

Termikus interface anyag teszter szimulációja MATLAB-ban

Név: Somlay Gergely

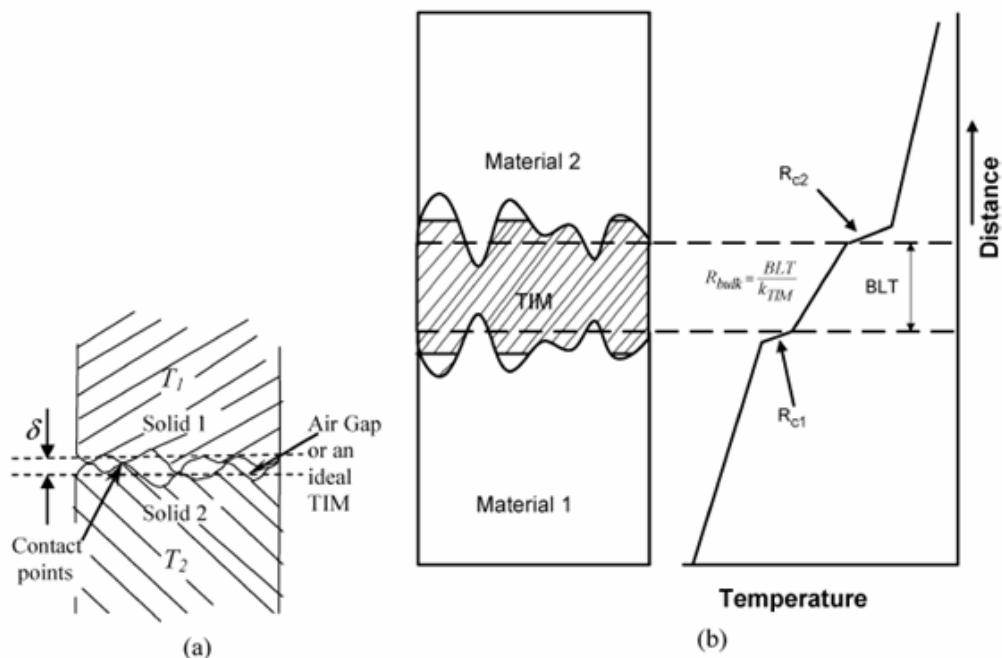
A feladat célkitűzése

Termikus interface anyag vizsgálatára alkalmas elrendezés 2D-s termikus szimulációja véges differencia módszer segítségével. A paraméterek beolvasására és az eredmények megjelenítéséhez GUI készítése.

Elméleti áttekintés

Termikus interface anyagok szerepe

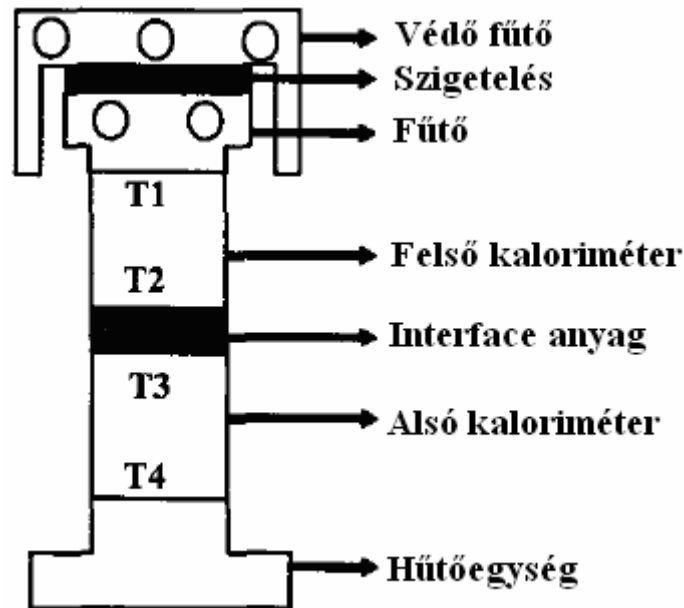
Könnyen belátható, hogy a termikus interface anyagok (thermal interface materials - TIM) alapvető fontosságúak, amikor egy hűtőben két vagy több szilárd felület találkozik. A standard előkészítésű felületek érdesek és hullámosak, aminek következtében relatíve kevés tényleges érintkezési pont van a felületek között (1. ábra). Az „érintkező” felületek között kialakuló légrések még a közepes teljesítményű alkalmazások esetében is túl nagy hőgátat képeznek. A mikroprocesszorok hűtési igényének folyamatos növekedése miatt a termikus megoldások iránt fokozott az igény. A termikus interface anyagok kulcsszerepet játszanak a különböző részegységek termikus összekötésében.



