

# Inhaltsübersicht

- 1 Einführung**
- 2 Kunststoffauswahl, Probekörper und Modellgehäuse**
- 3 Beschichtungstechnische Grundlagen**
- 4 Schirmungstechnische Grundlagen**
- 5 Messung der Schirmdämpfung**
- 6 Messung weiterer Schichteigenschaften / Qualitätssicherung**
- 7 Naßchemische Beschichtungsverfahren**
- 8 Vakuumtechnische Beschichtungsverfahren**
- 9 Beschichten durch thermisches Spritzen**
- 10 Recycling beschichteter Kunststoffgehäuse**
- 11 Hinweise für Entwickler und Konstrukteure**
- 12 Stichwortverzeichnis**  
Anzeigenteil

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b> .....	15
Literatur zu Abschnitt 1 .....	20
<b>2 Kunststoffauswahl, Probekörper und Modellgehäuse</b> .....	21
2.1 Übersicht .....	21
2.2 Auswahl der Kunststoffe .....	21
2.3 Gestaltung der Probekörper .....	22
2.4 Konzept und Abmessungen der Modellgehäuse .....	22
Literatur zu Abschnitt 2 .....	25
<b>3 Beschichtungstechnische Grundlagen</b> .....	26
3.1 Übersicht .....	26
3.2 Überblick über Metallisierungsverfahren für Kunststoffe .....	26
3.3 Galvanotechnische Verfahren für die Metallisierung von Kunststoffen .....	28
3.3.1 Begriffsbestimmung .....	28

3.3.2	Elektrolytische Metallisierung von Kunststoffen .....	29
3.3.3	Chemische Metallisierung von Kunststoffen .....	30
3.4	Physikalische Verfahren für die Metallisierung von Kunststoffen .....	31
3.4.1	Begriffsbestimmung .....	31
3.4.2	Metallisieren von Kunststoffen durch Aufdampfen .....	32
3.4.3	Metallisieren von Kunststoffen durch Aufstäuben .....	34
3.4.4	Metallisieren von Kunststoffen durch thermisches Spritzen .....	34
3.4.5	Metallisieren von Kunststoffen durch Lackieren .....	34
3.5	Kombinierte Verfahren für die Metallisierung von Kunststoffen .....	35
	Literatur zu Abschnitt 3 .....	35
4	<b>Schirmungstechnische Grundlagen</b> .....	36
4.1	Übersicht .....	36
4.1.1	Gegen welche elektromagnetischen Phänomene muß ein Elektronikgehäuse schützen? .....	36
4.1.2	Was gibt es für Feldtypen? .....	37
4.1.3	Welche Schirmmaterialien bieten Schutz gegen die verschiedenen Felder? .....	38
4.1.4	Welche grundsätzlichen Probleme bestehen? .....	38
4.2	Welche Eigenschaften haben zeitlich veränderliche Felder? .....	39
4.2.1	Feldkenngrößen .....	39
4.2.2	Nahfeldbereich / Fernfeldbereich .....	40
4.2.3	Wie ändert sich die Feldintensität mit dem Abstand von der Feldquelle? .....	41
4.3	Wie werden die Dämpfungseigenschaften von Metallschichten charakterisiert? .....	41
4.3.1	Der Schirmdämpfungs faktor SE (Shielding Effectiveness) .....	41
4.3.2	Die Zahlenwerte des Schirmdämpfungs faktors und die Güte der Schirmung .....	42
4.4	Von welchen Einflußgrößen hängt der Schirmdämpfungs faktor ab? .....	43
4.4.1	Übersicht .....	43
4.4.2	Der Mechanismus der Schirmwirkung .....	43
4.4.3	Die Schirmdämpfungs faktoren für einlagige Schichten .....	48
4.4.4	Der Einfluß von Aperturen .....	49
4.5	Anforderungen an Abschirmschichten aus Sicht der EMV .....	50
	Literatur zu Abschnitt 4 .....	50
5	<b>Messung der Schirmdämpfung</b> .....	51
5.1	Übersicht .....	51
5.2	Schirmdämpfungsmessungen an beschichteten Probescheiben .....	52

