

Szabó Péter János

„Intenzív alakítási és hőkezelési folyamatok mikroszerkezetre gyakorolt hatásának értelmezése visszaszórtelektron-diffrakcióval”

c. MTA doktori értekezés bírálata

A 114. szövegoldalon 112 irodalmi és 14 saját közleményre való hivatkozást, 89 ábrát, ill. 14 táblázatot foglalkozó szép kivitelű munka mindennapjaink egyik lényeges, jelentős gazdasági értékkel bíró témaköréhez, az anyagtudományhoz és ezen belül a **fémek tulajdonságának módosítási lehetőségeihez** kapcsolódik. E kérdéskör rendkívüli fontossága fennmarad annak dacára, hogy a különböző anyagok (fémek, kerámiák, üvegek, kompozit anyagok és elasztomerek, vagy az ezekből előállított hibrid anyagok) relatív fontossága történelmünk során állandóan változik. Napjainkban a fémes anyagok relatív fontossága megegyezik az ipari forradalom kezdetre vonatkozó állapottal (18-20%), miközben átértékelődött a „vas- és acél országa” periduszt, amikor a fémek szerepe meghatározó (65-75%) volt. A fémek fontosságának forrása a tulajdonságok módosítási lehetőségeinek széles tárházából következik. A Jelölt éppen ezzel foglalkozik, napjaink legkorszerűbb vizsgálati technikájának, eszközeinek felhasználásával törekszik olyan általánosítható megállapítások megfogalmazására, amely megteremti a gazdaságos anyagfelhasználás tudományos alapjait.

A Jelölt dolgozatának összeállításában, **kutató munkájának tervezésében** a fémes anyagok szilárdsági és képlékenységi tulajdonságait meghatározó alapokat veszi figyelembe. Ezek a következők:

- rácsszerkezet tekintetében térben-, vagy felületen középpontos kockarács, tetragonális rácscs (az egyéb lehetséges rácsszerkezeteket nem tárgyalja),
- a szemcsék mérete (és alakja) és a szemcsehatárok struktúrája, szerepe (primer vagy szekunder szemcseszerkezet – azaz újrakristályosodott)
- diszlokációk sűrűsége és eloszlása, valamint típusai (csavar- és éldiszlokáció),
- fázisátalakulások típusa (diffúziós vagy diffúziómentes).

A vizsgálati technikák tekintetében a széles körben elterjedt módszerek mellett, a

- transzmissziós elektronmikroszkópiát, amely lehetővé teszi az egyes szemcsék orientációjának meghatározását, valamint a diszlokációsűrűség minőségi meghatározását,
- a röntgenprofil-analízist (ebben jelentős hazai eredmények is születtek a 70-es években), ill.
- a visszaszórtelektron-diffrakciós (EBSD) technikát, amely egyedi pontok orientáció-meghatározását teszi lehetővé (amelyben a Jelölt tudása, gyakorlata meghatározó hazánkban, hiszen az első hazai berendezésen dolgozik a kezdetektől fogva).

A dolgozat értékelését, bírálatát a következő csoportosításban állítottam össze:

1. Formai értékelés
2. Tartalmi értékelés
3. Tézisekre vonatkozó észrevételeim.
4. Összefoglalás

1. Formai értékelés

Az igazán szép kivitelű dolgozat (hozzám eljutott példányában) igen zavaró az, hogy érthetetlenül néhány üres oldal jelenik meg (pl. 8, 45, 46, 48 oldalak), ill. néhány helyen a szerkesztési pontatlanságok miatt sok un. üres hely található (pl. 60., 61., 70., 82., stb.). Ezek mindegyike egy gondosabb szerkesztéssel egyszerűen kiküszöbölhető. Ugyancsak a gondosabb szerkesztés igényére hívja fel a figyelmet a 2. ábrán és egy sorral feljebb leírt tetraidekaéder és tetraidekaéder szavak olvasása).

2. Tartalmi értékelés

Hasznos lett volna, ha az egyértelműség kedvéért néhány definíciót egyértelműen megfogalmaz, pl. az alakítás mértéke, hiszen ekkor nem fordulhatott volna elő, hogy eltérő jelölést, számokat, ill. dimenziókat alkalmaz (pl. 2. ábrán %, majd ε több helyen, vagy a 9. oldalon a „0,8-1 alakváltozás”, a 103. oldalon „ekvivalens alakváltozás”, stb.).