1. ábra (a) egy csatlakozás valós érintkezési felületeinek sematikus ábrája. Egy ideális TIM a légüregeket teljesen kitölti. (b) egy valós TIM sematikus ábrája

Termikus interface anyagok vizsgálata

A termikus anyagok tulajdonságainak mérésére számos mérési módszert dolgoztak ki, ugyanakkor vannak hasonlóságok az egyes megoldások között. A leggyakoribb mérési elrendezés a 2. ábrán látható, mely egyben ASTM szabvány is (D 547095). A TIM két jó hővezető szorítópofofa közé van beszorítva. A tesztoszlopon belüli hőeloszlást mindkét oldalon elhelyezett kaloriméterek segítségével határozzák meg. A konduktív illetve a konvektív hővesztések minimalizálása érdekében az eszközt gyakran vákuumkamrába helyezik el. A hőellenállást a mérendő anyagon keresztül kényszerített ismert nagyságú hőáramból és a mért hőmérsékletesésből számítják.

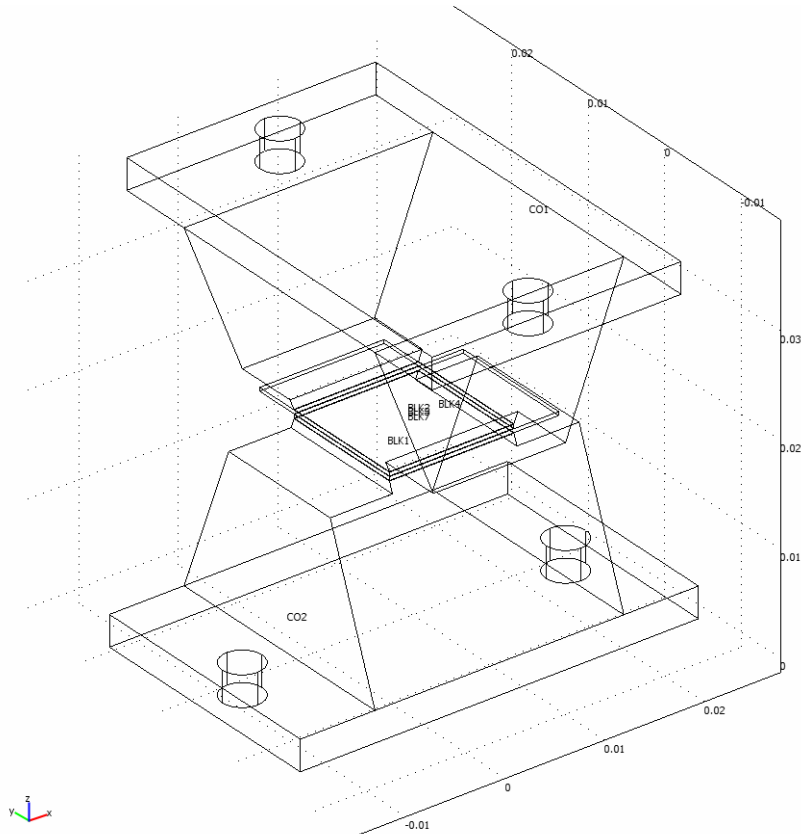


2. ábra A tesztoszlop felépítése

A vizsgált mérési elrendezés

A feladat során ezen a mérési elrendezésen alapuló berendezés egyszerűsített modelljéhez készült szimulátor. A pontosabb hőmérsékletmérés érdekében a hőmérőket nem a kaloriméterben valósítjuk meg, hanem a mérendő TIM alá és fölé egy-egy hőmérő chipet helyezünk, ezáltal a hőmérsékletmérés a TIM közelében történik és nincs szükség lineáris extrapolációra. A struktúra a 3. ábrán látható.

A szimulátorban csak a belső rétegeket vettük figyelembe, az alsó és felső rézgúllakat elhagytuk. A vizsgált struktúra így öt rétegű (felső TIM, felső chip, mérendő TIM, alsó chip és alsó TIM). Ezek a rétegek négyzetes hasákkal jól közelíthetők. Amennyiben adiabatikus határfeltételeket adunk meg, akkor a probléma visszavezethető egy dimenziós hővezetésre.



3. ábra A TIM teszter

Számítógépes algoritmus kidolgozása

A feladat megoldásához a hővezetés alapegyenletéből kell kiindulni. Ez stacionárius esetben, hőmérséklettől független fajlagos hővezetés (λ) és fajlagos hőkapacitás (c) anyag-paraméterek esetén:

$$\operatorname{divgrad}(T) = \frac{g_v}{\lambda}$$

Ez megfelel az elektrosztatikából ismert Poisson egyenletnek. Ha a vizsgált térrészben nincsenek hőforrások ($g_v = 0$), az összefüggés még egyszerűbb:

