffarten	324
8.2.1.2.1	Schrägschliff-Verfahren	325
8.2.1.2.2	Einschliff-Verfahren	328
8.2.2	Coulometrisches Verfahren	332
8.3	Zerstörungsfreie Verfahren	335
8.3.1	Wirbelstrom-Verfahren	336
8.3.2	Röntgenfluoreszenz-Verfahren	343
8.3.2.1	Kontinuierliche Schichtdickenmessung	350
8.3.2.2	Standardfreie Schichtdickenmessung	350
8.4	In-situ-Verfahren	353
8.4.1	Inselmethode	353
8.4.2	Optipulse-Methode	357
8.4.2.1	Optimierungsmaßnahmen	359
8.4.2.1.1	Wirksame Pulsform	359
8.4.2.1.2	Zugabe von Additiven	359
8.4.2.1.3	Beeinflussung der Kupferqualität	361
8.4.2.2	Bestimmung der Schichtdicke	364
	<i>Literaturverzeichnis</i>	364

Kapitel 9: Analytische Untersuchung metallischer Schichten. 367

9.1 Einleitung 367

9.2 Massenspektrometrische Methoden 376

9.2.1 Ionenstreuungs-Spektrometrie (ISS). 378

9.2.2 Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS). 382

9.2.3 Sekundärneutralteilchen-Massenspektrometrie (SNMS). 389

9.3 Elektronenspektroskopische Methoden 395

9.3.1 AuGER-Elektronenspektroskopie (AES). 397

9.3.2 Elektronenspektroskopie für chemische Analyse (ESCA). 404

9.4 Mikroanalyse 411

9.4.1 Energiedispersive Röntgenanalyse (EDX). 416

9.4.1.1 Qualitative Analyse. 419

9.4.1.2 Quantitative Analyse. 423

9.4.2 Wellenlängendispersive Röntgenanalyse (WDX). 427

Literaturverzeichnis. 433

Namensverzeichnis. 439

Stichwortverzeichnis. 441