

SCHRIFTENREIHE GALVANOTECHNIK
UND OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

Dr. Richard Suchentrunk et al.

Kunststoff-Metallisierung

3. Auflage

EUGEN G.
LEUZE
VERLAG

105 JAHRE 1902 – 2007

BAD SAULGAU
GERMANY

Inhaltsverzeichnis

1 Die Bedeutung der Kunststoff-Metallisierung und die Folgen	21
2 Grundlagen der Kunststoff-Metallhaftung	24
2.1 Allgemeines	24
2.2 Verbundkomponenten	25
2.3 Adhäsion	32
2.3.1 Adhäsion durch grenzflächenenergetische Wechselwirkungen (Benetzung)	33
2.3.1.1 Konzept des Separationsansatzes	36
2.3.1.2 Zustandsgleichung der Grenzflächenspannung	37
2.3.1.3 Benetzung realer Oberflächen – Kontaktwinkelhysterese	38
2.3.2 Adhäsion durch mechanische Verankerung	39
2.3.3 Adhäsion durch Haupt- und Nebervalenzbindungen	40
2.3.4 Adhäsion durch elektrostatische Kräfte	41
2.3.4.1 Elektrokinetischer Effekt und Zeta (ζ -) Potential	42
2.4 Methoden zur Quantifizierung der Oberflächentopographie	44
2.5 Methoden zum Testen der Adhäsion	45
Literatur zu Kapitel 2	47
3 Verfahrenstechnik der Kunststoffmetallisierung	55
3.1 Galvanische Verfahren	55
3.1.1 Allgemeines	55
3.1.1.1 Einteilung in verschiedene Vorbehandlungsprozesse	58
3.1.1.2 Vor- und Nachteile der einzelnen Vorbehandlungsprozesse	58
3.1.2 Klassische Vorbehandlung	59
3.1.2.1 Das Quellen und Beizen	60
3.1.2.2 Aktivierung	61
3.1.2.2.1 Ionogenes Verfahren	61
3.1.2.2.2 Klassisch kolloidales Verfahren	62

3.1.2.3	Chemische Metallabscheidung	63
3.1.2.3.1	Chemische Kupferbäder	65
3.1.2.3.2	Chemische Nickelbäder	68
3.1.3	Direktmetallisierung	71
3.1.3.1	Neue Verfahren der Direktmetallisierung	72
3.1.4	Elektrolytische Metallabscheidung	74
3.1.5	Partielle Galvanisierung	81
3.1.5.1	Verfahren	82
3.1.5.2	Anwendungsbeispiele	84
Literatur zu Kapitel 3.1		85
3.2	Physikalische Verfahren	87
3.2.1	Allgemeine Betrachtungen	87
3.2.2	Beschichtungsverfahren	88
3.2.3	Anforderungen an Kunststoffe sowie Vor- und Nachbehandlungen der PVD-Beschichtung	98
3.2.3.1	Anforderungen an die Kunststoffteile zur physikalischen Beschichtung	98
3.2.3.2	Verfahrensschritte zur Metallisierung von Kunststoffen mit PVD-Verfahren	106
3.2.4	Anwendungen	113
3.2.4.1	Elektrotechnische Anwendungen	113
3.2.4.2	Dekorative Anwendungen	120
3.2.4.3	Optische Anwendungen und Barrierschichten	127
Literatur zu Kapitel 3.2		129
3.3	3D-MID-Technologie	131
3.3.1	Definition	131
3.3.2	Herstellungsverfahren für MID	131
3.3.3	Nasschemische Basismetallisierung von Kunststoffen für MID	141
3.3.3.1	Nasschemische, vollflächige Metallisierung	142
3.3.3.2	Nasschemische Metallisierung von 2K-Werkstoffen	144
3.3.3.3	Nasschemische Metallisierung von LDS-Werkstoffen	145
3.3.4	Verstärkung der Basismetallisierung	146
3.3.5	Anwendungsbeispiele	147
3.3.6	Förderung der Technologie	148
Literatur zu Kapitel 3.3		148
3.4	Galvanisiergerechte Kunststoffverarbeitung	149
3.4.1	Einführung	149

