



Bibliothek des technischen Wissens

Werkstofftechnik für Elektroberufe

Eckhard Ignatowitz, Otto Spielvogel, Klaus Tkotz

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises: Klaus Tkotz

3. Auflage

VERLAG EU
Düsselberge

HLuHB Darmstadt



15938358

, Vollmer GmbH & Co.
iten

Europa-Nr.: 51517

Inhaltsverzeichnis

1	Werkstoffe der Elektrotechnik	7
2	Naturwissenschaftliche Grundlagen der Werkstoffkunde	10
2.1	Physikalische Grundlagen	10
2.1.1	Körper und Stoff	10
2.1.2	Bewegung der Körper (Bewegungslehre)	13
2.1.3	Kräfte	16
2.1.4	Mechanische Beanspruchung	20
2.1.5	Aufbau der Stoffe	22
2.1.6	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	24
2.1.7	Ausdehnung der Körper beim Erwärmen	27
2.1.8	Temperatur	28
2.1.9	Zustandsänderung der Stoffe	29
2.1.10	Ausbreitung der Wärme	31
2.1.11	Wärmeenergie	31
2.2	Chemische Grundlagen	33
2.2.1	Stoffe und Stoffänderungen	33
2.2.2	Sauerstoff und Oxidation	33
2.2.3	Chemische Zeichensprache	35
2.2.4	Wasserstoff und Redox-Reaktion	37
2.2.5	Atome und Ionen	38
2.2.6	Chemische Bindung	39
2.2.7	Säuren	41
2.2.8	Basen (Laugen)	42
2.2.9	Salze	43
2.2.10	Periodensystem der Elemente	44
2.2.11	Kohlenwasserstoffe	46
2.2.12	Alkanole und Alkanale	50
2.2.13	Carbonsäuren	51
2.2.14	Ester	52
2.2.15	Organische Stickstoffverbindungen	52
2.2.16	Tabellarische Übersicht organischer Verbindungen	53
3	Konstruktionswerkstoffe	54
3.1	Einteilung der Konstruktionswerkstoffe	54
3.2	Roheisengewinnung und Stahlherstellung	56
3.3	Atomare Vorgänge bei der Metallerzeugung	58
3.4	Verarbeitung des Stahls zu Halbzeugen	59
3.5	Eisen- und Stahl-Konstruktionswerkstoffe	62
3.5.1	Stahlbaustähle	63
3.5.2	Stähle in Elektromaschinen	66
3.5.3	Werkzeugstähle	69
3.5.4	Eisen- und Stahl-Gusswerkstoffe	70
3.6	Der innere Aufbau der Metalle	71
3.6.1	Gefüge und kristalline Struktur	71
3.6.2	Die Kristallgittertypen der Metalle	72
3.6.3	Der reale kristalline Aufbau	72
3.6.4	Kristalline Struktur und Eigenschaften	73
3.6.5	Gefüge und Eigenschaften	74
3.6.6	Gefügearten der Eisen- und Stahl-Werkstoffe	75
3.6.7	Das Eisen-Kohlenstoff-Zustands-schaubild	77
3.7	Wärmebehandlung der Stähle	79
3.7.1	Glühen	79
3.7.2	Härten	80
3.7.3	Gittervorgänge und Gefüge-veränderungen	81
3.7.4	Vergüten	82
3.7.5	Härten der Randzone	83
3.7.6	Wärmebehandlung der Stahlgruppen	84
3.8	Kupfer- und Kupferlegierungen	85
3.8.1	Kupfergewinnung	85
3.8.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung	86
3.8.3	Kupfersorten	86
3.8.4	Niedrig legierte Kupferwerkstoffe	87
3.8.5	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	88
3.8.6	Kupfer-Zinn-Legierungen	89
3.8.7	Kupfer-Nickel-Legierungen	90
3.8.8	Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen	90
3.9	Aluminium und Aluminiumlegierungen	91
3.9.1	Aluminium-Herstellung	91
3.9.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung	92
3.9.3	Aluminium-Werkstoffgruppen	93
3.9.4	Nichtaushärtbare Aluminium-Werkstoffe	94
3.9.5	Aushärtbare Aluminium-Knetlegierungen	94
3.9.6	Aluminium-Gusswerkstoffe	94
3.10	Werkstoffe für Hochtemperatur- und Vakuumtechnik	95
3.11	Niedrigschmelzende Metalle	96
3.12	Legierungsmetalle	97
3.13	Edelmetalle	97
3.14	Sinterwerkstoffe	98
3.14.1	Herstellung von Sinterteilen	98
3.14.2	Typische Verwendung von Sintermetallen	99
3.14.3	Hartmetalle	100
3.15	Korrosion und Korrosionsschutz	101
3.15.1	Elektrochemische Korrosionsarten	101
3.15.2	Chemische Korrosion	104
3.15.3	Erscheinungsformen der Korrosion	104
3.15.4	Maßnahmen zur Korrosionsvermeidung	105
3.15.5	Korrosionsschutz von Eisen- und Stahlwerkstoffen	105
3.15.6	Korrosion von Kupferwerkstoffen	107
3.15.7	Korrosion von Aluminiumwerkstoffen	108
3.15.8	Korrosionsverhalten weiterer Werkstoffe	108
3.16	Kunststoffe (Plaste)	109
3.16.1	Eigenschaften und Verwendung	109
3.16.2	Herstellung und innerer Aufbau	110
3.16.3	Technologische Einteilung	111
3.16.4	Thermoplaste	112
3.16.5	Duroplaste	115
3.16.6	Elastomere (Elaste, Gummi, Kautschuk)	116
3.16.7	Formgebung der Kunststoffe	117

