

6 Elektrische und thermische Leitfähigkeit

Kupfer mit 0.5 % Tellur weist bei 25 °C eine Wärmeleitfähigkeit von $320 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ auf.

- Berechnen Sie die elektrische Leitfähigkeit bei der gleichen Temperatur (Lorentz-Zahl $L = 2.3 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2\text{K}^{-2}$)
- Wie müssen Sie die Legierungszusammensetzung verändern, um eine möglichst hohe elektrische Leitfähigkeit zu erreichen?

7 Elektro-magnetische Eigenschaften

Induktiv (d.h. durch schnell wechselnde Magnetfelder) erzeugte Wärme hat gegenüber anderen Erwärmungsverfahren eine besondere Eigenschaft: Sie entsteht direkt im elektrisch leitenden Material. Der Erwärmungsprozess kann so deutlich beschleunigt werden. Weiter zeichnet sich die induktiv erzeugte Wärme dadurch aus, daß die Eindringtiefe δ in die zu erwärmende Oberflächenschicht über die Frequenz f des Heizgenerators frei einstellbar ist:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho_{\text{el}}}{\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \mu}}$$

ρ_{el} : elektrischer Widerstand; μ_r : relative Permeabilität

- Wie ändert sich bei konstanter Heizfrequenz die Eindringtiefe im Werkstück eines ferromagnetischen Stahls, wenn er von 20 °C ($\rho_{\text{el}} = 1.6 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}$, $\mu_r = 300$) auf 1000 °C ($\rho_{\text{el}} = 1.2 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$, $\mu_r = 1$) erwärmt wird?
- Was bedeutet die Curietemperatur und bei welcher Temperatur liegt sie?

8 Elastische und thermische Eigenschaften

- a) Berechnen Sie mit Hilfe des Hookschen Gesetzes die Längenänderung ΔL einer 1 m langen Aluminiumstange (\varnothing 1 mm), an der ein 10 l Eimer voll Wasser hängt.
- b) Metalle dehnen sich thermisch aus. Bei welcher Temperaturerhöhung ΔT weist eine identische, unbelastete Aluminiumstange die gleiche Längenänderung wie im Fall a) auf?

Angaben:

Elastizitätsmodul $E_{Al} = 70 \text{ GPa}$, Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient $\alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Bemerkung: Falls Sie für Aufgabenteil a) keine Lösung haben, nehmen Sie eine Längenänderung von $\Delta L = 2.5 \text{ mm}$ an.

6 Elektrische und thermische Leitfähigkeit

Kupfer mit 0.5 % Tellur weist bei 25 °C eine Wärmeleitfähigkeit von $320 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ auf.

- Berechnen Sie die elektrische Leitfähigkeit bei der gleichen Temperatur (Lorentz-Zahl $L_0 = 2.3 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2\text{K}^{-2}$)
- Wie müssen Sie die Legierungszusammensetzung verändern, um eine möglichst hohe elektrische Leitfähigkeit zu erreichen?
- Ein sich stark erheizendes Computerbauteil ($T = 80 \text{ °C}$) ist mit dem Computergehäuse ($T = 25 \text{ °C}$) durch eine Schraube (Länge = 22 mm, Durchmesser = 4 mm) verbunden. Berechnen Sie die Wärmestromdichte \dot{q} in der Schraube ($\lambda = 54 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$).

Lösung:

$$\text{a) } \frac{\sigma}{\lambda} = LT \quad \sigma = \frac{\lambda}{LT} = \frac{320 \text{ W K}^{-1}}{2.3 \cdot 10^{-8} \cdot 298 \text{ V}^2 \text{ m K}^{-2}} = 4.67 \cdot 10^7 \text{ } \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$$

- Die höchste Leitfähigkeit haben reine Metalle. Es ist daher ein möglichst Geringer Gehalt an Te (wie auch an anderen Fremdatomen) erforderlich.

