

Ph.D. értekezés tézisei

---

**AZ AUSZTEMPERÁLT GÖMBGRAFITOS ÖNTÖTTVAS  
BAINITES ÁTALAKULÁSÁNAK VIZSGÁLATA**

**Kozsely Gábor**  
okl. kohómérnök

Témavezető:  
**Dr. Tranta Ferenc**  
egyetemi docens

Kerpely Antal  
Anyagtudományok és -technológiák  
Doktori Iskola

Miskolc  
2007

## CÉLKITŰZÉS

Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas (Austempered Ductile Iron, ADI) olyan gyengén ötvözött és hőkezelt gömbgrafitos öntöttvas, amelynek szövetszerkezete a gömbgrafiton kívül tús bainites ferritből és karbonban dús ausztenitből áll. Az ausztemperálás lényegében egy olyan technológiai művelet, amely ausztenitesítő hőkezelésből és az ezt követő bainites tartományban végzett izotermás hőkezelésből áll. Ezt a szövetszerkezetet az öntészeti szakirodalomban Kovács Béla Viktor után auszferritnek is nevezik, és ezt az amerikai ASTM A 644-92 szabványban is rögzítették.

Amióta a 60-as évek elején az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvasat felfedezték, azóta közkedvelt anyag. Harminc éve annak, hogy a tömeggyártása megkezdődött és nagyszámú késztermék alapanyagaként használják. Ez a siker nyilvánul meg abban az előrejelzésben, amely szerint Észak-Amerika igénye a közeljövőben elérheti a 200 ezer tonna/év mennyiséget. Ez annak köszönhető, hogy az összetétel és a hőkezelési paraméterek megválasztásával a mechanikai tulajdonságok széles határokon belül módosíthatóak, jó az önthetősége, és gazdaságos az előállítása. Ennek ellenére az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvasban rejlő lehetőségek még koránt sincsenek teljesen kihasználva, ezért szükséges, hogy jobban megértsük a hőkezelés során lejátszódó folyamatokat.

Az ADI ipari alkalmazásának növekedése maga után vonta a tudományos kutatások és fejlesztések volumenének növekedését is, így napjainkban az egyik legnépszerűbb kutatási témává vált az öntészettel, illetve fémtannal foglalkozó kutatók körében. A kutatások számtalan részterületre terjednek ki: az ADI alkalmazhatóságára (kiváltva például a kovácsolt acélt), a hőkezelési technológiára, a hőkezelő berendezések fejlesztésére, a fizikai és mechanikai tulajdonságok vizsgálatára, és nem utolsósorban az ausztemperálás során végbemenő folyamatok vizsgálatára.

A vasötvözetekben végbemenő átalakulások fázisai, szövetelemei 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, a mágneses és termikus tulajdonságok, valamint a 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 hosszváltozással, amit dilatométerrel közvetlenül lehet mérni. A tágulásmérést használják a hőtágulási együttható mérésére, illetve a vasötvözetek átalakulási diagramjainak a meghatározására is. A dilatométerek pontosságának növekedése lehetővé tette az átalakulási folyamatok kvantitatív elemzését is. A mérés technika és számítástechnika fejlődésével a dilatométeres görbék számszerű felvétele is megoldódott, amely az átalakulási folyamatok kinetikai vizsgálatát tette lehetővé.

A kutatásaim célja a gömbgrafitos öntöttvas ausztemperálása során lejátszódó folyamatok vizsgálata a hőkezelési paraméterek (ausztemperálás hőmérséklete, az ausztemperálás hőmérséklete, illetve a hőntartás ideje) függvényében, adott összetételű anyagnál. Erre alapvetően a dilatométeres vizsgálatot használtam, amelyet mágneses és röntgendiffrakciós és szövetvizsgálatokkal egészítem ki.

A dilatométeres vizsgálatoknál új jelenségként azt az anomáliát tapasztaltam, hogy az átalakulás során nemcsak tágulás, hanem bizonyos körülmények között összehúzódás is jelentkezett. Ezt az anomáliát a Freibergi TU Bergakademie-n végzett méréseim is megerősítették.

A disszertációm célja, hogy ezt az anomáliát megmagyarázzam. Az átalakulási folyamat során fellépő méretváltozásokat elméleti számításokkal is alátámaszom.

