

MTA Doktori Tanácsa
1051 Budapest
Nádor u. 7

BÍRÁLAT

Réger Mihály

„Folyamatosan öntött lemezbugák középvnali dúsulása és következményei”

című akadémiai doktori értekezéséről

A folyamatos öntéssel készülő lemezbugák (~ 10 – 15 cm vastag lemezek) középvnalánál a megszilárdulási frontok találkozásánál komplex folyamatok zajlanak, melyek meghatározó szerepet játszanak a termék keresztmetszeti homogenitásának alakulásában. Ezek a folyamatok a megszilárdulás során fellépő diffúzió, olvadék áramlás, és térfogatváltozás ill. a támgörgők hatására létrejövő mechanikai behatások. A disszertáció célja ezen jelenségek és a lemezbuga keresztmetszeti homogenitása közti kapcsolat feltárása és modellezése, különös tekintettel a lemez középvnalánál kialakuló ún. középvnali szegregációra és porozításra, melyek alapvetően rontják a termék minőségét.

A disszertáció 138 számozott oldalt és nagyszámú illusztrációt tartalmaz. A disszertáció nem követi a szokásos bevezetés – alkalmazott kísérleti és elméleti eljárások – eredmények és diszkusszió – összefoglalás tagozódást. Ehelyett egy rövid, általános bevezető után, öt fejezetben tárgyal öt témát, öt mini-disszertációként, amelyek mindegyike a szokásos tagozódást követi. Az eredmények ilyen prezentációja megnehezíti a Jelölt és mások eredményeinek szétválasztását. Nagy mértékben javítaná a disszertáció olvashatóságát, ha az irodalmi összefoglaló tartalmazná a tipikus folyamatos öntési eljárások vázlatos rajzát ill. a fellépő jelenségek áramlás, megszilárdulás, stb. sematikus térképét. Ilyen sematikus ábrák a szakirodalomban több összefoglalóban találhatók [1, 2]:

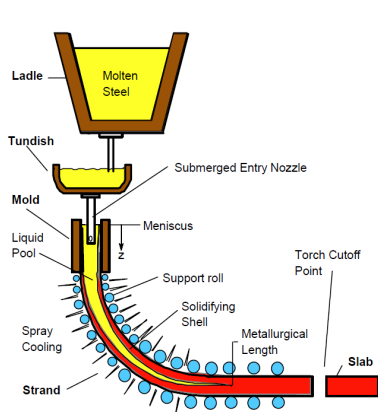
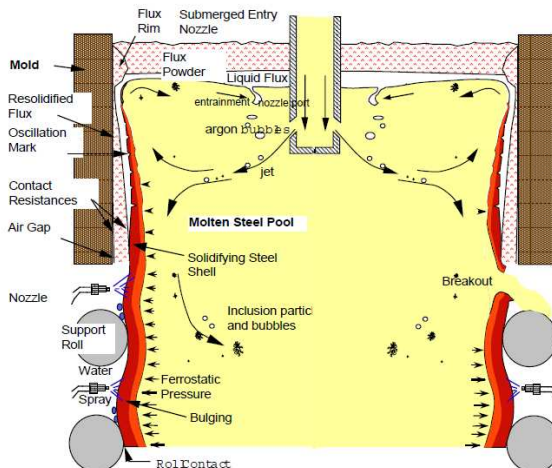


FIG. 1. Diagram of the continuous casting process.



Stilisztikai megjegyzés: Szerencsésebb lett volna a disszertációban gyakran előforduló angol “mushy zone” helyett magyar kifejezés megalkotása és alkalmazása (pl. részben kristályos tartomány).