3.4.1.1	Grundlagen zur Haftung	149
3.4.1.1.1	Beizen.....	149
3.4.1.1.2	Temperaturwechsel	151
3.4.1.2	Einfluss des Werkstoffs	151
3.4.1.3	Einfluss der Konstruktion und Verarbeitung	154
3.4.2	Konstruktion und Formgestaltung	156
3.4.2.1	Kunststoffgerechte Konstruktion	156
3.4.2.1.1	Angepasste Wanddicken.....	156
3.4.2.1.2	Keine scharfen Ecken und Kanten.....	157
3.4.2.2	Galvanisiergerechte Konstruktion.....	160
3.4.2.2.1	Scharfe Kanten	160
3.4.2.2.2	Aufnahme, Kontaktierungsstellen	160
3.4.2.2.3	Sacklöcher, Hinterschneidungen	161
3.4.2.2.4	Nuten, Schlitze, Bohrungen.....	161
3.4.2.2.5	Große und ebene Flächen	161
3.4.2.2.6	Anschnittposition.....	162
3.4.2.2.7	Trennebenen	162
3.4.3	Werkzeugbau und Angusstechnik.....	162
3.4.3.1	Werkzeugstahl.....	162
3.4.3.2	Werkzeugherstellung.....	163
3.4.3.3	Temperierung des Werkzeugs.....	163
3.4.3.4	Angussystem	163
3.4.3.4.1	Angussart.....	164
3.4.3.4.2	Anschnittposition.....	165
3.4.3.4.3	Verteilerkanäle.....	166
3.4.3.4.4	Einlegeteile	167
3.4.4	Verarbeitung	167
3.4.4.1	Auswahl und Trocknung des Granulats.....	167
3.4.4.2	Sauberkeit der Maschine	168
3.4.4.3	Vorbereitung der Werkzeuge und Hilfsmittel.....	168
3.4.4.4	Spritzgießen	169
3.4.4.4.1	Maschinenauswahl	169
3.4.4.4.2	Spritzgießparameter.....	169
3.4.4.4.3	Entnahme.....	169
3.4.4.4.4	Angussentfernung.....	169
3.4.4.5	Extrusion	170

3.4.4.6	Vakuumverformung	170
3.4.4.7	Pressen	170
3.4.5	Prüfungen an Rohteilen	170
3.4.6	Lagerung und Transport	171
3.4.7	Vorgehensweise zur Schadensanalyse an galvanisierten Bauteilen	172
	Literatur für Kapitel 3.4.....	174
4	Metallisierung von Kunststoffen	175
4.1	ABS-Polymerisate.....	175
4.1.1	Allgemeines.....	175
4.1.1.1	Verbund zwischen Metall und ABS-Pfropfpolymerisat	177
4.1.1.2	Verankerung des Metalls in der Oberfläche	177
4.1.2	Spritzgießtechnische Verarbeitung	183
4.1.3	Vorbehandlung und chemische Metallisierung	184
4.1.3.1	Allgemeines	184
4.1.3.2	Beizen	184
4.1.3.3	Entgiften.....	185
4.1.3.4	Aktivieren.....	185
4.1.3.5	Chemische Metallabscheidung	185
4.1.4	Elektrochemische Metallisierung.....	186
4.1.5	Eigenschaften	186
4.1.5.1	Mechanische Eigenschaften.....	186
4.1.5.1.1	Eigenschaften der Oberfläche.....	186
4.1.5.1.2	Zugfestigkeit gemäß ISO 527.....	187
4.1.5.1.3	Biegespannung gemäß ISO 178	187
4.1.5.1.4	Schlag- und Kerbschlagzähigkeit	187
4.1.5.1.5	Dauerschwingversuch	188
4.1.5.2	Thermische Eigenschaften	188
4.1.5.2.1	Temperaturprüfung gemäß DIN 53496	188
4.1.5.2.2	Temperaturschocktest	188
4.1.5.2.3	Dauerwärmelastung.....	188
4.1.5.3	Elektrische Eigenschaften	189
4.1.5.4	Korrosionsverhalten	189
4.1.6	Fehlerbetrachtung	190
4.1.6.1	Fehler in der Vorbehandlung	190
4.1.6.1.1	Fehler bei der Beizung.....	190
4.1.6.1.2	Fehler in der Aktivierung.....	192

