

Hansgeorg Hofmann • Jürgen Spindler

# Verfahren in der Beschichtungs- und Oberflächentechnik

Grundlagen - Vorbehandlung -  
Oberflächenreaktionen - Schichtabscheidung  
Strukturierung - Prüfung

2., aktualisierte Auflage  
mit 136 Bildern, 94 Tabellen und zahlreichen Beispielen

**Fachbuchverlag Leipzig**  
im Carl Hanser Verlag

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	. . . . .	11
<b>2 Aufbau und Eigenschaften oberflächennaher Werkstoffbereiche</b>	. . . . .	14
2.1 Metallische Werkstoffe	. . . . .	15
2.2 Nichtmetallisch anorganische Werkstoffe	. . . . .	19
2.3 Nichtmetallisch organische Werkstoffe	. . . . .	23
2.4 Vorgänge an Grenzschichten	. . . . .	25
<b>3 Vor-, Zwischen- und Nachbehandlung</b>	. . . . .	28
3.1 Reinigen	. . . . .	32
3.1.1 Entfetten	. . . . .	33
3.1.1.1 Entfetten in wässriger Lösung	. . . . .	34
3.1.1.2 Entfetten mit organischen Lösungsmitteln	. . . . .	36
3.2 Verändern des Oberflächenreliefs	. . . . .	37
3.2.1 Mechanische Verfahren	. . . . .	37
3.2.1.1 Schleifen, Bürsten und Polieren	. . . . .	38
3.2.1.2 Oberflächenbehandlung durch Strahlmittel	. . . . .	43
3.2.2 Chemisch-physikalische Verfahren	. . . . .	44
3.2.2.1 Beizen	. . . . .	44
3.2.2.2 Elektropolieren	. . . . .	48
3.2.2.3 Substrattypische Oberflächenvorbehandlung	. . . . .	50
3.3 Spülen	. . . . .	52
<b>4 Schichtabscheidung</b>	. . . . .	55
4.1 Metallschichten	. . . . .	55
4.1.1 Beschichten durch ECD	. . . . .	59
4.1.1.1 Einleitung	. . . . .	59
4.1.1.2 Grundlagen der ECD-Technik mit Außenstrom	. . . . .	62
4.1.1.3 Grundlagen der außenstromlosen Metallabscheidung	. . . . .	91
4.1.2 Abscheidung metallischer Schichten aus der Gasphase	. . . . .	103
4.1.3 Schmelztauschichten	. . . . .	110
4.1.3.1 Feuerverzinken	. . . . .	110
4.1.3.2 Feuerverzinnen	. . . . .	119
4.1.3.3 Feualuminieren	. . . . .	119
4.1.4 Metallspritzen	. . . . .	120
4.1.4.1 Flamm-spritzen	. . . . .	122
4.1.4.2 Lichtbogenspritzen	. . . . .	123
4.1.4.3 Plasmaspritzen	. . . . .	123
4.1.4.4 Auftragschweißen und Auftragslöten	. . . . .	125
4.1.5 Plattieren	. . . . .	125
4.1.5.1 Walzplattieren	. . . . .	125
4.1.5.2 Sprengplattieren	. . . . .	126

## Inhaltsverzeichnis

4.1.6	Chemisch-thermische Verfahren	.128
4.1.6.1	Aluminieren	.128
4.1.6.2	Inchromieren	.128
4.1.6.3	Sherardisieren	.129
4.1.7	Ausblick	.129
4.2	Nichtmetallische organische Schichten	.130
4.2.1	Bindemittel für Lacke	.131
4.2.1.1	Polykondensate	.131
4.2.1.2	Polyaddukte	.138
4.2.1.3	Polymerisate und Copolymerisate	.141
4.2.2	Weitere Lackkomponenten	.142
4.2.2.1	Lösungsmittel	.143
4.2.2.2	Additive	.150
4.2.2.3	Pigmente	.151
4.2.3	Vorgang der Filmbildung	.154
4.2.4	Verfahren zur Herstellung organischer Beschichtungen	.158
4.2.4.1	Nasslackieren	.159
4.2.4.2	Pulverlackieren	.165
4.2.5	Entlacken	.168
4.2.6	Ausblick	.169
4.3	Nichtmetallische anorganische Schichten	.169
4.3.1	Emaillieren	.169
4.3.2	Abscheidung riichtmetallischer anorganischer Schichten aus der Gas- phase	.175
<b>5</b>	<b>Verfahren zur Herstellung von Konversionsschichten</b>	<b>.179</b>
5.1	Phosphatieren	.180
5.2	Chromatieren	.184
5.3	Brünieren	.187
5.4	Metallfärben	.189
5.5	Elektrolytische Oxidation von Aluminium	.190
5.5.1	Schichtbildung	.192
5.5.2	Eloxier-Verfahren	.195
5.5.3	Färben von Eloxalschichten	.198
5.6	Ausblick	.200
<b>6</b>	<b>Strukturierte Oberflächen</b>	<b>.201</b>
6.1	Verfahrensprinzipien	.201
6.2	Strukturübertragung	.203
6.2.1	Fotovorlage	.203
6.2.2	Fotolithographie	.205
6.2.3	Siebdruck	.211
6.2.4	Ätzverfahren	.212
6.3	Anwendung von Strukturierungstechniken	.217
6.3.1	Struktur-und Formteilätzen	.217
6.3.2	Drucken von Pasten	.219

