

Werkstoffkunde 1

Dozent
Autor / Student

U. Ritter
A. Höller

Erstellt am

30. Dezember 2004

Wo find ich was?

STRUKTURELLER AUFBAU DER MATERIE	2
ALLGEMEINER AUFBAU DER WERKSTOFFE	2
<i>Hauptvalenzbindungen</i>	2
<i>Nebervalenzbindungen</i>	3
<i>Atomanordnung aufgrund der Chemischen Bindung</i>	3
GITTERAUFBAU DES IDEALKRISTALLS	4
<i>Metallgitter</i>	4
GITTERAUFBAU DER REALKRISTALLE	6
<i>Korngefüge</i>	6
QUELLEN	7

Struktureller Aufbau der Materie

Allgemeiner Aufbau der Werkstoffe

- In der Natur kommen bloss 90 Atomsorten vor
- Man unterscheidet zwei Bindungsarten Hauptvalenzbindung (= Primärbindung) und der Nebenvalenzbindung (= Sekundärbindung)

Hauptvalenzbindung; Primärbindung

Kraft entsteht ausschliesslich aus dem Streben nach acht Valenzelektronen → Edelgaskonfiguration

Nebenvalenzbindung; Sekundärbindung

Bindung ist wesentlich schwächer, 1/100 – 1/10 der Primärbindungskraft. Die Kraft beruht auf dem Anziehungsphänomen.

- Metallische Elemente verhalten sich elektropositiv
- Nichtmetallische Elemente verhalten sich elektronegativ
- Halbmetallische Elemente verhalten sich indifferent

Hauptvalenzbindungen

Ionenpaarbindung (heteropolare Bindung)

- Tritt in reiner Form zwischen Me- und NMe-Atomen auf
- Es findet ein Elektronenaustausch statt
- Feste *ungerichtete* Bindung
- Starre Anordnung (Ladungsverteilung!)
- Verschiebungen sind ausgeschlossen
- Sehr sprödes Verhalten
- Keine freien Ladungsträger (im festen Zustand) → keine elektrische Leitfähigkeit

Elektronenpaarbindung (Kovalente Bindung)

- Kommt nur bei HMe- und NMe-Atomen vor
- Es werden gemeinsame Elektronenpaare gebildet
- Je nach Anzahl „Nachbarn“ entstehen Moleküle (ev. auch Makromoleküle) oder Atomgitter
- Feste *gerichtete* Bindung
- Starre Anordnung
- Verschiebungen sind ausgeschlossen
- Keine elektrische Leitfähigkeit
- Bsp: Diamant, bei Silizium und Germanium, Silikatkeramiken, Gläsern

Metallische Bindung

- Kommt nur zwischen ME- und Me-Atomen vor
- Es werden die Aussenelektronen abgegeben → es werden positive Ionen gebildet, zwischen denen die freien Elektronen nun als „Elektronengas“ auftreten.
- Ungerichtete Bindung
- Hohe Packungsdichte der Atomgitter
- Hochsymmetrische Gitterstrukturen
- Verschiebungen bzw. Verformungen sind möglich
- Zähes Verhalten
- Sehr gute elektrische Leitfähigkeit

Nebervalenzbindungen

- „Ladungsdifferenz“ zwischen Atomen und Molekülen → elektrostatische Anziehungskräfte
- Man spricht von zwischen- bzw. intermolekulare Bindungskräfte
- Sind wesentlich schwächer als Hauptvalenzbindungen

Dispersionskräfte (D-Kräfte)

Dipol-Orientierungskräfte (O-Kräfte)

Induktionskräfte

Wasserstoffbrücken

- Sonderfall der Dipolbindung
- Atome werden sehr stark polarisiert
- Kommt nur zustande wenn ein positives Wasserstoffatom in den Elektronenbereich eines negativen Atoms eines Nachbarmoleküls gerät.