5.2.1	Grundlagen .....	52
5.2.2	Meßverfahren für die Bestimmung der Schirmdämpfung im Nahfeldbereich .....	54
5.2.3	Meßverfahren für die Bestimmung der Schirmdämpfung im Fernfeldbereich .....	56
5.2.4	Vorbereitung der Messungen / Zielstellungen .....	58
5.2.4.1	Dynamikbereiche der Meßeinrichtungen .....	58
5.2.4.2	Meßkonzept .....	59
5.2.4.3	Einfluß des Kunststoffsubstrats auf die Schirmdämpfung ..	59
5.2.5	Messungen an Probescheiben im magnetischen Nahfeld .....	60
5.2.5.1	Flamm- und plasmagespritzte Schichten .....	61
5.2.5.2	PVD-Schichten .....	63
5.2.5.3	Chemisch-galvanische Schichten .....	64
5.2.5.4	Galvanisch nachverstärkte PVD-Schichten .....	66
5.2.5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse für das magnetische Nahfeld .....	67
5.2.6	Messungen an Probescheiben im Fernfeld .....	68
5.2.6.1	Flamm- und plasmagespritzte Schichten .....	68
5.2.6.2	PVD-Schichten .....	70
5.2.6.3	Chemisch-galvanische Schichten .....	72
5.2.6.4	Galvanisch nachverstärkte PVD-Schichten .....	73
5.2.6.5	Zusammenfassung der Ergebnisse für das Fernfeld .....	74
5.2.7	Vergleich von berechneten und gemessenen Schirmdämpfungswerten .....	75
5.2.8	Schlußfolgerungen .....	76
5.3	Kopplungsimpedanzmessungen an beschichteten Modellgehäusen .....	77
5.3.1	Meßaufbau / Meßverfahren .....	77
5.3.2	Vorbereitung der Messungen / Zielstellungen .....	78
5.3.3	Kopplungsimpedanzmessungen an Modellgehäusen .....	80
5.3.3.1	Selektiv chemisch-galvanisch beschichtete Modellgehäuse .....	80
5.3.3.2	PVD-beschichtete Modellgehäuse .....	80
5.3.3.3	Flammgespritzte Modellgehäuse .....	84
5.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der Kopplungsimpedanzmessungen .....	84
5.3.5	Korrelation zwischen Probescheiben- und Kopplungsimpedanzmessungen .....	86
5.4	Schirmdämpfungs- und Widerstandsmessungen an beschichteten Modellgehäusen .....	87
5.4.1	Vorbemerkungen / Zielsetzungen .....	87
5.4.2	Meßaufbau und Meßverfahren für Feldmessungen .....	90
5.4.2.1	Meßverfahren für den magnetischen Nahfeldbereich 10 kHz - 10 MHz .....	90

