

#### 4 Krivka chladnutia pevných látok

##### **Teória:**

Pri ohreve telesa nad teplotu okoliteho vzduchu, dochádza k ochladzovaniu materiálu na základe Newtonovho ochladzovacieho zákona (4.1)

([https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s\\_law\\_of\\_cooling](https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_law_of_cooling))

$$\frac{dQ}{dt} = -h \cdot S \cdot (T - T_{okolia}) \quad (4.1)$$

kde: Q – teplo, ktoré prijalo teleso v J

h – celkový koeficient prenosu tepla medzi vzorkou a okolím v  $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

S – celková plocha cez ktorú sa šíri teplo v  $m^2$

T – aktuálna teplota vzorky v  $^{\circ}C$

$T_{okolia}$  – teplota okolia v  $^{\circ}C$

V prípade, že vo vzorke neexistujú vnútorné zdroje tepla, teplotné gradienty a v rozsahu teplôt medzi teplotou T a teplotou okolia nedochádza k štruktúrnym alebo fázovým zmenám (t.j. k zmene hustoty, kapacity, hmotnosti a ďalších parametrov) možno teplo prijaté vyjadriť v tvare (4.2)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

Kde: m – hmotnosť telesa v kg

c – merná tepelná kapacita v  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$\Delta T$  – teplotný rozdiel medzi teplotou vzorky a teplotou okolia v  $^{\circ}C$

V takomto prípade možno diferenciálnu rovnicu (4.1) vyjadriť v tvare (4.3)

$$\rho \cdot c \cdot V \frac{dT}{dt} = -h \cdot S \cdot (T - T_{okolia}) \quad (4.3)$$

Kde:  $\rho$  – hustota vzorky v  $kg \cdot m^{-3}$

V – objem vzorky v  $m^3$

Ak možno zmenu teploty okolia zanedbať prechádza diferenciálna rovnica (4.3) do tvaru separovanej diferenciálnej rovnice (4.4)

$$\frac{dT}{T - T_{okolia}} = -\frac{h \cdot S}{\rho \cdot c \cdot V} \cdot t \quad (4.4)$$

Čoho riešením je priebeh teploty v tvare (4.5) (Košťal Pavel, Ružiak Ivan, Jonšta Zdeněk, Kopal Ivan, Hrehuš Rudolf, Kršková Jana, Experimental method

for complex thermo-mechanical material analysis, In. **International Journal of Thermophysics, Volume 31, 2010, s. 630-636.**)

$$T = T_{okolia} + dT_{max} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (4.5)$$

kde:  $dT_{max}$  – maximálny teplotný rozdiel v °C (rovný rozdielu teploty telesa v čase 0 sekúnd a teplotou okolia)

$\tau$  - relaxačný čas v s

V rovnici (4.5) pri konštantných podmienkach experimentu parametre  $dT_{max}$  a  $T_{okolia}$  predstavujú konštanty. Tvar krivky je teda popísaný iba členom  $\exp(-t/\tau)$  čo pre konštantnú hodnotu relaxačného času predstavuje exponenciálny pokles teploty s konštantnou rýchlosťou. Čím je hodnota relaxačného času väčšia tým dlhšie trvá kým vzorka sa ochladí na teplotu okolia.

Relaxačný čas je definovaný podľa rovnice (4.6)

$$\tau = \frac{\rho \cdot c \cdot V}{h \cdot S} = \frac{\rho \cdot c \cdot L_c}{h} \quad (4.6)$$

Kde:  $L_c$  – charakteristický rozmer vzorky v m

Charakteristický rozmer  $L_c$  je definovaný podielom celkového objemu  $V$  a celkovej plochy cez ktorú sa vedie teplo čo v našom prípade vedie na vyjadrenie pomocou vzťahu (4.7)

$$L_c = \frac{V}{S} \quad (4.7)$$

V prípade, že všetky strany vzorky sú približne rovnaké (čo platí pre náš prípad), tak potom rovnica (5.7) prechádza do tvaru:

$$L_c = \frac{a \cdot b \cdot c}{2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c)} \quad (4.8)$$