Atomanordnung aufgrund der Chemischen Bindung

Gase

- Je höher die Temperatur desto höher die thermische Bewegung
- Bei tiefen Temperaturen können Gase sogar flüssig werden, da dann der Mittlererabstand der Atome immer kleiner wird.
- Ähnlich wie Gase verhalten sich die Dämpfe

Kondensiert Phase

Flüssigkeiten

- Bindungen sind geschmolzen
- Starke Wechselwirkungskräfte zwischen allen Bausteinen
- Struktur ist amorph
- Lässt sich kaum komprimieren

Flüssigkristalle

- Bindungen sind geschmolzen
- Bausteine weisen doch eine gewisse Fernordnung auf
- Lässt sich kaum komprimieren
- Können nur sehr kleine Zug- oder Schubkräfte übertragen

Gummi

- Primärbindungen sind fest
- Sekundärbindungen sind geschmolzen
- Lässt sich kaum komprimieren
- Kann nur sehr kleine Zug- oder Schubkräfte übertragen

Gläser

- Bindungen sind fest
- Struktur ist amorph
- Lässt sich kaum komprimieren
- Kann grosse Zug- oder Schubkräfte übertragen

Kristalle

- Werden aus Einzelatomen, oder auch mehrere gemischt, aus kovalent gebundenen Einzelatomen, aus Ionen oder komplexen Ionen gebildet.
- Weisen ein streng regelmässiges Raumbgitter auf
- Besitzen exakte Schmelz- bzw. Erstarrungstemperaturen
- Lassen sich nur geringfügig komprimieren
- Kann grosse Zug- oder Schubkräfte übertragen

Gitteraufbau des Idealkristalls

Tab 2-1: Die Geometrie der Kristallsysteme

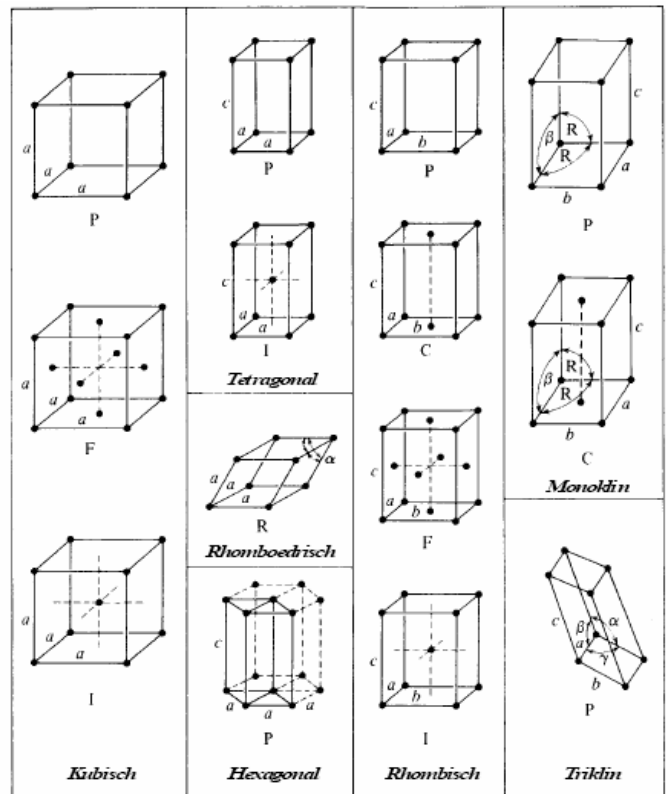
Kristallsystem	Gitterkonstanten	Winkel
Triklin	3 Gitterkonstanten von verschiedener Länge $a_0 \neq b_0 \neq c_0 \neq a_0$	alle Winkel verschieden und nicht 90°
Monoklin	3 Gitterkonstanten von verschiedener Länge $a_0 \neq b_0 \neq c_0 \neq a_0$	2 Winkel 90° 1 Winkel (β) $\neq 90^\circ$
Rhombisch (Orthorhombisch)	3 Gitterkonstanten von verschiedener Länge $a_0 \neq b_0 \neq c_0 \neq a_0$	Alle Winkel 90°
Hexagonal	3 gleichwertige Gitterkonstanten in einer Ebene, eine 4. Gitterkonstante senkrecht dazu und von anderer Länge $a_1 = a_2 = a_3 \neq c_0$	Die 3 Achsen unter 120° bzw. 60° , die c-Achse senkrecht zu ihnen
Rhomboedrisch	3 gleichwertige Gitterkonstanten $a_1 = a_2 = a_3$	Alle Winkel gleich, aber nicht 90°
Tetragonal	3 Gitterkonstanten, zwei davon von gleicher Länge $a_0 = b_0 \neq c_0$	Alle Winkel 90°
Kubisch	3 gleichwertige Gitterkonstanten $a_1 = a_2 = a_3$	Alle Winkel 90°

