

# **Materialkunde der Nichteisenmetalle und -legierungen**

*Jens Freudenberger und Martin Heilmaier*

**WILEY-VCH**  
Verlag GmbH & Co. KGaA

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort zu Materialkunde der Nichteisenmetalle und -legierungen IX

Über die Autoren XI

Einordnung der Metalle 1

Eigenschaftsschaubilder 5

Werkstoffauswahl mithilfe eines Eigenschaftsschaubildes 7

Bezeichnung der Nichteisenmetalle 11

<b>1</b>	<b>Aluminium und Aluminiumlegierungen</b>	<b>15</b>
1.1	Darstellung von Aluminium	19
1.1.1	Das Bayer-Verfahren	19
1.1.2	Das Hall-Héroutl-Verfahren	20
1.2	Physikalische Eigenschaften von Aluminium	23
1.3	Legierungssysteme des Aluminiums	26
1.3.1	Klassifikation der Aluminiumlegierungen	26
1.3.2	Das System Aluminium-Kupfer	29
1.3.3	Aushärtung	31
1.4	Aluminiumknetlegierungen	37
1.4.1	Die 2000er-Aluminiumlegierungen	37
1.4.2	Das System Aluminium-Silizium	37
1.4.3	Die 4000er-Aluminiumlegierungen	38
1.4.4	Das System Aluminium-Magnesium	38
1.4.5	Die 5000er-Aluminiumlegierungen	39
1.4.6	Das System Aluminium-Magnesium-Silizium	40
1.4.7	Die 6000er-Aluminiumlegierungen	42
1.4.8	Das System Aluminium-Zink	44
1.4.9	Die 7000er-Aluminiumlegierungen	45
1.4.10	Die 8000er-Aluminiumlegierungen	46
1.4.11	Vergleich der Aluminiumknetlegierungen	47
1.5	Aluminiumgusslegierungen	48
1.5.1	Die 400er-Aluminiumlegierungen	48
1.5.2	Die anderen Aluminiumgusslegierungen	51

- 1.6 Festigkeitseigenschaften von Aluminiumlegierungen bei erhöhter/tiefer Temperatur 52
  - 1.6.1 Hohe Temperatur 52
  - 1.6.2 Tiefe Temperatur 57
- 1.7 Werkstoffverhalten von Aluminiumlegierungen unter wechselnder Beanspruchung 60
  
- 2 Titan und Titanlegierungen 65**
  - 2.1 Darstellung von Titan 67
    - 2.1.1 Der Kroll-Prozess 68
    - 2.1.2 Das van Arkel-de Boer-Verfahren 70
  - 2.2 Physikalische Eigenschaften von Titan 71
    - 2.2.1 Die Kristallstruktur 71
    - 2.2.2 Löslichkeit von Sauerstoff 72
    - 2.2.3 Reaktionsaktivität von Titan 74
    - 2.2.4 Klassifikation von reinem Titan 75
  - 2.3 Titanlegierungen 76
    - 2.3.1 Klassifikation von Titanlegierungen 76
    - 2.3.2 Einfluss von Legierungselementen 81
    - 2.3.3 Das Gefüge der Titanlegierungen 81
    - 2.3.4  $\alpha$ -Titanlegierungen 86
    - 2.3.5 Nah- $\alpha$ -Titanlegierungen 87
    - 2.3.6  $\beta$ -Titanlegierungen 89
    - 2.3.7  $(\alpha + \beta)$ -Titanlegierungen 94
    - 2.3.8 Überblick über die technisch relevanten Titanlegierungen 97
    - 2.3.9  $\gamma$ -Titanlegierungen 99
    - 2.3.10 Eigenschaften der Titanlegierungen im Vergleich 101
  
- 3 Magnesium und Magnesiumlegierungen 109**
  - 3.1 Darstellung von Magnesium 111
    - 3.1.1 Die Schmelzflusselektrolyse von Magnesium 112
    - 3.1.2 Thermische Reduktion 114
    - 3.1.3 Raffination von Magnesium 116
  - 3.2 Physikalische Eigenschaften 117
    - 3.2.1 Die Kristallstruktur von Magnesium 117
    - 3.2.2 Mechanische Zwillingsbildung 119
    - 3.2.3 Temperaturabhängigkeit der Dichte 121
    - 3.2.4 Dämpfungsverhalten von Magnesium 123
  - 3.3 Klassifikation von Magnesiumlegierungen 128
    - 3.3.1 Metallurgie der Magnesiumlegierungen 129
    - 3.3.2 Mechanische Eigenschaften von Magnesiumlegierungen 131
    - 3.3.3 Das System Magnesium–Aluminium 133
    - 3.3.4 Magnesium-Dreistoffsysteme 135
    - 3.3.5 Mechanische Eigenschaften der Magnesiumlegierungen 137
    - 3.3.6 Mg–Li-Legierungen 139