$$\operatorname{divgrad}(T) = 0$$

Ez a Laplace egyenlet.

Egy fizikai probléma vizsgálatánál a szimuláció egy elhatárolt (véges) térrészre terjed ki. Hogy a feladat egyértelmű legyen, meg kell adnunk a térrész határán uralkodó határfeltételeket (boundary conditions). Három fajtája ismeretes:

Elsőrendű (Dirichlet féle) határfeltétel

$$T(\bar{x}, t) = f(\bar{x}, t)$$

(T természetesen konstans vagy zérus is lehet:

$T(\mathbf{x}, t) = \text{const}$, ez az izotermikus határfeltétel)

Másodrendű (Neumann féle) határfeltétel

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = q(\bar{x}, t)$$

(q természetesen zérus is lehet: $q(\mathbf{x}, t) = 0$,

ez az "adiabatikus" határfeltétel, hőszigetelt felületnek ez felel meg).

Harmadrendű (Robin féle) határfeltétel
$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h \cdot (T(\bar{x}, t) - T_\infty)$$
(ez a konvekciós hőátadás esete).

Ebben a feladatban csak az első két típusú határfeltételt alkalmaztuk.

A hőterjedést az alábbi sémával közelítettük (U MxN-es mátrix, mely leírja az egész struktúrát):

$$U(i, j) = (U(i-1, j) + U(i+1, j) + U(i, j-1) + U(i, j+1)) / 4;$$

Ezt a sémát egy előre definiált lépésszám-szor lefuttattuk. Az egyes rétegek határán az alábbi képletet alkalmaztuk:

$$U(\text{hatar}, j) = (\text{lambd}a1 * U(\text{hatar} - 1, j) + \text{lambd}a2 * U(\text{hatar} + 1, j)) / (\text{lambd}a1 + \text{lambd}a2);$$

Az izoterma határfeltétel megadása: $U(\text{end}, :) = T;$

A Neumann felé határfeltétel megadásához a definícióból indultunk ki: $-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = q(\bar{x}, t)$

$$\text{Innen: } \frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{q}{\lambda}$$

$$\frac{U_{1,j} - U_{-1,j}}{2\delta_x} = -\frac{q}{\lambda}$$

$$U_{-1,j} = U_{1,j} + 2 \cdot \frac{q}{\lambda} \delta_x$$

Adiabatikus esetben ($q = 0$), ez az alábbira egyszerűsödik: $U_{-1,j} = U_{1,j}$

A számítógépes kód leírása

A program működése három fő részből áll. Először beolvassa a struktúrára vonatkozó adatokat és a peremfeltételeket, ezután elvégzi a számítást, majd az eredményeket ábrázolja.

