

# Springer-Lehrbuch



E. Hornbogen · N. Jost · M. Thumann

# Werkstoffe

## Fragen und Antworten

280 vielfach unterteilte Fragen mit  
ausführlichen Antworten zu  
Hornbogen, Werkstoffe, 5. Auflage

Zweite, völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage  
mit 85 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg GmbH

Dr.-Ing. ERHARD HORNBOGEN

Universitätsprofessor, Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft, Ruhr-Universität Bochum

Dr.-Ing. NORBERT JOST

Oberingenieur, Lehrstuhl Werkstoffwissenschaft, Ruhr-Universität Bochum

Dr.-Ing. MANFRED THUMANN

Wissensch. Mitarbeiter, Asea Brown Boveri AG, Dättwil/Baden, Schweiz

ISBN 978-3-540-53453-2

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

*Hornbogen, Erhard:*

Werkstoffe : Fragen und Antworten

280 vielfach unterteilte Fragen mit ausführlichen Antworten zu

Hornbogen, Werkstoffe, 5. Aufl./

E. Hornbogen ; N. Jost ; M. Thumann. – 2., völlig Neubearb. und erw. Aufl.

ISBN 978-3-540-53453-2 ISBN 978-3-662-22613-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-22613-1

NE: Jost, Norbert.; Thumann, Manfred:

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1989 and 1991

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1991

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Warenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus Ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage der Autoren

62/3020–543210

## **Vorwort zur zweiten Auflage**

Der überraschend schnelle Absatz der ersten Auflage hat die Autoren ermutigt, die 2. Auflage zu erweitern, Form und Aufbau aber beizubehalten. Darüber hinaus wurden noch vorhandene Druckfehler verbessert.

Damit ist nun die vorliegende 2. Auflage auf die ebenfalls vollkommen neu gestaltete 5. Auflage des Lehrbuches "Werkstoffe" von E. Hornbogen abgestimmt.

All den vielen kritischen Lesern möchten wir für ihre sachkundigen Hinweise danken. Ganz besonders seien hier Herr Dipl.–Ing. Holger Haddenhorst vom Bochumer Institut für Werkstoffe und Herr Dipl.–Ing. Werner Wehrenpennig, Ludwigsfelde erwähnt. Nicht zuletzt möchten wir uns nochmals bei Frau cand. phil. Gerlinde Fries für die schriftliche Erstellung des Manuskriptes sowie dem Springer–Verlag für die sorgfältige und schnelle Bearbeitung bedanken.

Bochum, im September 1991

E. Hornbogen  
N. Jost  
M. Thumann

## **Vorwort**

Die Werkstoffwissenschaft bildet neben Mechanik, Thermo– und Fluidodynamik und anderen Teilgebieten von Physik und Chemie eines der Grundlagenfächer für Studenten der Ingenieurwissenschaften. Im Gegensatz dazu hat sich die Werkstoffwissenschaft erst

---

in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts als ein einheitliches Sachgebiet profiliert. Den Kern dieses Fachs bildet die Mikrostruktur des Werkstoffs, die zu den gewünschten verbesserten oder gar ganz neuen technischen Eigenschaften führt. Die Werkstoffwissenschaft behandelt vergleichend alle Werkstoffgruppen: Metalle, Halbleiter, Keramik, Polymere und die aus beliebigen Elementen zusammengesetzten Verbundwerkstoffe. Diese Grundlage erlaubt dem konstruierenden Ingenieur am besten, den für einen bestimmten Zweck günstigsten Werkstoff auszuwählen.

In diesem Sinne soll dieses Buch eine Hilfe gewähren für die Einführung in die Werkstoffwissenschaft. Im Rahmen der dazu notwendigen Grundlagen und Systematik ist eine größere Zahl von Begriffen zu definieren, mit denen dann in der Praxis gearbeitet werden kann. Dies bereitet den Studenten der Ingenieurwissenschaft erfahrungsgemäß am Anfang gewisse Schwierigkeiten. Ziel dieses Buches ist es, eine Hilfe beim Erlernen der Grundbegriffe der Werkstoffwissenschaft zu leisten. Der Text und Inhalt sind abgestimmt mit dem Buch "Werkstoffe", 4. Aufl., Springer 1987. Dort sind auch ein den Inhalt dieses Buches weiter vertiefender Text sowie ausführliche Hinweise auf speziellere Literatur zu finden.

Die Form von "Fragen und Antworten" macht das Buch besonders zum Selbststudium oder zum Erneuern älteren Wissens geeignet. Die mit "\*" gekennzeichneten Fragen behandeln spezielle Aspekte, die nicht unbedingt Prüfungsstoff eines ingenieurwissenschaftlichen Vordiploms sind. Sie können beim ersten Durcharbeiten übergangen werden. Im Anhang sind dann noch die wichtigsten Fachzeitschriften zum Thema Werkstoffe zusammengestellt. Dies soll dem Leser vor allen Dingen ein schnelles Auffinden der Zeitschriften in Bibliotheken sowie ein weiter vertiefendes Literaturstudium ermöglichen.

Die Autoren möchten Herrn cand. ing. L. Kahlen und Frau cand. phil. G. Fries für die Hilfe bei der Fertigstellung des Manuskriptes danken. Doch auch viele ungenannte Studenten haben mit ihren Fragen und Anregungen zum Inhalt des vorliegenden Buches beigetragen.

Nicht zuletzt möchten wir auch die gute und entgegenkommende Zusammenarbeit mit dem Springer-Verlag hervorheben.

