

A hő terjedése szilárd test belsejében szakaszos tüzelés esetén

Sinka Klára

*okl. kohómérnök, doktorandusz hallgató
Miskolci Egyetem Anyag- és Kohómérnöki Kar
Energiahasznosítási Kihelyezett Tanszék*

Bevezetés

Az utóbbi években a magas égéslevegő hőmérséklettel dolgozó technológiáknál a fejlesztés az NO_x kibocsátás mérséklésére és a fajlagos energiafogyasztás csökkentésére irányul.

A primer energia-megtakarítás szempontjából újszerű megoldást jelenthet a pulzáló jellegű tüzelésvezetés alkalmazása.

Az ilyen jellegű tüzelésirányítás lehetővé teszi, hogy mind a melegítési, mind a hőtartási periódusokban a legkedvezőbb áramlástanai és hőeloszlási viszonyok alakuljanak ki, ugyanakkor a hőkihasználás szempontjából biztosítja a hőátadási tényezők maximális értékét.

Az elemzés szempontjai

A folyamat megvalósulásának meghatározó eleme a kemencetér és a hevítendő anyag felülete közötti hőcsere intenzitása. Az alacsony hőmérsékletű anyag a kemencébe (folyamatos üzemű berendezés esetén annak megfelelő zónájába) kerülve kezdetben gyorsabban, a felületi hőmérséklet emelkedésével lassabban melegszik. A hőfelvétel szempontjából a hőmérséklet emelkedésével mind erősebben ható tényezővé válik a belső hővezetés.

Vastag, hosszabb átmelegedési időt igénylő anyagok esetén a felületi hőmérséklet kívánt értékét elérve a tüzelést vissza kell szabályozni a túlhevülés elkerülése érdekében. „Túlfűtés” alkalmazása az anyagban nem kívánatos folyamatokat indukálhat, növekszik a leégési veszteség, deformációk léphetnek fel. A magas felületi hőmérséklet melletti hőátadás ugyanakkor rendkívül energiaigényes.

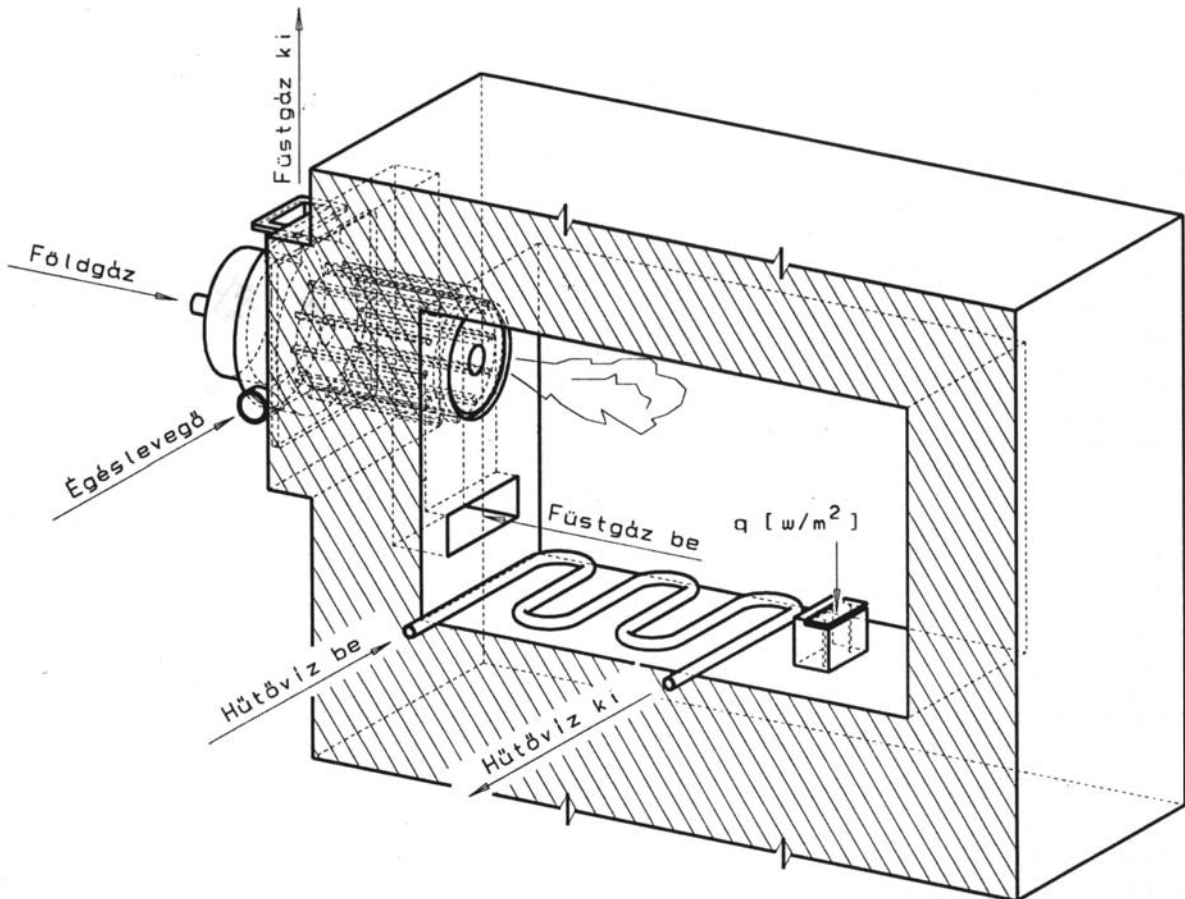
Már a '70-es, '80-as években is végeztek üzemi kísérleteket [1] [2] annak vizsgálata érdekében, hogy a szakaszos, impulzusszerű tüzelés hogyan hat a fűtés folyamatára.

