FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2003. március 21-22.

VASÖTVÖZETEK FÁZISÁTALAKULÁSAINAK DILATOMÉTERES VIZSGÁLATA ÉS SZÁMÍTÁSA

Kozsely Gábor, Tranta Ferenc

The most generally applied method for the investigation of the phase transformation of iron alloys is dilatometry. We have also tried to determine the process of transformation within isothermal conditions primarily by dilatometric measurements. We have monitored the dimension change of different transformation by calculation and measurement. An example for such investigations is austenitization at different temperatures at which, we tried to determine the size at which the dimension changed after austenitization of perlite and proeutectoidic ferrite, respectively. Throughout the experiments the transformation processes were followed by a self-built dilatometer.

A leggyakrabban használt a módszer a vasötvözetek fázisátalakulásának vizsgálatára a tágulásmérés. Mi is elsősorban tágulás mérésekkel igyekeztünk meghatározni izotermás feltételek között az átalakulások lefolyását. A vizsgálatainkkal különböző átalakulások méretváltozását számítással és méréssel követjük nyomon. Ilyen vizsgálatok például a különböző hőmérsékleten végzett ausztenitesítés, ahol azt próbáljuk meghatározni, hogy a dilatométeres görbén milyen mértékű változást okoz a perlit ausztenitesedése és mekkorát a proeutektoidos ferrité. A kísérletek során az átalakulási folyamatokat saját építésű dilatométeren követtük nyomon.

1. Bevezetés

A vasötvözetekben végbemenő átalakulások fázisainak, szövetelemeinek mennyiségének mérésére alapvetően kétféle módszer terjedt el. A mikroszkópos vizsgálati technikához kötődő módszer a különböző hőkezelések után a maratott metallográfiai csiszolaton jól megkülönböztethető fázisok területarányának értékelésén alapszik. Az átalakult hányad megállapítására szolgáló mérések

másik nagy csoportja viszont az átalakulások során a fizikai tulajdonságok változásának mérésére épül. Ilyen tulajdonságok lehetnek a villamos ellenállás, mágneses mérések, térfogatváltozás.

A leggyakrabban használt módszer a fázisátalakulások vizsgálatára a tágulásmérés. A mérés alapja, hogy a fázisok fajtérfogata eltér egymástól, és az átalakulási folyamat során az átalakulási térfogathányad arányos a fajtérfogat változásával, ami viszont arányos a hosszváltozásával, amit dilatométerrel közvetlenül lehet mérni. A tágulásmérést használják a hőtágulási együttható mérésére illetve a vasötvözetek átalakulási diagramjainak meghatározására is. A dilatométerek pontosságának növekedése lehetővé tette az átalakulási folyamatok kvantitatív elemzését is. A számítástechnika fejlődésével a dilatométeres görbék számszerű felvétele is megoldódott, amely lehetővé tette az átalakulási folyamatok kinetikai vizsgálatát is.

2.A izotermás fázisátalakulások közbeni méretváltozások számítása

A relatív térfogatváltozás (δ) adott hőmérsékleten felírható az aktuális térfogat (V) valamint a kiinduló térfogaton (V_0) különbsége a kiindulási térfogatra vonatkoztatva; (1) egyenlet:

$$\delta = \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V - V_0}{V_0} \tag{1}$$

A fázisátalakulások közben mért hosszváltozás a fajlagos térfogatváltozás következménye, amelyet

- a, az új fázisok keletkezése
 - b, az összetétel megváltozása a fázisokban
- okoz.

A teljes relatív térfogat- illetve hosszváltozás közelítőleg számolható különböző fázisok megfelelő hőmérsékleten ismert rácsparaméter értékeiből, amely [1,2] szakirodalomban található.

A vizsgálataink és számításaink arra irányulnak, hogy az átalakulások közbeni többnyire összetett folyamatokat a számítás eredményeinek felhasználásával szét tudjuk választani a dilatométeres görbén jelentkező tágulásokat illetve összehúzódásokat értelmezni tudjuk.

2.1 A perlit és proeutektoidos ferrit ausztenitesedésekor jelentkező méretváltozás számítása

A számítások során az alábbi feltételezésekkel élünk:

1. Az ausztenitesedés folyamatát két különálló részfolyamatként játszódik le: először a perlit ausztenitesedése (2) majd, ha perlit már elfogyott csak akkor indul meg a proeutektoidos ferrit ausztenitesedése (3).

2. Az egyensúlyi perlit átalakulása során, azaz 0,02 tömegszázalék karbontartalmú perlitben lévő ferritből (α_1) és 6,67 tömegszázalékos karbontartalmú cementitből (Θ) 0,8 tömegszázalék karbontartalmú ausztenit (γ_{perlites}) keletkezik, amelynek összetétele a folyamat során állandó marad.

3. A proeutektoidos ferrit (α_2) ausztenitesedésénél a ferritből és 0,8%-os a ausztenitből keletkezik az egyensúlyi diagram GOS vonalának megfelelő ausztenit.

