

**et**  
elektrotechnik

**mb**  
maschinenbau



James F. Shackelford

# Werkstofftechnologie für Ingenieure

Grundlagen – Prozesse – Anwendungen

6., überarbeitete Auflage

James F. Shackelford

# Werkstofftechnologie für Ingenieure

Grundlagen – Prozesse – Anwendungen

6., überarbeitete Auflage



---

ein Imprint von Pearson Education  
München • Boston • San Francisco • Harlow, England  
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City  
Madrid • Amsterdam

# Werkstofftechnologie für Ingenieure

## Inhaltsverzeichnis

Werkstofftechnologie für Ingenieure - Grundlagen Prozesse Anwendungen -  
6., überarbeitete Auflage

### Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur deutschen Ausgabe

Vorwort zur Originalausgabe

1 Technische Werkstoffe

#### Teil I Die Grundlagen

2 Atombindung

3 Kristalline Struktur der perfekte Kristall

4 Gitterstörungen und die nichtkristalline Struktur strukturelle Fehler

5 Diffusion

6 Mechanisches Verhalten

7 Thermisches Verhalten

8 Schadensanalyse und -prävention

9 Phasendiagramme Mikrostrukturentwicklung im Gleichgewicht

10 Kinetik Wärmebehandlung

#### Teil II Die Konstruktionswerkstoffe

11 Metalle

12 Keramiken und Gläser

13 Polymerwerkstoffe

14 Verbundwerkstoffe

#### Teil III Die elektronischen, optischen und magnetischen Werkstoffe

15 Elektrisches Verhalten

16 Optisches Verhalten

17 Halbleiterwerkstoffe

18 Magnetische Werkstoffe

#### Teil IV Werkstoffe im technischen Entwurf

19 Umgebungsbedingter Materialverlust

20 Werkstoffauswahl

#### Anhang

A Physikalische und chemische Daten für die Elemente

B Atom- und Ionenradien der Elemente

C Konstanten und Umrechnungsfaktoren

D Eigenschaften der Konstruktionswerkstoffe

E Eigenschaften von elektronischen, optischen und magnetischen Werkstoffen

F Antworten zu den Übungen und Aufgaben

G Wegweiser zur Werkstoffauswahl

H Glossar

# Inhaltsverzeichnis

Literatur- und Quellenverzeichnis

Register

## Vorwort zur deutschen Ausgabe

Inhalt und Aufbau

Die Online-Inhalte der Companion Website (CWS)