Bochum, im August 1987

E. Hornbogen  
N. Jost  
M. Thumann

---

# Inhaltsverzeichnis

Fragen	1
1 Aufbau einphasiger Stoffe	3
1.1 Atome	3
1.2 Elektronen	3
1.3 Bindung der Atome	4
1.4 Kristalle	5
1.5 Baufehler des Kristallgitters	7
1.6 Flächenförmige Baufehler	8
1.7 Gläser	8
2 Aufbau mehrphasiger Stoffe	11
2.1 Mischphasen und Phasengemische	11
2.2 Ein- und zweiphasige Zustandsdiagramme	11
2.3 Das System Al-Si	12
2.4 Das metastabile Zustandsdiagramm Fe-Fe <sub>3</sub> C	14
2.5 Keimbildung und Erstarrung	15
3 Grundlagen der Wärmebehandlung	17
3.1 Wärmebehandlung	17
3.2 Diffusion	17
3.3 Rekristallisation	20
3.4 Aushärtung	20
3.5 Martensitische Umwandlung	21
3.6 Wärmebehandlung und Fertigung	22

---

---

4	Mechanische Eigenschaften	23
4.1	Arten der Beanspruchung	23
4.2	Elastizität	23
4.3	Formänderung	24
4.4	Zugversuch	25
4.5	Härtungsmechanismen	26
4.6	Kerbschlagarbeit, Bruchzähigkeit	26
4.7	Schwingfestigkeit, Ermüdung	28
4.8	Bruchmechanismen	29
4.9	Viskosität, Viskoelastizität	30
4.10	Technologische Prüfverfahren	30
5	Physikalische Eigenschaften	33
5.1	Werkstoffe im Kernreaktorbau	33
5.2	Elektrische Leiter	33
5.3	Ferromagnetische Werkstoffe	34
5.4	Halbleiter	34
6	Chemische Eigenschaften	37
6.1	Korrosion	37
6.2	Elektrochemische Korrosion	37
6.3	Spannungsrißkorrosion (SRK)	38
7	Keramische Werkstoffe	39
7.1	Allgemeine Kennzeichnung	39
7.2	Nicht-oxidische Keramik	39
7.3	Oxidkeramik	40
7.4	Zement-Beton	41
7.5	Oxidgläser	42
8	Metallische Werkstoffe	45
8.1	Metalle allgemein und reine Metalle	45
8.2	Mischkristallegierungen	45
8.3	Ausscheidungshärtbare Legierungen	48
8.4	Umwandlungshärtung	48

---

---

9	Kunststoffe (Hochpolymere)	51
9.1	Molekülketten	51
9.2	Kunststoffgruppen	51
9.3	Mechanische Eigenschaften I	52
9.4	Mechanische Eigenschaften II	52
10	Verbundwerkstoffe	55
10.1	Herstellung von Phasengemischen	55
10.2	Faserverstärkte Werkstoffe	55
10.3	Stahl- und Spannbeton	56
10.4	Schneidwerkstoffe	57
10.5	Oberflächenbehandlung	57
10.6	Holz	57
	Antworten	59
1	Aufbau einphasiger Stoffe	61
1.1	Atome	61
1.2	Elektronen	63
1.3	Bindung der Atome	65
1.4	Kristalle	68
1.5	Baufehler des Kristallgitters	73
1.6	Flächenförmige Baufehler	75
1.7	Gläser	78
2	Aufbau mehrphasiger Stoffe	79
2.1	Mischphasen und Phasengemische	79
2.2	Ein- und zweiphasige Zustandsdiagramme	80
2.3	Das System Al-Si	83
2.4	Das metastabile Zustandsdiagramm Fe-Fe <sub>3</sub> C	85
2.5	Keimbildung und Erstarrung	86
3	Grundlagen der Wärmebehandlung	91
3.1	Wärmebehandlung	91
3.2	Diffusion	93

---

---

3.3	Rekristallisation	97
3.4	Aushärtung	99
3.5	Martensitische Umwandlung	103
3.6	Wärmebehandlung und Fertigung	107
4	Mechanische Eigenschaften	109
4.1	Arten der Beanspruchung	109
4.2	Elastizität	110
4.3	Formänderung	114
4.4	Zugversuch	117
4.5	Härtungsmechanismen	120
4.6	Kerbschlagarbeit, Bruchzähigkeit	122
4.7	Schwingfestigkeit, Ermüdung	127
4.8	Bruchmechanismen	131
4.9	Viskosität, Viskoelastizität	133
4.10	Technologische Prüfverfahren	134
5	Physikalische Eigenschaften	137
5.1	Werkstoffe im Kernreaktorbau	137
5.2	Elektrische Leiter	140
5.3	Ferromagnetische Werkstoffe	140
5.4	Halbleiter	142
6	Chemische Eigenschaften	145
6.1	Korrosion	145
6.2	Elektrochemische Korrosion	146
6.3	Spannungsrißkorrosion (SRK)	148
7	Keramische Werkstoffe	151
7.1	Allgemeine Kennzeichnung	151
7.2	Nicht-oxidische Keramik	152
7.3	Oxidkeramik	153
7.4	Zement-Beton	154
7.5	Oxidgläser	155

---

---

8	Metallische Werkstoffe	157
8.1	Metalle allgemein und reine Metalle	157
8.2	Mischkristallegierungen	158
8.3	Ausscheidungshärtbare Legierungen	159
8.4	Umwandlungshärtung	161
9	Kunststoffe (Hochpolymere)	165
9.1	Molekülketten	165
9.2	Kunststoffgruppen	166
9.3	Mechanische Eigenschaften I	167
9.4	Mechanische Eigenschaften II	167
10	Verbundwerkstoffe	169
10.1	Herstellung von Phasengemischen	169
10.2	Faserverstärkte Werkstoffe	170
10.3	Stahl- und Spannbeton	174
10.4	Schneidwerkstoffe	174
10.5	Oberflächenbehandlung	175
10.6	Holz	176
	Anhang	179

---