2.2 Perlit ausztenitesedésekor a méretváltozás számítása

Az átalakulást megelőzően a kiinduló térfogatban tehát 0,02 %-os ferrit és cementit van jelen. Ekkor a kiindulási (V_0) térfogat:

$$V_0 = \frac{N_{\alpha 1 \text{ in}}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\alpha 2 \text{ in}}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\Theta \text{ in}}^{\text{Fe}}}{12} \cdot v_{\Theta} \quad (4)$$

Az $N_{\alpha 1 \text{ in}}^{\text{Fe}}$ az 1. reakció kezdetén a perlites ferritben lévő vasatomok száma, $N_{\alpha 2 \text{ in}}^{\text{Fe}}$ az 1. reakció kezdetén a proeutektoidos ferritben lévő vasatomok száma ez a folyamat során változatlan marad, a proeutektoidos ferrit nem vesz részt az 1. reakcióban. $N_{\Theta \text{ in}}^{\text{Fe}}$ a cementitben lévő vasatomok száma 1. reakció kezdetén.

Az 1. reakcióra felírva a vasmérleget (5) egyenlet:

$$\begin{aligned} N_{\alpha 1 \text{ in}}^{\text{Fe}} + N_{\Theta \text{ in}}^{\text{Fe}} &= N_{\gamma}^{\text{Fe}} + N_{\alpha 1}^{\text{Fe}} + N_{\Theta}^{\text{Fe}} \\ N_{\alpha 1 \text{ in}}^{\text{Fe}} + N_{\Theta}^{\text{Fe}} &= N_{\gamma}^{\text{Fe}} + N_{\alpha 1}^{\text{Fe}} + N_{\Theta}^{\text{Fe}} \end{aligned} \quad (5)$$

Az átalakulás során a térfogat (6) egyenlet:

$$V = \frac{N_{\gamma}^{\text{Fe}}}{4} \cdot v_{\gamma} + \frac{N_{\alpha 1}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\alpha 2}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\Theta}^{\text{Fe}}}{12} \cdot v_{\Theta} \quad (6)$$

Így relatív térfogatváltozás:

$$\delta_1 = \frac{\frac{N_{\gamma}^{\text{Fe}}}{4} \cdot v_{\gamma} + \frac{N_{\alpha 1}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\Theta}^{\text{Fe}}}{12} \cdot v_{\Theta} - \frac{N_{\alpha 1 \text{ in}}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\Theta \text{ in}}^{\text{Fe}}}{12} \cdot v_{\Theta}}{\frac{N_{\alpha 1 \text{ in}}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\alpha 2 \text{ in}}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\Theta \text{ in}}^{\text{Fe}}}{12} \cdot v_{\Theta}} \quad (7)$$

Bevezetve az ausztenit átalakulási térfogathányadot az (8) egyenlet alapján:

$$x = \frac{\frac{N_{\gamma}^{\text{Fe}}}{4} \cdot v_{\gamma}}{\frac{N_{\gamma}^{\text{Fe}}}{4} \cdot v_{\gamma} + \frac{N_{\alpha_1}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\alpha_2\text{in}}^{\text{Fe}}}{2} \cdot v_{\alpha} + \frac{N_{\Theta}^{\text{Fe}}}{12} \cdot v_{\Theta}} \quad (8)$$

A perlit ausztenitese során a perlit ferritjében és karbidjában lévő vasatomok arányát egy k_p megoszlási hányadossal alapján tudjuk számolni. A perlit ausztenitese során a keletkezett ausztenit átlagos karbontartalma 0,8 wt%-os és ez a folyamat során nem változik, ekkor a k_p megoszlási hányados állandó marad, és a (9) egyenlet alapján számítható:

$$k_p = \frac{N_{\alpha_1}^{\text{Fe}}}{N_{\Theta}^{\text{Fe}}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(1 - \chi_{\alpha}) \cdot (1 - 4 \cdot \chi_p)}{\chi_p - \chi_{\alpha}} \quad (9)$$

Mindezek alapján a (5), (8) illetve (9) egyenlet behelyettesítve (7) egyenletbe a (10) egyenlet adódik, amely kifejezi a perlit ausztenitese során a relatív térfogatváltozást az ausztenit átalakulási térfogathányad függvényében.

$$\delta_1 = - \frac{6 \cdot k_p v_{\alpha} + v_{\Theta} - 3 \cdot (k_p + 1) \cdot v_{\gamma}}{3 \cdot (k_p + 1) \cdot v_{\gamma} + [6 \cdot k_p v_{\alpha} + v_{\Theta} - 3 \cdot (k_p + 1) \cdot v_{\gamma}] \cdot x} \cdot x \quad (10)$$

Az 1. reakció végén kialakult relatív térfogatváltozás (δ_{1f}) az x_1 kialakult átalakulási térfogathányadhoz tartozik, (amelyet a konóda szabályból számoltunk vas-karbon diagram alapján).

Proeutektoidos ferrit ausztenitese során fellépő méretváltozások hasonló módon számítható. Az 1a. és b. ábrán 0,45wt% karbontartalmú acél méretváltozásának számítását mutatjuk be.

Hőmérséklet, °C

Auszenit mennyisége, V/V%

1.ábra

A 0,45wt% karbontartalmú acél méretváltozásainak számítása

Ez alapján a következő megállapításokat tehetjük.

