

Inhaltsverzeichnis

1	Werkstoffe der Elektrotechnik	7	3.7	Wärmebehandlung der Stähle	79
2	Naturwissenschaftliche Grundlagen der Werkstoffkunde	10	3.7.1	Glühen	79
2.1	Physikalische Grundlagen	10	3.7.2	Härten	80
2.1.1	Körper und Stoff	10	3.7.3	Gittervorgänge und Gefügeveränderungen	81
2.1.2	Bewegung der Körper (Bewegungslehre)	13	3.7.4	Vergüten	82
2.1.3	Kräfte	16	3.7.5	Härten der Randzone	83
2.1.4	Mechanische Beanspruchung der Werkstoffe	20	3.7.6	Wärmebehandlung der Stahlgruppen	84
2.1.5	Aufbau der Stoffe	22	3.8	Kupfer und Kupferlegierungen	85
2.1.6	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	24	3.8.1	Kupfergewinnung	85
2.1.7	Ausdehnung der Körper beim Erwärmen	27	3.8.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung	86
2.1.8	Temperatur	28	3.8.3	Kupfersorten (unlegiert)	86
2.1.9	Zustandsänderung der Stoffe	29	3.8.4	Niedrig legierte Kupferwerkstoffe	87
2.1.10	Ausbreitung der Wärme	31	3.8.5	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	88
2.1.11	Wärmeenergie	32	3.8.6	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze)	89
2.2	Chemische Grundlagen	33	3.8.7	Kupfer-Nickel-Legierungen	90
2.2.1	Stoffe und Stoffänderungen	33	3.8.8	Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)	90
2.2.2	Sauerstoff und Oxidation	33	3.9	Aluminium und Aluminiumlegierungen	91
2.2.3	Chemische Zeichensprache	35	3.9.1	Aluminium-Herstellung	91
2.2.4	Wasserstoff und Redox-Reaktion	37	3.9.2	Allgemeine Eigenschaften und Verwendung	92
2.2.5	Atome und Ionen	38	3.9.3	Aluminium-Werkstoffgruppen	93
2.2.6	Chemische Bindung	39	3.9.4	Nichtaushärtbare Aluminium-Werkstoffe	94
2.2.7	Säuren	41	3.9.5	Aushärtbare Al-Knetlegierungen	94
2.2.8	Basen (Laugen)	42	3.9.6	Aluminium-Gusswerkstoffe	94
2.2.9	Salze	43	3.10	Werkstoffe für Hochtemperatur- und Vakuumtechnik	95
2.2.10	Periodensystem der Elemente	44	3.11	Niedrigschmelzende Metalle	96
2.2.11	Kohlenwasserstoffe	46	3.12	Legierungsmetalle	97
2.2.12	Alkanole (Alkohole) und Alkanale (Aldehyde)	50	3.13	Edelmetalle	97
2.2.13	Carbonsäuren	51	3.14	Sinterwerkstoffe	98
2.2.14	Ester	52	3.14.1	Herstellung von Sinterteilen (Pulvermetallurgie)	98
2.2.15	Organische Stickstoffverbindungen	52	3.14.2	Typische Verwendung von Sintermetallen	99
2.2.16	Tabellarische Übersicht organischer Verbindungen	53	3.14.3	Hartmetalle	100
3	Konstruktionswerkstoffe	54	3.15	Korrosion und Korrosionsschutz	101
3.1	Einteilung der Konstruktionswerkstoffe	54	3.15.1	Elektrochemische Korrosionsarten	101
3.2	Roheisengewinnung und Stahlherstellung	56	3.15.2	Chemische Korrosion	104
3.3	Atomare Vorgänge bei der Metallerzeugung	58	3.15.3	Erscheinungsformen der Korrosion	104
3.4	Verarbeitung des Stahls zu Halbzeugen	59	3.15.4	Maßnahmen zur Korrosionsvermeidung	105
3.5	Eisen- und Stahl-Konstruktionswerkstoffe	62	3.15.5	Korrosionsschutz von Eisen- und Stahlwerkstoffen	105
