

Bírálat
**Réger Mihály „Folyamatosan öntött lemezbugák középvonali dúsulása és
következményei”
című doktori munkájáról**

A 20. század második felében több, nyugodt szívvel forradalminak tekinthető új eljárást dolgoztak ki és vezettek be a világ acéliparában. Közöttük az egyik legjelentősebb a folyamatos öntés volt; eredményeként a korábban 70 % körüli kihozatal 90 %-ra javult; ez önmagában is csökkentette a fajlagos energiaigényt, ami a feldolgozási (hengerlési) műveletek jelentős részének szükségtelenné válása miatt tovább csökkent. Az eljárás emiatt gyorsan terjedt és a 90-es évek végére az acél több, mint 90%-át folyamatosan öntötték. Hazánkban a Dunai Vasmű (ma ISD Dunafer Zrt) már a 70-es évek közepén bevezette ezt a technológiát, de a diósgyőri és ózdi vállalatok is időben csatlakoztak az eljárást alkalmazó vállalatok köréhez. A hazai acélművek 100%-ban folyamatos öntést alkalmaznak.

A folyamatos öntés tudományos és technikai szempontból egyaránt rendkívül sok új kérdést vetett fel. A technológia megjelenésének időpontjában a hagyományosan öntött acélokra vonatkozólag már több évtizedes kutatómunka állt rendelkezésre; ezek eredményeit azonban csak korlátozott mértékben lehet alkalmazni a folyamatos öntésre. A hagyományosan öntött öntecsek dermedése és dúsulása (bár ez is meglehetősen összetett és bonyolult folyamat) sok szempontból sokkal egyszerűbb, mert a folyamatos öntés során a dermedő szál kérgében és az általa közrefogott, folyamatosan hűlő olvadátkban rendkívül bonyolult mozgások alakulnak ki, amelyek a dermedést és a dúsulások kialakulását egyaránt jelentősen befolyásolják. Ezzel is magyarázható, hogy a folyamatosan öntött termékek dúsulásainak és belső hibáinak kutatása ma is intenzíven folyik. A szerző elsősorban az ISD Dunafernél működő folyamatos öntőgépre és az ott alkalmazott technológiára koncentrálva végezte immár több, mint 2 évtizedre visszatekintő tudományos és fejlesztő munkáját. Tekintve, hogy a vállalat termékeinek 100 %-át folyamatosan öntik, a téma aktualitása és gazdasági jelentősége egyaránt vitathatatlan.

Az értekezés 5 önálló fejezetben ismerteti a szerző által végzett tudományos munka lényegét és eredményeit. Először az **öntött szál termikus modelljével** és az ebből származtatott jellemzőkkel foglalkozik. A témával kapcsolatos legfontosabb irodalmi eredményekről rövid összefoglalást ad, amelyben az eljárások előnyeit és korlátait egyaránt érinti. A számítógépes modellek közül kiemeli a CALCOM, az ABAQUS és a FLUENT szoftvereket.

A termikus modell kifejtése kapcsán további meglévő szoftveres programokra hivatkozik (IDS, TEMPSIMU, TEMPS3D); közülük a Helsinki Egyetem programja az IDS Dunafer acéltípusaira is alkalmazható. Saját kutató-fejlesztő tevékenysége a meglévő kereskedelmi szoftvereknek a Dunafer öntőgépére, ill. technológiájára való adaptálására, ill. a modell által szolgáltatott eredmények ellenőrzésére irányult. A termikus modell segítségével olyan ismeretekre tettek szert, amelyek segítségével a Dunafernél 15 %-kal növelni tudták az öntési teljesítményt. Az izotópos mérések és a számítások jó egyezést mutattak. Legfontosabb megállapítás, hogy a matematikai modellezés üzemi feltételek mellett is eredményesen alkalmazható.

A következő fejezetben a **porozitás szerepét tárgyalja a középvonali dúsulás kialakulásában**. Számba veszi azokat a tényezőket, amelyek a lemezbuga belsejében befolyásolják az

olvadékáramlást, valamint az ezzel kapcsolatos meglévő eredményeket, publikációkat. Figyelemre méltó, hogy különbséget tesz a makrodúsulás és a középvonali dúsulás között, megállapítva, hogy a középvonali dúsulás kialakulásában a makrodúsulás mellett a porozitásnak (fogyási üregek megjelenése) is fontos szerepe van.

Az öntés alatt álló szál felső részében lévő olvadékokban számos tényező (a beömlő acéllal való keveredés, a hőmérséklet és sűrűség különbségek, a kéregnek a támgörgők közötti ismétlődő kihajlása és visszanyomása, a támgörgők beállítási problémái) hatására intenzív áramlások alakulnak ki. Ezt az áramlást a kívülről befelé vastagodó megdermedt kéreg belső felülete először csak kívülről fékezi mindaddig, amíg a középvonal hőmérséklete is a likviduszra süllyed. Ekkorra a dermedési zóna dendritjei már csaknem összeérnek és a megmaradt olvadék a belekerült dendritrészekkel együtt sűrű, nehezen mozgó pépes anyaggá változik. A szerző az öntött szál azon pépes szakaszát nevezte el (helytelenül átvéve az angol kifejezést) mushy zónának, amelyben a középvonal hőmérséklete a szolidusz és likvidusz közé esik.