4.1.6.1.3	Haftungsstörungen durch Oberflächenkontamination	194
4.1.6.1.4	Fehler bei der Anschlagvernickelung	195
4.1.6.2	Fehler in der Galvanik	196
4.1.6.2.1	Fehler bei der Verkupferung	196
4.1.6.2.2	Fehler bei der Vernickelung (Glanzvernickelung)	201
4.1.6.2.3	Fehler bei der Verchromung	201
4.1.6.3	Fehler des Kunststoffteiles	203
4.1.7	Anwendungen	206
Literatur zu Kapitel 4.1	209
4.2	ABS/PC-Blend	210
4.2.1	Allgemeines	210
4.2.2	Verbund zwischen Metall und ABS/PC-Blends	212
4.2.3	Spritzgießtechnische Verarbeitung	213
4.2.4	Metallisierung von ABS/PC-Blends	214
4.2.5	Anwendungen	215
Literatur zu Kapitel 4.2	216
4.3	Polypropylen	217
4.3.1	Allgemeines	217
4.3.2	Stand der Technik	217
4.3.3	Spritzbedingungen und Materialeigenschaften	217
4.3.4	Haftung und Haftmechanismus	219
4.3.5	Gestelltechnik	220
4.3.6	Verfahrensablauf	220
4.3.6.1	Beizen	220
4.3.6.2	Voraktivieren	221
4.3.7	Eigenschaften galvanisierter Polypropylenteile	221
4.3.7.1	Haftung	221
4.3.7.2	Temperaturwechselverhalten	223
4.3.7.3	Moderne galvanisierbare Polypropylen-Materialien	223
4.3.8	Anwendungen	224
Literatur zu Kapitel 4.3	226
4.4	Polyamid	226
4.4.1	Allgemeines	226
4.4.2	Spritzgießtechnische Verarbeitung	227

4.4.3	Vorbehandlung und chemische Metallisierung	228
4.4.3.1	Verfahren nach Bayer	228
4.4.3.2	Moderne Vorbehandlung von Polyamiden	229
4.4.4	Elektrochemische Metallisierung	230
4.4.5	Eigenschaften	232
4.4.5.1	Mechanische Eigenschaften	232
4.4.5.2	Haftung bzw. Abzugskraft	233
4.4.5.3	Thermische Eigenschaften	233
4.4.5.4	Elektrische Eigenschaften	234
4.4.5.5	Korrosionsverhalten	235
4.4.6	Anwendungen	235
4.4.7	Abschirmung elektromagnetischer Felder	237
Literatur zu Kapitel 4.4		239
4.5	Fluorkunststoffe	241
4.5.1	Allgemeines	241
4.5.2	PTFE	241
4.5.3	Verarbeitung	241
4.5.4	Vorbehandlung und chemische Metallisierung	242
4.5.4.1	Natrium in flüssigem Ammoniak	242
4.5.4.2	Naphthylnatrium in Tetrahydrofuran	242
4.5.4.3	Physikalische Methoden	242
4.5.4.4	Chemische Metallisierung	243
4.5.4.5	Verkleben von PTFE	243
4.5.5	Elektrochemische Metallisierung	243
4.5.6	Eigenschaften	243
4.5.6.1	Gleitreibungskoeffizient, Gleitverschleißrate	243
4.5.6.2	Mechanische Bearbeitbarkeit	244
4.5.6.3	Mechanische Eigenschaften	244
4.5.6.4	Haftung	244
4.5.6.5	Ausdehnungskoeffizient	244
4.5.6.6	Durchschlagsfestigkeit	244
4.5.6.7	Dielektrischer Verlustfaktor und Dielektrizitätskonstante	244
4.5.7	Anwendungen	245
4.5.7.1	Faltenbalg metallisieren	245
4.5.7.2	Herstellung einer Spule	246
4.5.7.3	Verstärkung eines Messrohres	247

