

Prof. Dr.-Ing. Olaf Jacobs

Werkstoffkunde

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung und Grundbegriffe	13
1.1 Lernziele	13
1.2 Bedeutung der Werkstoffkunde	13
1.2.1 Werkstoffe und Produktfunktionalität	13
1.2.2 Werkstoffe und Produktqualität	14
1.2.3 Werkstoffe und Produktlebensdauer	14
1.2.4 Werkstoffe und Kosten	15
1.2.4.1 Werkstoffe und Herstellkosten	15
1.2.4.2 Werkstoffe und Betriebskosten	15
1.2.4.3 Werkstoffe und Entsorgungskosten	16
1.2.5 Werkstoff, Fertigung und Konstruktion	17
1.2.5.1 Werkstoff und Fertigung	17
1.2.5.2 Fertigung und Konstruktion	17
1.2.5.3 Werkstoff und Konstruktion	18
1.2.5.4 Simultaneous Engineering	18
1.3 Grundbegriffe	19
1.3.1 Leitfragen	19
1.3.2 Elastische Verformung	19
1.3.3 Plastische Verformung	20
1.3.4 Zähigkeit und Sprödigkeit	20
1.4 Aufgaben zur Selbstüberprüfung	21
1.4.1 Aufgaben	21
1.4.2 Musterlösungen	22
2 Aufbau von Werkstoffen	25
2.1 Lernziele	25
2.2 Atombau und Periodensystem	25
2.2.1 Leitfragen	25
2.2.2 Atombau	26
2.2.2.1 Chemische Elemente	26
2.2.2.2 Die Elektronenhülle	27
2.2.3 Periodensystem der Elemente	29
2.3 Bindungen	30
2.3.1 Leitfragen	30
2.3.2 Übersicht über die Bindungsarten	30
2.3.3 Ionenbindung	31
2.3.4 Kovalente Bindung	32
2.3.5 Metallische Bindung	33
2.3.6 Sekundäre Bindungen	34
2.3.7 Bindungspotential und Bindungskräfte	35
2.4 Gitterstrukturen	37
2.4.1 Leitfragen	38
2.4.2 Überblick über Gitterstrukturen	38
2.4.3 Das krz-Gitter	40
2.4.4 Das hdp-Gitter	41
2.4.5 Das kfz-Gitter	42
2.4.6 Gleitsysteme	43
2.4.7 Kristallgitter und Werkstoffeigenschaften	44