Bild 2-11:

Die Elementarzellen der 14 Bravais-Raumgitter in der heute üblichen Darstellung (beim hexagonalen Gitter wird zum Teil die primitive Zelle, die im Bild dick ausgezogen ist bevorzugt).

Alle eingezeichneten Punkte sind Gitterpunkte, die Grossbuchstaben beziehen sich auf die Art der Zelle:

- P primitive Zelle
- C Zelle mit einem Gitterpunkt in der Flächenmitte zweier paralleler Flächen
- F Zelle mit einem Gitterpunkt in der Mitte jeder Fläche
- I Zelle mit einem Gitterpunkt im Schnittpunkt der Raumdiagonalen
- R Rhomboedrisch, primitive Zelle



Metallgitter

Art	Kubisch raumzentriert krz	Kubisch flächenzentriert kfz	Hexagonal dichteste Packing; hdp
Metalle	a-Fe, Cr, Mo, V, W, ...	Al, Ag, Au, Cu, g-Fe, Ni, Pb	Mg, Zn, a-Ti
Packungsdichte	2 Atomkugeln pro Elem-	4 Atomkugeln pro Elem-	6 Atomkugeln pro Elem-

	tarzelle	tarzelle	tarzelle
Berechnung der Packungsdichte	$2 \cdot (4r_3\pi/3)/a_3$	$4 \cdot (4r_3\pi/3)/a_3$	0,74
Koordinationszahl Anz. Nachbarn	8	12	12

Gleitsysteme

- Nur bei nicht amorphen Stoffen!
- Theoretisch: Metallische Bindung ermöglicht da Abgleiten des Kristalls, ohne Bruch.
- Abstände werden beim Abgleitvorgang zwischen den Atomen verändert
- Abgleiten kann nicht beliebig erfolgen
- Abgleiten kann nur in einer ganz bestimmten Gitterebene bzw. -richtung erfolgen
- Günstigste Bedingung ist bei der dichtest gepackten Ebene, in Richtung dichtest gepackter Geraden möglich

Struktur Metall	Gleit-systeme	Anzahl der			Struktur Metall	Gleit-systeme	Anzahl der		
		Gleit-ebenen	Gleit-richtungen	Gleit-systeme			Gleit-ebenen	Gleit-richtungen	Gleit-systeme
Kfz. Cu, Al, Ni Pb, Au, Ag γ -Fe		4	3	12	hexagonal Cd, Zn, Mg Ti, Be		1	3	3
Krz. α -Fe, W, Mo β -Messing		6	2	12			3	1	3
		12	1	12			6	1	6
		24	1	24					

Gleitebenen
 Gleitrichtungen

$$1 \text{ Gleitsystem} = 1 \text{ Gleitebene} + 1 \text{ Gleitrichtung}$$

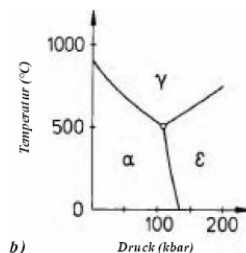
Neben den Anzahl Gleitsystemen und der räumlichen Verteilung ist auch ihre Qualität ausschlaggebend ob sich ein Werkstoff zäh verhält.

