

Übung zur Vorlesung Materialwissenschaften

Prof. Peter Müller-Buschbaum, Lea Westphal, Ziyang Zhang, Doan Duy Ky Le

Übungsblatt 5

Besprechung am 28. Mai 2025

Aufgabe 1: Brucharten

Im Folgenden sehen Sie vier Abbildungen von Bruchflächen metallischer Werkstoffe nach Zugversuchen. Ihre Aufgabe ist es, die Bilder den bekannten Brucharten zuzuordnen und das jeweilige Bruchverhalten zu analysieren.

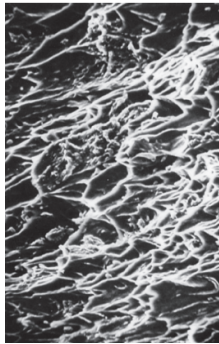


Bild A

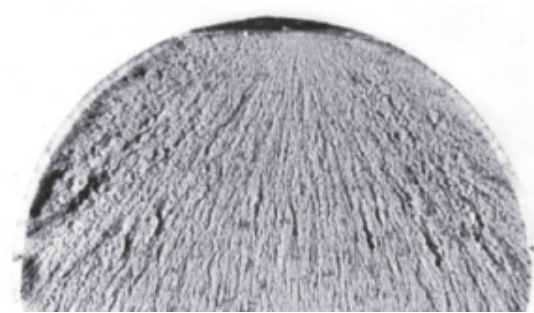


Bild B

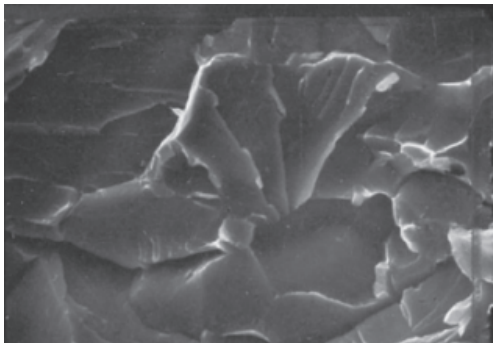


Bild C

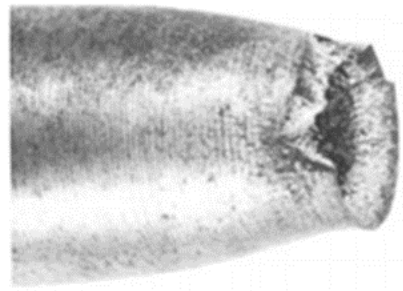


Bild D

Abb. 1: Bruchflächen metallischer Werkstoffe nach Zugversuch [1,2]

Beantworten Sie für jede Bruchart die folgenden Fragen:

1. Welche Mechanismen führen zur Rissbildung und Rissausbreitung? Gehen Sie insbesondere auf Versetzungsbewegung, Energieumsatz und Spannungsverteilung ein.
2. Was bedeutet das jeweilige Bruchverhalten für die Bauteilsicherheit und Schadenstoleranz des Werkstoffs?

Aufgabe 2: Schadensanalyse

Sie arbeiten als Werkstoffgutachter in einem Ingenieurbüro für Schadensanalyse und Qualitätssicherung. Ihnen werden regelmäßig Schadensfälle und Bauteilprüfungen zur bruchmechanischen Bewertung vorgelegt. Im Rahmen einer internen Fallstudie sollen Sie die folgenden drei Szenarien analysieren:

a) Fall 1: Sprödes Kunststoffgehäuse

Ein dünnwandiges Gehäuseelement aus Polystyrol (PS) wurde zur Begutachtung eingereicht. Es wird in einem Haushaltsgerät verwendet und ist im Betrieb einer gleichmäßigen mechanischen Zugbelastung von rund 1,4 MPa ausgesetzt. Der Elastizitätsmodul des Materials beträgt 3,2 GPa; die Oberflächenenergie wurde mit $0,4 \text{ J m}^{-2}$ bestimmt.

Ermitteln Sie mithilfe des Griffith-Kriteriums die maximale Risslänge, die noch als unkritisch gelten kann.

b) Fall 2: Riss in einer Aluminiumstruktur

Eine Flügelkomponente eines unbemannten Fluggeräts versagte während einer Belastungsprüfung. Nachträglich wurde ein etwa 2,2 mm langer Riss im Inneren des Werkstoffs festgestellt. Die Aluminiumlegierung weist eine Bruchzähigkeit von $38 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ auf. Der Bruch trat bei einer Spannung von 360 MPa auf.