Platnosť modelu sa posudzuje podľa tzv. Biotovho čísla  $Bi$  definovaného rovnicou (4.9) ([https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s\\_law\\_of\\_cooling](https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_law_of_cooling))

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{k} \ll 1 \quad (4.9)$$

V prípade, že Biotovo číslo je oveľa menšie ako 1 (postačuje hodnota nižšia ako 0,1) možno zanedbať prestup tepla kondukciou. Z definície Biotovho čísla vyplýva, že model (4.5) platí pre vysoko vodivé materiály a pre nízkovodivé materiály iba v prípade veľmi nízkej hodnoty hrúbky materiálu.

#### Postup merania:

1. Zmerajte rozmery vzoriek a, b, c 3krát pre každú vzorku posuvným meradlom s manuálnym určením hodnôt.
2. Určte priemernú hodnotu rozmerov telies pre každé teleso zvlášť.
3. Určite hodnotu charakteristického rozmeru  $L_c$  pre všetky druhy materiálov.
4. Postupne na vzorky z CuZn, Fe, Al umiestnite termočlánok do vnútra vzorky.
5. Z merania teploty na vzduchu určite teplotu okolia. V prípade, že miesto chladnutia je vzdialené dostatočne od zdroja tepla tak táto hodnota sa v čase nemení.
6. Zohrejte vzorky z CuZn, Fe a Al pomocou grilu na teplotu aspoň  $80^{\circ}\text{C}$ , ktorú zmeriate pomocou termočlánku umiestneného vo vzorke. Najprv sa zohrieva 1 vzorka a zvyšné 2 ostávajú na stole a tieto sa potom vymenia všetky.
7. Umiestnite meranú vzorku na držiak a nechajte ju chladieť na vzduchu. Držiak má byť čo najďalej od zdroja tepla a rovnako vzorka by sa nemala kývať, resp. nemala by sa meniť rýchlosť obtekania vzduchu okolo telesa. Takýto postup zaručuje že hodnoty parametrov  $h$ ,  $T_{\text{okolia}}$  sú konštantné a teplota  $T$  sa mení len prirodzeným ochladzovaním vzorky.
8. Ako náhle je vzorka zohriata na  $80^{\circ}\text{C}$  a umiestnená na držiaku pre chladnutie spustíte ukladanie dát po každej 1 sekunde podržaním tlačidla ENTER (LOG) aspoň na 2 sekundy a následným pustením tlačidla. Ukladanie dát zastavíte po poslednej hodnote stlačením tlačidla ENTER znova na dobu aspoň 2 sekundy pri teplote na displeji  $60^{\circ}\text{C}$ .
9. Postup 6, 7, 8 opakujte pre zvyšné 2 vzorky.
10. Importujte výsledky meraní do PC odobratím pamätovej karty z merača EXTECH a následným vložením do PC do SD/MMC portu.
11. Po nájdení pamätovej karty klinite postupne na Otvoriť priečinok a zobrazíť súbory, následne otvorte zložku TMD01 a nakoniec otvorte Excelovský súbor TMD01001.

12. V otvorenom súbori nájdite posledné 3 dátové sady pomocou dátumu a času(sú to posledné tri od dola). Prvá sada odpovedá meraniu prvej vzorky a druhá sada zas odpovedá meraniu druhej vzorky. Tretia sada najnižšie odpovedá meraniu pre tretiu vzorku.
13. Dátové hodnoty prekopírujte do vzorového dokumentu s 4 hárkami (meranie Fe, CuZn, Al a výpočtový hárok)
14. Po skopírovaní hodnôt teplôt ešte musíte zadať vo výpočtovom hárku namerané hodnoty rozmerov pre každú vzorku a teplotu okolia.
15. Po zadaní týchto údajov priložený zošit vypočíta hodnoty parametrov relaxačný čas  $\tau$  a koeficient prenosu tepla  $h$
16. Na záver študent v 1 grafe vytvorí závislosť teploty od času pre všetky 3 vzorky