A vizsgálatok egy részét a DAAD 323 PPP program keretén belül a TU Bergakademie Freiberg Vas és Acéltechnológia, valamint Öntészeti Intézetével, és a Miskolci Egyetem Öntészeti Tanszékével együttműködve végeztem.

## ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

A gömbgrafitos öntöttvas ausztemperálásakor az átalakulási folyamatot különböző vizsgálatokkal követtem nyomon: dilatométeres, termomágneses, röntgendiffrakciós, illetve fény- és elektronmikroszkópos vizsgálatok segítségével.

A dilatométeres mérések képezik a vizsgálataim gerincét. Ezeket főleg a Miskolci Egyetem Fémtani Tanszékén saját építésű dilatométerrel illetve ellenőrzésképpen a TU Bergakademie Freiberg Vas- és Acéltechnológiai Intézetében végeztem. Ezek a mérések azt mutatták, hogy az izotermás körülmények között felvett dilatométeres görbék a várakozásnak megfelelően tágulást mutatnak, de bizonyos hőmérséklettartományban (370-490°C) meglepő módon a görbéken összehúzódás volt megfigyelhető. A továbbiakban ezen jelenségnek a mélyrehatóbb vizsgálatával foglalkoztam, mivel mind a miskolci, mind a freibergi vizsgálatoknál ez következetesen megjelent.

A freibergi méréseknél 370°C-os ausztemperálás utáni hűtés során nyomon követtem a martenzites átalakulást is. Az  $M_s$  hőmérséklet csökkenése az ausztemperálási idő függvényében azt mutatta, hogy a folyamat kezdeti szakaszában (bainites ferrit keletkezésénél) az ausztenit karbonban dúsul. A hűtés során felvett dilatométeres görbéből a 260-360°C hőmérséklettartományban meghatároztam a hőtágulási együtthatókat is.

A mágneses mérésekkel a különböző ausztenitesítési hőmérsékletekről történő edzés során az  $M_s$  hőmérséklet változásából a kiinduló ausztenit karbontartalmának változására következtettem.

A röntgendiffrakciós vizsgálatokkal a különböző módon hőkezelt próbadarabok maradék ausztenit tartalmát, az ausztenit rácsparaméterét illetve ebből a karbontartalmát határoztam meg.

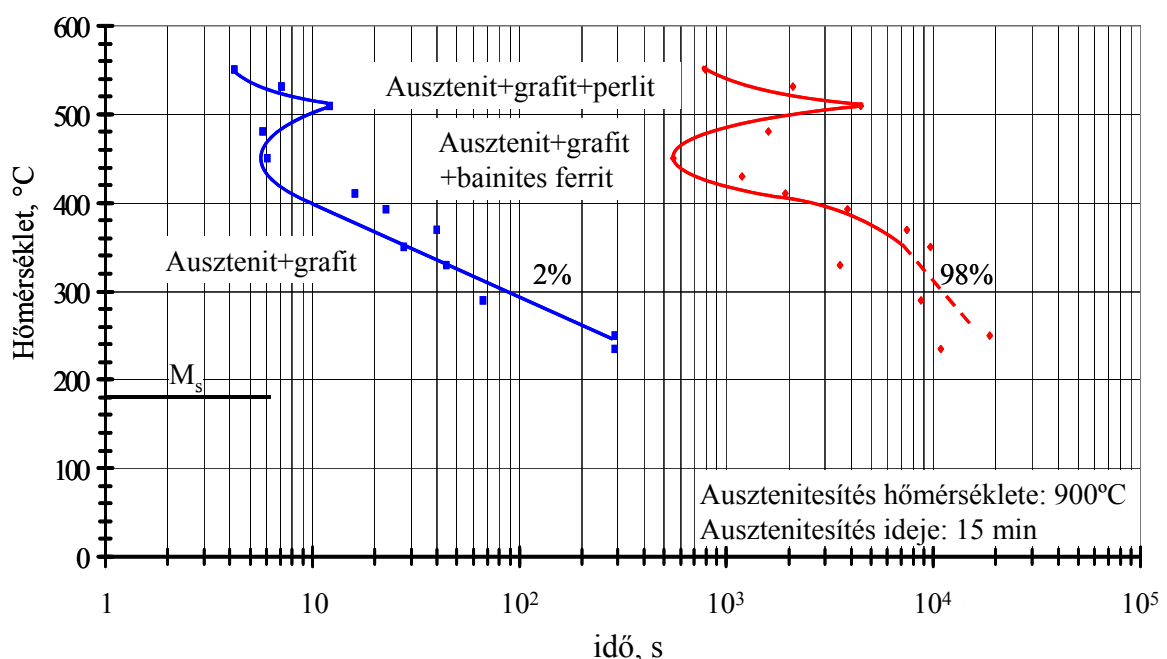
Munkám során eljárást dolgoztam ki a vas-karbon ötvözetek szilárd fázisú átalakulási folyamatainak a méretváltozásra gyakorolt hatásának a számítására. A számításokat Microsoft Excel táblázatban végeztem. Ezeket a számításokat alkalmaztam a gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulására. Kiinduló adatként az ausztenit kezdeti karbontartalmát, az ausztemperálás hőmérsékletét, valamint az 1. reakcióban képződő bainites ferrit mennyiségét használom fel. Ezeknek az adatoknak a kombinációjával végzett számításokat mutatom be.