Für ein neues Design wird mit einem größeren Riss von 4,5 mm gerechnet. Berechnen Sie die maximale Betriebsspannung, bei der das Bauteil noch als sicher gilt.

c) Fall 3: Tolerierbare Risslänge in der Produktion

Ein neu entwickeltes Polymerbauteil für ein medizinisches Gerät wird im Spritzgussverfahren gefertigt. Im Betrieb wird es typischerweise mit einer Spannung von 4,2 MPa belastet. Aus fertigungstechnischen Gründen können Risse kleiner als 0,4 mm nicht zuverlässig detektiert werden.

Das verwendete Polymer besitzt eine Bruchzähigkeit von $2,1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Beurteilen Sie, ob ein Riss dieser Größe unter den gegebenen Bedingungen tolerierbar ist oder ob ein Versagen zu erwarten ist.

Aufgabe 3: Binäre Phasendiagramme

Nickel-Kupfer-Legierungen sind klassische Beispiele für binäre isomorphe Systeme und werden z.B. in der Rohrleitungstechnik eingesetzt. Das folgende Phasendiagramm zeigt das thermodynamische Verhalten eines solchen Legierungssystems:

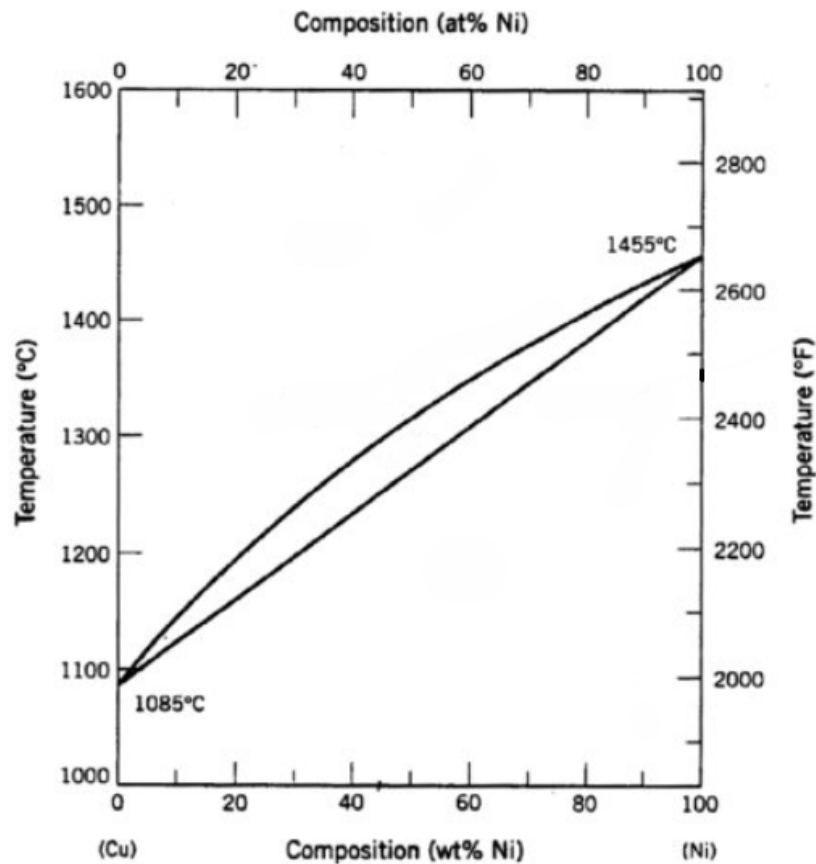


Abb. 2: Phasendiagramm des binären isomorphen Systems Cu-Ni [3]

1. Kennzeichnen Sie im Diagramm die folgenden Bereiche:
 - einphasig flüssig (L),
 - einphasig fest (α -Mischkristall),
 - zweiphasig (L + α),
 - Liquiduslinie,
 - Soliduslinie.
2. Tragen Sie eine Cu-Ni-Legierung mit 30 % Nickel ein. Zeichnen Sie die senkrechte Legierungslinie ins Diagramm.
3. Bestimmen Sie den Temperaturbereich, in dem diese Legierung erstarrt. Lesen Sie dazu die Schnittpunkte der Legierungslinie mit der Liquidus- und Soliduslinie ab.

4. Bestimmen Sie die Temperatur, bei der gleiche Mengen (Massen- oder Volumenanteile) von fester (α) und flüssiger (L) Phase vorliegen.
5. Ermitteln Sie für diese Temperatur die Nickelkonzentration
 - in der flüssigen Phase L,
 - im festen α -Mischkristall.