Egy ilyen tüzelési mód hatása kettős. A tüzelési szünetekben (vagy a „kisláng” tüzelési szakaszban) a hőfelvétel ugyan csökken, a darab hőmérséklet kiegyenlítődése azonban a hővezetés törvényszerűségeinek megfelelően folytatódik, az átmelegedés egyenletesebbé válik. Várható a felhevítési idő növekedése, azonban a hőmérséklet kiegyenlítődése időigénye kevesebb lesz. A felületi hőmérséklet lassabb növelése intenzívebb hőfelvételt tesz lehetővé a teljes folyamatra vetítve.

A pulzáló tüzelés másik hatása az áramlási határrétegek folyamatos zavarására vezethető vissza.

A konvektív hőátadás mértékét meghatározó határretegek kialakulására a tüzelési intenzitás – és ez által a kemenceáramlási mező – rövid periódusonkénti változása miatt nincs idő, a tranziens állapot „állandósul”. Ez jelentős növekedést eredményez a hőfelvételnél [3].

A vizsgálatot részben kísérleti, részben elméleti úton végeztük. A kísérletek célja az volt, hogy meghatározzuk a kemencetér egy adott helyzetében kialakuló hőáramsűrűséget és annak változását a fenti szakaszos tüzelési mód esetén. A kísérleti kemencét az 1. ábra mutatja be.



1. ábra

A réskemence vázlatja az égővel, hűtőcsőkiógyóval és hőáram sűrűség mérővel

Az 1. ábrán a hűtő csőkiógyó mellett a hőáramsűrűségmérő látható. A hőáramsűrűség mérésére 3 mm vastag acéllapkát használtunk. Ennek hőmérsékletét 3 pontban mérve folyamatosan lehetővé vált az adott felületre jutó hőáramot, ill. annak sűrűségét meghatározni. A lapka szigetelt és árnyékolt tartón nyert elhelyezést a sugárzásos hőleadás minimálisra csökkentése érdekében.

A kemencetér, boltozat és füstgáz hőmérsékleteket folyamatosan mértük. A kemence folyamatos hőelvételeit vizes hűtő biztosította. Az árnyékolás feladata a lapka és a hűtő közötti hőcsere megakadályozása volt.

A tüzelést ISR rekuperatív impulzuségővel végeztük. A ciklusosságot ütemadó és mágnesszelep által létrehozott nagyláng-kisláng tüzelési mód

biztosította. A kísérletsorozat alatt 11-féle tüzelési arány és ciklusidő változatot vizsgáltunk meg.