5.4.2.2	Meßverfahren für den elektrischen Nahfeldbereich 30 MHz - 1 GHz .....	91
5.4.2.3	Meßverfahren für den Fernfeldbereich 30 MHz - 1 GHz .....	92
5.4.2.4	Meßverfahren zur Bestimmung der Funkstörfeldstärke 30 MHz - 1 GHz .....	94
5.4.3	Schirmdämpfungsmessungen an beschichteten Modellgehäusen .....	94
5.4.3.1	Schirmdämpfung im magnetischen Nahfeldbereich .....	94
5.4.3.2	Schirmdämpfung im elektrischen Nahfeldbereich .....	99
5.4.3.3	Schirmdämpfung im Fernfeldbereich .....	101
5.4.4	Funkstörfeldstärkemessungen an beschichteten Modellgehäusen .....	103
5.4.5	Widerstandsmessungen an beschichteten Modellgehäusen .....	105
5.4.6	Korrelation zwischen Kopplungsimpedanz und Schirmdämpfung .....	106
5.4.7	Korrelation zwischen Probescheiben und Modellgehäusever- messungen .....	108
5.4.8	Korrelation zwischen Oberflächenwiderstand und Schirmdämpfung .....	111
5.4.9	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse .....	112
	Literatur zu Abschnitt 5 .....	114
<b>6</b>	<b>Messungen weiterer Schichteigenschaften / Qualitätsmanagement .....</b>	<b>116</b>
6.1	Übersicht .....	116
6.2	Bestimmung der Schichtdicke und der Aufwachsraten .....	116
6.2.1	Schwingquarz-Verfahren [6.1, 6.2] .....	116
6.2.2	Abtast-Verfahren .....	118
6.2.3	Kalottenschliff-Verfahren .....	118
6.2.4	Coulometrisches-Verfahren .....	119
6.2.5	Widerstands-Verfahren .....	119
6.3	Bestimmung der Haftfestigkeit .....	121
6.3.1	Definition der Haftfestigkeit .....	121
6.3.2	Modelle für die Haftung von Metallen auf Kunststoffen .....	121
6.3.3	Einflußgrößen auf die Haftfestigkeit .....	123
6.3.4	Meßverfahren für die Haftfestigkeit dünner Schichten auf Kunststoffen .....	123
6.3.4.1	Stirnabzugstest .....	123
6.3.4.2	Schältest .....	125
6.3.4.3	Scotch-Tape-Test .....	125
6.3.4.4	Gitterschnittest .....	127
6.4	Bestimmung des Flächenwiderstandes .....	127
6.5	Qualitätsmanagement durch standardisierte Prüfverfahren .....	130
6.5.1	Bausteine des Qualitätsmanagements .....	130
6.5.2	Standardisierung der Meß- und Prüftechnik .....	131

6.5.2.1	Reproduzierbarkeit, Genauigkeit, Vergleichbarkeit, Richtigkeit .....	131
6.5.2.2	Normen und normative Dokumente .....	131
6.5.3	Zertifizierung von Verfahren und Produkten .....	132
6.5.4	Akkreditierung von Prüflaboratorien .....	133
6.5.5	Stand und Defizite der Normung .....	133
6.5.5.1	Qualitätssicherung bei der Beschichtung .....	133
6.5.5.2	Schichteigenschaften und Bauteilverhalten .....	134
6.5.5.3	Randwinkelmessung .....	134
6.5.5.4	Flächenwiderstand .....	135
6.5.5.5	Schichtdickenmessung .....	135
6.5.5.6	Schichthaftung .....	140
6.5.5.7	Schirmdämpfungsmessung .....	142
6.5.5.8	Referenzmaterialien .....	143
	Literatur zu Abschnitt 6 .....	143
<b>7</b>	<b>Naßchemische Beschichtungsverfahren</b> .....	144
7.1	Übersicht .....	144
7.2	Verfahren für die Metallisierung von Kunststoffen .....	144
7.2.1	Einseitige Metallisierung .....	145
7.2.1.1	Verfahrensbeschreibung .....	145
7.2.1.2	Anlagentechnik und Prozeßsicherheit .....	149
7.2.2	Beidseitige Metallisierung .....	151
7.2.2.1	Verfahrensbeschreibung .....	152
7.2.2.2	Beschichtungsverhalten einzelner Kunststoffe .....	155
7.3	Einfluß der Vorbehandlung auf den Oberflächenzustand des Kunststoffes ..	158
7.3.1	Oberflächenstruktur .....	158
7.3.2	Benetzungsverhalten .....	159
7.3.3	Oberflächenrauheit .....	159
7.3.4	Chemische Veränderungen .....	161
7.4	Auftragsabwicklung in einer Lohngalvanik .....	162
7.5	Schichteigenschaften / Qualitätssicherung .....	163
7.5.1	Schichtdicke .....	163
7.5.2	Haftfestigkeit .....	163
7.5.3	Langzeitverhalten .....	164
7.5.4	Elektrische Leitfähigkeit .....	164
7.6	Umweltaspekte bei der naßchemischen Metallisierung von Kunststoffen .....	165
7.7	Zusammenfassende Bewertung der Verfahren und Empfehlungen .....	167
	Literatur zu Abschnitt 7 .....	168
<b>8</b>	<b>Vakuumtechnische Beschichtungsverfahren</b> .....	169
8.1	Übersicht .....	169
8.2	Thermisches Verdampfen und Sputtern .....	169