Lesen Sie die Werte an den Schnittpunkten der Konode mit der Liquidus- und Soliduslinie ab.

Aufgabe 4: Eutektische Phasendiagramme

Betrachten Sie das in Abb. 3 gezeigte theoretische eutektische System A–B. Die α -Phase ist A-reich, die β -Phase ist B-reich. Eine Legierung mit der Zusammensetzung P liegt bei gegebener Temperatur T im Zweiphasengebiet $\alpha + \beta$.

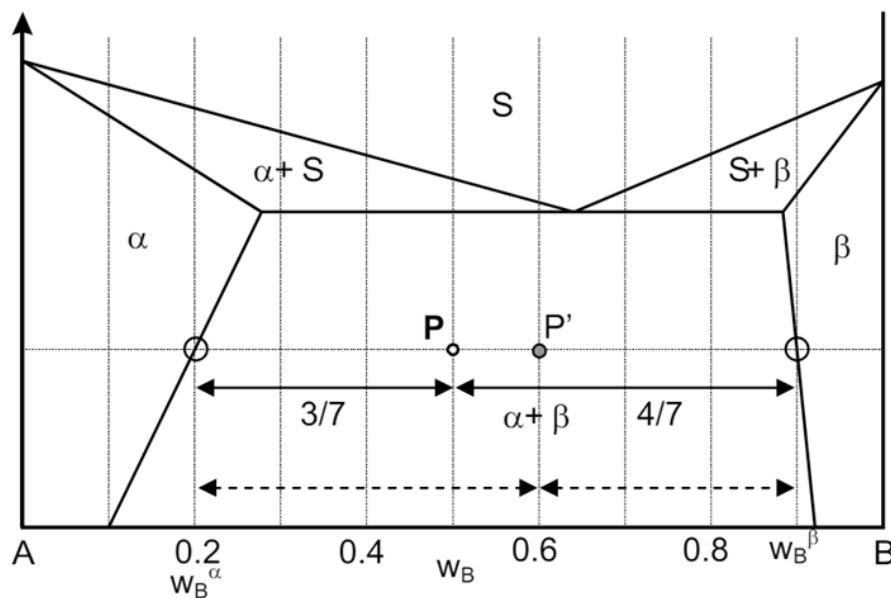


Abb. 3: Theoretisches eutektisches Phasendiagramm

1. Bestimmen Sie die Massenanteile der Phasen α und β bei Punkt P mithilfe des Hebelgesetzes.
2. Ermitteln Sie die Zusammensetzungen der beiden Phasen an Punkt P .
3. Wie ändern sich die Ergebnisse aus 4.1 und 4.2, wenn sich Punkt P nach rechts verschiebt (höherer B-Gehalt)?
4. Was unterscheidet die Erstarrung einer eutektischen Legierung am Eutektikum von der Erstarrung einer nicht-eutektischen Zusammensetzung im Zweiphasengebiet ($L + \alpha$ bzw. $L + \beta$)?

Aufgabe 5: Bestimmung von Phasengrenzen im Pb–Sn-System

Bei einer Temperatur von etwa 150 °C befindet sich eine Legierung im Zweiphasengebiet $\alpha + \beta$ des Blei-Zinn-Systems. Die α -Phase ist zinnreich (Sn), die β -Phase bleireich (Pb). Die Massenanteile der beiden Phasen wurden für zwei Legierungen metallographisch bestimmt:

Tabelle 1: Massenanteile der Phasen in zwei Pb–Sn-Legierungen bei 150 °C [4, 5]

Legierungszusammensetzung	Massenanteil α	Massenanteil β
15 Ma.-% Sn / 85 Ma.-% Pb	0,20	0,80
60 Ma.-% Sn / 40 Ma.-% Pb	0,78	0,22

Bestimmen Sie anhand der Angaben in Tabelle 1 die Löslichkeitsgrenzen für die α - und die β -Phase bei dieser Temperatur.

Literatur

- [1] D. R. Askeland, P. P. Fulay, and W. J. Wright, *The Science and Engineering of Materials*, 6th ed. Cengage Learning, 2010.
- [2] D. Askeland, F. Haddleton, and P. Green, *Science and Engineering of Materials*. Boston: Springer US, 2013.
- [3] Y. Zhang, “microstructures and properties of high entropy alloys,” *Progress in Materials Science*, vol. 61, pp. 1–93, 04 2014.
- [4] A. International, *Binary Alloy Phase Diagrams*. ASM Handbook, 1990, vol. 1.
- [5] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materialwissenschaften und Werkstofftechnik*. Wiley-VCH, 2020.