Die Lesergruppen

Der Bearbeiter der deutschen Ausgabe

## Vorwort zur Originalausgabe

Änderungen in der sechsten Ausgabe

Danksagungen

Über den Autor

## 1 Technische Werkstoffe

1.1 Die Welt der Werkstoffe

1.2 Werkstoffwissenschaft und -technik

1.3 Arten von Werkstoffen

1.3.1 Metalle

1.3.2 Keramiken und Gläser

1.3.3 Polymere

1.3.4 Verbundwerkstoffe

1.3.5 Halbleiter

1.4 Von der Struktur zu den Eigenschaften

1.5 Werkstoffverarbeitung

1.6 Werkstoffauswahl

## Teil I Die Grundlagen

### 2 Atombindung

2.1 Atomare Struktur

Lösung

Lösung

Lösung

2.2 Die Ionenbindung

2.2.1 Die Koordinationszahl

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

2.3 Die kovalente Bindung

Lösung

Lösung

Lösung

2.4 Die Metallbindung

# Inhaltsverzeichnis

Lösung

## 2.5 Die Sekundär- oder Van-der-Waals-Bindung

Lösung

## 2.6 Werkstoffe – die Bindungsklassifikation

Aufgaben

## 3 Kristalline Struktur der perfekte Kristall

### 3.1 Sieben Systeme und 14 Gitter

Lösung

### 3.2 Metallstrukturen

Lösung

### 3.3 Keramikstrukturen

Lösung

Lösung

### 3.4 Polymerstrukturen

Lösung

### 3.5 Halbleiterstrukturen

Lösung

Lösung

### 3.6 Gitterpositionen, Gitterrichtungen und Gitterebenen

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

### 3.7 Röntgenbeugung

Lösung

Lösung

Aufgaben

## 4 Gitterstörungen und die nichtkristalline Struktur strukturelle Fehler

### 4.1 Lösung im festen Zustand

Lösung

Lösung

### 4.2 Punktdefekte – nulldimensionale Gitterdefekte

Lösung

### 4.3 Lineare Defekte oder Versetzungen – eindimensionale Gitterdefekte

Lösung

### 4.4 Ebene Defekte – zweidimensionale Gitterdefekte

Lösung

# Inhaltsverzeichnis

Lösung

## 4.5 Nichtkristalline Festkörper – dreidimensionale Gitterdefekte

Lösung

## 4.6 Mikroskopie

Lösung

Aufgaben

## 5 Diffusion

### 5.1 Thermisch aktivierte Prozesse

Lösung

### 5.2 Thermische Entstehung von Punktdefekten

Lösung

### 5.3 Punktdefekte und stationäre Diffusion

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

### 5.4 Stationäre Diffusion

Lösung

### 5.5 Alternative Diffusionspfade

Lösung

Aufgaben

## 6 Mechanisches Verhalten

### 6.1 Spannung und Dehnung

#### 6.1.1 Metalle

Lösung

Lösung

Lösung

#### 6.1.2 Keramiken und Gläser

Lösung

#### 6.1.3 Polymere

Lösung

Lösung

### 6.2 Elastische Verformung

Lösung

### 6.3 Plastische Verformung

Lösung

### 6.4 Härte

Lösung

### 6.5 Kriechen und Spannungsrelaxation

Lösung

Lösung

Lösung

### 6.6 Viskoelastische Verformung

#### 6.6.1 Anorganische Gläser

#### 6.6.2 Organische Polymere

# Inhaltsverzeichnis

6.6.3 Elastomere

Lösung

Aufgaben

## 7 Thermisches Verhalten

7.1 Wärmekapazität

Lösung

7.2 Wärmeausdehnung

Lösung

7.3 Wärmeleitfähigkeit

Lösung

7.4 Thermoschock

Lösung

Lösung

Aufgaben

## 8 Schadensanalyse und -prävention

8.1 Kerbschlagarbeit

Lösung

8.2 Bruchzähigkeit

Lösung

Lösung

8.3 Ermüdung

Lösung

Lösung

8.4 Zerstörungsfreie Prüfung

8.4.1 Röntgenprüfung

8.4.2 Ultraschallprüfung

8.4.3 Andere zerstörungsfreie Prüfungen

Lösung

Lösung

8.5 Schadensanalyse und -prävention

Aufgaben

## 9 Phasendiagramme Mikrostrukturentwicklung im Gleichgewicht

9.1 Die Phasenregel

Lösung

9.2 Das Phasendiagramm

9.2.1 Vollständige Löslichkeit im flüssigen und festen Zustand

9.2.2 Eutektisches Diagramm ohne Löslichkeit im festen Zustand

9.2.3 Eutektisches Diagramm mit begrenzter Löslichkeit im festen Zustand

9.2.4 Eutektoides Diagramm

9.2.5 Peritektisches Diagramm

9.2.6 Allgemeine binäre Diagramme

Lösung

9.3 Das Hebelgesetz

Lösung

Lösung

# Inhaltsverzeichnis

Lösung

## 9.4 Gefügeausbildung bei langsamer Abkühlung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Aufgaben

## 10 Kinetik Wärmebehandlung

### 10.1 Zeit – die dritte Dimension

Lösung

### 10.2 Das ZTU-Diagramm

10.2.1 Diffusionsgesteuerte Umwandlungen

10.2.2 Diffusionslose (martensitische) Umwandlungen

10.2.3 Wärmebehandlung von Stahl

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

### 10.3 Härbarkeit

Lösung

Lösung

### 10.4 Ausscheidungshärtung

Lösung

### 10.5 Glühbehandlung

10.5.1 Kaltverformung

10.5.2 Erholung

10.5.3 Rekristallisation

10.5.4 Kornwachstum

Lösung

