

# X. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2005. március 18-19.

## AUSZTENITESÉDÉS SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓJA

**Karacs Gábor, Dr. Roósz András**

### Abstract

The steels are used in the greatest amount in the industry in Hungary. Their properties can be varied in wide ranges by alloying and annealing. In numerous heat treatment methods or at the hot working processes steel is heated above  $A_1$  temperature to austenite it. Such a transformation of the parent structure is called austenitization. Two types of the transformation are known depending on how the process occurs. Isothermal transformation occurs if heating up the sample to a certain temperature is very fast and than all the phase transformation takes place at that temperature. We talk about continuous transformation if it occurs during heating up the sample at a certain heating rate.

The aim of the simulation is to predict those variables, which can not be determine precisely and fast enough by other methods. Executing of the mathematical model with predetermined parameters is cheap and it can be performed without using materials and energy. This new model is suitable for describing the isothermal austenitization process in hypoeutectoid and eutectoid Fe-C steels by means of Final Difference and Cellular Automaton Methods.

### Összefoglalás

Az acél az egyik legnagyobb mennyiségben használt ipari anyagunk, amelynek tulajdonságait megfelelő ötvözzel, hőkezelésekkel igen tág határok között változtathatjuk. A hőkezelések jelentős részénél, vagy éppen a melegalakítási folyamatoknál  $A_1$  hőmérséklet felé hevítjük az acélt, ausztenites állapotba hozva azt. A kiinduló szövet ilyen módon történő átalakulását ausztenitesedésnek nevezzük. Beszélhetünk izotermás, illetve folyamatos átalakulásról attól függően, hogy adott hőmérsékleten - oda gyorsan felhevítve -, vagy valamilyen hevítési sebességgel hevítve a munkadarabot megy végbe a folyamat.

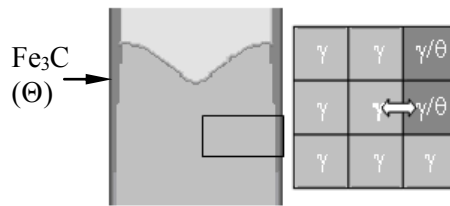
A számítógépes szimuláció célja, hogy számszerűen becsülje meg azokat a változókat, amelyeket más módszerek nem képesek kellő pontossággal és gyorsasággal meghatározni. Az elkészített matematikai modell előre megválasztott paraméterekkel történő lefuttatása a számítógépen olcsó, továbbá anyag- és energiafelhasználás nélkül is - előre - elvégezhető. Ez az új modell alkalmas ötvözetlen hipoeutektoidos és eutektoidos acélokban lezajló izotermás ausztenitesedés folyamatának leírására, a Végis Differencia és a Cella Automata Módszer együttes alkalmazásával.

## 1. A szimuláció ismertetése

### 1.1 Cella Automata

A Cella Automata (CA) módszer tudományos megfogalmazásban egy diszkrét dinamikájú rendszer, amelyet röviden a következő tulajdonságokkal jellemezhetünk: a teret szabályos rácselemekre osztjuk, ezek az elemek a cellák. A rács lehet egy-, két- és háromdimenziós; minden cella legalább egy állapottal rendelkezik a lehetséges, véges sok állapotból. A cella állapotát klasszikus megfogalmazás szerint egész számok jelzik. A CA-rendszer egymást követő lépésekben működik, egy lépés alatt az automata mindegyik cella állapotát felülvizsgálja; a cella állapotát egy szabályrendszer határozza meg, az új állapotot a cella saját és a szomszéd cellák állapota adja meg [1].

A különféle cellák - amelyek a koncentrációjuk révén az adott térfogatrész állapotát adják meg - között alkalmazzuk a diffúziós egyenlet megoldását a Fe-C fázisdiagramból (adott izotermán) származtatott koncentrációkkal kiegészítve. Egy ilyen példát mutat be az 1. ábra.