Beste Qualität → absolut dichtest gepackte Ebene

Kfz Gitter	<ul style="list-style-type: none"> Gleitebenen sind absolut dichtest gepackt Räumliche Verteilung ist optimal Sehr gut verformbar Zäh, auch bei tiefen Temperaturen Tiefere Fließgrenze
Krz Gitter	<ul style="list-style-type: none"> Absolut dichtest gepackte Geraden Keine absolut dichtest gepackten Ebenen Qualität ist nicht ganz optimal; speziell spürbar bei tiefen Temperaturen Leicht verformbar bei hohen Temperaturen Neigen zur „Kaltversprödung“ Höhere Fließgrenze
Hdp Gitter	<ul style="list-style-type: none"> Räumlich schlecht verteilte Gleitsysteme Schlecht verformbar bei tiefen Temperaturen → spröde Gut verformbar bei hohen Temperaturen

Polymorphie

- Auftreten unterschiedlicher Gittertypen (beim selben Material) bei Temperatur- und Druckunterschieden; diese Erscheinung wird Allotropie/Polymorphie genannt
- Beispiel: Eisen, drei versch. „allotrope Modifikationen“ (Alpha-Fe, Gamma-Fe, sigma-Fe, Epsilon-Fe)
- Zinn ist ein Spezialfall → bis 13°C graues (kubisch) und ab dann weisses (tetragonal) Zinn. (Volumensteigerung um 20% → Zinn wird zu Pulver)



b)

Gitteraufbau der Realkristalle

Korngefüge

Erstarrung einer Schmelze, Einkristall, Vielkristall

- Schmelze weist ein amorphes Gefüge auf
- Kristalle können sich erst bilden wenn Kristallisationskeime (→ Anhaltspunkte) vorhanden sind
- Es ist stets eine grössere Anzahl Keime vorhanden
- Während der Erstarrung entstehen daraus Kristalle (→ Körner)
- Es bildet sich ein Vielkristall bzw. ein Korngefüge
- Grösse eines Kornes von μm bis mm
- Feinkörniges Gefüge hat bessere Eigenschaften
- Spezialfall: Einkristall, ohne Korngrenze; nur ein Keim!

Arteigene Keime

- Kleiner Atomsammlungen
- Nahordnung vorhanden
- Schmelze ist nicht ideal-amorph

Artfremde Keime

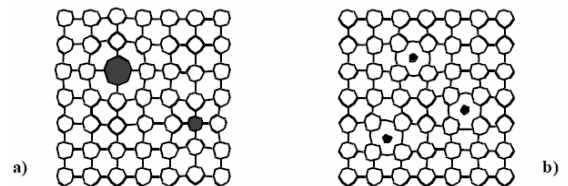
- Kleine bis kleinste Partikel (Oxide, Karbide, Nitride) welche in der Schmelze vorkommen

Isotropie, Anisotropie, Quasiisotropie und Textur

- Die Eigenschaften amorpher Stoffe sind Richtungsunabhängig
- Die Richtungsunabhängigkeit der Eigenschaften nennt man Isotropie
- Bei Kristallen sind die Eigenschaften Richtungsabhängig, man nennt sich *Anisotropie*
- Prinzipielle Anisotropie wird nur beim Einkristall sichtbar
- Bei Vielkristallen spricht man von Quasiisotropie
- Die Körner eines Vielkristalls können beim Abkühlen mehr oder weniger ausgerichtet sein → Textur
- Metalle mit einer Textur zeigen ein Anisotropesverhalten des Einkristalls

Chemische Fehlordnung

- Es gibt keinen „chemisch reinen“ Kristall
- Technisch reinen Kristalle sind wenn Gehalt des Fremdatom sehr gering ist, die Eigenschaften nicht beeinflusst werden
- Fremdatome → Verunreinigungen
- Absichtliche Zufuhr von Fremdatomen → Mischkristall
- Es entstehen Austauschmischkristalle (a) oder Einlagerungsmischkristall (b)