A beolvasás során lényegében csak a GUI editbox sztringjeit olvassa be a program, majd ezeket dupla pontosságú számokká konvertálja.

A számítás során a létrehozta az U mátrixot a geometriai paraméterek alapján. A mátrixot az izoterma peremfeltétel értékével tölti fel. Ez lesz a kiindulási megoldás.

A program a mátrix belső pontjaira a már leírt sémát alkalmazza. Ezután a rétegek érintkezési felületein a szintén bemutatott képlet alapján számol. A határfeltételeken, meg az adott feltételnek megfelelően jár el.

Végezetül az eredményeket két koordináta-rendszerben ábrázolja. Az egyikben a teljes struktúra hőmérséklet eloszlását mutatja be szintvonalas ábrázolással, illetve a

hőáramvonalakat nyíldiagram segítségével. A második koordináta rendszerben a struktúra hossz tengelye mentén kialakult hőmérsékleteloszlást.

A program használata

A program jelenleg egy fix rétegszámú struktúrára számítja ki a hőmérséklet eloszlást. Ennek az öt rétegnek a vastagságát és a fajlagos hővezetési együtthatóját lehet megadni, mint bemenő paraméter, illetve a teljes struktúra szélességét.

További bemenő adatként meg kell adni a peremfeltételeket. A struktúra alján izotermikus peremfeltételt lehet megadni, míg a többi oldalon hőáramot lehet definiálni.

Az adatok megadása után a Számol gombra kattintva indítjuk el a szimulációt. Az eredményeket a két koordináta rendszerben jeleníti meg a program. A bal oldali a hőmérséklet eloszlást (szintvonalas diagram) és a hőáram sűrűséget (nyíldiagram) mutatja a teljes struktúrában (az izoterma alul van), míg a jobb oldali a hossz tengely mentén kialakuló hőmérséklet eloszlást mutatja.

Mivel a programban nincs semmilyen bemeneti adatszűrő, ezért figyelni kell, hogy az adatok helyesek legyenek.

A geometriai méreteket csak egész számmal lehet megadni, a valós számokat nem kezeli a program.

A program jelenleg nem alkalmas mikroméretű rétegek vizsgálatára, mert pillanatnyilag a felbontás 1 méter.

Validálás, eredmények

Az eredményeket kvalitatíve és kvantitatíve is ellenőriztem. Adiabatus határfeltétel esetén a probléma leegyszerűsödik 1D-s hővezetési problémára. Ezt meg is kaptuk, a hőáramvonalak merőlegesek a felső oldalra (a hőforrásra), a hőmérsékleti szintvonalak párhuzamosak egymással.

A hossz tengely mentén jól láthatóak a különböző hővezetésű rétegek a töréspontok miatt. Az egyes töréspontokat egyenes szakaszok kötik össze.

Egy ilyen szakaszra ellenőrző számítást végeztem. A vizsgált réteg 5 m vastag volt, a fajlagos hővezetési együtthatója 1 W/mK , a szélessége 10m. Az alkalmazott hőáram sűrűség 10 W/m^2 . A számítás alapján $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -os melegedés várható és a szimulációs eredmény ezzel megegyezett.

Konklúzió

Elkészült egy TIM tesztben kialakuló hőmérséklet eloszlás szimulációjára alkalmas program. A szoftver az igazi struktúrának egy egyszerűsített kétdimenziós modelljét vizsgálja.