Az első fejezetben a szerző röviden áttekinti a középvnali szegregáció okait, képződésének mikéntjét, és a jelenség modellezésére tett kísérleteket. Bár nehéz kiegyensúlyozott összefoglalót adni a folyamatos öntés kiterjedt irodalmáról, a Jelölt nem hivatkozva az újabb áramlástan szimulációk ered-

ményeit [3, 4], melyek közt van olyan is, amelyik a középvonali szegregáció kialakulását vizsgálja. A második fejezet az állandósult hőmérséklet eloszlás TEMPSIMU és TEMPS3D szoftverek segítségével történő számításával és kísérleti (izotópos) ellenőrzésével foglalkozik. Megállapítja, hogy a hőterjedési számolásokból eredő likvidusz hőmérséklettel definiált megszilárdulási front pozíciója jól egyezik az izotópos kísérletből adódóval (MTA IKI). A számított hőmérséklet eloszlás alapján tárgyalja az olvadék tócsa alakját a meniszkusztól való távolság függvényében. Ebben a fejezetben a szerző munkája a hőtranszport szoftverek adott öntőgépre való alkalmazásához szükséges bemenő adatok (geometria, vízhűtés jellemzői, stb.) meghatározása, valamint a hőterjedési számítások elvégzése. A harmadik fejezetben a Jelölt a porozitás középvonali szegregációban játszott szerepét tárgyalja. Ennek során a hőmérséklet eloszlást a Jelölt az IDS szoftver segítségével összetétel ill. fajtérfogat eloszlássá konvertálja, majd ezek ismeretében számítja a részben megszilárdult réteg vastagságát a meniszkusztól való távolság függvényében. A szerző az általa javasolt LMI „modell” alapján következtetéseket von le a nem-teljesen-szilárd régiók áramlási viszonyaira. Ipari adatok statisztikus analízisével megállapítja, hogy a porozitás korrelál az áramlásmentes (sűrű) részben-szilárd tartományba fagyott többlet térfogattal, melyet az LMI7 paraméter jellemez. A negyedik fejezet az részben-szilárd tartomány áramlási tulajdonságait és kémiai heterogeneitását tárgyalja, míg az ötödik fejezetben a porozitási és a sebesség-eloszlásfüggvény segítségével becslést tesz a támgörgők beállításából, ill. a ciklikus beállítási hibákból eredő inhomogenitás nagyságára. A hatodik fejezet a középvonali dúsulás meleghengerréssel / hőkezelésekkel szembeni stabilitását vizsgálja. Itt a mérési eredmények értelmezése és a szén aktivitáson alapuló modell kidolgozása a szerző saját munkája. A homogenizálódást háromféle aktivitás számítási modell alapján (Hillert, Huang, Wyss) a COMSOL szoftver diffúziós moduljával vizsgálja. Megállapítja, hogy – összhangban a korábbi vizsgálatokkal – utólagos kezelésekkel nem lehet érdemben csökkenteni a középvonali szegregációt.

A disszertáció nem tartozik a jól megírt munkák közé. Alapvető hibája, hogy nem mindig szolgáltat elegendő információt az elvégzett munka elbírálásához. Zavaró a felhasznált 2D és 3D hőterjedési kódok (TEMPSIMU, TEMPS3D) leírásának teljes hiánya. A vízpermettel való hűtés nem-triviális problémájának kezelése minden bizonnyal tartalmaz közelítéseket, de jó lenne tudni, mik is azok. Nem világos, hogy miképp kerül felhasználásra a termikus modellben a vízáram 2.2 ábrán megadott eloszlása, vagy épp hogyan veszik figyelembe a kihajlás ill. negatív kihajlás [1] jelenségét és a vele kapcsolatos nem-triviális konvekciót a termikus modellben. Így az sem világos, hogy az izotópos mérésekkel megfigyelt jó egyezés nem többféle hiba egymást redukáló hatásából ered-e. Hasonlóképp legalább alapszinten ismertetni kellene az acélok termofizikai tulajdonságait származtató IDS szoftvert működési elveit, és azt hogy milyen termodinamikai adatbázist használ. (Hogyan viszonyulnak pl. az IDS-ből származó termodinamikai adatok a manapság elterjedten használt ThermoCalc szoftver acélokra vonatkozó adatbáziséhoz?) Hasonló kérdések vetődnek fel a COMSOL szoftverrel kapcsolatban is. A szoftverek részleteit illető kérdésekben a Jelölt olyan nehezen hozzáférhető forrásokra hivatkozik, mint a szoftverek kézikönyve ill. elektronikusan nem- vagy nehezen hozzáférhető irodalom. Így a disszertáció elbírálásához a szokásos feladatot nagyságrendekkel meghaladó „nyomozást” kellett elvégezni. Így is csak a publikációk negyedéhez (a T9-T13, T17 és T25 publikációkhoz) sikerült hozzáférnem. Ezen hiányosságok miatt a disszertációt éppen csak alkalmasnak tartom a védeés folytatására.

