## 5 Krivka chladnutia pevných látok

**Teória:**

Pri ohreve telesa nad teplotu okoliteho vzduchu, dochádza k ochladzovaniu materiálu na základe Newtonovho ochladzovacieho zákona (1) **(https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s\_law\_of\_cooling)**

$$\frac{dQ}{dt}=-h.S.\left(T-T\_{okolia}\right) (1)$$

kde: Q – teplo, ktoré prijalo teleso v J

 h – celkový koeficient prestupu tepla medzi vzorkou a okolím v W.m-2.K-1

 S – celková plocha cez ktorú sa šíri teplo(po zanedbaní niektorých prestupov) v m2

 T – aktuálna teplota vzorky v °C

 Tokolia – teplota okolia v °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 dalsich parametrov) možno teplo prijaté vyjadriť v tvare (2)

$$Q=m.c.∆T (2)$$

Kde: m – hmotnosť telesa v kg

 c – merná tepelná kapacita v J.kg-1.K-1

 ∆T – teplotný rozdiel medzi teplotou vzorky a teplotou okolia v °C

V takomto prípade možno diferenciálnu rovnicu (1) vyjadriť v tvare (3)

$$ρ.c.V\frac{dT}{dt}=-h.S.\left(T-T\_{okolia}\right) (3)$$

Kde: ρ – hustota vzorky v kg.m-3

V – objem vzorky v m3

Ak možno zmenu teploty okolia zanedbať prechádza diferenciálna rovnica (3) do tvaru separovanej diferenciálnej rovnice (4)

$$\frac{dT}{T-T\_{okolia}}=-\frac{h.S}{ρ.c.V} .t (4)$$

Čoho riešením je priebeh teploty v tvare (5) (**Koštial 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.)**

$$T=T\_{okolia}+dT\_{max} .exp⁡(-\frac{t}{τ}) (5)$$

kde: dTmax – maximálny teplotný rozdiel v °C(rovný rozdielu teploty telesa v čase 0 sekúnd a teplotou okolia)

 $τ$ - relaxačný čas v s

Relaxačný čas je definovaný podľa rovnice (6)

$$τ=\frac{ρ.c.V }{h.S} =\frac{ρ.c.L\_{c}}{h} (6)$$

Kde: Lc – charakteristický rozmer vzorky v m

Charakteristický rozmer Lc je definovaný podielom celkového objemu V a celkovej plochy cez ktorú sa vedie teplo čo v našom prípade vedie na vyjadrenie pomocou vzťahu (7)

$L\_{c}=\frac{V}{S}$ (7)

Následne môžu nastať 2 situácie týkajúce sa rozmerov:

1. všetky rozmery sú približne rovnaké, t.j. nemožno zanedbať prestup ani cez 1 plochu

2. 1 rozmer je výrazne nižší ako zvyšné dve, ktorý nazvime hrúbkou L

Potom rovnica (7) prechádza do tvaru:

$$L\_{c}=\frac{a.b.c}{2.\left(a.b+a.c+b.c\right)} v prípade 1$$

$$L\_{c}=\frac{L}{2} v prípade 2$$

Poznámka: Ak je meraná vzorka ochladzovaná na vzduchu vo dostatočnej vzdialenosti od zdroja tepla, tak pre naše približne štvorcové vzorky bude teplo odchádzať cez všetky plochy a v takom prípade platí prípad 1.

Platnosť modelu sa posudzuje podľa tzv. Biotovho čísla Bi definovaného rovnicou (8) **(https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s\_law\_of\_cooling)**

$$Bi=\frac{h.L\_{c}}{k} (8)$$

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.

Pre experimentálne účely určite bezrozmernú teplotu Ф pomocou vzťahu (9)

 $ Ф=\frac{T\left(t\right)-T\_{okolia}}{T\left(0\right)-T\_{okolia}} (9)$

Kde: T(t) – teplota v °C v čase t sekúnd

 T(0) – teplota v °C v čase 0 sekúnd, rovná maximálnej hodnote nameraných hodnôt teplot

 Tokolia – teplota okolia v °C

Postup merania:

1. Zmerajte rozmery vzoriek a,b,c CuZn, Fe.
2. Určite hodnotu charakteristického rozmeru Lc pre obe vzorky.
3. Postupne na vzorky z CuZn, Fe umiestnite 2 termočlánky na spodnú a hornú podstavu pomocou izolačnej pásky.
4. Z merania teploty na vzduchu určite teplotu okolia.
5. Zohrejte vzorky mosadze a železa pomocou grilu na teplotu aspoň 80°C, ktorú zmeriate pomocou termočlánku umiestneného v grile.
6. Umiestnite meranú vzorku na držiak a nechajte ju chladiť na vzduchu.
7. Spustite ukladanie dát pomocou merača EXTECH až kým teplota na vzorke neklesne na hodnotu aspoň o 30°C nižšiu ako je začiatočná 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.
8. Postup 5, 6, 7 opakujte pre obidve vzorky.
9. Importujte výsledky meraní do PC odobratím pamätovej karty z merača EXTECH a následným vložením do PC do SD/MMC portu.
10. Po nájdení pamätovej karty klinite postupne na Otvoriť priečinok a zobraziť 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 dola). Prvá sada odpovedá meraniu prvej vzorky a druhá sada zas odpovedá meraniu druhej vzorky.
12. Dátové hodnoty prekopírujte do nového excelovského súboru a vytvorte 1 list pre vzorku železa a 1 list pre vzorku mosadze. Hodnoty teploty v procese chladnutia skopírujte do listu pre daný materiál do buniek C od 3.riadka a odpovedajúci čas od 0 sekúnd v sekundových intervaloch do buniek B od 3.riadka(t.j. v poli B3 je 0, B4 je 1 a tak ďalej).
13. Následne vytvorte podľa vzťahu (9) v Exceli hodnoty pre bezrozmernú teplotu do stĺpca D od 3. riadka, za hodnoty parametrov T(0) a Tokolia dosadzujte číselné hodnoty parametrov počiatočná teplota, resp. teplota okolia.
14. Vytvorte prirodzený logaritmus z bezrozmernej teploty ln(Ф) pomocou funkcie log, kde za hodnotu bezrozmernej teploty berte postupne D3, D4, atď.
15. Nájdite smernicu závislosti ln(Ф) od času a označte ju ***a*** (umiestnite ju do poľa E2).
16. Určite relaxačný čas $τ$ pre každú vzorku pomocou vzťahu ***-1/a*** (umiestnite ju do poľa F2).
17. Následne pomocou tabuľky určite hodnotu celkového koeficientu prestupu tepla *h* podľa vzťahu (6).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | CuZn | Fe |
| ρ | 8330 | 7610 |
| c | 400 | 450 |

1. Porovnajte hodnoty relaxačného času a celkového koeficientu prestupu tepla pre všetky merané materiály.
2. Porovnajte v 1 grafe závislost teploty od času pre obe merané materiály.