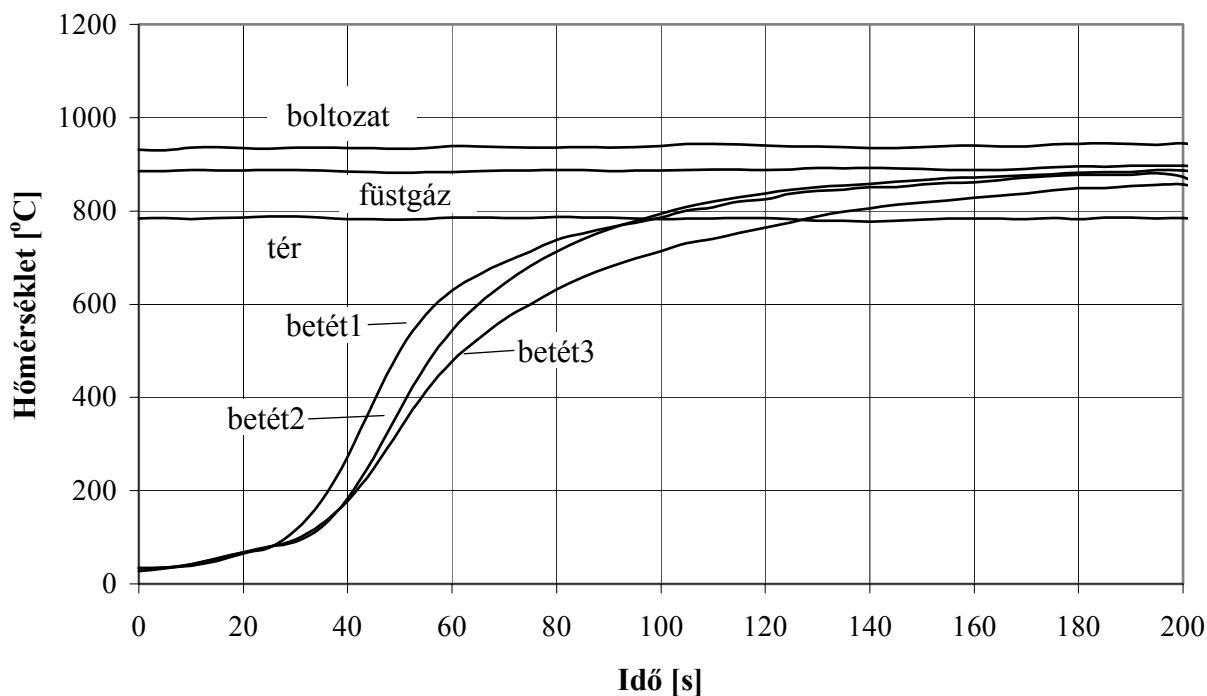
A maximális és minimális tüzelőanyag-bevitel aránya 1:1 és 6:1 között változott. A teljes ciklusidők 24-150 sec között kerültek beállításra. A kísérleteket 880-920°C közötti kemencetér hőmérsékletekkel végeztük.

A méréseket a 200-840°C-os lapka („betét”) hőmérsékletváltozási időszakban értékeltük. Kiragadott példaként a 12-12 s-os pulzáló tüzelésnél kapott mérési eredményeket a 2. ábra tartalmazza.

Az összes beállítás mérési adataiból kapott értékek alapján megállapítottuk, hogy a hevítési idő a tüzelési arányszám csökkenésével növekvő tendenciájú (a kisláng időaránya ekkor nagyobb).

A tisztán nagyláng tüzeléshez képest a növekedés mintegy 20%-os. A ciklusidő rövidülésével a hevítési idő is csökken, ami a hőátadás tranziens jellegének erősödését jelzi.

A tüzelőanyag fogyasztás értéke a tüzelési arányszám csökkenésével erőteljesen csökken, 60-65%-ra esik vissza.



2. ábra

12-12 s-os pulzáló tüzelés során a hőmérsékletek alakulása az idő függvényében

Összegezve a hevítési idő kisebb mértékű növekedését és a tüzelőanyag fogyasztás csökkenését, a pulzáló tüzelés hatása kedvező.

A testek átmelegedésének elemzése matematikai modell segítségével történik [4]. A vizsgálatot az egydimenziós hővezetés feltételei mellett végeztük, ötvözetlen acél anyagminőséget véve alapul.