3.17	Verbundwerkstoffe	119
3.17.1	Innerer Aufbau	119
3.17.2	Verbundstoffe auf Kunststoffbasis	119
3.17.3	Trennscheiben, Schleifkörper, Hartmetalle	120
3.17.4	Schichtverbundwerkstoffe	120
3.18	Werkstoffprüfung	121
3.18.1	Technologische Eignungsprüfungen	121
3.18.2	Kerbschlagbiegeversuch	121
3.18.3	Zugversuch	122
3.18.4	Weitere Festigkeits-Kennwerte	123
3.18.5	Härteprüfungen	124
3.18.6	Untersuchungen des inneren Aufbaus	125

4 Hilfsstoffe 126

4.1	Lotwerkstoffe	126
4.1.1	Lötverfahren und Löttemperaturen	126
4.1.2	Vorgänge beim Weichlöten	126
4.1.3	Kurzbezeichnungen der Lotwerkstoffe	127
4.1.4	Weichlote	127
4.1.5	Hartlote	129
4.2	Schmierstoffe und Kühlenschmierstoffe	130
4.3	Klebstoffe	132

5 Leiterwerkstoffe 135

5.1	Elektrische Grundlagen	135
5.1.1	Leitungsvorgang in Metallen	135
5.1.2	Einflüsse auf den Leitungsvorgang	136
5.1.3	Supraleitung	138
5.2	Leiterwerkstoff Kupfer	139
5.2.1	Reinkupfer (unlegiertes Kupfer)	139
5.2.2	Kupferlegierungen	140
5.3	Leiterwerkstoff Aluminium	142
5.3.1	Unlegiertes Aluminium	142
5.3.2	Aluminiumlegierungen	143

6 Kontaktwerkstoffe 144

6.1	Einteilung der Kontakte	144
6.2	Anforderungen an Kontaktwerkstoffe	144
6.3	Begriffe der Kontakttechnik	145
6.3.1	Kontaktwiderstand	145
6.3.2	Kontaktverschleiß	145
6.3.3	Kleben und Verschweißen von Kontakten	146
6.4	Eigenschaften von Kontaktwerkstoffen	147
6.4.1	Reine Metalle als Kontaktwerkstoffe	147
6.4.2	Kontaktlegierungen und Sinter-Verbundwerkstoffe	150
6.5	Schichtverbundkontakte	152
6.5.1	Kontaktbimetalle	152
6.5.2	Thermobimetalle	152
6.6	Kohlehaltige Kontaktwerkstoffe	153

7 Widerstandswerkstoffe 155

7.1	Elektrotechnische Grundlagen	155
7.2	Heizleiterwerkstoffe	158
7.3	Technische Widerstände	160
7.4	Schichtschaltungen	162
7.4.1	Dickschicht-Technik	162
7.4.2	Dünnschicht-Technik	163
7.4.3	Hybrid-Technik	164

8 Isolierstoffe 165

8.1	Einteilung und Anforderungen	165
8.2	Elektrische Eigenschaften und ihre Messung	166
8.2.1	Durchgangswiderstand	166
8.2.2	Oberflächenwiderstand	166
8.2.3	Durchschlagfestigkeit	167
8.2.4	Lichtbogenfestigkeit	167
8.2.5	Kriechstromfestigkeit	168
8.2.6	Elektrostatische Aufladung	169
8.2.7	Permittivität	169
8.2.8	Dielektrischer Verlustfaktor	169
8.3	Wichtige nichtelektrische Eigenschaften	170
8.4	Feste Isolierstoffe	171
8.5	Organische Isolierstoffe	171
8.5.1	Thermoplaste	172
8.5.2	Duroplaste	175
8.5.3	Elastomere	177
8.6	Anorganische Isolierstoffe	178
8.6.1	Keramik-Isolierstoffe	178
8.6.2	Glas	180
8.6.3	Glaskeramik	181
8.6.4	Glimmer	181
8.7	Flüssige Isolierstoffe	182
8.8	Gasförmige Isolierstoffe	184

