

Aus Kapitel 14

Aufgaben

14.1 • Nennen Sie die gängigen Gitterstrukturen von metallischen Werkstoffen und fertigen Sie dazu jeweils eine Handskizze an.

Resultat: Die gängigen Gitterstrukturen sind kubisch-raumzentriert, kubisch-flächenzentriert und hexagonal dichtest gepackt.

Zeichnungen nach Abb. 14.12.

14.2 • Nennen Sie je ein Anwendungsbeispiel für einen Polymermatrixverbund (PMC), einen Metallmatrixverbund (MMC) und einen Keramikmatrixverbund (CMC).

Resultat:

PMC: Fahrradrahmen, Sportgeräte, Automobilkarosseriebauteile (Stoßstangen, Kotflügel).

MMC: Zylinderbuchsen, Wärmesenken, Schneidwerkstoffe.

CMC: Stahlbeton, Bremscheiben.

14.3 •• Beschreiben Sie die wichtigsten Verfestigungsmechanismen.

Resultat:

1. Wechselwirkungen zwischen Versetzungen.
2. Wechselwirkung von Korngrenzen und Versetzungen.
3. Wechselwirkung von Mischkristallatomen und Versetzungen.
4. Wechselwirkung von Teilchen oder Ausscheidungen und Versetzungen.

Ausführliche Lösung:

1. Wechselwirkungen zwischen Versetzungen: Bewegen sich Versetzungen durch das Kristallgitter dann treffen sie auf andere Versetzungen. Da Versetzungen das Kristallgitter grundsätzlich etwas verzerren besitzen sie ein Spannungsfeld. Die Spannungsfelder der sich begegnenden Versetzungen wechselwirken miteinander, was die von außen aufzubringende Kraft, um die Versetzungen zu bewegen, erhöht. Dieser Mechanismus ist sowohl in reinen Metallen als auch in Legierungen aktiv. Dieser Mechanismus führt gleichzeitig auch zur Erhöhung der Versetzungsanzahl, da sich schneidende Versetzungen Quellen für die Bildung neuer Versetzungen sein können.

2. Wechselwirkung von Korngrenzen und Versetzungen: Versetzungen sind in ihrer Bewegung auf im Kristallgitter vorhandene Gleitebenen gebunden. An den Korngrenzen innerhalb eines Polykristalls ist die Ordnung lokal gestört, da hier benachbarte Kristalle mit unterschiedlicher räumlicher Ausrichtung aneinanderstoßen. Demnach können Versetzungen Korngrenzen nicht ohne Weiteres überwinden und sind bei üblichen Gebrauchstemperaturen nur innerhalb eines Kornes beweglich. Sind die Körner in einem Werkstoff klein, dann können die Versetzungen nur kurze Wege zurücklegen, bevor sie auf eine Korngrenze treffen und sich aufstauen. Dieser Mechanismus ist sowohl in reinen Metallen als auch in Legierungen aktiv.
3. Wechselwirkung von Mischkristallatomen und Versetzungen: Sind Legierungsatome in einem Metallgitter gelöst, dann herrscht zwischen den Atomen der gitterbildenden Komponente und den gelösten Legierungsatomen ein gewisser Größenunterschied. Dieser Unterschied führt dazu, dass das Gitter lokal verzerrt wird. Es entsteht so wiederum ein Spannungsfeld, welches mit dem Spannungsfeld der Versetzungen in Wechselwirkung treten kann. Die Bewegung der Versetzung wird dadurch erschwert, und von außen ist wieder eine größere Kraft notwendig, um die Versetzung durch das Gitter zu bewegen. Dieser Mechanismus ist nur in Legierungen aktiv, die Mischkristalle (feste Lösungen) bilden können.
4. Wechselwirkung von Teilchen oder Ausscheidungen und Versetzungen: In Legierungen kann noch ein weiterer Mechanismus wirksam sein, der die Versetzungsbewegung wirksam behindert. In bestimmten Legierungssystemen (z. B. Aluminium-Kupfer-Legierungen) ist die Löslichkeitsgrenze der Legierungsatome sehr niedrig. Dies führt dazu, dass aus einem zunächst homogenen Mischkristall Legierungsatome ausgeschieden werden können. Diese Ausscheidungen sind dann Bereiche mit eigener Gitterstruktur innerhalb des Kornes der Matrix. Je nachdem, wie eng die Verwandtschaft dieser Gitterstruktur mit jener des Gitters der Umgebung bzw. wie groß die Ausscheidung ist, können die Versetzungen entweder durch die Ausscheidung hindurchgleiten oder müssen diese umgehen. Beide Mechanismen erschweren die Bewegung der Versetzung, was wiederum zur Verfestigung des Werkstoffes führt.
5. Für Teilchen (Dispersionen) gilt dasselbe, mit dem Unterschied, dass Dispersionen nicht durch Ausscheiden von Legierungsatomen aus dem Mischkristall gebildet

werden, sondern durch z.B. durch Einrühren in die Schmelze dem Werkstoff schon bei der Herstellung zugegeben werden.

14.4 ●● Wenn Sie ein reines Metall in seiner Festigkeit steigern möchten, welche Verfestigungsmechanismen stehen Ihnen zur Verfügung, wenn ein nachträgliches Zulegieren von Fremdatomen ausgeschlossen ist?

Resultat: Wechselwirkungen zwischen Versetzungen oder Wechselwirkung von Korngrenzen und Versetzungen.

14.5 ●●● Der Werkstoffindex für eine leichte, steife Platte lautet $E^{1/3}/\rho$. Welche Steigung der Auswahlgeraden ergibt sich hierbei im Werkstoffauswahldiagramm?

Resultat: Steigung 3.

Ausführliche Lösung: gegebener Werkstoffindex:

$$M = \frac{E^{1/3}}{\rho}$$

Logarithmieren ergibt:

$$\lg M = 1/3 \lg E - \lg \rho$$

Das relevante Werkstoffauswahldiagramm ist das Diagramm $\lg E$ vs. $\lg \rho$ (vgl. Abb. 14.19). Die Umformung der obigen Gleichung in eine entsprechende Geradengleichung der Form:

$$y = m \cdot x + c$$

ergibt:

$$\lg E = 3 \lg \rho + 3 \lg M$$

Der Vergleich zeigt, dass die Geradensteigung $m = 3$ ist.

14.6 ●●● Wie lautet der Werkstoffindex für einen leichten, steifen Zugstab? Wenn Sie die Werkstoffe Aluminiumlegierungen, Titanlegierungen und Stähle miteinander vergleichen, stellen Sie dann nennenswerte Unterschiede in der Eignung fest? Welcher wesentliche Unterschied ergibt sich, wenn Sie jeweils Zugstäbe gleicher Steifigkeit aus diesen Materialien fertigen?

Resultat: Der Werkstoffindex lautet E/ρ . Die drei Werkstoffe Titanlegierungen, Aluminiumlegierungen und Stähle besitzen jeweils einen Werkstoffindex von ca. 25 GPa/(g/cm³) und sind damit alle ähnlich geeignet. Die Zugstäbe sind bei gleicher Steifigkeit daher alle ungefähr gleich schwer, jedoch steigt der notwendige Querschnitt mit sinkender Dichte, wenn die Steifigkeit gleich bleiben soll.