1. ábra, Ausztenit( $\gamma$ )-ausztenit( $\gamma$ )/cementit( $\Theta$ ) cellakapcsolat

Ausztenit-ausztenit/cementit szomszédság esetén egy Cella Automata Lépésben (CAS)  $\Delta C$ -vel fog növekedni az ausztenit cella, illetve ugyanennyivel csökkeni a határcella karbonkoncentrációja (1).

$$\Delta C = \frac{D^\gamma dt}{dx^2} F_\gamma (C_{\gamma/\text{Fe}_3\text{C}}^\gamma - C^\gamma)$$

(1)

ahol

$D^\gamma$  - adott izotermán a karbon diffúziós tényezője az ausztenitben,

$C_{\gamma/\text{Fe}_3\text{C}}^\gamma$  - adott izotermán az ausztenit koncentrációja az ausztenit/cementit határon,

$F_\gamma$  - ausztenithányad a cementitben.

## 1.2 A modell bemutatása

### 1.2.1 A csíráképződés modellezése

Az ausztenitesedés csíráképződéssel és csíranövekedéssel zajló átalakulási folyamat. Az adott hőmérsékletre jellemző összetételű ausztenitesírák jellemzően a perlitkolóniák határán képződnek, mert ezeknek a helyeknek a legnagyobb az energiájuk. A keletkező ausztenitesíra fajtérfogata kisebb, mint a ferrité, ezért a környezetét torzítani fogja.

A csíráképződés jelenségét - egyelőre - a következőképpen egyszerűsíti le a modell: adott kiinduló csíraszám (N) lefuttatott szimulációból kapjuk a teljes átalakuláshoz szükséges időt (CAS). Az összes lehetséges csíráképződési helyek száma (x) a kiinduló szerkezetből adódik.

Legyen  $P = \frac{N}{CAS \cdot x}$ . A későbbi szimulációk során az első csíra kihelyezése (ill. növekedése) után a következő  $\frac{1}{P \cdot (x-1)}$  időlépés múlva jelenik meg. Ebben a pillanatban azonban már csak y

lehetséges csíráképződési hely van a rendszerben, aminek következtében az újabb csíra  $\frac{1}{P \cdot y}$  időlépés után alakul ki.

Mivel  $y < x$ , és a folyamat előrehaladtával y értéke folyamatosan csökken, így az újabb csírák képződéséhez egyre több időre lesz szükség.

### 1.2.2 A csíranövekedés modellezése

A folyamatot a ferriten és az auszteniten keresztüli diffúzió irányítja, amelynek sebessége eltérő a két fázisban. A csíranövekedési sebességek összefüggései - perlitben és ferriten is - jól ismertek, ám ezekből analitikus modell elkészítése igen nehézkes lenne, ezért egy numerikus eljárást dolgoztunk ki, amely a Véges Differencia Módszeren alapul. A módszer lényege, hogy a szimulálandó területet megfelelő számú, diszkrét részre osztjuk, majd diszkrét időlépésenként megvizsgáljuk, hogy az adott tartomány koncentrációja hogyan változik. Az i-edik cella koncentrációja a  $t_2$  időpillanatban kiszámítható az előző ( $t_1$ ) időpillanatban meglévő koncentrációból, illetve a szomszédos cellák által okozott koncentrációváltozásból. Így  $\Delta x$  szélességű cella koncentrációjának változása egy időlépés hatására x irányban (az erre merőleges, y irányban hasonlóan számolunk):

$$\Delta x(C_i^{t_2} - C_i^{t_1}) = \frac{C_{i-1}^{t_1} - C_i^{t_1}}{\Delta x} \cdot D \cdot \Delta t - \frac{C_i^{t_1} - C_{i+1}^{t_1}}{\Delta x} \cdot D \cdot \Delta t \quad (2)$$

ahol

$C_i^{t_1}$  - az i-edik cella koncentrációja  $t_1$  időpillanatban,

D - adott izotermán a karbon diffúziós tényezője (az ausztenitben vagy a ferriten).