8.2.1	Verdampfen im Vakuum .....	169
8.2.1.1	Verfahrensbeschreibung .....	169
8.2.1.2	Elektronenstrahlverdampfen .....	171
8.2.2	Kathodenerstäuben (Sputtern) .....	173
8.2.2.1	Verfahrensbeschreibung .....	174
8.2.2.2	Magnetron-Sputtern .....	174
8.2.3	Kombinierte Anlagen- und Verfahrenstechnik .....	177
8.2.4	Anlagentechnik für EMV-Metallisierung .....	177
8.2.5	Technologische Aspekte .....	178
8.2.6	Schichteigenschaften .....	179
8.2.7	Zusammenfassende Bewertung .....	184
8.3	Plasmagestütztes Aufdampfen .....	184
8.3.1	Das PLASCO®-Verfahren .....	185
8.3.1.1	Verfahrensbeschreibung und Anlagentechnik .....	185
8.3.1.2	Technologische Aspekte .....	188
8.3.1.3	Schichteigenschaften .....	188
8.3.1.4	Anwendungsgebiete .....	188
8.3.2	Lichtbogengestütztes Aufdampfen (VALICO®-Verfahren) .....	188
8.3.2.1	Verfahrensbeschreibung und Anlagentechnik .....	188
8.3.2.2	Technologische Aspekte .....	190
8.3.2.3	Schichteigenschaften .....	191
8.3.2.4	Anwendungsgebiete .....	194
8.3.3	Zusammenfassende Bewertung .....	194
8.4	Transparente Abschirmschichten .....	194
8.4.1	Besonderheiten .....	194
8.4.2.	Beschichtungsverfahren und Anlagentechnik .....	195
8.4.3	Schichteigenschaften .....	195
8.4.4	Anwendungsgebiete .....	197
	Literatur zu Abschnitt 8 .....	198
<b>9</b>	<b>Beschichten durch thermisches Spritzen .....</b>	<b>199</b>
9.1	Übersicht .....	199
9.2	Draht- und Pulverflammspritzen .....	200
9.2.1	Verfahrensbeschreibung und Anlagentechnik .....	200
9.2.2	Vor- und Nachteile/Anwendungsbeispiele .....	201
9.2.3	Technologische Aspekte .....	201
9.2.3.1	Bauteilvorbehandlung .....	201
9.2.3.2	Bauteilkühlung .....	202
9.2.4	Schichteigenschaften .....	202
9.2.5	Zusammenfassung/Bewertung .....	205
9.3	Atmosphärisches Plasmaspritzen .....	206
9.3.1	Verfahrensbeschreibung und Anlagentechnik .....	206
9.3.2	Vor- und Nachteile/Anwendungsbeispiele .....	206