3.5.1	Stahlbaustähle	63	3.15.6	Korrosion von Kupferwerkstoffen	107
3.5.2	Stähle in Elektromaschinen	66	3.15.7	Korrosion von Aluminiumwerkstoffen	108
3.5.3	Werkzeugstähle	69	3.15.8	Korrosionsverhalten weiterer Werkstoffe	108
3.5.4	Eisen- und Stahl-Gusswerkstoffe	70	3.16	Kunststoffe (Plaste)	109
3.6	Der innere Aufbau der Metalle	71	3.16.1	Eigenschaften und Verwendung	109
3.6.1	Gefüge und kristalline Struktur	71	3.16.2	Herstellung und innerer Aufbau	110
3.6.2	Die Kristallgittertypen der Metalle	72	3.16.3	Technologische Einteilung	111
3.6.3	Der reale kristalline Aufbau	72	3.16.4	Thermoplaste	112
3.6.4	Kristalline Struktur und Eigenschaften	73	3.16.5	Duroplaste	115
3.6.5	Gefüge und Eigenschaften	74	3.16.6	Elastomere (Elaste, Gummi, Kautschuk)	116
3.6.6	Gefügearten der Eisen- und Stahl-Werkstoffe	75	3.16.7	Formgebung der Kunststoffe	117
3.6.7	Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild	77	3.17	Verbundwerkstoffe	119
			3.17.1	Innerer Aufbau	119
			3.17.2	Verbundwerkstoffe auf Kunststoffbasis	119
			3.17.3	Trennscheiben, Schleifkörper, Hartmetalle	120
			3.17.4	Schichtverbundwerkstoffe	120

3.18 Werkstoffprüfung	121	7.1.3 Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes	156
3.18.1 Technologische Eignungsprüfungen	121	7.1.4 Thermospannung	157
3.18.2 Kerbschlagbiegeversuch	121	7.1.5 Anforderungen an Widerstandswerkstoffe	158
3.18.3 Zugversuch (DIN EN 10002)	122	7.2 Heizleiterwerkstoffe	158
3.18.4 Weitere Festigkeitsprüfungen	123	7.3 Technische Widerstände	160
3.18.5 Härteprüfungen	124	7.4 Schichtschaltungen	162
3.18.6 Untersuchungen des inneren Aufbaus	125	7.4.1 Dickschicht-Technik	162
4 Hilfsstoffe	126	7.4.2 Dünnschicht-Technik	163
4.1 Lotwerkstoffe	126	7.4.3 Hybrid-Technik	164
4.1.1 Lötverfahren und Löttemperaturen	126	8 Isolierstoffe	165
4.1.2 Vorgänge beim Weichlöten	126	8.1 Einteilung und Anforderungen	165
4.1.3 Kurzbezeichnungen der Lotwerkstoffe	127	8.2 Elektrische Eigenschaften und ihre Messung	166
4.1.4 Weichlote	127	8.2.1 Durchgangswiderstand und spezifischer Durchgangswiderstand	166
4.1.5 Hartlote	129	8.2.2 Oberflächenwiderstand	166
4.2 Schmierstoffe und Kühlschmierstoffe	130	8.2.3 Durchschlagfestigkeit	167
4.2.1 Schmierstoffe	130	8.2.4 Lichtbogenfestigkeit	167
4.2.2 Kühlschmierstoffe	131	8.2.5 Kriechstromfestigkeit	168
4.3 Klebstoffe	132	8.2.6 Elektrostatische Aufladung	168
4.3.1 Physikalisch abbindende Klebstoffe	132	8.2.7 Permittivität	169
4.3.2 Reaktionsklebstoffe	133	8.2.8 Dielektrischer Verlustfaktor	169
4.3.3 Verarbeiten der Klebstoffe	134	8.3 Wichtige nichtelektrische Eigenschaften von Isolierstoffen	170
5 Leiterwerkstoffe	135	8.4 Feste Isolierstoffe	171
5.1 Elektrische Grundlagen	135	8.5 Organische Isolierstoffe	171
5.1.1 Leitungsvorgang in Metallen	135	8.5.1 Thermoplaste	172