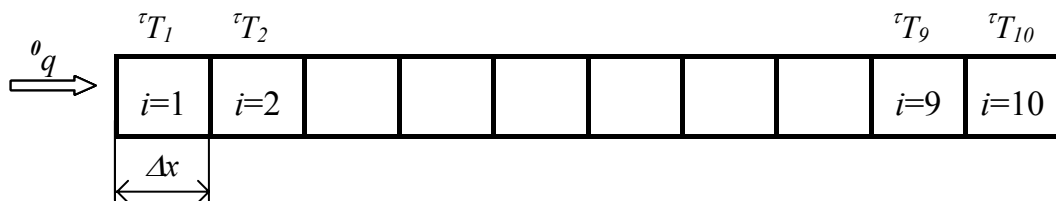
A modell vázlatát és a számítási algoritmust az alábbi elv szerint foglaltuk össze. A vizsgált hőmérséklettartomány ezúttal is 200-840°C intervallum volt.

A modell feltételezése szerint a legbelső „10” jelű elemet szigetelt fal határolja, hőleadása nincs. Ez megfelel a hátoldali szimmetrikus hevítés esetén a szimmetriatengelynél elhelyezkedő elem hőátadási viszonyainak.

A 3. ábrán az „1” jelű elemre ható felületi hőáram a lapka melegedéséből – időegység alatti hőfelvételéből- számított érték.

Amint a szélső elem hőmérséklete elérte a 840°C-ot, a továbbiakban ennek hőmérsékletét állandónak tételeztük fel. Ez azt jelenti, hogy a q_0 felületi hőáram értéke a „2” jelű elem felé történő vezetési hőárammal azonos érték (q_{12}).

A betétben kialakuló hővezetés matematikai modellje



3. ábra
A „betét” vázlat

Kezdeti feltétel:

$$\tau = 0 \rightarrow {}^0T_1 = {}^0T_2 = {}^0T_3 = \dots = {}^0T_i = T_0$$

ahol: τ - idő [s]
 T - hőmérséklet [°C]
 i - elemek sorszáma

A hőmérséklet alakulása $\tau=1$ és $i=1$ esetén:

$${}^1T_1 = T_0 + \frac{{}^0q \cdot A \cdot \Delta\tau}{\rho \cdot A \cdot \Delta x \cdot c} = T_0 + \frac{{}^0q}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta x}$$

ahol: ρ - sűrűség [kg/m^3]
 Δx - elem vastagsága [m]
 c - fajlagos hőkapacitás [$J/kg \cdot ^\circ C$]
 A - elem felülete [m^2]
 q - elemre jutó hőáram [W/m^2]

A 2. elemre jutó hő:

$$Q_{12} = \frac{\lambda \cdot (T_1 - T_2)}{\Delta x} \cdot A \cdot \Delta\tau \rightarrow \Delta T_{12} = \frac{Q_{12}}{\rho \cdot c \cdot A \cdot \Delta x} = \frac{\lambda \cdot (T_1 - T_2) \cdot \Delta\tau}{\rho \cdot c \cdot \Delta x^2}$$

$$\Delta T_{12} = \gamma \cdot (T_1 - T_2)$$

$$\gamma \equiv \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta x^2} \leq \frac{1}{2}$$

ahol: λ - hővezetési tényező [$W/m \cdot ^\circ C$]
 γ - az idő és távolságlépték aránya

A 2. elem hőmérséklete $\tau=1$ időpontban:

$${}^1T_2 = T_0$$

Egydimenziós hővezetés esetén a „betét” hőmérséklet eloszlásának alakulása:

$${}^2T_1 = {}^1T_1 + \frac{{}^1q}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta x} - \gamma \cdot ({}^1T_1 - {}^1T_2)$$

$${}^2T_2 = {}^1T_2 + \gamma \cdot ({}^1T_1 - {}^1T_2)$$

$${}^3T_1 = {}^2T_1 + \frac{{}^2q}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta x} - \gamma \cdot ({}^2T_1 - {}^2T_2)$$