Itt a 3.2. ábrával kapcsolatban kérdésem: *mivel magyarázza, hogy a mushy zónában növekszik, majd meredeken csökken az olvadék részaránya a meniszkusztól való távolság függvényében?*

A szilárd fázis részarányának növekedésével értelemszerűen növekszenek az olvadék mozgását fékező erők, ami az olvadékutánpótlás lehetőségét csökkenti, így fogyási üregek alakulhatnak ki.

A középvonali dúsulás kialakulását a finn Rautaruukki Oy acélipari vállalnál gyűjtött adatok felhasználásával végezte. Az elemzés során megjelenik a *középvonali szegregációs index* elnevezés és annak definíciója; a 3.4. ábrán ugyanakkor *középvonali dúsulási indexeket* ad meg; a kettő feltehetőleg ugyanazt jelenti, de akkor kár volt egy másik megnevezést bevezetni.

Mivel a kézenfekvőnek tűnő paraméterek (összetétel, tócsamélység, túlhevítés, stb.) és a dúsulási index között nem talált elfogadható korrelációt, olyan modellt dolgozott ki, ami a mushy zónában lejátszódó olvadékmozgást jellemzi (LMI – Liquid Motion Intensity modell). Az LMI paraméterek vizsgálatánál a külső erőhatásokat befolyásoló tényezőket (támgörgő résméret alakulása, stb) is figyelembe vette. Így ki tudta azt is számítani, hogy az áramlási lehetőség megszűnésekor mekkora lesz a zsugorodási üregek térfogatának összege (LM_7 paraméter). Ennek felhasználásával lényegesen javult a számított és mért középvonali szegregáció közötti korreláció. Az elemzések rávilágítottak a támgörgő beállítás pontossága és a középvonali dúsulás szoros kapcsolatára is.

A 3. témakör (***Olvadékáramlás a mushy szakaszon***) logikus folyamánya az előző fejezet megállapításainak. Az ISD Dunaferri öntőgépeinek adottságait figyelembe véve kiszámította néhány ötvöző- ill. szennyező elem koncentrációját a mushy zónában a meniszkusztól mért távolság függvényében. A 4.1 ábrásor kapcsán rövid magyarázatot kérek arra, *mi az oka annak, hogy a meniszkusztól kb. 13 méterre hirtelen megváltozik a különböző elemek koncentrációjának változása a távolság függvényében.*

A feldúsult olvadék mozgásának leírására (a szilárd kéreg és az olvadék sebességkülönbségének nagysága és iránya) számítási módszert dolgoztak ki. A makrodúsulás

szempontjából az a kedvező, ha a relatív sebesség kicsi. Az összefüggést nyilvánvalóan befolyásolják a külső erőhatások (a támgörgő redukáló hatása).

A következőkben **a porozitási és sebesség-eloszlási függvények alkalmazására** mutat be példákat az ISD Dunafer öntőgépére vonatkozólag. A résméret változásának függvényében vizsgálta a mushy zónában kialakuló mozgásokat, ami a körülményektől függően préselő, vagy szívó hatású lehet. Dermedés közben a szívó hatású zónában alakulhat ki porozitás, ha az olvadék szabad áramlására már nincs lehetőség (az olvadék részarány $< 30\%$). Kár, hogy a porozitási és sebesség jelzőszám definíciója nem található a szöveggörnyezetben. A porozitás lényeges csökkentéséhez szükséges konicitás meghatározására is számításokat végeztek, aminek eredménye egyezett korábbi feltételezéseikkel.

Ezen a vonalon tovább haladva számításokkal igazolta, hogy a réstávolságok beállításának pontatlanságai jelentősen befolyásolják a porozitás kialakulását. Hasonló megállapításra jutott a támgörgők excentritásának, ill. kihajlásának következményeit illetően. Mivel a gyakorlatban valamennyi felsorolt pontatlanság egyidejű jelenlétének is megvan a valószínűsége, ezek kombinált hatásaira vonatkozólag is végzett számításokat.

Ezután a különböző paraméterek hatásainak ismeretében a Dunafer öntőgépének jellemzői alapján elemezte a gép, ill. a beállítások problémáinak lehetséges következményeit. Mivel a gyakorlatban a különböző gépparaméterek eltérései akár ellentétes irányban is befolyásolhatják a porozitás (makrodúsulás) kialakulását, alapvetően az az általános megállapítás tehető, hogy minden esetben a hibamentes beállításra kell törekedni, ellenkező esetben nehezen becsülhető módon, de nő a hibák kialakulásának veszélye.