Mivel a diszlokációsűrűség és annak el-, ill. típus szerinti megoszlása (él- vagy csavardiszlokáció) kísérleti munkájában és az eredmények értelmezésében meghatározó szerepet kap, igencsak célszerű lett volna egyrészt definíciószerűen megadni e fogalmakat, másrészt bemutatni azt, hogy a különböző állapotú fémekre milyen diszlokációsűrűség a jellemző, beleértve a határállapotot, a törést is abból kiindulva, hogy a minden egyes diszlokáció valamilyen mértékű belső energiát reprezentál. Ugyancsak hiányolható az „egyensúlyi” vagy „nem egyensúlyi” cellahatárok (9. old.), az „öntemperálás” (29. old.), a „minta tönkremenetele” (65. old.) definíciója.

A dolgozat 2. fejezete (9-46. oldalak) a szakirodalmi áttekintést tartalmazza, amelynek keretében kitér az ultrafinom szemcsés és a nanoszerkezetű anyagokra, ezek sajátosságaira, előállíthatóságukra, ill. az alkalmazott technológiákra beleértve a termomechanikus kezelések különböző változatait (ciklikus, dinamikus). Megjegyzendő, hogy e területen Bernstein professzor munkássága igencsak meghatározó volt már évtizedekkel korábban, mint a [12] sorszámmal hivatkozott 1976-os német kiadású könyve. Dicsérendőnek tartom a szemcsehatárok szerepének hangsúlyozását és tárgyalási módját, de rendkívüli módon hiányolom annak megállapítászerű összefoglalását, hogy az áttekintett szakirodalmi adatok alapján mit tekinthetünk megnyugtatóan tisztázottnak, mely területeken találhatók ellentmondásos irodalmi eredmények, ill. melyek azok a kérdések, amelyekre nézve csupán sejtések vannak. Egy ilyen csoportosítás kapcsán a célkitűzés és a saját munka fő csapása azonnal érthetőbbé és követhetőbbé vált volna beleértve a 4.1.1., 4.2.1. és 4.3.1. „Alapgondolat” fejezeteket is. E megjegyzésem dacára a dolgozat 3. fejezetében (47. oldalon) öt pontban megfogalmazott célkitűzéseit elfogadom.

A dolgozat érdemi, kísérleti munkája a 4. fejezetben, a 49-102 oldalakon kerül bemutatásra. A bírálóat bevezető részében részletezett rácsszerkezetű anyagokat vizsgál, azaz

- felületen középpontos kockarácsú ausztenites acélt,
- térben középpontos kockarácsú ferrites acélt, és
- tetragonális rácsszerkezetű martenzitet.

Mindhárom anyaggal kapcsolatban azonos gondolatsort (alapgondolat – mintaelőkészítés – mérések, eredmények – következtetés – összefoglalás) követi. A **felületen középpontos rácsú** ausztenites acélnál „statikus ciklikus termomechanikai kezelést” alkalmaz (kérdésem: nem lett volna célszerűbb valamilyen más kifejezést alkalmazni a „staikus - ciklikus” helyett?). Az **ausztenites acélokra kaliber-hengerléssel** négy szűrásban végzett kísérleteire vonatkozó mérési eredmények a következők:

- átlagos szemcsenagyság
- kisszögű (szemcse)határok aránya
- CLS_határok (coincide site lattice, szemikohereus) aránya
- „jó” hármaspotok aránya,
- újrakristályosodott hányad,
- diszlokációsűrűség (és diszlokációs szerkezet).

A 2.-6. táblázatok kapcsán jelen bírálóban az eredmények reprodukálhatóságának kérdése vetődött fel, hiszen az „alapgondolat” megalapozottsága, ill. a levont következtetések helytállósága igen nagymértékben függ attól, hogy milyen mértékben ismételhetők meg az egyes mérési eredmények.

Kérdésem, milyennek ítéli az egyes mérési eredmények reprodukálhatóságát?