- Wärmestromdichte: $\dot{q} = \lambda \frac{dT}{dx}$. dT/dx wird als konstant über die Schraubenlänge angenommen: $\Delta T/\Delta x = 55\text{K}/0.022\text{m} \quad \dot{q} = 135'000 \text{ Wm}^{-2}$

7 Elektro-magnetische Eigenschaften

Induktiv (d.h. durch schnell wechselnde Magnetfelder) erzeugte Wärme hat gegenüber anderen Erwärmungsverfahren eine besondere Eigenschaft: Sie entsteht direkt im elektrisch leitenden Material. Der Erwärmungsprozess kann so deutlich beschleunigt werden. Weiter zeichnet sich die induktiv erzeugte Wärme dadurch aus, daß die Eindringtiefe δ in die zu erwärmende Oberflächenschicht über die Frequenz f des Heizgenerators frei einstellbar ist:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho_{el}}{\pi \cdot f \cdot \mu_r \cdot \sigma}}$$

ρ_{el} : elektrischer Widerstand; μ_r : relative Permeabilität

- Wie ändert sich bei konstanter Heizfrequenz die Eindringtiefe im Werkstück eines ferromagnetischen Stahls, wenn er von 20 °C ($\rho_{el} = 1.6 \cdot 10^{-7} \Omega \text{ m}$, $\mu_r = 300$) auf 1000 °C ($\rho_{el} = 1.2 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ m}$, $\mu_r = 1$) erwärmt wird?
- Was bedeutet die Curietemperatur und bei welcher Temperatur liegt sie?
- Erklären Sie, wie der Ferromagnetismus zustande kommt.
- Erklären Sie, was die Ursache der Hysterese beim Magnetisierungsprozess ist.

Lösung:

a) $\mu_r(T=1000^\circ\text{C}) = 1$

$$\frac{\delta_{1000}}{\delta_{20}} = \sqrt{\frac{\rho_{el,1000} \cdot \mu_{r,20}}{\rho_{el,20} \cdot \mu_{r,1000}}} \quad \delta_{1000} = 47 \cdot \delta_{20}$$

- Der Ferromagnetismus geht in den Paramagnetismus über. $T_C(\text{Stahl}) = 768 \text{ °C}$
- Die einzelnen magnetischen Momente der Atome richten sich innerhalb bestimmter Gebiete (Domänen) in die gleiche Richtung aus.
- Die Ausrichtung einzelner Domänen wird bei starker Magnetisierung irreversibel um 180° gedreht. Ebenfalls finden irreversible Blochwandverschiebungen statt. Diese Prozesse können erst rückgängig gemacht werden, wenn ein genügend großes Gegenfeld angelegt wird.

8 Elastische und thermische Eigenschaften

- a) Berechnen Sie mit Hilfe des Hookschen Gesetzes die Längenänderung ΔL einer 1 m langen Aluminiumstange (\varnothing 1 mm), an der ein 10 l Eimer voll Wasser hängt (der Eimer wird als masselos angenommen).
- b) Metalle dehnen sich thermisch aus. Bei welcher Temperaturerhöhung ΔT weist eine identische, unbelastete Aluminiumstange die gleiche Längenänderung wie im Fall a) auf?

Angaben:

Elastizitätsmodul $E_{Al} = 70 \text{ GPa}$, Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient $\alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Bemerkung: Falls Sie für Aufgabenteil a) keine Lösung haben, nehmen Sie eine Längenänderung von $\Delta L = 2.5 \text{ mm}$ an.

Lösung:

$$\text{a) } V = m \cdot g \quad \square \quad m = \frac{V}{g} = \frac{10 \text{ dm}^3}{1 \text{ g/cm}^3} = 10 \text{ kg}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{\alpha \cdot (D/2)^2} = \frac{10 \cdot 9.81}{\alpha \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2} = 124.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \square \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{124.9}{70000} = 0.18\%$$

$$\Delta L = \epsilon \cdot L = 1.8 \text{ mm}$$

$$\text{b) } \epsilon_{th} = \alpha \cdot \Delta T = 0.18\%$$

$$\square \quad \Delta T = \frac{\epsilon_{th}}{\alpha} = \frac{1.8 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}} = 74.3^\circ \text{C}$$

$$\text{b1) } \epsilon_{th,2} = \frac{\Delta L}{L} = 0.25\%$$

$$\Delta T = \frac{\epsilon_{th,2}}{\alpha_{Al}} = 104^\circ \text{C}$$