5.1.2 Einflüsse auf den Leitungsvorgang	136	8.5.2 Duroplaste	175
5.1.3 Supraleitung	138	8.5.3 Elastomere	177
5.2 Leiterwerkstoff Kupfer	139	8.6 Anorganische Isolierstoffe	178
5.2.1 Unlegiertes Kupfer	139	8.6.1 Keramik-Isolierstoffe	178
5.2.2 Kupferlegierungen	140	8.6.2 Glas	180
5.3 Leiterwerkstoff Aluminium	142	8.6.3 Glaskeramik	181
5.3.1 Unlegiertes Aluminium	142	8.6.4 Glimmer	181
5.3.2 Aluminiumlegierungen	143	8.7 Flüssige Isolierstoffe	182
6 Kontaktwerkstoffe	144	8.7.1 Allgemeine Anforderungen	182
6.1 Einteilung der Kontakte	144	8.7.2 Mineralische Isolieröle	182
6.2 Anforderungen an Kontaktwerkstoffe	144	8.7.3 Synthetische Isolierflüssigkeiten	183
6.3 Begriffe der Kontakttechnik	145	8.8 Gasförmige Isolierstoffe	184
6.3.1 Kontaktwiderstand	145	8.8.1 Eigenschaften und Einteilung	184
6.3.2 Kontaktverschleiß	145	8.8.2 Natürliche Isoliergase	184
6.3.3 Kleben und Verschweißen von Kontakten	146	8.8.3 Synthetische Isoliergase	185
6.4 Eigenschaften von Kontaktwerkstoffen	147	9 Halbleiterwerkstoffe	186
6.4.1 Reine Metalle als Kontaktwerkstoffe	147	9.1 Stromleitung in Metallen und Halbleitern	187
6.4.2 Kontaktlegierungen und Sinter-Verbundkontakte	150	9.1.1 Leitungsvorgang in Metallen	187
6.5 Schichtverbundkontakte	152	9.1.2 Leitungsvorgang in Halbleitern	187
6.5.1 Kontaktbimetalle	152	9.1.3 Störstellenleitung	192
6.5.2 Thermobimetalle	152	9.1.4 Innerer Fotoeffekt	194
6.6 Kohlehaltige Kontaktwerkstoffe (Elektrokohle)	153	9.2 Ausgangsstoffe für Halbleiter	195
7 Widerstandswerkstoffe	155	9.2.1 Elementhalbleiter	195
7.1 Elektrotechnische Grundlagen	155	9.2.2 Verbindungshalbleiter	196
7.1.1 Spezifischer elektrischer Widerstand	155	9.3 Herstellung der wichtigsten Halbleiterwerkstoffe	199
7.1.2 Spezifische elektrische Leitfähigkeit	155	9.3.1 Silicium Si	199
		9.3.2 Germanium Ge	199

9.3.3	Galliumarsenid GaAs	200	10.9	Magnetisch weiche Werkstoffe	243
9.3.4	Indiumarsenid InAs	200	10.9.1	Magnetisch weiches Eisen und seine Legierungen	243
9.3.5	Indiumantimonid InSb	200	10.9.2	Magnetisch weiche Ferrite	246
9.3.6	Indiumantimonid-Nickelantimonid InSb-NiSb	201	10.9.3	Pulververbundwerkstoffe	247
9.4	Weiterverarbeiten des Halbleiterwerkstoffs	202	10.9.4	Amorphe Metalle (Metallgläser)	248
9.4.1	Reinigen durch Zonenschmelzen	202	10.10	Magnetisch harte Werkstoffe (Permanentmagnete)	249
9.4.2	Züchten von Halbleitereinkristallen	204	10.10.1	Metallische magnetisch harte Werkstoffe	250
9.4.3	Dotierverfahren	205	10.10.2	Seltenerdmetall-Magnete (Se-Legierungen)	252
9.5	Anwendungen	211	10.10.3	Keramische magnetisch harte Werkstoffe	253
9.5.1	Heißleiter	211	10.10.4	Kunststoffgebundene Hartferrite	254
9.5.2	Kaltleiter	212	10.11	Magnetisch halbharte Werkstoffe	255
9.5.3	Spannungsabhängige Widerstände (Varistoren)	213	11	Gedruckte Schaltungen und SMD-Technik	256
