HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐ MÉRÉSE POLISZTIROL HABOKON

Jónás Zsolt

There are some physical properties which not easy to measure such as thermal conductivity. The available measurement procedures are too difficult or the measurement instruments too expensive for us. The mathematicians elaborated a comparatively simple method, which can be used grandiose for the solution of the differential equation of the thermal conductivity. With the adoption of the finite difference method we can calculate the thermal conductivity of different solids. The experiment based on temperature measuring during transient conditions. If we measure the temperature distribution in different times and at given places in the sample we can get temperature data as a function of time and space. In this way we can satisfy the numerical solution of our differential equation. By fitting curves to the measured values we get a strictly monotonic function which is a necessary condition for applying this mathematical method.

Bevezetés

A modern anyagtudomány megköveteli a fejlődésének eredményeként megjelenő új anyagok tulajdonságainak pontos ismeretét. A műanyag habokat elsősorban kiváló hőszigetelő tulajdonságaik miatt használják, melynek pontos ismerete az alkalmazhatóság alapvető követelménye. Ez azt jelenti, hogy ismernünk kell a hő terjedését a műanyag habon belül. A hőátadás nagyrészt hővezetéssel történik a habon belül melynek meghatározásához tranziens körülmények közötti hőmérsékletmérést alkalmaztam. A mintában a hőáram megindulásától kezdve több pontban mérjük az aktuális hőmérsékletet egy gyors adatgyűjtő segítségével. A mért értékekből közvetlenül a hődiffúziós tényezőt határozhatjuk meg. Ebből a megfelelő anyagjellemzők, fajlagos hőkapacitás és sűrűség, felhasználásával a hővezetési tényező számítható, melynek pontosságát, mint majd látjuk, alapvetően a hőmérsékletmérés, az anyagjellemzők értékeinek valamint a termoelemek térbeli elhelyezésének pontossága befolyásolja.

Mérőmódszerem előnye a szabványos stacionárius hővezetési módszerekkel szemben a gyorsaság és az egyszerű kivitelezhetőség. Nem igényel célberendezést. Bár eredményeim számszerű közlését a gyártó cég nem engedélyezi, megállapítható, hogy azok jó egyezésben vannak az irodalmi adatokkal.

A hővezetés differenciálegyenlete

Az irodalomból már jól ismert hővezetés differenciál egyenletének általános alakja (1)

$$-\text{div}(\text{grad}(\lambda T)) + c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

némiképp leegyszerűsödik (2), ha feltételezzük hogy a hővezető test, amelyben a hőmérséklet-eloszlást keressük, homogén és izotróp és a hőmérséklet csak az egyik helykoordinátától függ.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

A kiértékelés módja

A differenciálegyenlet általános, 3 dimenziós, alakjának analitikusan nincs megoldása. A 2 illetve 1 dimenziós alaknak ugyan létezik sorok formájában, de ezekből a hővezetési tényező nehezen fejezhető ki. (Ezt a matematikában inverz feladatként ismerik, mely külön tudományág.) Ezzel szemben a végesdifferencia módszer könnyen kezelhető, hibája becsülhető.

A módszer lényege, hogy a vizsgált tartományt diszkrét részekre osztjuk, például azonos osztásközökben felvett egyenesseregek segítségével. Az így kialakuló háló csomópontjaiban a keresett függvény differenciálhányadosának közelítő értékeit valamilyen alkalmas interpolációs polinom megfelelő differenciahányadosaival közelítjük a keresett függvény Taylor-sorba fejtésével az n-edik osztásköz környezetében. Így a megoldandó differenciálegyenletet differenciaegyenlettel helyettesíthetjük. A módszer alkalmazásával a hővezetés differenciálegyenlete a

$$\frac{T_i^{(k+1)} - T_i^{(k)}}{\Delta t} = a \frac{T_{i+1}^{(k)} + T_{i-1}^{(k)} - 2T_i^{(k)}}{(\Delta x)^2} \quad (3)$$

alakot ölti, ahol i a hely szerinti, k pedig az idő szerinti lépésközt jelenti. A (3) egyenletből a keresett λ hővezetési tényező explicit módon kifejezhető:

$$\lambda = \frac{T_i^{(k+1)} - T_i^{(k)}}{T_{i+1}^{(k)} + T_{i-1}^{(k)} - 2T_i^{(k)}} \cdot \frac{(\Delta x)^2}{\Delta t} \cdot c \cdot \rho \quad (4)$$

Kimutatható, hogy a $\frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} = 0.5$ esetén az eljárás konvergens, vagyis az $a \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \leq 0.5$ egyenlőtlenség a feltétele az eljárás alkalmazásának.