- 4 Nickel und Nickellegierungen 143**
  - 4.1 Darstellung von Nickel 145
    - 4.1.1 Flotation des Erzes 146
    - 4.1.2 Rösten des aufkonzentrierten Erzes 146
    - 4.1.3 Gewinnung von Rohnickel 147
    - 4.1.4 Gewinnung von Rein- und Reinstnickel 148
  - 4.2 Physikalische Eigenschaften von Nickel 149
    - 4.2.1 Korrosionsverhalten von Nickel 150
  - 4.3 Nickellegierungen 152
    - 4.3.1 Korrosionsbeständige Nickellegierungen 152
    - 4.3.2 Hochtemperaturbeständige Nickellegierungen 156
    - 4.3.3 Nickelbasissuperlegierungen 161
  - 4.4 Nickel als Basis weichmagnetischer Werkstoffe 179
  
- 5 Kupfer und Kupferlegierungen 185**
  - 5.1 Darstellung von Kupfer 187
  - 5.2 Einteilung der Kupfersorten 192
  - 5.3 Physikalische Eigenschaften 194
  - 5.4 Mechanische Eigenschaften 200
  - 5.5 Legierungssysteme des Kupfers 202
    - 5.5.1 Messing 206
    - 5.5.2 Bronze 220
    - 5.5.3 Kupfer–Aluminium-Legierungen 229
    - 5.5.4 Kupfer–Nickel-Legierungen 233
    - 5.5.5 Kupfer–Silber-Legierungen 234
    - 5.5.6 Zwillingbildung zur Festigkeitssteigerung 237
    - 5.5.7 Niedriglegierte Kupferwerkstoffe 238
  
- 6 Silber und Silberlegierungen 247**
  - 6.1 Darstellung von Silber 249
    - 6.1.1 Silbersorten und ihre Reinheit 250
  - 6.2 Physikalische Eigenschaften von Silber 251
  - 6.3 Mechanische Eigenschaften 253
  - 6.4 Legierungssysteme auf Silberbasis 257
    - 6.4.1 Silber–Nickel-Legierungen 260
    - 6.4.2 Silber–Kupfer-Legierungen 262
    - 6.4.3 Silber–Metalloxid-Verbundwerkstoffe 266
    - 6.4.4 Silber–Quecksilber-Legierungen 270
  
- 7 Gold und Goldlegierungen 275**
  - 7.1 Darstellung von Gold 277
    - 7.1.1 Goldsorten und ihre Reinheit 280
  - 7.2 Physikalische Eigenschaften von Gold 281
  - 7.3 Mechanische Eigenschaften von Goldlegierungen 289
    - Verbinden von Goldbonddrähten 291

7.4	Legierungssysteme des Goldes	292
7.4.1	Gold-Silber-Legierungen	294
7.4.2	Gold-Nickel-Legierungen	295
7.4.3	Gold-Silber-Kupfer-Legierungen	296
7.5	Kontaktwerkstoffe auf Goldbasis	299
<b>8</b>	<b>Platinmetalle und ihre Legierungen</b>	<b>303</b>
8.1	Darstellung der Platinmetalle	307
8.2	Physikalische Eigenschaften der Platinmetalle	308
8.2.1	Wasserstoffatmosphäre	310
8.2.2	Katalytische Eigenschaften	312
8.2.3	Einsatz bei hohen Temperaturen	313
8.3	Mechanische Eigenschaften	314
8.4	Elektrische Eigenschaften	322
8.5	Thermoelektrische Kennwerte	323
	Seebeck- und Peltier-Effekt	324
<b>9</b>	<b>Refraktärmetalle und ihre Legierungen</b>	<b>329</b>
9.1	Darstellung der Refraktärmetalle	334
9.2	Pulvermetallurgie der Refraktärmetalle	337
9.3	Ausgewählte physikalische und chemische Eigenschaften der Refraktärmetalle	338
9.3.1	Die Oxidationsbeständigkeit der Refraktärmetalle	338
9.3.2	Mechanische Eigenschaften	339
9.3.3	Legierungsentfestigung	345
9.3.4	Die thermische Ausdehnung	347
9.4	Molybdän und Molybdänlegierungen	348
9.5	Oxidationsbeständige Molybdänlegierungen	353
9.5.1	Das Legierungssystem Mo-Si-B	354
9.6	Wolfram und Wolframlegierungen	360
9.7	Tantal und Tantallegierungen	366
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>369</b>