2.4.7.1	Isotropie und Anisotropie	44	3.4.6	Kerbschlagbiegeversu
2.4.7.2	Umformbarkeit	45	3.4.6.1	Leitfragen
2.4.7.3	Allotropie	46	3.4.6.2	Versuchsd
2.5	Gitterbaufehler	46	3.4.7	Temperaturinflusse ..
2.5.1	Leitfragen	46	3.4.7.1	Leitfragen
2.5.2	Übersicht über Gitterbaufehler	47	3.4.7.2	Spezifisch
2.5.3	Punktdefekte	48	3.4.7.3	Spezifisch
2.5.4	Versetzungen	49	3.4.7.4	Wärmeaus
2.5.5	Korngrenzen	51	3.4.7.5	Festigkeit
2.5.6	Volumendefekte	51	3.4.7.6	Kriechen ..
2.5.7	Gitterbaufehler und Werkstoffeigenschaften	51	3.4.8	Korrosion
2.6	Entstehung von Gefügestrukturen	52	3.4.8.1	Leitfragen
2.6.1	Leitfragen	53	3.4.8.2	Chemische
2.6.2	Der Kristallisationsvorgang	54	3.4.8.3	Elektroche
2.6.3	Diffusion	55	3.4.8.4	Korrosions
2.6.4	Phasendiagramme	57	3.4.9	Reibung und Verschle
2.6.4.1	Unlöslichkeit im festen Zustand	59	3.4.9.1	Leitfragen
2.6.4.2	Vollständige Löslichkeit im festen Zustand	60	3.4.9.2	Reibungs-
2.6.4.3	Eutektische Systeme	62	3.4.9.3	Reibung u
2.6.4.4	Ausscheidungshärtung	66	3.5	Bedeutung der Werkstoffkenn
2.6.4.5	Weitere Phasendiagramme	67	3.5.1	Leitfragen
2.6.4.6	Das Hebelgesetz	68	3.5.2	Kennwert Fließgrenze
2.7	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	69	3.5.3	Kennwert Festigkeit ..
2.7.1	Aufgaben	69	3.5.4	Kennwert E-Modul ..
2.7.2	Musterlösungen	72	3.5.5	Kennwert Bruchdehn
3	Mechanische Werkstoffeigenschaften	79	3.5.6	Kennwert Risszähigk
3.1	Lernziele	79	3.5.7	Kennwert Dauer-/Zeit
3.2	Dehnung und Spannung	79	3.5.8	Kennwert Härte
3.3	Belastungsarten	82	3.6	Ausblick: Weitere Werkstoffk
3.3.1	Leitfragen	82	3.7	Aufgaben zur Selbstüberprü
3.3.2	Einführung	82	3.7.1	Aufgaben
3.3.3	Zugbelastung	83	3.7.2	Musterlösungen
3.3.4	Druckbelastung	83	4	Eisenwerkstoffe
3.3.5	Schub- oder Scherbelastung	84	4.1	Lernziele
3.3.6	Zusammenhang Zug, Druck und Schub	84	4.2	Herstellung und Struktur von
3.4	Mechanische Werkstoffkennwerte	88	4.2.1	Leitfragen
3.4.1	Der Zugversuch	88	4.2.2	Herstellung von Stah
3.4.1.1	Leitfragen	88	4.2.3	Gitterstrukturen von
3.4.1.2	Versuchsdurchführung und -auswertung	88	4.2.4	Eisen-Kohlenstoff-D
3.4.2	Druck und Schubkennwerte	94	4.2.4.1	Abkühlun
3.4.3	Risszähigkeit	95	4.2.4.2	Abkühlun
3.4.3.1	Leitfragen	96	4.2.4.3	Abkühlun
3.4.3.2	Risszähigkeit	96	4.2.4.4	Abkühlun
3.4.4	Werkstoffermüdung	99	4.3	Wärmebehandlungsverfahren
3.4.4.1	Leitfragen	99	4.3.1	Leitfragen
3.4.4.2	Wöhlerkurven	99	4.3.2	Glühverfahren für St
3.4.4.3	Mechanismen der Materialermüdung	102	4.3.2.1	Normalgl
3.4.4.4	Rissfortschrittskurven	104	4.3.2.2	Weichglü
3.4.5	Härteprüfung	105	4.3.2.3	Grobkorn
3.4.5.1	Leitfragen	106	4.3.2.4	Rekristall
3.4.5.2	Härteprüfung nach VICKERS	106	4.3.2.5	Diffusions
3.4.5.3	Härteprüfung nach BRINELL	107	4.3.2.6	Spannung
3.4.5.4	Härteprüfung nach ROCKWELL	107	4.3.3	Härtens und Vergüten
3.3.5.5	Allgemeine Betrachtungen zur Härte	108	4.3.3.1	Martensit

3.4.6	Kerbschlagbiegeversuch	109
3.4.6.1	Leitfragen	109
3.4.6.2	Versuchsdurchführung und -auswertung	109
3.4.7	Temperatureinflüsse	111
3.4.7.1	Leitfragen	111
3.4.7.2	Spezifische Wärmekapazität	112
3.4.7.3	Spezifische Wärmeleitfähigkeit	113
3.4.7.4	Wärmeausdehnung	114
3.4.7.5	Festigkeit und Temperatur	116
3.4.7.6	Kriechen	117
3.4.8	Korrosion	118
3.4.8.1	Leitfragen	118
3.4.8.2	Chemische Korrosion	118
3.4.8.3	Elektrochemische Korrosion	119
3.4.8.4	Korrosionsarten	121
3.4.9	Reibung und Verschleiß	122
3.4.9.1	Leitfragen	122
3.4.9.2	Reibungs- und Verschleißkennwerte	123
3.4.9.3	Reibung und Verschleiß als Systemeigenschaften	124
3.5	Bedeutung der Werkstoffkennwerte	126
3.5.1	Leitfragen	126
3.5.2	Kennwert Fließgrenze	127
3.5.3	Kennwert Festigkeit	127
3.5.4	Kennwert E-Modul	127
3.5.5	Kennwert Bruchdehnung	128
3.5.6	Kennwert Risszähigkeit	128
3.5.7	Kennwert Dauer-/Zeitfestigkeit	128
3.5.8	Kennwert Härte	129
3.6	Ausblick: Weitere Werkstoffkennwerte und Prüfverfahren	129
3.7	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	129
3.7.1	Aufgaben	129
3.7.2	Musterlösungen	134
4	Eisenwerkstoffe	141
4.1	Lernziele	141
4.2	Herstellung und Struktur von Eisenwerkstoffen	141
4.2.1	Leitfragen	141
4.2.2	Herstellung von Stahl und Gusseisen	142
4.2.3	Gitterstrukturen von Eisen	143
4.2.4	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD)	144
4.2.4.1	Abkühlung eines untereutektoiden Stahls ($C < 0,02\%$)	146
4.2.4.2	Abkühlung eines eutektoiden Stahls ($C = 0,8\%$)	147
4.2.4.3	Abkühlung eines untereutektoiden Stahls mit $C > 0,02\%$	148
4.2.4.4	Abkühlung eines übereutektoiden Stahls ($C = 1,2\%$)	149
4.3	Wärmebehandlungsverfahren für Stähle	150
4.3.1	Leitfragen	150
4.3.2	Glühverfahren für Stähle	150
4.3.2.1	Normalglühen oder Normalisieren	152
4.3.2.2	Weichglühen	152
4.3.2.3	Grobkornglühen	152
4.3.2.4	Rekristallisationsglühen	153
4.3.2.5	Diffusionsglühen (Homogenisieren)	153
4.3.2.6	Spannungsarmglühen	153
4.3.3	Härten und Vergüten von Stahl	154
4.3.3.1	Martensitische Härtung	154