- 1) A perlit és a ferrit különböző hőmérsékletű átalakulásakor jelentkező méretváltozások jelentősen eltér egymástól (például a 950°C-os ausztenitesítésnél a perlit ausztenitesedése nem okoz méretváltozást.
- 2) A perlit ausztenitesedésénél bekövetkező méretváltozás jó közelítéssel egyenes arányos az ausztenit mennyiségével, a proeutektoidos ferritté viszont nem.

2.3 Méretváltozás számítása az ausztenit átalakulásakor

Az ausztenit bomlása ferritté és karbiddá is kettős reakcióval megy végbe. A kiinduló összetételű ausztenit bomlása során hipoeutektoidos acélban az első lépcsőben ferrit keletkezik karbid

kiválások nélkül, miközben az át nem alakult ausztenit karbonban dúsul (11). Az át nem alakult ausztenit a második lépcsőben ferritté és karbiddá (perlitté) alakulhat át (12).

Ha az acél tisztán perlitesen alakul át vagy az átalakulás a klasszikus (alsó vagy felső) bainites képződésével megy végbe csak a 2.reakció játszódik le. Alacsony karbontartalmú acéloknál (TRIP-acélok) illetve gömbgrafitos öntöttvas ausztemperálásánál (ADI) mindkét reakció végbemehet, először a bainites ferrit keletkezik (1.reakció), majd a második lépcsőben a karbonban dúsult ausztenitből ferrit és karbid keletkezik (2.reakció). Előfordulhat, hogy e-karbid vagy egyéb karbidok is jön létre [4], ezt azonban a számításoknál még nem tudjuk figyelembe venni, mivel a szakirodalomban a szükséges adatok nem lelhetőek fel.

A méretváltozást hasonló elvek alapján számoltuk. A számítások és az eredmények részletezése a [5, 6] szakirodalomban.

3.Vizsgálatok

A méréseket saját építésű berendezésben végeztük, mérés összeállításának sematikus ábrája ábrán látható. A berendezés két kemencéből áll. A hőmérséklet mérése Pt-Pt(Rh) termoelemmel történt. A kemencék szabályozása digitális PID szabályzóval történt. A próbadarabot a hőkezelés előtt elektrolízissel nikkellel bevontuk, így módon előzve meg, hogy az ausztenitesítés során a darab felülete dekarbonizálódjon. A kvarccsövek közé befogott próbatest hosszváltozását indukciós útjeladó méri. Ezt jelet valamint a termoelemek feszültség jelét ADAM 4018M típusú adatgyűjtővel a számítógép számára értelmező digitális jellé alakítottuk. Így módon az adatok könnyen feldolgozhatóvá váltak.

Példaként a 2.ábrában az mutatjuk be az 1000°C-os ausztenitesítés után különböző hőmérsékleten ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas méretváltozását. Jól látható, hogy a bainites ferrit képződése (1.reakció) a hőmérséklettől függően jelentős méretnövekedést okoz. A 2.reakció vagyis a túltelített ausztenit átalakulása viszont hőmérséklettől függően méretnövekedéssel vagy csökkenéssel jár. A gyakorlati hőkezeléseknél ezt a folyamatot már célszerű elkerülni.

2. ábra

Gömbgrafitos öntöttvas ausztemperálásakor bekövetkező méretváltozások

Irodalomjegyzék

- [1] M Onink-F D Tichelaar-C M Brakman-E J Mittemeijer,-S v d Zwaag: Quantitative Analysis of the Dilatation by Decomposition of Fe-C Austenites Calculation of Volume Change upon Transformation, Z.Metalkd. 87, 1996 p. 24-32
- [2] B.V. Kovács: Gefüge und Bezeichnungen von bainitischen GuPeisen mit Kugelgraphit (ADI), Giesserei Praxis Nrl/2, 1996 p. 32-36
- [3] J, Wang, S v.d. Zwaag: Theoretical study os P Containing Transformation-Include Plasticity Steel-Part 2: Analysis of Potential TRIP Effect, Z.Metalkd. 92, 2001 p. 1306-1311
- [4] L. Sidjanin, R.E. Smallman: Metallography of bainitic transformation austempered ductile iron, Mater. Sci. Technol., 1992, 8, p.1095-1103
- [5] G. Kozsely, F. Tranta: Investigation of Bainitic Transformation os Austempered Ductile Iron, Materials Science Forum Vols 414-415 (2003) pp.253-260
- [3] Kozsely Gábor, Tranta Ferenc : Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulásának vizsgálati lehetőségei, XIX. Hőkezelő és anyagtudomány a gépgyártásban országos konferencia, Székesfehérvár, 2000. október 10-12, 41-46. old.

Kozsely Gábor, tanszéki mérnök

Miskolci Egyetem Fémteni Tanszék, 3525 Miskolc Egyetemváros
46/365-111/10-97,femkormi@gold.uni-miskolc.hu

Tranta Ferenc, egyetem docens

Miskolci Egyetem Fémteni Tanszék, 3525 Miskolc Egyetemváros
46/365-111/15-39,femtran@gold.uni-miskolc.hu