9.5.4	Sperrschicht-Bauelemente	213	11.1	Gedruckte Schaltungen	256
9.5.5	Selen-Gleichrichter	213	11.1.1	Basismaterial	256
9.5.6	Optoelektronische Sperrschicht-Bauelemente	214	11.1.2	Erstellen des Leiterbildes	257
9.5.7	Fotowiderstände	214	11.1.3	Herstellung gedruckter Schaltungen	259
9.5.8	Hall-Generatoren	215	11.1.4	Mehrlagen-Leiterplatte (Multilayer)	262
9.6	Herstellen integrierter Schaltungen	216	11.2	Oberflächenmontage (SMD-Technik)	263
9.6.1	Reinigen der Oberfläche von Siliciumscheiben	218	11.2.1	Bauelemente zur Oberflächenmontage	263
9.6.2	Oxidieren der Siliciumscheiben	220	11.2.2	Bestückungsverfahren	263
9.6.3	Fotolack (Fotoresist)	222	11.2.3	Lötverfahren bei der SMD-Technik	264
9.6.4	Herstellen der Fotomasken	222	12	Besondere Werkstoffe der Elektrotechnik	265
9.6.5	Belichten mit der Fotomaske	223	12.1	Flüssigkristalle	265
9.6.6	Abätzen des Siliciumdioxids	225	12.1.1	Flüssigkristall-Anzeigen	265
9.6.7	Metallisierung	226	12.1.2	Ansteuerung und Anwendung von Flüssigkristall-Anzeigen	266
9.6.8	Endmontage der Chips	227	12.2	Solarzellen	267
10	Magnetwerkstoffe	230	12.2.1	Herstellung von Solarzellen	268
10.1	Magnetisches Feld	230	12.2.2	Anwendung von Solarzellen	268
10.2	Magnetische Eigenschaften der Stoffe	231	12.3	Lichtwellenleiter	269
10.3	Magnetisierung ferromagnetischer Stoffe	232	12.3.1	Physikalische Grundlagen der Übertragung von Licht	269
10.4	Ferrimagnetismus und Antiferromagnetismus	233	12.3.2	Herstellung von Lichtwellenleitern	270
10.5	Elektromagnetismus	234	12.3.3	Anwendung von Lichtwellenleitern	271
10.5.1	Leitermagnetfeld	234	12.4	Piezoelektrische Werkstoffe	272
10.5.2	Magnetfeld einer Spule	234	12.4.1	Piezoeffekt	272
10.6	Magnetische Größen und Begriffe	235	12.4.2	Direkter und indirekter Piezoeffekt	273
10.6.1	Durchflutung Θ	235	12.4.3	Werkstoffkennwerte piezoelektrischer Werkstoffe	273
10.6.2	Magnetische Feldstärke H	235	12.4.4	Herstellung piezokeramischer Werkstoffe	274
10.6.3	Magnetischer Fluss Φ	235	12.4.5	Anwendung piezoelektrischer Keramiken	275
10.6.4	Magnetische Flussdichte B	235	13	Umweltschutz, Arbeitssicherheit	277
10.6.5	Permeabilität μ	236	13.1	Umweltbelastung bei der Erzeugung der Werkstoffe	277
10.6.6	Magnetische Polarisation J	237	13.2	Umweltbelastungen bei der Fertigung	277
10.6.7	Hysteresekurve (Ummagnetisierungskennlinie)	237	13.3	Abwasserreinigung eines Elektrobetriebs	279
10.6.8	Energieprodukt bei Dauermagnetwerkstoffen	238	13.4	Wiederverwertung (Recycling)	279
10.6.9	Hystereseverluste	239	13.5	Entsorgung nicht verwertbarer Werkstoffe	281
10.6.10	Wirbelstromverluste	239	13.6	Gefährliche Arbeitsstoffe	281
10.6.11	Ummagnetisierungsverluste	240	Firmenverzeichnis	283	
10.6.12	Magnetische Scherung	240	Sachwortverzeichnis	284	
10.7	Entmagnetisierung	241			
10.7.1	Curie-Temperatur	241			
10.8	Magnetostriktion	242			