4.3.3.2	Vergüten	156
4.3.3.3	Randschichthärtung	157
4.3.3.4	Einsatzhärtung	158
4.3.3.5	Nitrieren.....	158
4.4	Gebräuchliche Eisenwerkstoffe.....	159
4.4.1	Leitfragen.....	159
4.4.2	Stahlarten	159
4.4.2.1	Legierungselemente	159
4.4.2.2	Einteilung der Stähle nach DIN EN 10 020.....	161
4.4.2.3	Einteilung nach Einsatzgebiet.....	161
4.4.3	Gusseisentypen	164
4.4.4	Bezeichnung von Eisenwerkstoffen	165
4.4.4.1	Stahlkurznamen (EN 10 027-1).....	166
4.4.4.2	Kurznamen für Gusswerkstoffe (DIN EN 1560).....	167
4.4.4.3	Werkstoffnummern (DIN EN 10 027-2)	168
4.5	Aufgaben zur Selbstüberprüfung.....	168
4.5.1	Aufgaben	168
4.5.2	Musterlösungen	171
5	Nichteisenmetalle	175
5.1	Lernziele	175
5.2	Übersicht	175
5.3	Leichtmetalle	175
5.3.1	Leitfragen.....	175
5.3.2	Aluminium.....	176
5.3.2.1	Reinaluminium	177
5.3.2.2	Naturharte Aluminiumlegierungen.....	178
5.3.2.3	Ausscheidungshärtbare Aluminiumlegierungen.....	178
5.3.2.4	Al-Gusslegierungen	180
5.3.2.5	Eloxieren.....	181
5.3.3	Magnesium	182
5.3.3.1	Reinmagnesium	182
5.3.3.2	Magnesiumlegierungen.....	182
5.3.4	Titan.....	183
5.3.4.1	Reintitan.....	184
5.3.4.2	α -Titan	184
5.3.4.3	β -Titan	184
5.3.4.4	α - β -Titan	184
5.3.5	Leichtbaeignung von Werkstoffen	185
5.4	Schwermetalle	188
5.4.1	Leitfragen.....	188
5.4.2	Kupfer und Kupferlegierungen.....	188
5.4.2.1	Reinkupfer	188
5.4.2.2	Messing.....	190
5.4.2.3	Bronze.....	191
5.4.3	Nickel und Nickellegierungen	192
5.4.3.1	Reinnickel.....	192
5.4.3.2	Hochwarmfeste Nickellegierungen.....	192
5.4.4	Hochschmelzende Metalle.....	193
5.4.5	Hartmetalle	193
5.5	Aufgaben zur Selbstüberprüfung.....	194
5.5.1	Aufgaben	194
5.5.2	Musterlösungen	196
6	Keramische Werkstoffe.....	
6.1	Lernziele.....	
6.2	Leitfragen	
6.3	Besonderheiten keramischer	
6.4	Einsatzgebiete für Keramiken	
6.5	Keramikverarbeitung (Sinter	
6.6	Hochleistungskeramiken	
6.7	Übersicht: Keramische Werk	
6.7.1	Silikatkeramik.....	
6.7.2	Oxidkeramik	
6.7.3	Nichtoxidkeramik	
6.7.4	Hochleistungskerami	
6.8	Konstruieren mit Keramik.....	
6.9	Aufgaben zur Selbstüberprü	
6.9.1	Aufgaben	
6.9.2	Musterlösungen	
7	Kunststoffe	
7.1	Lernziele.....	
7.2	Aufbau von Kunststoffen	
7.2.1	Leitfragen	
7.2.2	Monomere, Polymer	
7.2.2.1	Additions.....	
7.2.2.2	Additions.....	
7.2.2.3	Kondensa	
7.2.2.4	Einfluss d	
7.2.3	Thermoplaste, Elasto	
7.2.4	Morphologie	
7.2.5	Zuschlagstoffe	
7.3	Eigenschaften von Kunststof	
7.3.1	Leitfragen	
7.3.2	Thermische Eigensch	
7.3.3	Zugversuch an Kun	
7.3.4	Kriechen von Kunsts	
7.3.5	Viskoelastizität	
7.4	Gebräuchliche Kunststoffe	
7.4.1	Leitfragen	
7.4.2	Thermoplaste	
7.4.2.1	Teilkrista	
7.4.2.2	Amorphe	
7.4.3	Duromere	
7.4.4	Elastomere	
7.5	Kunststoffverarbeitung	
7.5.1	Leitfragen	
7.5.2	Extrusion	
7.5.3	Thermoformen	
7.5.4	Spritzguss	
7.5.5	Übersicht: Weitere V	
7.6	Kunststoffrecycling	
7.6.1	Leitfragen	
7.6.2	Werkstoffliches Recy	
7.6.3	Rohstoffliches Recyc	
7.6.4	Energetisches Recyc	
7.6.5	Schlussfolgerungen..	
7.7	Aufgaben zur Selbstüberprü	