4.5.8 Zusammenfassung	247
Literatur zu Kapitel 4.5	247
4.6 Composites	248
4.6.1 Grundlagen	248
4.6.2 Metallisierung von Compositen	249
4.6.2.1 Gründe für eine Metallisierung	249
4.6.2.2 Besonderheiten bei der Metallisierung von Compositen	250
4.6.3 Prüfung	251
4.6.4 Anwendungsbeispiele	252
4.6.4.1 Metallisierte Composite in der Hochfrequenztechnik	252
4.6.4.1.1 Einleitung	252
4.6.4.1.2 Metallisierungsrelevante Grundlagen der HF-Technik	253
4.6.4.1.3 Anforderungen der HF-Technik an die Metallisierung	255
4.6.4.1.4 Metallisierungsfehler und Abhilfemaßnahmen	257
4.6.4.1.5 Schlussbetrachtung	258
4.6.4.2 Sonstige Anwendungen	259
Literatur zu Kapitel 4.6	260
4.7 Polyetherimid und Polyimid	263
4.7.1 Polyetherimid	263
4.7.1.1 Struktur und Eigenschaften	263
4.7.1.2 Vorbehandlung und Metallisierung von PEI	263
4.7.1.2.1 Cr(VI)basierte Vorbehandlung	263
4.7.1.2.2 Cr(VI)freie Vorbehandlung	265
4.7.1.2.3 Oberflächen erhaltende Vorbehandlung	266
4.7.1.2.4 Allgemeine Hinweise	267
4.7.1.3 Anwendungsbeispiele	267
4.7.2 Polyimid	268
4.7.2.1 Herstellung und Chemie	268
4.7.2.2 Anwendung, Vorbehandlung und Metallisierung	269
Literatur zu Kapitel 4.7	269
4.8 Andere Kunststoffe	269
4.8.1 Allgemeines	269
4.8.2 Verfahren	271
4.8.2.1 Mechanische Aufrauung	271
4.8.2.2 Zweistufige Konditionierung	273

4.8.2.3	Verfahren ohne Chromsäure.....	274
4.8.2.4	Sonstige Verfahren	280
4.8.3	Die einzelnen Kunststoffe	281
4.8.3.1	Polyethylen	281
4.8.3.2	Polyvinylchlorid	282
4.8.3.3	Polystyrol	282
4.8.3.4	Polymethylmethacrylat.....	282
4.8.3.5	Polycarbonat.....	282
4.8.3.6	Polyester, Polyoxymethylen.....	283
4.8.3.7	Polyurethan	283
4.8.3.8	Polysulfon	284
4.8.3.9	Polyarylamid	284
4.8.3.10	Duroplaste	285
4.8.3.11	Weitere Kunststoffe.....	286
	Literatur zu Kapitel 4.8	287
5	Qualitätssicherung bei der Metallisierung von Kunststoffen.....	291
5.1	Qualität metallisierter Kunststoffe.....	291
5.2	Qualitätssicherung bei der Metallisierung von Kunststoffen.....	292
5.3	Kontrolle und Prüfung der Qualität metallisierter Kunststoffe.....	293
5.3.1	Sichtprüfung zur Bewertung des Aussehens	295
5.3.2	Bestimmung der Schichtdicke.....	296
5.3.3	Prüfung der Haftfestigkeit	298
5.3.4	Prüfung der Klima- und Korrosionsbeständigkeit.....	300
5.3.5	Prüfung der Porosität	300
5.3.6	Bestimmung der inneren Spannungen im Grundmaterial	300
5.3.7	Dekorative Anwendungen	301
5.3.8	Elektrotechnische Anwendungen	301
5.3.9	Optische Anwendungen.....	302
5.3.10	Barriereeigenschaften.....	302
	Normen zu Kapitel 5	303
	Literatur zu Kapitel 5	306
6	Anlagen zur Kunststoffmetallisierung.....	307
6.1	Anlagen für galvanische Verfahren.....	307
6.1.1	Allgemeine Hinweise	307
6.1.2	Vorreinigung.....	308

