

Inhaltsverzeichnis

1	Werkstoffe der Elektrotechnik	7	3.7.2	Härten	86
			3.7.3	Gittervorgänge und Gefügeveränderungen	87
			3.7.4	Vergüten	88
			3.7.5	Härten der Randzone	89
			3.7.6	Wärmebehandlung der Stahlgruppen	90
2	Naturwissenschaftliche Grundlagen der Werkstoffkunde	10	3.8	Kupfer und Kupferlegierungen	91
2.1	Physikalische Grundlagen	10	3.8.1	Kupfergewinnung	91
2.1.1	Körper und Stoff	10	3.8.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung	92
2.1.2	Bewegung der Körper (Bewegungslehre)	13	3.8.3	Kupfersorten (unlegiert)	92
2.1.3	Kräfte	16	3.8.4	Niedrig legierte Kupferwerkstoffe	93
2.1.4	Mechanische Beanspruchung der Werkstoffe	20	3.8.5	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	94
2.1.5	Aufbau der Stoffe	22	3.8.6	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze)	95
2.1.6	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	24	3.8.7	Kupfer-Nickel-Legierungen	96
2.1.7	Ausdehnung der Körper beim Erwärmen	27	3.8.8	Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)	96
2.1.8	Temperatur	28	3.9	Aluminium und Aluminiumlegierungen	97
2.1.9	Zustandsänderung der Stoffe	29	3.9.1	Aluminium-Herstellung	97
2.1.10	Ausbreitung der Wärme	31	3.9.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung	98
2.1.11	Wärmeenergie	32	3.9.3	Aluminium-Werkstoffgruppen	99
2.2	Chemische Grundlagen	33	3.9.4	Nichtaushärtbare Aluminium-Werkstoffe	100
2.2.1	Atome	34	3.9.5	Aushärtbare Al-Knetlegierungen	100
2.2.2	Periodensystem der Elemente	35	3.9.6	Aluminium-Gusswerkstoffe	100
2.2.3	Bindungsverhältnisse	37	3.10	Werkstoffe für Hochtemperatur- und Vakuumtechnik	101
2.2.4	Chemische Formeln und Namen	46	3.11	Niedrigschmelzende Metalle	102
2.2.5	Chemische Reaktionen	47	3.12	Legierungsmetalle	103
2.2.6	Oxidation, Reduktion, Redoxreaktion	48	3.13	Edelmetalle	103
2.2.7	Säuren	49	3.14	Sinterwerkstoffe	104
2.2.8	Basen (Laugen)	50	3.14.1	Herstellung von Sinterteilen (Pulvermetallurgie)	104
2.2.9	Salze	51	3.14.2	Typische Verwendung von Sintermetallen	105
2.2.10	Kohlenwasserstoffe	52	3.14.3	Hartmetalle	106
2.2.11	Alkanole (Alkohole) und Alkanale (Aldehyde)	56	3.15	Korrosion und Korrosionsschutz	107
2.2.12	Carbonsäuren	58	3.15.1	Elektrochemische Korrosionsarten	107
2.2.13	Ester	58	3.15.2	Chemische Korrosion	110
2.2.14	Organische Stickstoffverbindungen	59	3.15.3	Erscheinungsformen der Korrosion	110
2.2.15	Tabellarische Übersicht organischer Verbindungen	59	3.15.4	Maßnahmen zur Korrosionsvermeidung	111
3	Konstruktionswerkstoffe	60	3.15.5	Korrosionsschutz von Eisen- und Stahlwerkstoffen	111
3.1	Einteilung der Konstruktionswerkstoffe	60	3.15.6	Korrosion von Kupferwerkstoffen	113
3.2	Roheisengewinnung	62	3.15.7	Korrosion von Aluminiumwerkstoffen	114
3.3	Stahlgewinnung	62	3.15.8	Korrosionsverhalten weiterer Werkstoffe	114