9.3.3	Technologische Aspekte .....	207
9.3.3.1	Bauteilvorbehandlung .....	207
9.3.3.2	Bauteilkühlung .....	207
9.3.4	Schichteigenschaften .....	208
9.3.5	Zusammenfassung/Bewertung .....	210
9.4	Atmosphärisches Lichtbogenspritzen .....	210
9.4.1	Verfahrensbeschreibung und Anlagentechnik .....	210
9.4.2	Vor- und Nachteile / Anwendungsbeispiele .....	212
9.4.3	Technologische Aspekte .....	213
9.4.3.1	Werkstoffe .....	213
9.4.3.2	Technologische Parameter .....	214
9.4.3.3	Vorbehandlung / Oberflächenzustand .....	215
9.4.4	Erzielbare Schichteigenschaften .....	216
9.4.4.1	Haftzugfestigkeit .....	216
9.4.4.2	Abschirmeigenschaften .....	220
9.4.4.3	Weitere Eigenschaften .....	225
9.4.5	Umweltaspekte .....	226
9.4.6	Zusammenfassung / Ausblick .....	226
	Literatur zu Abschnitt 9 .....	227
10	<b>Recycling beschichteter Kunststoffgehäuse .....</b>	228
10.1	Übersicht .....	228
10.2	Einführung in die Problemstellung .....	228
10.3	Verfahrensschritte beim mechanischen Recycling metallisierter Kunststoffe .....	229
10.3.1	Vorbehandlung .....	229
10.3.2	Aufschlußzerkleinerung .....	230
10.3.3	Sortierung .....	230
10.4	Aufschlußzerkleinerung .....	230
10.4.1	Zerkleinerungsgeräte .....	230
10.4.1.1	Hammermühle (Condux-Laborhammermühle) .....	230
10.4.1.2	Schlagkreuzmühle „Record A“ .....	231
10.4.1.3	Schneidgranulator GS 300/200 .....	231
10.4.1.4	Pralltellermühle .....	231
10.4.2	Voruntersuchungen zum Zerkleinerungsverhalten der Kunststoffe .....	231
10.4.2.1	Zerkleinerungsversuche mit der Hammermühle .....	232
10.4.2.2	Zerkleinerungsversuche mit der Schlagkreuzmühle .....	233
10.4.2.3	Zerkleinerungsversuche mit dem Schneidgranulator .....	233
10.4.2.4	Schlußfolgerungen für die Aufschlußversuche .....	233
10.4.3	Aufschlußuntersuchungen an beschichteten Kunststoffen .....	233
10.5	Sortierung .....	234
10.5.1	Sichtung .....	234
10.5.2	Setzsortierung .....	235

10.5.3 Herdsortierung .....	236
10.5.4 Magnet- und Elektroscheidung .....	236
10.6 Ergebnisse mit beschichteten Kunststoffen .....	236
10.6.1 Flammgespritzte Kunststoffe .....	239
10.6.2 Vakuumtechnisch beschichtete Kunststoffe .....	239
10.6.3 Naßbeschichtete Kunststoffe (chemisch bzw. chemisch/ galvanisch) .....	239
10.6.3.1 Aufschlußversuche mit dem Schneidgranulator .....	240
10.6.3.2 Aufschlußversuche mit der Pralltellermühle .....	240
10.7 Spritzgußversuche mit Recyclingmaterial .....	240
10.8 Zusammenfassung der Ergebnisse und Auswertung .....	241
10.9 Technologievorschlag und Kostenabschätzung .....	242
Literatur zu Abschnitt 10 .....	243
<b>11 Hinweise für Entwickler und Konstrukteure .....</b>	<b>244</b>
11.1 Übersicht .....	244
11.2 Hinweise zur Gehäusekonstruktion .....	244
11.2.1 Anforderungen an die Gehäusekonstruktion .....	244
11.2.2 EMV-gerechtes Konstruieren von Gehäusen .....	245
11.2.3 Beschichtungsgerechtes Konstruieren von Gehäusen .....	245
11.2.3.1 Anforderungen der galvanotechnischen Metallisierung ..	245
11.2.3.2 Anforderungen der vakuumtechnischen Metallisierung ..	248
11.2.3.3 Anforderungen des thermischen Spritzens .....	253
11.3 Hinweise zur Auslegung von Spritzgießwerkzeugen und zum Spritzgießprozeß .....	255
11.3.1 Allgemeines .....	255
11.3.2 Zur Auslegung von Spritzgießwerkzeugen .....	256
11.3.3 Hinweise zum Spritzgießprozeß .....	260
11.4 Auswahl des Beschichtungsverfahrens .....	262
11.4.1 Vorgehensweise bei der Auswahl eines Beschichtungsverfahrens .....	262
11.4.2 Eingangsgrößen für die Bewertung des Beschichtungsverfahrens .....	262
11.4.3 Ermittlung des technisch geeigneten Beschichtungsverfahrens .....	264
11.4.4 Beschichtungskosten .....	267
Literatur zu Abschnitt 11 .....	268
<b>12 Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>269</b>
<b>Anzeigenteil</b>	