A számítások kvalitatív módon leírják az ausztemperálás során a jelentkező méretváltozásokat, és alkalmasak a jelenségek magyarázatára.

## AZ ÉRTÉKEZÉS TÉZISEI

Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulásának jellegzetessége, hogy az ausztenit átalakulása két részfolyamatban megy végbe. Az első részfolyamatban bainites ferrit keletkezik és az ausztenit karbonban dúsul. Ez minden esetben térfogat növekedéssel jár. A második részfolyamatban a nagy karbontartalmú ausztenitből ferrit és karbid fázis együttesen keletkezik, amely a körülményektől függően térfogat növekedéssel és csökkenéssel egyaránt járhat.

- 1) Dilatométeres mérésekkel kimutattam, hogy:
  - a) A két részfolyamat különválasztható.
  - b) A vizsgált ötvözetnél 370-490°C ausztemperálás hőmérséklet-tartományban a második részfolyamat térfogatcsökkenést okoz, melyet eddig még nem mutattak ki az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvasban.
  - c) A 370°C-os ausztemperálás során az ausztemperálás idejének növelésekor az ezt követő hűtés során a martenzites átalakulás egyre kisebb hőmérsékletek felé tolódik el, majd el is marad.
  - d) A röntgendiffrakciós mérések szerint (a 2 órás hőkezelés után) az ausztenit karbon tartalma 0,75wt%-ról 1,7wt%-ra nő és a maradék ausztenit mennyisége eléri a közel 40 V/V%-ot.
- 2) A dilatométeres görbékéből meghatároztam a 235-550°C hőmérséklet-tartományra vonatkozó izotermás átalakulási diagramot.



3) A dilatométeres méréseknél tapasztalt jelenségek magyarázatára számítási eljárást dolgoztam ki.

A ferrit és karbid együttes képződésénél a relatív térfogatváltozás az átalakulási térfogathányad függvényében ( $x$ ) a következő egyenlettel számolható.

$$\frac{\Delta V}{V_1} = (x - x_1) \cdot \frac{k \cdot v_\alpha + \frac{2}{q} \cdot v_\phi - \frac{k+1}{2} \cdot v_{\gamma_1}}{k \cdot v_\alpha + \frac{2}{q} \cdot v_\phi - x \cdot \left( k \cdot v_\alpha + \frac{2}{q} \cdot v_\phi - \frac{k+1}{2} \cdot v_{\gamma_1} \right)}$$

Az egyenletben  $x$  az átalakulási térfogathányad, azaz a két részfolyamatban keletkezett illetve keletkező fázisok térfogatának és a teljes térfogatnak a hányadosa. Az  $x_1$  az első részfolyamatban keletkezett ferrit mennyisége. A  $v_\alpha$  és  $v_\phi$  a második részfolyamat során keletkező ferrit és karbid rácselem térfogata. A  $v_{\gamma_1}$  az első részfolyamat során a karbon dúsult ausztenit rácselemének térfogata. A  $q$  tényező a karbid rácseleméhez tartozó vasatomok száma (cementitnél  $q=12$ ). A  $k$  tényező a ferritben és a karbidban lévő vasatomok számának aránya. Ha a ferrit és a karbid ugyanazon folyamatban képződik, akkor az ausztenit átlagos karbontartalma nem változik, a folyamat során  $k$  értéke állandó marad. A második részfolyamatra jellemző  $k$  értéke a keletkező ferrit karbontartalma (atomtörtben kifejezve;  $\chi_\alpha$ ), az első részfolyamatban karbonban dúsult ausztenit karbontartalma (atomtörtben kifejezve;  $\chi_{\gamma_1}$ ), valamint keletkező vaskarbidban a vas és karbonatomok aránya ( $m$ ) alapján az alábbi egyenlettel számolható:

$$k = \frac{N_{\text{Fe}}^\alpha}{N_{\text{Fe}}^\phi} = \frac{1 - (m+1) \cdot \chi_{\gamma_1}}{m} \cdot \frac{1 - \chi_\alpha}{\chi_{\gamma_1} - \chi_\alpha}$$

A mérések és számítások együttesen igazolták az ausztemperálás során a gömbgrafitos öntöttvasban végbemenő átalakulási folyamatok méretváltozásra gyakorolt hatását.

A számítások az ausztenit más átalakulási folyamatainak elemzésére is alkalmasak.

# TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

## Folyóirat publikációk

- 1 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc:  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas bénites átalakulásának vizsgálata  
Bányászati és Kohászati Lapok 135 évf. 2002. 15-19. old.
- 2 Gábor Kozsely, Ferenc Tranta:  
Investigation of Bainitic Transformation of Austempered Ductile Iron  
Material Science Forum Vols 414-415 (2003) pp. 253-260.

## Konferencia kiadványok

- 1 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas (ADI) bainites átalakulásának vizsgálata tágulásméréssel  
Doktoranduszok Fóruma 1998. Szekció kiadvány 26-31. old.
- 2 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc, Alexej V. Beljanin  
Examination of Isothermal Transformation of Ductile Iron by Dilatometrie  
MicroCAD '99 Konferencia kiadvány p. 199-204.
- 3 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas (ADI) bainites átalakulásának vizsgálata tágulásméréssel  
Doktoranduszok Fóruma 1999. Szekció kiadvány 40-45 old.
- 4 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulás okozta méretváltozás számítása.  
MicroCAD 2000 Konferencia kiadvány p. 175-181.
- 5 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc:  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulásának vizsgálati lehetőségei  
XIX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia kiadványa 2000. 41-46 old.

- 6 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc:  
Vasötvezetek fázisátalakulásainak dilatométeres vizsgálata és számítása  
VIII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka  
Erdélyi Múzeum Egyesület Kiadványa 2003. 247-253 old.

## TUDOMÁNYOS ELŐADÁSOK

### Poszterek

- 1 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc, Alexej V. Beljanin  
Examination of Isothermal Transformation of Ductile Iron by Dilatometrie  
MicroCAD '99 International Computer Science Conference.  
23.–25. Feb. 1998. University of Miskolc
- 2 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
Examination of Isothermal Transformation of Ductile Iron by Dilatometrie  
Third International Conference on Solidification and Gravity.  
Miskolc, Hungary April 26-29, 1999.
- 3 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
A gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulásának vizsgálata  
II. Országos Anyagtudományi Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás  
Balatonfüred 1999. október 10-13.
- 4 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
A gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulása  
III. Országos Anyagtudományi Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás  
Balatonfüred 1999. október 14-17.

### Szóbeli előadások

- 1 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
A gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulása  
Miskolci Egyetem. Doktoranduszok Fóruma  
Miskolc 1998. november 6.



- 2 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas (ADI) bainites átalakulásának vizsgálata tágulásméréssel  
Miskolci Egyetem. Doktoranduszok Fóruma  
Miskolc, 1999. november 5.
- 3 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc:  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulásának vizsgálati lehetőségei  
XIX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia 2000  
Székesfehérvár, 2000. október 10-12.
- 4 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc:  
Az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas bainites átalakulása  
Anyag és Kohómérnöki Kar Tudományos Ülésszaka  
Miskolc, 2001. szeptember 11-12.
- 5 Kozsely Gábor, Tranta Ferenc:  
Vasötvözetek fázisátalakulásainak dilatométeres vizsgálata és számítása  
VIII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka  
Kolozsvár, 2003. március 21-22.