3.4	Verarbeitung des Stahls zu Halbzeugen	65	3.16	Kunststoffe (Plaste)	115
3.5	Eisen- und Stahl-Konstruktionswerkstoffe	68	3.16.1	Eigenschaften und Verwendung	115
3.5.1	Baustähle	69	3.16.2	Herstellung und innerer Aufbau	116
3.5.2	Stähle in Elektromaschinen	72	3.16.3	Technologische Einteilung	117
3.5.3	Werkzeugstähle	75	3.16.4	Thermoplaste	118
3.5.4	Eisen- und Stahl-Gusswerkstoffe	76	3.16.5	Duroplaste	121
3.6	Innerer Aufbau der Metalle	77	3.16.6	Elastomere (Elaste, Gummi, Kautschuk)	122
3.6.1	Gefüge und kristalline Struktur	77	3.16.7	Formgebung der Kunststoffe	123
3.6.2	Kristallgittertypen der Metalle	78	3.17	Verbundwerkstoffe	125
3.6.3	Realer kristalliner Aufbau	78	3.17.1	Innerer Aufbau	125
3.6.4	Kristalline Struktur und Eigenschaften	79	3.17.2	Verbundwerkstoffe auf Kunststoffbasis	125
3.6.5	Gefüge und Eigenschaften	80	3.17.3	Trennscheiben, Schleifkörper, Hartmetalle	126
3.6.6	Gefügearten der Eisen- und Stahl-Werkstoffe	81	3.17.4	Schichtverbundwerkstoffe	126
3.6.7	Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD)	83	3.18	Werkstoffprüfung	127
3.7	Wärmebehandlung der Stähle	85	3.18.1	Technologische Eignungsprüfungen	127
3.7.1	Glühen	85	3.18.2	Kerbschlagbiegeversuch	127
			3.18.3	Zugversuch	128

3.18.4	Weitere Festigkeitsprüfungen	129	7.2	Heizleiterwerkstoffe	164
3.18.5	Härteprüfungen	130	7.3	Technische Widerstände	166
3.18.6	Untersuchungen des inneren Aufbaus	131	7.4	Schichtschaltungen	168
4	Hilfsstoffe	132	7.4.1	Dickschicht-Technik	168
4.1	Lotwerkstoffe	132	7.4.2	Dünnschicht-Technik	169
4.1.1	Lötverfahren und Löttemperaturen	132	7.4.3	Hybrid-Technik	170
4.1.2	Vorgänge beim Weichlöten	132	8	Isolierstoffe	171
4.1.3	Kurzbezeichnungen der Lotwerkstoffe	133	8.1	Einteilung und Anforderungen	171
4.1.4	Weichlote	133	8.2	Elektrische Eigenschaften und ihre Messung	172
4.1.5	Hartlote	135	8.2.1	Durchgangswiderstand und spezifischer Durchgangswiderstand	172
4.2	Schmierstoffe und Kühlschmierstoffe	136	8.2.2	Oberflächenwiderstand	172
4.2.1	Schmierstoffe	136	8.2.3	Durchschlagfestigkeit	173
4.2.2	Kühlschmierstoffe	137	8.2.4	Lichtbogenfestigkeit	173
4.3	Klebstoffe	138	8.2.5	Kriechstromfestigkeit	174
4.3.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe	138	8.2.6	Elektrostatische Aufladung	174
4.3.2	Reaktionsklebstoffe	139	8.2.7	Permittivität	175
4.3.3	Verarbeiten der Klebstoffe	140	8.2.8	Dielektrischer Verlustfaktor	175
5	Leiterwerkstoffe	141	8.3	Wichtige nichtelektrische Eigenschaften von Isolierstoffen	176
5.1	Elektrische Grundlagen	141	8.4	Feste Isolierstoffe	177
5.1.1	Leitungsvorgang in Metallen	141	8.5	Organische Isolierstoffe	177
5.1.2	Einflüsse auf den Leitungsvorgang	142	8.5.1	Thermoplaste	178
5.1.3	Supraleitung	144	8.5.2	Duroplaste	181
5.2	Leiterwerkstoff Kupfer	145	8.5.3	Elastomere	183
5.2.1	Unlegiertes Kupfer	145	8.6	Anorganische Isolierstoffe	184