Strukturelle Fehlordnung

- Gitterbaufehler (Realkristall) verändern die physikalischen Eigenschaften eines Werkstoffs
- Gitterbaufehler verzerren das Gitter
- Entstehung von Gitterbaufehlern: fehlerhafter Kristallisationsvorgang, Verunreinigungen, Thermische Gitterschwingung, plastische Verformung, Bestrahlung mit energiereicher Teilchenbestrahlung

Punktfehler

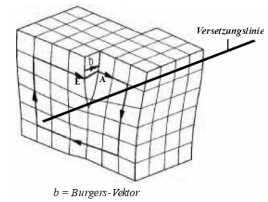
- Einzelne Gitterplätze sind nicht besetzt
- Überzählige Atome (nicht in Gitterordnung)
- Entstehen durch thermische Gleichschwingung oder durch plastische Verformung

- Für jedes Material gibt es eine Konstante K_p welche nur von der Temperatur abhängt

$$K_p(T) = \frac{\text{Anzahl Punktfehler pro Volumeneinheit}}{\text{Anzahl geordneter Gitteratome pro Volumeneinheit}}$$

Linienfehler (ein dim. Fehler)

- Grenzlinien zwischen gegeneinander verschobene Gitterbereichen
- Entstehen beim Kristallisationsvorgang selbst
- Versetzungsdichte im Normalfall etwa 10^6 mm/mm^3
- Bei der Kaltverformung wird die Vernetzungsdichte erhöht
- Sonderfall ist Whiskers; Whiskers sind haarfeine winzig kleine Kristalle
- Whiskers werden als Verstärkung bei Verbundwerkstoffen eingesetzt

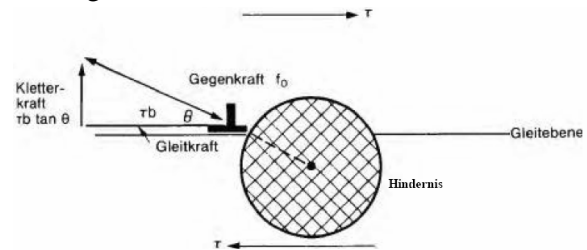


Festigkeitssteigerung durch Erschwerung der Versetzungsbewegung

- Erhöhung der Versetzungsdichte → Kaltverfestigung
- Korngrenze; Feinkörnige Werkstoffe besitzen eine höhere Festigkeit
- Fremdatome; Fremdatome verzerren das Gitter → erschweren das Abgleiten

Klettern von Versetzungen

- Läuft bei höheren Temperaturen ab
- Gleitebenen werden vollkommen verlassen bzw. in neue Geleitebenen zugelen
- Versetzungen können dann nicht mehr auf Dauer festgehalten werden
- Dieser Effekt trägt zum Kriechen bei
- Schraubenversetzungen (→ Quergleiten) sind nicht an Gleitebenen gebunden

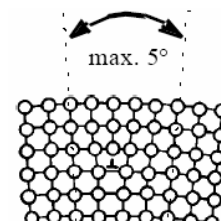


Kriechen

- Durch ein kraftbeaufschlagtes Versetzen des Werkstoffs entsteht mit der Zeit eine Entfestigung der Werkstoffs
- Es tritt eine beleibende Formänderung bei Belastung auf
- Diesen Vorgang nennt man Kriechen

Flächenfehler (zwei-dim. Fehler)

- Besonders markant bei kfz sowie hdp Metallen
- Bedeutet eine gewisse Gitterverzerrung
- Es können Verzerrung mit bis zu 5° auftreten diese werden Subkorngrenzen gebildet



Korngrenzen (Grosswinkelkorngrenzen)

- Grenzen zwischen den Körnern im Vielkristall
- Weisen keine normale Kristallstruktur auf
- Sie bilden „halbamorphe“ Schichten zwischen den Körnern
- Körner können nicht den Korngrenzen entlang gleiten
- Liefert einen Beitrag zum Kriechen

Quellen

- Skript von U. Ritter
- Folien von U Ritter