9 Halbleiterwerkstoffe 186

9.1	Stromleitung in Metallen und Halbleitern	187
9.2	Ausgangsstoffe für Halbleiter	195
9.3	Herstellung der wichtigsten Halbleiterwerkstoffe	199
9.3.1	Silicium Si	199
9.3.2	Germanium Ge	199
9.3.3	Galliumarsenid GaAs	200
9.3.4	Indiumarsenid InAs	200
9.3.5	Indiumantimonid InSb	200
9.3.6	Indiumantimonid-Nickelantimonid	201
9.4	Weiterverarbeiten des Halbleiterwerkstoffs	202
9.5	Anwendungen	211
9.5.1	Heißleiter	211
9.5.2	Kalteiter	212

9.5.3	Spannungsabhängige Widerstände	213
9.5.4	Sperrsicht-Bauelemente	213
9.5.5	Selen-Gleichrichter	213
9.5.6	Optoelektronische Bauelemente	214
9.5.7	Fotowiderstände	214
9.5.8	Hall-Generatoren	215
9.6	Herstellen integrierter Schaltungen	216
9.6.1	Reinigen der Oberfläche von Siliciumscheiben	218
9.6.2	Oxidieren der Siliciumscheiben	220
9.6.3	Fotolack (Fotoresist)	222
9.6.4	Herstellen der Fotomasken	222
9.6.5	Belichten mit der Fotomaske	223
9.6.6	Abätzen des Siliciumdioxids	225
9.6.7	Metallisierung	226
9.6.8	Endmontage der Chips	227

10 Magnetwerkstoffe 230

10.1	Magnetisches Feld	230
10.2	Magnetische Eigenschaften der Stoffe	231
10.3	Magnetisierung ferromagnetischer Stoffe	232
10.4	Ferri- und Antiferromagnetismus	233
10.5	Elektromagnetismus	234
10.5.1	Leitermagnetfeld	234
10.5.2	Magnetfeld einer Spule	234
10.6	Magnetische Größen und Begriffe	235
10.6.1	Durchflutung	235
10.6.2	Magnetische Feldstärke	235
10.6.3	Magnetischer Fluss	235
10.6.4	Magnetische Flussdichte	235
10.6.5	Permeabilität	236
10.6.6	Magnetische Polarisation	237
10.6.7	Hysteresekurve	237
10.6.8	Energieprodukt bei Dauermagnetwerkstoffen	238
10.6.9	Hystereseverluste	239
10.6.10	Wirbelstromverluste	239
10.6.11	Ummagnetisierungsverluste	240
10.6.12	Magnetische Scherung	240
10.7	Entmagnetisierung	241
10.8	Magnetostriktion	242
10.9	Magnetisch weiche Werkstoffe	243
10.9.1	Magnetisch weiches Eisen	243
10.9.2	Magnetisch weiche Ferrite	246
10.9.3	Pulververbundwerkstoffe	247
10.9.4	Amorphe Metalle (Metallgläser)	248
10.10	Magnetisch harte Werkstoffe	249
10.10.1	Metallische magnetisch harte Werkstoffe	250
10.10.2	Seltenerdmetall-Magnete	252

10.10.3	Keramische magnetisch harte Werkstoffe	253
10.10.4	Kunststoffgebundene Hartferrite	254

10.11 Magnetisch halbharte Werkstoffe 255

11 Gedruckte Schaltungen und SMD-Technik 256

11.1	Gedruckte Schaltungen	256
11.1.1	Basismaterial	256
11.1.2	Erstellen des Leiterbildes	257
11.1.3	Herstellung gedruckter Schaltungen	259
11.1.4	Mehrlagengeraderplatten (Multilayer)	262

11.2 Oberflächenmontage (SMD-Technik) 263

11.2.1	Bauelemente zur Oberflächenmontage	263
11.2.2	Bestückungsverfahren	263
11.2.3	Lötverfahren bei der SMD-Technik	264

12 Besondere Werkstoffe 265

12.1	Flüssigkristalle	265
12.2	Solarzellen	267
12.3	Lichtwellenleiter	269
12.4	Piezoelektrische Werkstoffe	272
12.4.1	Piezoeffekt	272
12.4.2	Direkter und indirekter Piezoeffekt	273
12.4.3	Werkstoffkennwerte	273
12.4.4	Herstellung piezokeramischer Werkstoffe	274
12.4.5	Anwendung piezoelektrischer Keramiken	275

13 Umweltschutz, Arbeitssicherheit 277

13.1	Umweltbelastung bei der Erzeugung der Werkstoffe	277
13.2	Umweltbelastungen bei der Fertigung	277
13.3	Abwasserreinigung eines Elektrobetriebs	279
13.4	Wiederverwertung (Recycling)	279
13.5	Entsorgung nicht verwertbarer Werkstoffe	281
13.6	Gefährliche Arbeitsstoffe	281
	Firmenverzeichnis	283
	Sachwortverzeichnis	284