5.2.2	Kupferlegierungen	146	8.6.1	Keramik-Isolierstoffe	184
5.3	Leiterwerkstoff Aluminium	148	8.6.2	Glas	186
5.3.1	Unlegiertes Aluminium	148	8.6.3	Glaskeramik	187
5.3.2	Aluminiumlegierungen	149	8.6.4	Glimmer	187
6	Kontaktwerkstoffe	150	8.7	Flüssige Isolierstoffe	188
6.1	Einteilung der Kontakte	150	8.7.1	Allgemeine Anforderungen	188
6.2	Anforderungen an Kontaktwerkstoffe	150	8.7.2	Mineralische Isolieröle	188
6.3	Begriffe der Kontakttechnik	151	8.7.3	Synthetische Isolierflüssigkeiten	189
6.3.1	Kontaktwiderstand	151	8.8	Gasförmige Isolierstoffe	190
6.3.2	Kontaktverschleiß	151	8.8.1	Eigenschaften und Einteilung	190
6.3.3	Kleben und Verschweißen von Kontakten	152	8.8.2	Natürliche Isoliergase	190
6.4	Eigenschaften von Kontaktwerkstoffen	153	8.8.3	Synthetische Isoliergase	191
6.4.1	Reine Metalle als Kontaktwerkstoffe	153	9	Halbleiterwerkstoffe	192
6.4.2	Kontaktlegierungen und Sinter-Verbundkontakte	156	9.1	Stromleitung in Metallen und Halbleitern	193
6.5	Schichtverbundkontakte	158	9.1.1	Leitungsvorgang in Metallen	193
6.5.1	Kontaktbimetalle	158	9.1.2	Leitungsvorgang in Halbleitern	193
6.5.2	Thermobimetalle	158	9.1.3	Störstellenleitung	198
6.6	Kohlehaltige Kontaktwerkstoffe (Elektrokohle)	159	9.1.4	Innerer Fotoeffekt	200
7	Widerstandswerkstoffe	161	9.2	Ausgangsstoffe für Halbleiter	201
7.1	Elektrotechnische Grundlagen	161	9.2.1	Elementhalbleiter	201
7.1.1	Spezifischer elektrischer Widerstand	161	9.2.2	Verbindungshalbleiter	202
7.1.2	Spezifische elektrische Leitfähigkeit	161	9.3	Herstellung der wichtigsten Halbleiterwerkstoffe	205
7.1.3	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes	162	9.3.1	Silicium Si	205
7.1.4	Thermospannung	163	9.3.2	Germanium Ge	205
7.1.5	Anforderungen an Widerstandswerkstoffe	164	9.3.3	Galliumarsenid GaAs	206
			9.3.4	Indiumarsenid InAs	206
			9.3.5	Indiumantimonid InSb	206

9.3.6	Indiumantimonid-Nickelantimonid InSb-NiSb	207	10.9.4	Amorphe Metalle (Metallgläser)	254
9.4	Weiterverarbeiten des Halbleiterwerkstoffs	208	10.10	Magnetisch harte Werkstoffe (Permanentmagnete)	255
9.4.1	Reinigen durch Zonenschmelzen	208	10.10.1	Metallische magnetisch harte Werkstoffe ..	256
9.4.2	Züchten von Halbleitereinkristallen	210	10.10.2	Seltenerdmetall-Magnete (Se-Legierungen)	258
9.4.3	Dotierverfahren	211	10.10.3	Keramische magnetisch harte Werkstoffe ..	259
9.5	Anwendungen	217	10.10.4	Kunststoffgebundene Hartferrite	260
9.5.1	Heißleiter	217	10.11	Magnetisch halbharte Werkstoffe	261
9.5.2	Kaltleiter	218	11	Gedruckte Schaltungen und SMD-Technik	262
9.5.3	Spannungsabhängige Widerstände (Varistoren)	219	11.1	Gedruckte Schaltungen	262
9.5.4	Sperrschicht-Bauelemente	219	11.1.1	Basismaterial	262
9.5.5	Optoelektronische Sperrschicht-Bauelemente	219	11.1.2	Erstellen des Leiterbildes	263
9.5.6	Fotowiderstände	220	11.1.3	Herstellung gedruckter Schaltungen	265