### 10.6 Kinetik der Phasenumwandlungen für Nichtmetalle

Lösung

Aufgaben

## Teil II Die Konstruktionswerkstoffe

### 11 Metalle

#### 11.1 Eisenlegierungen

11.1.1 Klassifizierung von Stählen

11.1.2 Hoch legierte Stähle

11.1.3 Gusseisen

11.1.4 Schnell erstarrte Eisenlegierungen

Lösung

#### 11.2 Nichteisenlegierungen

11.2.1 Aluminiumlegierungen



# Inhaltsverzeichnis

11.2.2 Magnesiumlegierungen

11.2.3 Titanlegierungen

11.2.4 Kupferlegierungen

11.2.5 Nickellegierungen

11.2.6 Zink-, Blei- und andere Legierungen

Lösung

## 11.3 Metallherstellung

Lösung

Lösung

Aufgaben

## 12 Keramiken und Gläser

### 12.1 Keramiken – kristalline Werkstoffe

Lösung

### 12.2 Gläser – nichtkristalline Werkstoffe

Lösung

### 12.3 Glaskeramik

Lösung

### 12.4 Keramik- und Glasherstellung

Lösung

Lösung

Aufgaben

## 13 Polymerwerkstoffe

### 13.1 Polymerisation

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

### 13.2 Strukturelle Merkmale von Polymeren

Lösung

Lösung

### 13.3 Thermoplastische Polymere

Lösung

Lösung

### 13.4 Duroplastische Polymere

Lösung

Lösung

### 13.5 Additive

Lösung

### 13.6 Herstellung von Polymerwerkstoffen

Lösung

Aufgaben

## 14 Verbundwerkstoffe

### 14.1 Faserverstärkte Verbundwerkstoffe

14.1.1 Konventionelles Fiberglas

14.1.2 Hochleistungsverbundwerkstoffe

# Inhaltsverzeichnis

14.1.3 Holz – ein natürlicher faserverstärkter Verbundwerkstoff

Lösung

Lösung

14.2 Verbundwerkstoffe mit Zuschlägen

Lösung

Lösung

14.3 Verbundeigenschaften

14.3.1 Belastung parallel zu verstärkenden Fasern – Isostrain

Lösung

Lösung

14.3.2 Belastung senkrecht zur Verstärkungsfaser – Isostress

Lösung

14.3.3 Belastung eines partikelverstärkten Verbundwerkstoffs mit gleichmäßiger Partikelverteilung

Lösung

14.3.4 Grenzflächenfestigkeit

14.4 Mechanische Eigenschaften von Verbundwerkstoffen

Lösung

Lösung

14.5 Verarbeitung von Verbundwerkstoffen

Lösung

Aufgaben

## Teil III Die elektronischen, optischen und magnetischen Werkstoffe

### 15 Elektrisches Verhalten

15.1 Ladungsträger und Leitung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

15.2 Energieniveaus und Energiebänder

Lösung

Lösung

15.3 Leiter

15.3.1 Thermoelemente

15.3.2 Supraleiter

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

15.4 Isolatoren

15.4.1 Ferroelektrika

15.4.2 Piezoelektrika

Lösung

Lösung

15.5 Halbleiter

# Inhaltsverzeichnis

Lösung

## 15.6 Verbundwerkstoffe

Lösung

## 15.7 Elektrische Klassifikation von Werkstoffen

Aufgaben

## 16 Optisches Verhalten

### 16.1 Sichtbares Licht

Lösung

### 16.2 Optische Eigenschaften

16.2.1 Brechungsindex

16.2.2 Reflexionskoeffizient

16.2.3 Transparenz, Transluzenz und Opazität

16.2.4 Farbe

16.2.5 Lumineszenz

16.2.6 Reflexionsvermögen und Opazität von Metallen

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

### 16.3 Optische Systeme und Geräte

16.3.1 Laser

16.3.2 Optische Fasern

16.3.3 Flüssigkristallanzeigen

16.3.4 Photohalbleiter

Lösung

Lösung

Lösung

Aufgaben

## 17 Halbleiterwerkstoffe

### 17.1 Elementare Eigenhalbleiter

Lösung

Lösung

Lösung

### 17.2 Elementare Störstellenhalbleiter

17.2.1

Halbleiter

17.2.2

Halbleiter

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

Lösung

### 17.3 Halbleitende Verbindungen

# Inhaltsverzeichnis

Lösung

Lösung

Lösung

## 17.4 Amorphe Halbleiter

Lösung

## 17.5 Herstellung von Halbleitern

Lösung

## 17.6 Halbleiterbauelemente

Lösung

## Aufgaben

## 18 Magnetische Werkstoffe

### 18.1 Magnetismus

Lösung

### 18.2 Ferromagnetismus

Lösung

Lösung

### 18.3 Ferrimagnetismus

Lösung

Lösung

### 18.4 Metallische Magnete

18.4.1 Weichmagnetische Werkstoffe

18.4.2 Hartmagnetische Werkstoffe

18.4.3 Supraleitende Magnete

Lösung

Lösung

### 18.5 Keramische Magnete

18.5.1 Magnete mit geringer Leitfähigkeit

18.5.2 Supraleitende Magnete

Lösung

Lösung

## Aufgaben

## Teil IV Werkstoffe im technischen Entwurf

### 19 Umgebungsbedingter Materialverlust

#### 19.1 Oxidation – direkter atmosphärischer Angriff

Lösung

Lösung

#### 19.2 Wässrige Korrosion – elektrochemischer Angriff

Lösung

#### 19.3 Galvanische Korrosion

Lösung

#### 19.4 Korrosion durch Gasreduktion

Lösung

