

5 Krivka chladnutia pevných látok

Teória:

Pri ohreve telesa nad teplotu okoliteho vzduchu, dochádza k ochladzovaniu materiálu na základe Newtonovho ochladzovacieho zákona (5.1) (https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_law_of_cooling)

$$\frac{dQ}{dt} = -h \cdot S \cdot (T - T_{okolia}) \quad (5.1)$$

kde: Q – teplo, ktoré prijalo teleso v J

h – celkový koeficient prestupu 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 (5.2)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (5.2)$$

Kde: m – hmotnosť telesa v kg

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

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

V takomto prípade možno diferenciálnu rovnicu (5.1) vyjadriť v tvare (5.3)

$$\rho \cdot c \cdot V \frac{dT}{dt} = -h \cdot S \cdot (T - T_{okolia}) \quad (5.3)$$

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

V – objem vzorky v m^3

Ak možno zmenu teploty okolia zanedbať prechádza diferenciálna rovnica (5.3) do tvaru separovanej diferenciálnej rovnice (5.4)

$$\frac{dT}{T - T_{okolia}} = -\frac{h \cdot S}{\rho \cdot c \cdot V} \cdot t \quad (5.4)$$

Čoho riešením je priebeh teploty v tvare (5.5) (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.)

$$T = T_{okolia} + dT_{max} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (5.5)$$

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

τ - relaxačný čas v s

V rovnici (5.5) 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 (5.6)

$$\tau = \frac{\rho \cdot c \cdot V}{h \cdot S} = \frac{\rho \cdot c \cdot L_c}{h} \quad (5.6)$$

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 (5.7)

$$L_c = \frac{V}{S} \quad (5.7)$$

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

$$L_c = \frac{a \cdot b \cdot c}{2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c)} \quad (5.8)$$

Platnosť modelu sa posudzuje podľa tzv. Biotovho čísla Bi definovaného rovnicou (5.9) (https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_law_of_cooling)

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{k} \ll 1 \quad (5.9)$$

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 (5) platí pre vysoko vodivé materiály a pre nízkovodivé materiály iba v prípade veľmi nízkej hodnoty hrúbky materiálu.

Postup merania:

1. Zmerajte 5-krát rozmery vzoriek a, b, c pre vzorku mosadze CuZn a pre vzorku železa Fe a určite ich priemerné hodnoty ktoré zapíšete do polí H2, I2, J2 do hárku Fe pre železo a hárku CuZn pre mosadz.
2. Zmerajte hmotnosť vzoriek železa a mosadze ktoré zapíšete do poľa L2.
3. Z merania teploty na vzduchu určite teplotu okolia, ktorú zapíšete do poľa E2.
4. Do stredu vzorky železa umiestnite termočlánok a vzorku spolu s termočlánkom vložte do grilu kde ju zohrejte aspoň na 80°C.
5. Umiestnite meranú vzorku železa na držiak a nechajte ju chladieť na vzduchu. Držiak má byť čo najďalej od zdroja tepla a rovnako vzorka by sa nemala kývať.
6. Spustíte ukladanie dát pomocou merača EXTECH až kým teplota na vzorke neklesne na hodnotu aspoň o 20°C nižšiu ako je začiatková teplota. Ukladanie hodnôt spustíte 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.
7. Postup 4-7 opakujte pre vzorku mosadze CuZn.
8. Vypnite merač teploty EXTECH.
9. Importujte výsledky meraní do PC odobratím pamätovej karty z merača EXTECH a následným vložením do SD/MMC portu počítača.
10. Po nájdení pamätovej karty klinite postupne na Otvoriť priečinok a zobrazíť súbory, následne otvorte zložku TMD01 a nakoniec otvorte Excelovský súbor TMD01001.
11. V otvorenom súbori nájdite posledné 2 dátové sady pomocou dátumu a času (sú to posledné dve od doľa). Prvá sada odpovedá

meraniu prvej vzorky železa a druhá sada zas odpovedá meraniu druhej vzorky mosadze.

12. Na konci cvičenia musí každý študent za seba odovzdať protokol s hodnotami relaxačného času, koeficientu prestupu tepla h a vypočítanými a zdôvodnenými percentuálnymi odchýlkami.

Spracovanie nameraných závislostí teploty od času:

1. Skopírujte namerané hodnoty teplôt pre vzorku železa od maximálnej teploty do hárku Fe do polí C5, C6 atď. Hodnote maximálnej teploty priradte do poľa B5 čas 0.
2. Pre prvú hodnotu teploty pod teplotou maximálnou(C6) priradte čas 1s(pole B6) a takto pokračujte až po koniec(stačí podržať hodnoty 0 a 1 a pomocou kurzora posúvať hodnoty času až kým neprídete k poslednej hodnote teploty)
3. Zadajte hodnotu teploty okolia do poľa E2.
4. Následne Vám vzorový Excelovský zošit vypočíta hodnoty parametrov dT_{max} , F_i a $\ln(F_i)$.
5. Určite relaxačný čas v poli G2 pomocou vzťahu $-1/SLOPE(E5:E381;B5:B381)$ pričom E5 predstavuje prvú hodnotu $\ln(F_i)$, E381 poslednú hodnotu $\ln(F_i)$, B5 prvú hodnotu času a B381 poslednú hodnotu času. Číselnú hodnotu 381 pre B a E zmeňte tak aby uvedené číslo odpovedalo poslednej hodnote parametru $\ln(F_i)$ – stĺpec E a času – stĺpec B.
6. Do hárku Fe zadajte priemernú hodnotu šírky a , dĺžky b a hrúbky c do polí H2, I2, J2 pričom vzorový Excelovský zošit Vám vypočíta hodnotu charakteristického rozmeru L_c . Po zadaní hmotnosti vzorky železa sa v hárku Fe vypočíta aj hodnota hustoty a celkového koeficientu prestupu tepla h v poliach M2 a O2.
7. Kroky 1 až 6 opakujte pre vzorku mosadze pričom hodnoty pre mosadz zadávajte do hárku CuZn.
8. Po zadaní všetkých hodnôt podľa krokov 1 až 6 sa Vám v hárku Porovnanie určí percentuálna odchýlka pre celkový koeficient prestupu tepla h a pre relaxačný čas τ ktoré vo forme tabuľky uvedte pod textovú časť elaborátu.