.....156	6	Keramische Werkstoffe	201
.....157	6.1	Lernziele.....	201
.....158	6.2	Leitfragen	201
.....158	6.3	Besonderheiten keramischer Werkstoffe.....	201
.....159	6.4	Einsatzgebiete für Keramiken	203
.....159	6.5	Keramikverarbeitung (Sintern).....	204
.....159	6.6	Hochleistungskeramiken	207
.....159	6.7	Übersicht: Keramische Werkstoffe	209
.....161	6.7.1	Silikatkeramik.....	210
.....161	6.7.2	Oxidkeramik	210
.....164	6.7.3	Nichtoxidkeramik	212
.....165	6.7.4	Hochleistungskeramiken im Vergleich	214
.....166	6.8	Konstruieren mit Keramik.....	214
.....167	6.9	Aufgaben zur Selbstüberprüfung.....	215
.....168	6.9.1	Aufgaben	215
.....168	6.9.2	Musterlösungen	216
.....171	7	Kunststoffe	219
.....175	7.1	Lernziele.....	219
.....175	7.2	Aufbau von Kunststoffen	219
.....175	7.2.1	Leitfragen	219
.....175	7.2.2	Monomere, Polymere	220
.....175	7.2.2.1	Additionspolymerisation als Kettenreaktion	222
.....175	7.2.2.2	Additionspolymerisation als Stufenreaktion.....	223
.....176	7.2.2.3	Kondensationspolymerisation	223
.....177	7.2.2.4	Einfluss der Monomerstruktur auf die Polymereigenschaften	224
.....178	7.2.3	Thermoplaste, Elastomere, Duromere	226
.....178	7.2.4	Morphologie	229
.....180	7.2.5	Zuschlagstoffe	232
.....181	7.3	Eigenschaften von Kunststoffen.....	233
.....182	7.3.1	Leitfragen	233
.....182	7.3.2	Thermische Eigenschaften.....	234
.....182	7.3.3	Zugversuch an Kunststoffen.....	236
.....183	7.3.4	Kriechen von Kunststoffen.....	239
.....184	7.3.5	Viskoelastizität	241
.....184	7.4	Gebräuchliche Kunststoffe	243
.....184	7.4.1	Leitfragen	243
.....184	7.4.2	Thermoplaste	243
.....185	7.4.2.1	Teilkristalline Thermoplaste.....	244
.....188	7.4.2.2	Amorphe Thermoplaste	245
.....188	7.4.3	Duromere	247
.....188	7.4.4	Elastomere	249
.....190	7.5	Kunststoffverarbeitung.....	251
.....191	7.5.1	Leitfragen	251
.....192	7.5.2	Extrusion	251
.....192	7.5.3	Thermoformen.....	253
.....192	7.5.4	Spritzguss	254
.....193	7.5.5	Übersicht: Weitere Verarbeitungsverfahren	255
.....193	7.6	Kunststoffrecycling	256
.....193	7.6.1	Leitfragen	257
.....194	7.6.2	Werkstoffliches Recycling	257
.....194	7.6.3	Rohstoffliches Recycling.....	258
.....196	7.6.4	Energetisches Recycling.....	259
.....196	7.6.5	Schlussfolgerungen.....	260
.....196	7.7	Aufgaben zur Selbstüberprüfung.....	260