A dermedés során kialakult **középvonali dúsulás stabilitásának vizsgálata** azért fontos, mert az öntést követő hevítő és alakító műveletek elvileg csökkenthetik a dúsulás mértékét és ennek tudatos kihasználásával a minőség javítható lenne. A gyakorlati tapasztalatok és a laboratóriumi kísérletek azonban azt mutatták, hogy érdemi változás nem érhető el.

A jelenség okainak vizsgálatára Verő Balázs javaslatára szellemes vizsgálati módszert vezettek be: a középső, bonyolult összetételű és mikroszerkezetű dúsult réteget jól definiált, homogén összetételű acéllemez betétet tartalmazó szendvicspróbával helyettesítették és ezen vizsgálták az összetétel változását a határfelületek közelében. Mivel a Mn diffúziója a vasban közismerten lassú folyamat, alapvetően a C-tartalom változását vizsgálták (amelynek középvonal menti dúsulása a tapasztalatok és az előző fejezetekben leírtak szerint igencsak jelentős). Mivel az is ismeretes, hogy a Mn jelenléte csökkenti a C aktivitását és ezen keresztül befolyásolja a diffúzió sebességét, a szendvicspróbákban a Mn-tartalmat is változtatták. A 6.7 ábra jól demonstrálja, hogy a Mn jelenléte megváltoztatja a C-diffúzió (a keménységeloszlás) folyamatát, amit a számított és mért értékek jelentős különbsége jelzett. A jelenséget meg lehetett magyarázni azzal, hogy a C-diffúzió sebességét nem a C-tartalom különbsége, hanem a C-aktivitás különbsége határozza meg, ami eltérő Mn-tartalmú közegben jelentős különbség.

A C-aktivitás változásának leírására különböző modellek ismeretesek; ezeket kipróbálva az adott körülmények között a betétben Huang, az alapon Hillert modellje bizonyult a legjobbnak (6.13 ábra). Bevezette az effektív diffúziós tényezőt, amelyet már kevésbé befolyásol a Mn-tartalom. A Mn-tartalom függvényében az átalakulási jellemzők és a kialakuló szövetelemek (keménység) is változnak, ami a középvonali dúsulás zónájában a gyakorlatban is tapasztalható.

A dolgozat kivitele és nyelvezete színvonalas; a számítások alapján készült ábrák számát én kisebbre vettem volna, ami a dolgozat terjedelmét is csökkenthette volna.

Tudományos eredményeit a szerző 11 tézisben foglalta össze. Véleményem ezekről a következő:

- Az 1. és 2. tézis kiváló műszaki teljesítmény, de új tudományos eredményt véleményem szerint nem tartalmaz.
- A 3. tézist elfogadom.
- A 4. tézist tartom az egyik legfontosabb új eredménynek, elfogadom.
- Az 5. tézist én összevontam volna a 4. tézissel, de önmagában is elfogadom.
- A 6. tézist a célkitűzés (középvonal dúsulás kialakulása) szempontjából ugyancsak alapvető fontosságú, új eredménynek fogadom el.
- A 7., 8. és 9. tézisek lényegében a kidolgozott modellek alkalmazhatóságát bizonyítják a gyakorlatban különböző beállítási, technológiai problémákkal rendelkező reális öntőgépre és így módon az eredmények gyakorlati hasznosíthatóságát igazolják. Ezeket egy tézisbe kellett volna összevonni. Közülük a 7. tézist tartom a legalapvetőbbnek, ezért ezt fogadom el, a másik kettőt inkább műszaki teljesítménynek tartom.
- A 10. tézist elfogadom, mert jól megalapozott tudományos magyarázatot ad a középvonali dúsulás utólagos csökkentésének akadályaira.
- A 11. tézis érdekes, de lényegében a meglévő modellek értékelését tartalmazza, új eredménynek nem fogadom el.

A szerző publikációi és pályafutása ismeretében kijelenthetem, hogy az értekezésben leírt tudományos eredmények hitelesek és neki tulajdoníthatók.

Összefoglalás: Réger Mihály doktori értekezése tudományos és műszaki szempontból egyaránt fontos, rendkívül összetett jelenségek vizsgálatával, jellemzésével és tudományos alapú magyarázatával foglalkozik. Kutatómunkája eredményeképpen olyan új tudományos megállapításokra jutott, amelyek jelentősen gazdagítják az acélok folyamatos öntésével kapcsolatos meglévő tudományos és technológiai ismereteket és jó kiindulópontot jelentenek a további kutatásokhoz is.

Fentiek alapján ***javasolom az értekezés nyilvános vitára bocsátását és elfogadását.***

Budapest, 2011 október 26

Tardy Pál
a műszaki tudomány doktora