

Übung zur Vorlesung Materialwissenschaften

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

Übungsblatt 4

Besprechung am 21. Mai 2025

Aufgabe 1 – Elastizität, plastische Verformung und Einschnürung

Ein zylindrischer Metallstab aus einer hochfesten Aluminiumlegierung mit $E = 70 \text{ GPa}$ und Streckgrenze $R_{p0,2} = 220 \text{ MPa}$ und einer Ausgangslänge von $L_0 = 100 \text{ mm}$, einem Durchmesser von $d = 10 \text{ mm}$ wird einer axialen Zugkraft ausgesetzt. Bei einer Spannung von 140 MPa bleibt nach Entlastung keine bleibende Verformung zurück. Bei einer Spannung von 220 MPa bleibt nach Entlastung eine bleibende Verlängerung von 0.8 mm bestehen.

- a) Beschreiben Sie das elastischen und plastische Verhalten des Stabes während der Verformung. Gehen Sie auf die Rückkehr zum Ausgangszustand, die Materialverformung und die zugrunde liegenden physikalischen Mechanismen ein.
- b) Berechnen Sie die elastische Dehnung und die absolute Verlängerung des Stabs bei einer Spannung von 140 MPa .
- c) Berechnen Sie die gesamte Dehnung bei einer Spannung von 220 MPa , wenn bekannt ist, dass nach Entlastung 0.8 mm bleibend sind. Wie groß ist die elastische Rückverformung nach Entlastung?
- d) Berechnen Sie für den Fall c) zusätzlich die technische und die wahre Spannung und Dehnung. Erklären Sie den Unterschied zwischen technischer und wahrer Spannung/Dehnung und warum dieser Unterschied insbesondere bei größerer plastischer Verformung relevant ist.
- e) Der Versuch wird im Bereich vor der Einschnürung durchgeführt. Erklären Sie, was unter Einschnürung zu verstehen ist, wie sie sich auf die Spannungs-Dehnungs-Kurve auswirkt, und warum die Unterscheidung zwischen gleichmäßiger Verformung und Einschnürung für das Beschreiben der Materialantwort von Bedeutung ist.

Aufgabe 2 – Härteprüfung

Ein Werkstück aus Messing wird mit einer Kugel mit einem Durchmesser von $D = 10$ mm bei einer Prüfkraft von $F = 3000$ N getestet. Der Eindruckdurchmesser beträgt $d = 3,2$ mm.

- a) Berechnen Sie die Brinell-Härtezahl (HB).
- b) Schätzen Sie die Zugfestigkeit des Werkstoffs basierend auf dem ermittelten Härtewert.
- c) Diskutieren Sie den Zusammenhang zwischen Härte und Duktilität.

Aufgabe 3 – Mechanische Eigenschaften von Polymeren

Bei Raumtemperatur wird eine PE-HD-Probe mit einer Ausgangslänge von $L_0 = 80$ mm im Zugversuch geprüft. Das Material hat ein E-Modul von 1000 MPa und erreicht die Streckgrenze bei etwa $\sigma_P = 20$ MPa und versagt bei einer Zugfestigkeit von rund $\sigma_M = 30$ MPa. Die maximale Dehnung bis zum Bruch beträgt etwa $A = 600$ %.

- a) Skizzieren Sie das Spannungs-Dehnungs Diagramm für das genannte Material. Beschreiben Sie zunächst das mechanische Verhalten und gehen Sie dabei auf die Unterschiede im Modul, im Bruchverhalten und in der Temperaturabhängigkeit ein.
- b) Berechnen Sie die Dehnung und absolute Verlängerung der Probe, wenn eine Spannung von 15 MPa angelegt wird und die Verformung im elastischen Bereich liegt.
- c) Wird die Probe bis zur Streckgrenze gezogen (20 MPa) und anschließend entlastet, kehrt sie nur teilweise in ihre ursprüngliche Länge zurück. Erklären Sie, warum, und wie dies mechanisch zu verstehen ist.
- d) Die Glasübergangstemperatur (T_g) des verwendeten Polymers liegt bei -80°C . Erläutern Sie, wie sich das mechanische Verhalten des Werkstoffs bei -100°C und bei 60°C unterscheidet. Begründen Sie Ihre Antwort anhand der molekularen Beweglichkeit.
- e) Diskutieren Sie, warum PE-HD im Vergleich zu PE-LD einen höheren Elastizitätsmodul und eine höhere Festigkeit aufweist, obwohl beide aus Ethylen bestehen.
- f) Skizzieren Sie die Spannungs-Dehnungs-Kurven der folgenden Polymerwerkstoffe in dasselbe Spannungs-Dehnungs-Diagramm. Begründen Sie jeweils kurz Ihre Zuordnung anhand des mechanischen Verhaltens.
 - i) leicht vernetztes Polyisopren
 - ii) stark vernetztes Polyisopren
 - iii) lineares Polyethylen

Aufgabe 4 – Polymerketten

Eine lineare Polyethylterephthalat (PET)-Probe besitzt eine molare Masse von $M = 150 \text{ kg mol}^{-1}$.

- a) Berechnen Sie den Polymerisationsgrad und die maximale gestreckte Länge der PET-Kette. Verwenden Sie für die molare Masse der Wiederholeinheit einen Näherungswert von $M_0 = 192 \text{ g mol}^{-1}$. Die C–C-Bindungslänge beträgt $0,154 \text{ nm}$, und es wird angenommen, dass pro Wiederholeinheit zwei C–C-Bindungen entlang der Kette beteiligt sind.
- b) Für lineare Polymere beträgt der mittlere Abstand zwischen Kettenanfang und -ende im ungeordneten Zustand $r = d \cdot \sqrt{n}$, wobei d die Bindungslänge und n die Anzahl der Atome entlang der Hauptkette ist. Schätzen Sie r , wenn pro Wiederholeinheit etwa 10 Atome entlang der Hauptkette gezählt werden.