Lösung

#### 19.5 Wirkung von mechanischer Spannung auf Korrosion

# Inhaltsverzeichnis

## 19.6 Methoden des Korrosionsschutzes

Lösung

## 19.7 Polarisationskurven

Lösung

## 19.8 Chemische Zersetzung von Keramiken und Polymeren

## 19.9 Strahlenschäden

Lösung

## 19.10 Verschleiß

Lösung

## 19.11 Oberflächenanalyse

Lösung

Aufgaben

## 20 Werkstoffauswahl

### 20.1 Werkstoffeigenschaften als Konstruktionsparameter

Lösung

### 20.2 Auswahl von Konstruktionswerkstoffen – Fallstudien

20.2.1 Werkstoffe für Surfbrettmasten

20.2.2 Ersatz von Metallen durch Polymere

20.2.3 Ersatz von Metallen durch Verbundwerkstoffe

20.2.4 Wabenstruktur

20.2.5 Werkstoffe für Hüftgelenkendoprothesen

Lösung

### 20.3 Auswahl elektronischer, optischer und magnetischer Werkstoffe – Fallstudien

20.3.1 Amorphe Metalle für Stromverteilung

20.3.2 Ersatz eines duroplastischen Polymers durch ein Thermoplast

20.3.3 Metallische Lotwerkstoffe für die Flip-Chip-Technologie

20.3.4 Leuchtdioden (LEDs)

20.3.5 Polymere als elektrische Leiter

Lösung

Aufgaben

## A Physikalische und chemische Daten für die Elemente

A.1 Tabelle

## B Atom- und Ionenradien der Elemente

B.1 Tabelle

## C Konstanten und Umrechnungsfaktoren

C.1 Tabelle Konstanten

C.2 Tabelle Vorsätze für SI-Einheiten

C.3 Tabelle Umrechnungsfaktoren

## D Eigenschaften der Konstruktionswerkstoffe

D.1 Tabelle Physikalische Eigenschaften ausgewählter Werkstoffe

D.2 Tabelle Daten für Zug- und Biegeversuche von ausgewählten technischen

# Inhaltsverzeichnis

## **Werkstoffen**

D.3 Tabelle Verschiedene mechanische Eigenschaften von ausgewählten technischen Werkstoffen

D.4 Tabelle Thermische Eigenschaften von ausgewählten Werkstoffe

## **E Eigenschaften von elektronischen, optischen und magnetischen Werkstoffen**

E.1 Tabelle Elektrische Leitfähigkeiten ausgewählter Werkstoffe bei Raumtemperatur

E.2 Tabelle Eigenschaften von Halbleitern bei Raumtemperatur

E.3 Tabelle Dielektrizitätskonstante und Durchschlagsfestigkeit für verschiedene Isolatoren

E.4 Tabelle Brechungsindices für ausgewählte optische Werkstoffe

E.5 Tabelle Magnetische Eigenschaften für ausgewählte Werkstoffe

## **F Antworten zu den Übungen und Aufgaben**

Kapitel 1

Kapitel 2

Übungen

Aufgaben

Kapitel 3

Übungen

Aufgaben

Kapitel 4

Übungen

Aufgaben

Kapitel 5

Übungen

Aufgaben

Kapitel 6

Übungen

Aufgaben

Kapitel 7

Übungen

Aufgaben

Kapitel 8

Übungen

Aufgaben

Kapitel 9

Übungen

Aufgaben

Kapitel 10

# Inhaltsverzeichnis

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 11

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 12

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 13

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 14

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 15

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 16

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 17

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 18

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 19

Übungen

Aufgaben

## Kapitel 20

Übungen

Aufgaben

## G Wegweiser zur Werkstoffauswahl

G.1 Tabelle

## H Glossar

A

B

C

D

E

# Inhaltsverzeichnis

F  
G  
H  
I  
J  
K  
L  
M  
N  
O  
P  
Q  
R  
S  
T  
U  
V  
W  
Y  
Z

## Literatur- und Quellenverzeichnis

### Literatur

A  
B  
C  
D  
E  
G  
H  
J  
K  
M  
N  
O  
P  
R  
S  
T  
V



# Inhaltsverzeichnis

W

Quellen

Register

Numerisch

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

Ins Internet: Weitere Infos zum Buch, Downloads, etc.

Periodensystem der Elemente

Umrechnungsfaktoren und Vorsätze für SI-Einheiten

Atom- und Ionenradien der Elemente

Physikalische und chemische Daten für die Elemente

Copyright



## Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als persönliche Einzelplatz-Lizenz zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschliesslich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs
- und der Veröffentlichung

bedarf der schriftlichen Genehmigung des Verlags.

Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: [info@pearson.de](mailto:info@pearson.de)

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website



herunterladen