7.7.1	Aufgaben	260
7.7.2	Musterlösungen	265
8	Verbundwerkstoffe	271
8.1	Lernziele	271
8.2	Leitfragen	271
8.3	Klassifizierung der Verbundwerkstoffe	272
8.4	Polymer-Verbundwerkstoffe	273
8.4.1	Beispiele für Polymer-Verbundwerkstoffe	274
8.4.2	Faserverstärkte Kunststoffe	275
8.4.2.1	Auswahl des Matrixmaterials	275
8.4.2.2	Verstärkungsform	276
8.4.2.3	Faserarten	280
8.4.2.4	Anisotropie	281
8.5	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	283
8.5.1	Aufgaben	283
8.5.2	Musterlösungen	284
9	Werkstoffauswahl	287
9.1	Lernziele	287
9.2	Einleitung	287
9.3	Werkstoffspezifikationen	287
9.3.1	Vorgehensweise	288
9.3.2	Gebrauchseigenschaften	289
9.3.3	Ver- und Bearbeitungseigenschaften	290
9.3.4	Umweltverträglichkeit	291
9.4	Informationsquellen	292
9.5	Methoden der Entscheidungsfindung	293
9.5.1	Nutzwertanalyse	293
9.5.2	Performance-Indices	296
9.5.3	Wirtschaftlichkeitsvergleich	299
9.5.4	Ökobilanzen und ganzheitliche Bilanzen	201
9.6	Werkstoffgerechtes Konstruieren	303
Anhang 1 Quantenmechanisches Atommodell und Periodensystem		305
Anhang 2 Miller'sche Indizes		309
Anhang 3 Schrauben- und gemischte Versetzungen		311
Anhang 4 Bezeichnungssysteme für Werkstoffe		313
A4.1	Werkstoffkennzeichnung durch Nummern	313
A4.2	Bezeichnungssysteme für Eisenwerkstoffe nach DIN EN 10 027 und 1560	315
A4.3	Bezeichnung von Nichteisenmetallen	319
A4.4	Bezeichnung von Polymerwerkstoffen	322
Anhang 5 Werkstoffkennwerte		324
Literaturverzeichnis		330
Stichwortverzeichnis		332

1 Einleitung und Gr

1.1 Lernziele

Dieses Kapitel soll Sie mit der Bedeutung eines Produktes vertraut machen und Ihnen nahe bringen.

Nach Bearbeitung dieses Kapitels we

- den Einfluss der Werkstoffauswahl verschiedene Produkte grundlegend
- den Zusammenhang von Werkstoff auf konkrete Beispiele anwenden können
- die Begriffe elastische und plastische, zähes und sprödes Werkstoffverhalten.

1.2 Bedeutung der Werkst

Alle Produkte werden aus Werkstoffen hergestellt, sein Umweltfreundlichkeit entscheidend vom verwendeten Werkstoff

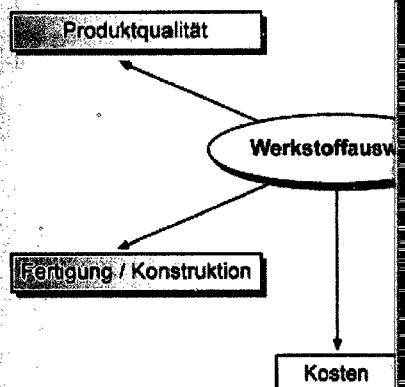


Bild 1.1 Einflussbereiche einer gezielten W

Leider wird dieses in der Praxis häufig nicht beachtet. Werkstoffeinsatz finden unsystematisch statt („...den wir schon kennen“). Dadurch wird der Wettbewerbsdruck dann endlich erhöht.

Die in den Abschnitten 2.1 bis 2.5 für die gezielte Werkstoffauswahl erläuterte

1.2.1 Werkstoffe und Produktfunktionen

Die Speicherkapazität von Disketten hängt von der Anzahl der Schichten und deren Dicke ab. Natürlich spielt die Schichtdicke eine wichtige Rolle.

Heutzutage werden Disketten zunehmend als einzeln beschreibbar oder mehrfach beschreibbar realisiert. Die Funktionsschichten im Innern der CD al