A **térben középpontos kocka rácsú ferrites** acélon (C=0,071%, Mn=1,5%) többtengelyű kovácsolással Gleeble 380 típusú termomechanikus szimulátor MaxStrain többtengelyű deformációs egységével lett végezve. Az 1250 °C-ra hevített mintákat kb. 40-50 °C/sec sebességgel hűtve azok különböző hőmérsékleteken kovácsolással lettek alakítva. Az alakítási hőmérsékletek rendre 880, 815, 758, 716 és 684 °C volt. Ez azt jelenti, hogy az első és második alakítás az ausztenit mezőben történt, a harmadik a $\gamma + \alpha$ mezőben, a negyedik és ötödik 723 °C alatt. Ennek kapcsán **kérdésem** az alakítási hőmérsékletek megválasztásához kötődik, azaz milyen megfontolások alapján lettek kiválasztva az alakítási hőmérsékletek, ill. a mindössze 723-716=7°C különbség milyen következtetésekre adhat lehetőséget? A kérdésem lényegét tompíthatja az a tény, hogy a NEM EGYENSÚLYI hűlési viszonyok miatt az ausztenit bomlása (átalakulása) alacsonyabb hőmérsékleten indulhat meg. A mintán végzett szövetszerkezeti, vékonyfóliás transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM), EBSD valamint kiegészítő vizsgálatok alapján elemzi a kialakult szerkezetet és következtet a lejátszódó fémtani folyamatokat beleértve a dinamikus újrakristályosodást is. A mérési eredmények nem mondanak ellent az „alapgondolat” kapcsán megfogalmazottaknak, de a reprodukálhatóság kérdése ebben az esetben sem hagyható figyelmen kívül.

A **térben középpontos tetragonális rácsot** C=0,06%, 0.09% és 0,16% karbontartalmú acélok „edzésével” hozza létre, keresvén a karbontartalom szerepét, hatását. Az edzést követően 50%-os hidegalakítás következett hengerléssel, majd 550 °C-on 1 órás izzítás. A mintán végzett szövetszerkezeti, TEM, EBSD és mechanikai vizsgálatok eredményei alapján következtet a végbenő fémtani folyamatokra. **Kérdésem** a választott anyagokhoz és az 550 °C-on 1 órás izzításhoz kötődik. Miért, milyen megfontolásból választotta ezeket? A mérési eredmények nem mondanak ellent az „alapgondolat” kapcsán megfogalmazottaknak, de a reprodukálhatóság kérdése ebben az esetben sem hagyható figyelmen kívül.

3. Tézisekre vonatkozó észrevételeim

A jelölt a vonatkozó szakirodalmi anyagok és elvégzett saját kísérletei során kapott eredmények feldolgozása alapján új tudományos eredményeit 10 db tételben ismerteti a dolgozat 103-106 oldalain. E tézisek gyakorlatilag a kísérleti munkát tartalmazó részek összefoglalásaiban is megtalálhatók. A

dolgozatban bemutatott eredményeket **új tudományos eredményként elfogadom**, azonban javaslom a tézisek egy más logika mentén történő újrafogalmazását. Erre nézve két lehetőség adott. Az egyik az, hogy a dolgozat célkitűzésében megfogalmazottakra tételes válaszok kerülnek megfogalmazásra. A másik lehetőséget pedig az a tény kínálja, hogy a Jelölt vizsgálataiba három különböző rács-szerkezetű anyagot (FKK, TTK, TKT) vont be, így ezen anyagok diszlokációs szerkezete a külső hatásokra különböző módon reagálhatnak. Egy lehetséges megfogalmazás, akár a következő is lehet:

1. Tézis: Nagy **diszlokációsűrűségű állapot** jön létre

- FKK ausztenit ciklikus kaliberhengerlése és hőkezelése során, ha a hőkezelés csak részleges újrakristályosodást eredményez
- TTK acél magas hőmérsékletű többtengelyű kovácsolásánál, ha a kovácsolás nagy sebességű hűtés során történik
- TKT martenzit létrejöttékor, ha megfelelő karbontartalom mellett az ausztenit-martenzit átalakulása során kialakuló rácstorzulás kompenzálására éldiszlokációk jönnek létre.