Mik az új eredmények? A Helsinki Egyetemen kifejlesztett TEMPSIMU, TEMPS3D és IDS szoftvereket segítségével, az adott öntőberendezésre meghatározott geometria és hűtési körülmények mellett származtatja a megszilárdulás során a lemezbuga kényszerek nélküli vastagság-változását. Ezt összeveti a külső kényszerek által meghatározott vastagság változással, ami alapján *következtetéseket von le a folyadék rétegben történő áramlás irányára és nagyságára. Felteszi, hogy 30%-nál kisebb folyadék hányad mellett már nincs áramlás a részben megszilárdult (mushy) zónában. Ezt az értéket kombinált öntészeti és számítási adatok statisztikai analízisével valószínűsíti. Az ebben a tartományban befagyó többlet térfogattal (melyet az LMI7 paraméterrel kvantifikál) korreláltatja a porozitást.* A Helsinki Egyetemen kifejlesztett COMSOL szoftver diffúziós moduljával vizsgálja a középvonali szegregáció hőkezeléssel való csökkenthetőségét. Megállapítja, hogy a C és Mn eloszlást tekintve nem várható lényeges javulás.

Az új tudományos eredményeket a Jelölt 11 pontban foglalta össze. Az 1. és 2. tézispont csak definíciókat tartalmaz, ezért független tudományos eredményként nem fogadható el; rövidítve össze kéne vonni őket a harmadik tézisponttal, ahol a tényleges eredmény szerepel. Tézispont lehetne ellenben a hőterjedési szoftver bemenő adatainak meghatározása. Nem fogadom el továbbá az 5. tézispontot; ui.

ennek bizonyításához részletes hidrodinamikai elemzésre lenne szükség. A többi tézispontot új tudományos eredménynek tekinthető. A 8. és 9. tézispontok összevonhatók.

A Jelölt a disszertációban összefoglalt eredményeit 28 publikációban közölte. Ebből 11 magyar nyelvű folyóiratban/kiadványban, 9 a Mater. Sci. Forum folyóiratban (Wiley), 4 más angol nyelvű folyóiratban, 4 pedig nemzetközi konferencia kiadványban jelent meg. Az MTMT adatbázis szerint a szerző életműve 151 publikációt tartalmaz (79 magyar nyelvű), amelyekre eddig 50 független hivatkozás érkezett, h-indexe 4. Ezek arra utalnak, hogy a nemzetközi anyagtudós közösség csak mérsékelten ismeri (el) ezeket az eredményeket.

Néhány apróbb hiba, elírás:

1. A 2.21 ábra feltehetően az X1Y1 síkra vonatkozik.
2. A 3.6 ábrán és a T25 publikáció 3. ábráján a szolidusz és likvidusz vonalak felcserélésre kerültek.

A következő kérdésekre kérem a Jelölt válaszát:

- (1) Milyen módon veszi a TEMPSIMU és TEMPS3D figyelembe a vízűtés részleteit? Hogyan vesz figyelembe a folyadék kristályosodása során felszabaduló hőt (ami elvben függ a hőmérséklettől és összetételtől is, tehát csak az IDS szoftver segítségével tudják kiértékelni)?
- (2) A TEMPSIMU szoftver csak 2D információt szolgáltat, azt is úgy, hogy a szálirányú hőterjedést elhanyagolja. Hogyan történik a 3D korrekció a TEMPS3D szoftverben? Miért nem végeznek inkább direkt 3D számolást? Teljesül-e a termikus transzport szimuláció során az anyagmegmaradás?
- (3) A lokális összetételt és sűrűséget az IDS szoftver szolgáltatja a hőmérséklet eloszlás alapján. De a hőmérséklet eloszlás maga is függ a lokális tulajdonságoktól (pl. a hővezetési együtthatótól, fajhőtől, stb.). Alkalmaznak-e valami eljárást az önkonzisztencia biztosítására?
- (4) Az izotópos kísérletek eredményeit és a hőterjedési modellel végzett számításokat hasonlítja össze G. Fehérvári, "Calculation of Solidification during Continuous Casting and its Experimental Verification" című munkája [Mater. Sci. Forum **473-474**, 329 (2005)]. A szálirányban meghatározott izotópos kéregvastagság egybeesik a likvidusz vonallal, éppen mint a disszertációban. A cikk 4. ábrája lényegében megegyezik a disszertáció 2.8 ábrájával, ami arra utal, hogy ugyanazon kísérletről van szó. Ennek fényében érdekes, hogy a meniszkusztól 0.8 és 1.6 m-re meghatározott keresztirányú kísérleti és elméleti kéregvastagság adatok eltérnek a disszertációban szereplő 2.9 ábrán láthatótól. Pl. 0.8 m-nél inkább a szolidusz vonallal egyeznek az izotópos kéregvastagság adatokkal. Mi lehet az eltérés magyarázata? (Más távolság a meniszkusztól?) Van-e valami független becslés arra, hogy az izotóp-szennyező milyen mélyen hatolhat be a részben szilárd tartományba?
- (5) Vesse össze a saját LMI modell keretében elért eredményeket a disszertáció beadásakor ill. azóta megjelent [3] és [5] referenciákban ismertetett a hidrodinamikai szimulációkkal, melyek a középviszálal dúsulást és a "mechanical soft reduction" hatását vizsgálják.

Megállapítom, hogy Réger Mihály munkássága a folyamatos lemezbuga öntés optimalizációján keresztül hozzájárult a hazai kohászati technológia magasabb színvonalra emeléséhez. Bár a modellezés színvonala távol áll attól, amit ma "state-of-the-art"-nak tekintenek, de lehetőséget nyújt a termék optimalizálásra, azaz praktikusán *hasznosnak bizonyult*. A fentieket mérlegelve, a védés kitűzését, és sikeres védés esetén az MTA doktora cím odaítélését javaslom. Ugyanakkor erőfeszítéseket kéne tenni arra, hogy a kohászatot támogató számítógépes anyagtudomány teljes vertikuma meghonosodjon Magyarországon, ami a tudományos anyagtervezés megalapozása mellett lehetővé tenné a magasabb impakt faktorú anyagtudományi folyóiratokban való publikálást is.

Budapest, 2011. december 27.

Dr. Gránásy László
MTA doktora

IRODALOM:

- [1] B.G. Thomas: “Modeling of the Continuous Casting of Steel—Past, Present, and Future”, Metall. Mater. Trans. **33B**, 796 (2001).
- [2] Y. Meng, B.G. Thomas: Heat Transfer and Solidification Model of Continuous Slab Casting: CON1D”, Metall. Mater. Trans. **34B**, 685 (2003).
- [3] F. Mayer, M. Wu, A. Ludwig: “On the Formation of Centreline Segregation in Continuous Slab Casting of Steel due to Bulging and/or Feeding”, Steel Research **81**, 660 (2010). (Nyomtatva mellékelem.)
- [4] A JOM folyóirat 2006 decemberi számában mindenki számára elektronikusan hozzáférhető state-of-the-art számítógépes szimulációk ill. kísérletek láthatók. Figyelmet érdemel a folyamatos acéllemez öntés során fellépő transzients áramlások és hibaszervezet kapcsolatának vagy az “oscillation mark” kialakulásának modellezése, a makro-szegregációra vonatkozó szimulációk, ill. a mikroporozitás kialakulását bemutató röntgen mikro-tomográfiai animáció.

<http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0612/thomas-0612.html>
- [5] M. Wu, J. Domitner, A. Ludwig: “Using a Two-Phase Columnar Solidification Model to Study the Principle of Mechanical Soft Reduction in Slab Casting”, Metall. Mater. Trans. A, published electronically 18. October, 2011. (Nyomtatva mellékelem.)