6.1.3	Queller für schwer zu galvanisierende Kunststoffe	308
6.1.3.1	Behälterwerkstoffe	309
6.1.3.2	Beheizungen.....	309
6.1.3.3	Umwälzung - Filtration	310
6.1.4	Beizen.....	310
6.1.4.1	Behälterwerkstoffe und -auskleidungen.....	310
6.1.4.2	Beheizungen.....	311
6.1.4.3	Umwälzung	311
6.1.4.4	Spültechnik und Rückführung	311
6.1.4.5	Badpflege	312
6.1.5	Aktivatoren - Konditionierungen.....	312
6.1.5.1	Behälterwerkstoffe und -auskleidungen.....	313
6.1.5.2	Beheizungen.....	313
6.1.5.3	Umwälzung - Filtration	313
6.1.6	Chemisch reduktive Nickel- und Kupferbäder	313
6.1.6.1	Behälterwerkstoffe und -auskleidungen.....	314
6.1.6.2	Beheizungen.....	314
6.1.6.3	Umwälzung - Filtration	314
6.1.7	Direktmetallisierungsverfahren	315
6.1.7.1	Direktmetallisierungsverfahren mit kolloidalem Palladiumaktivator	315
6.1.7.2	Direktmetallisierungsverfahren mit palladium- freiem Aktivator	316
6.1.7.3	Anlagentechnische Besonderheiten bei Direkt- metallisierungsverfahren.....	316
6.1.8	Elektrolytische Verfahren	317
6.1.8.1	Kupferbäder	317
6.1.8.1.1	Behälterwerkstoffe und -auskleidungen	317
6.1.8.1.2	Warenbewegung, Lufteinblasung	317
6.1.8.1.3	Filtration	318
6.1.8.1.4	Anoden-Diaphragmen	318
6.1.8.2	Nickelbäder	318
6.1.8.2.1	Behälterwerkstoffe und -auskleidungen	319
6.1.8.2.2	Warenbewegung - Lufteinblasung	319
6.1.8.2.3	Beheizungen	319
6.1.8.2.4	Filtration	320
6.1.8.2.5	Anoden-Diaphragmen	320
6.1.8.2.6	Blendfreie Vernicklung.....	320

6.1.8.3	Chrombäder.....	321
6.1.8.3.1	Behälterwerkstoffe und -auskleidungen	321
6.1.8.3.2	Beheizungen	321
6.1.8.3.3	Badgeometrie.....	322
6.1.8.3.4	Spültechnik, Rückführung.....	322
6.1.9	Spültechnik allgemein.....	322
6.1.9.1	Ausstattung	322
6.1.9.2	Spültechnik - Wertstoffrückführung.....	323
6.1.10	Badabsaugung	323
6.1.10.1	TA-Luft	325
6.1.11	Trocknung	325
6.1.11.1	Umlufttrocknung.....	325
6.1.11.2	Probleme der fleckenfreien Trocknung	325
6.1.12	Gestellbau.....	327
6.1.12.1	Gestellisolierung	328
6.1.12.2	Ausführung der Gestellkontakte	330
6.1.12.3	Konstruktive Maßnahmen am zu galvanisierenden Teil.....	331
6.1.13	Anlagen zur Massengalvanisierung.....	332
6.1.13.1	Allgemeine Angaben.....	332
6.1.13.2	Einfluss der Warengeometrie	332
6.1.13.3	Kathodenstromzuführungen.....	333
6.1.13.4	Rotation des Massengalvanisiergerätes.....	333
6.1.13.5	Perforation des Massengalvanisiergerätes.....	333
6.1.13.6	Gestaltung der Innenwandung des Massengalvanisiergerätes	334
6.1.13.7	Gleichrichterregelung	334
6.1.13.8	Geräte und Elektrolyte zur Massengalvanisierung von Kunststoffteilen	335
6.1.14	Automatisierung der Anlagen.....	335
6.1.14.1	Steuerung	336
6.1.14.2	Struktur der Steuerungssysteme.....	337
6.1.15	Steuerungen für Anlagen zur Kunststoffgalvanisierung.....	337
6.1.15.1	Aufgaben und Anforderungen.....	337
6.1.15.2	Typische zu steuernde Elemente einer Kunststoffgalvanik	337
6.1.15.3	Hardwareaufbau	338