$${}^3T_2 = {}^2T_2 + \gamma \cdot ({}^2T_1 + {}^2T_3 - 2 \cdot {}^2T_2)$$

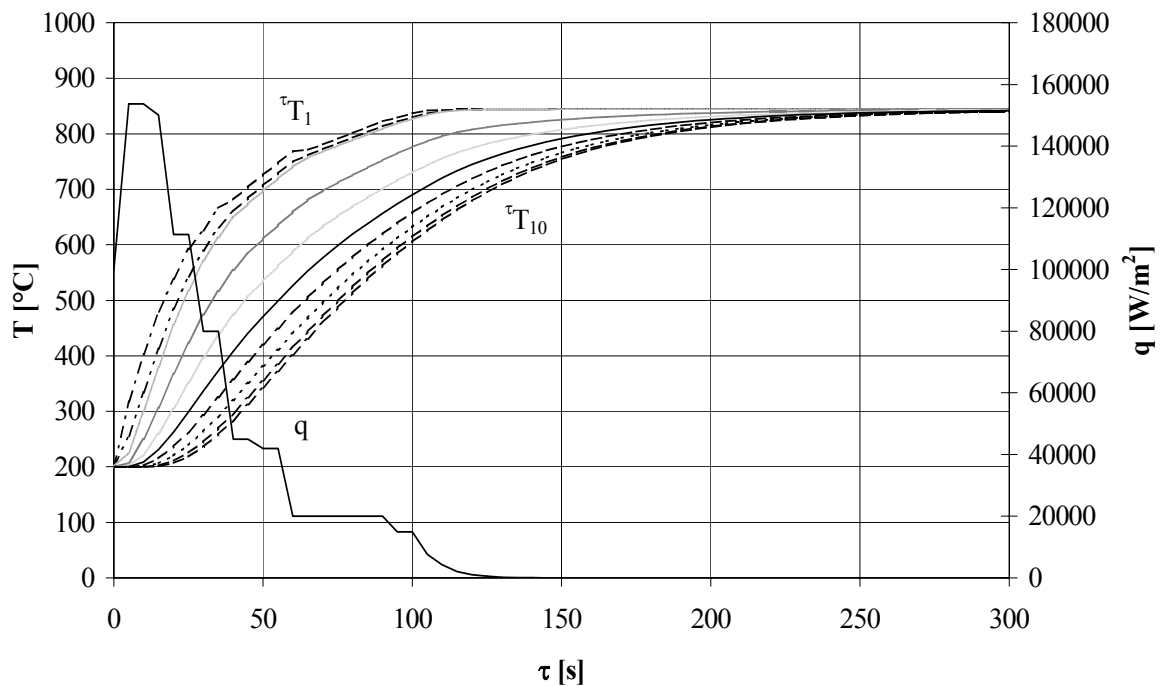
A fenti levezetésből meghatározható hővezetési modell:

$${}^\tau T_1 = {}^{\tau-1} T_1 + \frac{{}^{\tau-1} q}{\rho \cdot c} \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta x} - \gamma \cdot ({}^{\tau-1} T_1 - {}^{\tau-1} T_2)$$

$${}^\tau T_i = {}^{\tau-1} T_i + \gamma \cdot ({}^{\tau-1} T_{i-1} + {}^{\tau-1} T_{i+1} - 2 \cdot {}^{\tau-1} T_i)$$

Az összehasonlítás alapjául a „10” jelű legbelső elem felmelegedésének időszükséglete szolgál. A kiegyenlítődés befejeződését a $830^\circ C$ -os

hőmérsékletérték elérése időpontjában jelöltük meg. A számítási eredményeket a 4. ábra mutatja.



4. ábra

A 12-12 s-os pulzáló tüzelés esetén a betét hőmérséklet és a betétre jutó hőáram alakulása a matematikai modell szerint

Összefoglalás

Az elvégzett kísérletek és számítások igazolták, hogy 840°C-os felmelegítést tételezve fel, a pulzáló tüzelés a kedvezőbb hőátzármaztatási lehetőségeknél fogva ellensúlyozza a kisláng periódusok hőmérséklet, ill. füstgázsebesség csökkenéséből adódó hatást, kismértékben még gyorsíthatja is a felhevítés folyamatát. Ugyanakkor a ciklikus tüzelőanyag bevezetés jelentős fűtőanyag-megtakarítást – és ezen keresztül NO_x kibocsátás csökkenést – eredményez.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Szarka Tivadar: Mélykemencék teljesítményének és tüzeléstechnikai hatásfokának növelése a melegítés dinamikájának hatásfokával. Miskolc, IX. Ipari Szeminárium, 1971. 311-316. old.
- [2] Dr. Szarka Tivadar: Az impulzustüzelés eredményei a hengerműi mélykemencék üzemeltetésében. Energiagazdálkodás XVIII. évf. 2. szám 1976. 74-76. old.
- [3] Dr. Szarka Tivadar: Hőátadási folyamatok jobbítása irányítástechnikai módszerekkel. Miskolc-Egyetemváros, microCAD'95 Conference 40-43. old.
- [4] Dr. Kapros Tibor: Műszaki hőtan Miskolc, 1997. 101-106. old.