9.5.7	Hall-Generatoren	221	11.1.4	Mehrlagen-Leiterplatte (Multilayer)	268
9.5.8	Solarzellen	221	11.2	Oberflächenmontage (SMD-Technik)	269
9.6	Herstellen integrierter Schaltungen	222	11.2.1	Bauelemente zur Oberflächenmontage ...	269
9.6.1	Reinigen der Oberfläche von Siliciumscheiben	224	11.2.2	Bestückungsverfahren	269
9.6.2	Oxidieren der Siliciumscheiben	226	11.2.3	Lötverfahren bei der SMD-Technik	270
9.6.3	Fotolack (Fotoresist)	228	12	Besondere Werkstoffe der Elektrotechnik	271
9.6.4	Herstellen der Fotomasken	228	12.1	Flüssigkristalle	271
9.6.5	Belichten mit der Fotomaske	229	12.1.1	Flüssigkristall-Anzeigen	271
9.6.6	Abätzen des Siliciumdioxids	231	12.1.2	Ansteuerung und Anwendung von Flüssigkristall-Anzeigen	272
9.6.7	Metallisierung	232	12.2	Solarzellen	273
9.6.8	Endmontage der Chips	233	12.2.1	Herstellung von Solarzellen	274
10	Magnetwerkstoffe	236	12.2.2	Anwendung von Solarzellen	274
10.1	Magnetisches Feld	236	12.3	Lichtwellenleiter	275
10.2	Magnetische Eigenschaften der Stoffe ...	237	12.3.1	Physikalische Grundlagen der Übertragung von Licht	275
10.3	Magnetisierung ferromagnetischer Stoffe .	238	12.3.2	Herstellung von Lichtwellenleitern	276
10.4	Ferrimagnetismus und Antiferromagnetismus	239	12.3.3	Anwendung von Lichtwellenleitern	277
10.5	Elektromagnetismus	240	12.4	Piezoelektrische Werkstoffe	278
10.5.1	Leitermagnetfeld	240	12.4.1	Piezoeffekt	278
10.5.2	Magnetfeld einer Spule	240	12.4.2	Direkter und indirekter Piezoeffekt	279
10.6	Magnetische Größen und Begriffe	241	12.4.3	Werkstoffkennwerte piezoelektrischer Werkstoffe	279
10.6.1	Durchflutung Θ	241	12.4.4	Herstellung piezokeramischer Werkstoffe .	280
10.6.2	Magnetische Feldstärke H	241	12.4.5	Anwendung piezoelektrischer Keramiken .	281
10.6.3	Magnetischer Fluss Φ	241	13	Umweltschutz, Arbeitssicherheit	283
10.6.4	Magnetische Flussdichte B	241	13.1	Umweltbelastung bei der Erzeugung der Werkstoffe	283
10.6.5	Permeabilität μ	242	13.2	Umweltbelastungen bei der Fertigung ...	283
10.6.6	Magnetische Polarisierung J	243	13.3	Abwasserreinigung eines Elektrobetriebs .	285
10.6.7	Hysteresekurve (Ummagnetisierungskennlinie)	243	13.4	Wiederverwertung (Recycling)	285
10.6.8	Energieprodukt bei Dauermagnetwerkstoffen	244	13.5	Entsorgung nicht verwertbarer Werkstoffe	287
10.6.9	Hystereseverluste	245	13.6	Gefährliche Arbeitsstoffe	287
10.6.10	Wirbelstromverluste	245	Firmen-/Bildquellenverzeichnis		289
10.6.11	Ummagnetisierungsverluste	246	Sachwortverzeichnis		290
10.6.12	Magnetische Scherung	246			
10.7	Entmagnetisierung	247			
10.7.1	Curie-Temperatur	247			
10.8	Magnetostriktion	248			
10.9	Magnetisch weiche Werkstoffe	249			
10.9.1	Magnetisch weiches Eisen und seine Legierungen	249			
10.9.2	Magnetisch weiche Ferrite	252			
10.9.3	Pulververbundwerkstoffe	253			