2. Tézis: Az 1. tézisben ismertetett **diszlokációs szerkezet**

- FKK ausztenit ciklikus kaliberhengerlése és hőkezelése során a kezdetben kialakuló él jelleg után csavar jellegűre változik
- TTK acél magas hőmérsékletű többtengelyű kovácsolásánál csavar jellegűek
- TKT martenzit létrejöttékor él karakterű, ami hideghengerlés hatására csavar jellegűre változik a csavardiszlokációk megnyúlása miatt, majd lágyításkor ismét él karakterűvé alakul át, jelentős diszlokációsűrűség-csökkenés mellett.

3. Tézis: Az **ultrafinom szemcsés szerkezet előállítására** a szakirodalomban ismertetett technológiák kombinálhatók:

- FKK ausztenit esetében a nagymértékű alakítás kombinálható a ciklikus termomechanikus kezeléssel, így ultrafinomszemcsés szerkezet jön létre
- TTK acél esetén ugyancsak ultrafinomszemcsés szerkezet jön létre, ha az intenzív képlékeny alakítást ciklikusan végezzük, miközben a mintát nagy sebességgel hűtjük
- TKT martenzit esetében az edzést kombinálva a hidegalakítással és a lágyítással ultrafinom szerkezetű anyag állítható elő

4. Tézis: Az **ultrafinomszemcsés szerkezet és a szemcsehatárszerkezet** kialakulása:

- FKK ausztenit esetén a ciklikus termomechanikus kezelés során létrejövő részleges újrakristályosodás során a nem újrakristályosodott szemcsék által tárolt rugalmas energia segíti a kisszögű szemcsehatárok mozgását a későbbi ciklusok során, lehetővé téve nagyszámú nagyszögű speciális határ létrejöttét
- TTK acél esetén a többtengelyű kovácsolás megnöveli az allotróp átalakulás kezdőhőmérsékletét, így nagyobb lesz a túlhűtés mértéke, ami szemcsefinomodáshoz vezet
- TKT martenzit esetén a martenzites átalakulás során létrejövő diszlokációsűrűség az azt követő képlékeny hidegalakítás hatására lecsökken, mert a bevitt többletenergia diszlokáció-annihilációt okoz, így szubszemcsehatárok jönnek létre, amelyek hőkezelés során nagyszögű határokká alakulnak.

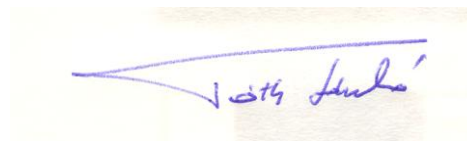
Hangsúlyozni szeretném, hogy mindazt, amit leírtam a Jelölt által megfogalmazott 10 db. tézis tartalmazza, a javasolt megfogalmazás csupán egy – a célkitűzésre fókuszált összefoglalása a Jelölt dolgozatának 103-106. oldalán ismertetetteknek.

4. Összefoglalás

A dolgozatban összefoglalt szakirodalmi feldolgozást, az elvégzett kísérleteket, azok eredményeit tekintve megállapítható, hogy a Jelölt gazdasági jelentőséggel bíró területen végzett olyan alapos

munkát, amely az anyagtudományhoz kötődően új ismereteket hordoz. A dolgozat véleményem szerint **hiteles adatokat** tartalmaz, hiszen nem találtam egyetlen olyan közölt adatot sem, amely az anyagtudományi általános szemlélettel szemben állna, azzal ellentétes lenne. Ebből adódóan a diszsertáció **nyilvános vitáját, a mű elfogadását javaslom**. A tézisekkel szemben támasztott észrevételeimet fenntartom, de hangsúlyozni szeretném, hogy a jelenlegi 10 db. tézisben benne vannak azon eredmények, amelyekből a javasolt rendezőelvek bármelyike alapját az új tézisek megfogalmazhatók. A dolgozat részleteinek ismeretében igen meglepődnék akkor, ha mindez nehézségekbe ütközne az egyébként kitűnő felkészültségű Jelölt számára.

Miskolc, 2012-11-12



Tóth László
egyetemi tanár
a műszaki tudomány doktora