Méréseim során a mintavételezési idő (Δt) és a hőmérsékletmérési pontok távolságának (Δx) alkalmas megválasztásával a fenti feltétel természetesen teljesült.

A próbatest anyaga és méretei

A mérés tárgyául négy eltérő tulajdonságú polisztirolhabot választottam. Ebből kettőről (a gyártó által megadott) teljes körű specifikációval rendelkeztem, míg a másik kettőről semmiféle adat sem állt rendelkezésemre. A próbatest $160 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ méretű téglatest volt.

A mérés leírása

A mérés lebonyolításához tranziens körülményeket kellett teremtenem. Az esetemben ez azt jelentette, hogy a próba két vége között hőmérséklet különbséget kellett biztosítanom valamilyen módon. A test hossz tengelye mentén mérve a hőmérsékleteket, tranziens módon mért hővezetési tényező számítható az eredményekből.

A mérés során négy termoelemmel mértem a hőmérsékletet. Egy termoelemmel mértem a hűtő közeg hőmérsékletét, hárommal pedig a próbatest hőmérsékletét a középvonala mentén különböző (1 cm, 2 cm és 3 cm-es) magasságokban ahogy az a pontokkal jelölve az 1. ábrán látható.

1. ábra

Mérési eredmények

Mint az a 2. ábrán is jól látható a görbék exponenciális jellegűek és három egymástól jól elkülönülő szakaszból állnak. A második szakaszon a hőmérséklet különbség hatására meginduló lehűlési folyamat látható. Itt jól megfigyelhető, hogy az egyes időpontban milyen különbségek vannak az letérő magasságokban a hőmérsékletek között. A mérés során tranziens állapotban mértem a hőmérsékletet, tehát a kiértékelés szempontjából a görbe második szakasza hordozza a feldolgozandó információt.

A mért hőmérséklet értékek közül a tranziens állapothoz tartozókat elkülönítve, a távolságok alapján szétválasztva, majd egyenként polinomot illesztve rájuk egy szigorúan monoton görbét kaptam.

Azért volt szükség polinomot illeszteni a mért értékekre, mert a mérési eredményeket megnézve a mintavételezési idő nem megfelelő megválasztása miatt, azt tapasztaltam, hogy azonos mért értékek különböző időpontokhoz is tartozhatnak. Ez amiatt adódik, hogy nem tudjuk előre megmondani a megfelelő mintavételezési időt. De ha meg is tudnánk mondani a megfelelő időközt az adatgyűjtők

2. ábra

csak diszkrét mintavételi időket „ismernek” és nem biztos, hogy ez a kettő egybe esik. Pusztán a mért értékekre alkalmazva a (4) egyenletet a kiértékelést lehetetlenné tenné, mivel az k -edik, és az $k+1$ -edik időponthoz tartozó hőmérsékletek különbsége két „sorra kerülés” között nulla. Az eltérés a mért és a módosított értékek között nem okoz problémát, mert a kiértékelés különbségképzéssel alapszik.

A (4) egyenletbe való behelyettesítéshez az i -edik helynek válasszuk a folyékony nitrogén szintjétől két centiméterre lévő termoelem helyét. Ehhez képest az $i-1$ -edik hely az egy centiméterre lévő, az $i+1$ -edik hely pedig a három centiméterre lévő termoelem helye a nitrogén szintjétől mérve. Ezután a (4)-es képletnek megfelelően az adatoszlopok egymásból való kivonásával, illetve a különbségek hányadosaként a hővezetési tényezőt kaptam.

Az összefüggésben szereplő tényezők közül Δx a hőmérsékletmérési pontok egymástól mért távolságát m -ben, Δt a mintavételezés idejét jelenti s -ban.

Mérési eredmények

A vizsgálatok során a műanyaghab gyártójával felvett és kialakult jó kapcsolat eredményeként a gyártó kérésére a konkrét mért értékeket nem közölhetem és ezért elnézést kérek mindenkitől, de a 3. ábrán látható hozzávetőleges eredmények jól mutatják, hogy a mért és a gyártó által megadott, általam referenciaadatként felhasznált hővezetési tényező értékek elég jól közelítik egymást.

3. ábra

Összefoglalás

Az alkalmazott mérési eljárás egyszerűségén túl, a mért és a referenciaadatok jó egyezésben vannak. Bonyolult és drága berendezések nélkül is viszonylag pontos mérések végezhetők el az általam bemutatott eljárás alkalmazásával.

Jónás Zsolt III. éves mérnök-fizikus hallgató

MISKOLCI EGYETEM Anyagtudományi Intézet Nemfémek Anyagok Tanszéke

H-3515 Miskolc-Egyetemváros, HUNGARY

Fax: 36-46-365-924