6.1.15.4 Software	339
6.1.15.4.1 Grundfunktionen	339
6.1.15.4.2 Leitsystem	340
Literatur zu Kapitel 6.1	344
6.2 Anlagen für physikalische Verfahren	345
6.2.1 Chargenanlagen	345
6.2.2 Durchlaufanlagen	354
6.2.3 Zusammenfassung	356
Literatur zu Kapitel 6.2	357
7 Umwelttechnologie	358
7.1 Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz- WHG, Bundesrepublik Deutschland)	361
7.1.1 Wasserhaushaltsgesetz – Verwaltungsvorschriften	365
7.1.2 Wasserhaushaltsgesetz – Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VAwS)	369
7.2 Bundesimmissionsschutzgesetz – BImSchG	371
7.2.1 Störfallverordnung – StörfallV (StörfallV 2000)	373
7.3 Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG)	376
7.4 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien – Richtlinien für die Begrenzung von Abwasseremission	377
7.5 Umweltschutzgesetz des Schweizerischen Bundesrates	380
7.5.1 Lenkungsabgabe	381
7.5.2 Strafbestimmungen	381
7.5.3 Gewässerschutzverordnung	381
7.6 Entsorgung der Verfahrenslösungen	383
7.6.1 Queller	384
7.6.2 ABS-Beizen	384
7.6.3 Aktivatoren	385
7.6.4 Reduktoren/Acceleratoren	385
7.6.5 Chemisch reduktive Kupferelektrolyte	386
7.6.6 Chemisch reduktive Nickelelektrolyte	387
7.6.7 Galvanische Kupferelektrolyte	388
7.6.8 Galvanische Nickelelektrolyte	389
7.6.9 Galvanische Chromelektrolyte	389

7.7	Maßnahmen zur Verlängerung der Standzeiten und zur Wertstoffrückführung.....	389
7.7.1	Queller.....	390
7.7.2	ABS-Beizen.....	390
7.7.3	Aktivatoren.....	391
7.7.4	Reduktoren/Acceleratoren.....	392
7.7.5	Chemisch reduktive Kupferelektrolyte.....	392
7.7.6	Chemisch reduktive Nickelelektrolyte	395
7.7.7	Elektrochemische Kupferelektrolyte	395
7.7.8	Elektrochemische Nickelelektrolyte.....	396
7.7.9	Elektrochemische Chromelektrolyte	397
7.8	Verminderung der Schadstoffkonzentration	398
7.9	Maßnahmen abwassergerechter Aufarbeitung.....	400
7.9.1	Physikalische Verfahren	400
7.9.2	Chemische Verfahren.....	402
7.9.2.1	Chromatentgiftung	402
7.9.2.2	Neutralisation und Schwermetallfällung.....	403
7.9.2.3	Fällung des Metalls aus komplexbildnerhaltigen Abwässern	405
7.9.2.4	Fällung von Anionen.....	406
7.10	Abwasservorbehandlungsanlagen.....	407
7.10.1	Spülwasserführung	407
7.10.2	Durchlaufbehandlungsanlagen	408
7.10.3	Chargenbehandlungsanlagen.....	409
7.10.4	Ionenselektivaustauscheranlagen	411
	Literatur zu Kapitel 7	412
	Fachausdrücke Kunststoff- und Oberflächentechnik.....	413
	Stichwortverzeichnis.....	471
	Firmen-Inserentenverzeichnis.....	478