6.3.3	LIGA-Verfahren	221
6.3.4	Leiterplattentechnik	221
<b>7</b>	<b>Prüfmethode für Schichten und Oberflächen</b>	<b>224</b>
7.1	Chemische Zusammensetzung	225
7.1.1	Elektronen-Strahl-Mikroanalyse (ESMA)	225
7.1.2	Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS)	226
7.1.3	UV- und IR-Spektroskopie	227
7.1.4	Kolorimetrie	230
7.2	Korrosionsverhalten	231
7.2.1	Kondenswasserklimatest-Prüfung	231
7.2.2	Salzsprühnebel-Test	231
7.2.3	Bewitterungsversuche	231
7.3	Schichtdicke	231
7.3.1	Mikroskopisches Verfahren	232
7.3.2	Coulometrisches Verfahren	233
7.3.3	Elektromagnetische Messung	234
7.3.4	Beta-Rückstreu-Verfahren	235
7.3.5	Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA)	236
7.3.6	Interferenz-Mess-Verfahren	236
7.3.7	Quarz-Monitor-Verfahren	237
7.4	Haftfestigkeit	237
7.4.1	Gitterschnittprüfung	238
7.4.2	Tiefungsprüfung nach ERICHSEN	239
7.4.3	Biegeversuch	239
7.4.4	Stirnabzugverfahren	240
7.4.5	Schälverfahren (Peel-Test)	240
7.5	Porendichte	241
7.5.1	Ferroxyltest	242
7.5.2	Test mit Diacetyldioxim (Dimethylglyoxim)	242
7.6	Morphologie und Topologie	243
7.7	Optisches Erscheinungsbild von Schichten	244
7.8	Benetzbarkeit	246
<b>8</b>	<b>Aspekte des Umweltschutzes und der Arbeitssicherheit</b>	<b>247</b>
8.1	Regenerierung und Entsorgung von Reinigungs- und Entfettungslösungen	247
8.1.1	Organische Lösungsmittel	247
8.1.2	Verminderung, Regenerierung und Entsorgung alkalisch wässriger Reinigungslösungen	249
8.1.3	Verminderung, Regenerierung und Entsorgung von wässrigen Reinigungslösungen, die Dispergiermittel enthalten	250
8.1.4	Regenerierung und Entsorgung von wässrigen Beiz- und Neutralisier- lösungen	250
8.1.5	Regenerierung von Spülwässern	251
8.1.5.1	Ionenaustauschkreislaufverfahren	252

8.1.5.2	Kreislaufverfahren mit Verdampfung . . . . .	252
8.1.5.3	Umkehrosmose im Kreislaufverfahren . . . . .	252
8.1.5.4	Kaskadenspülverfahren . . . . .	252
8.1.6	Metallrückgewinnung aus wässrigen Lösungen . . . . .	253
8.2	Entgiftung von Abwässern . . . . .	253
8.2.1	Cyanidentgiftung . . . . .	254
8.2.2	Chromatentgiftung . . . . .	254
8.3	Organische Beschichtung und Umweltschutz . . . . .	255
8.4	Arbeitssicherheit . . . . .	255
<b>Literaturverzeichnis</b>	. . . . .	<b>257</b>
<b>Bildnachweis</b>	. . . . .	<b>265</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	. . . . .	<b>266</b>