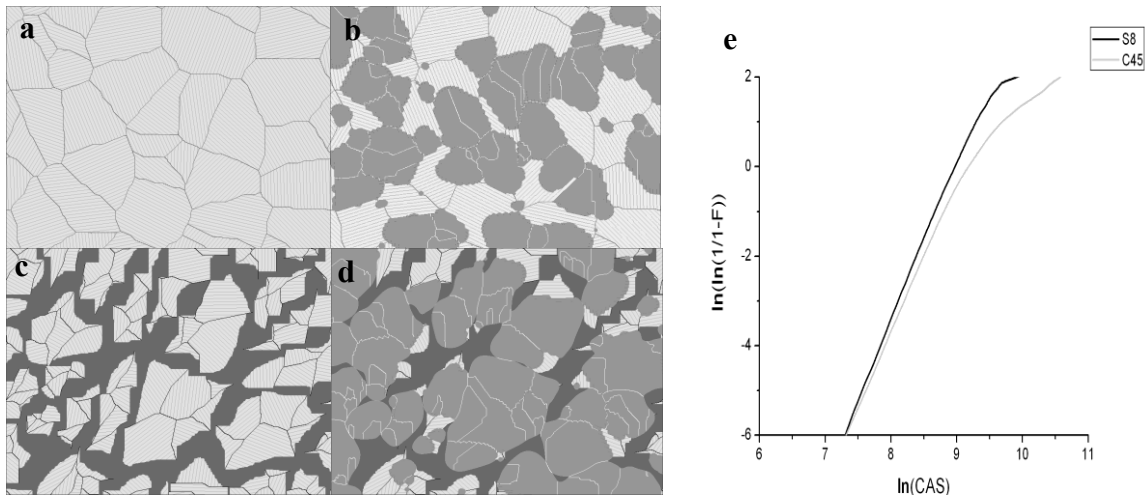
A (2) egyenletből kifejezhetjük az i-edik cella  $t_2$  időpillanatbeli koncentrációját:

$$C_i^{t_2} = \frac{D \cdot \Delta t}{\Delta x^2} \cdot (C_{i-1}^{t_1} + C_{i+1}^{t_1} - 2 \cdot C_i^{t_1}) + C_i^{t_1} \quad (3)$$

Az összefüggés elején szereplő  $\left(P = \frac{D \cdot \Delta t}{\Delta x^2}\right)$  konstans hatással van az egyenlet stabilitására, értékét 0 és 0,1 között kell megválasztani, hogy helyes eredményeket kapjunk [2, 3].

## 2. Eredmények

A valós szerkezeteken [4] végrehajtott szimulációk eredményeként kapott képeken megfigyelhető a csírák képződése, növekedése és az ausztenitzemcsék kialakulása eutektoidos és hipoeutektoidos acél esetén (2. a-d ábrák). A tisztán perlités szerkezet időben közel állandó sebességgel alakul át, míg a ferrit+perlit esetén időben lassul a folyamat, jelentősebben a perlit teljes átalakulása után, amikor már csak a ferritháló - még megmaradt része - ausztenitesedik (2. e ábra).



2. ábra, S8-as (a, b, e ábrák) és C45-ös (c, d, e ábrák) acél ausztenitesedése T=800 °C-on

## 3. Összegzés

Az elkészített modell alkalmas az ötvözetlen hipoeutektoidos és eutektoidos acélokban történő izotermás ausztenitesedés leírására - a valós szerkezetekből kiindulva, nem egyszerűsítve azokat, mint ahogy az az irodalomban olvasható [5] -, meghatározva a teljes átalakulás időszükségletét, vagy az átalakulás közben a rendszerben található fázisok mennyiségét.

## Irodalom

- [1] R. J. Gaylord - K. Nishidate: Modelling Nature, Cellular Automata Simulations with Mathematics, Springer, 1989.
- [2] Karacs Gábor: Diplomamunka, Ausztenitesedési folyamat szimulációja, Miskolci Egyetem, 2004.
- [3] Dr. Roósz András - Dr. Barkóczy Péter: Konzultációs anyag, Miskolci Egyetem, 2004.
- [4] Karacs Gábor: Kutatószeminárium I., Ausztenitesedés számítógépes szimulációja - a kiinduló szerkezet létrehozása, Miskolci Egyetem, 2005.
- [5] A. Jacot - M. Rappaz: A combined model for the description of austenitization, homogenization and grain growth in hypoeutectoid Fe-C steels during heating, Acta mater. Vol. 47, No. 5, pp. 1645-1651, 1999.

## Karacs Gábor

Miskolci Egyetem, Fémtani és Képlékenyalakítástani Tanszék / H-Miskolc-Egyetemváros 3515

Telefon: +3646565111-1538, Fax: +3646565201, e-mail: [karacsg@yahoo.com](mailto:karacsg@yahoo.com)