XIII. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2008. március 14-15.

A KÖZÉPVONALI DÚSULÁS EREDETE FOLYAMATOSAN ÖNTÖTT TERMÉKEKBEN

Réger Mihály, Heli Kytönen, Verő Balázs, Szélig Árpád

Abstract

Industrial data set with 400 CC steel slabs were analysed by statistical method for revealing the real connections between the technological parameters, heat transfer model's results and the precisely determined centerline segregation index.

Összefoglalás

A középvonali dúsulás és a technológiai paraméterek kapcsolatának tisztázásához 400 folyamatosan öntött lemezbugára vonatkozó ipari adathalmaz statisztikai elemzésére és a folyamatok matematikai modellezésére került sor. Ezek alapján a dúsulási index becsülhető.

1. Bevezetés

A lemezbugák középvonali dúsulásnak jelensége egyidős a folyamatos öntés technológiájával. Ennek megfelelően számtalan cikk, tanulmány jelent meg az elmúlt évtizedekben a témáról és az ipari fejlesztések egyik fő célja is a középvonali dúsulás csökkentése volt. Tapasztalatunk szerint a szakirodalomban sokféle és gyakorta nem teljesen precíz definíció olvasható a dúsulások fogalmáról [1-4], dolgozatunk utolsó szakaszában ezeket a definíciókat is pontosítani igyekszünk.

2. A középvonali dúsulás az ipari adatok tükrében

Külföldi partnerintézményekkel való együttműködés keretében az elmúlt évben egy olyan ipari, 400 lemezbuga öntésére vonatkozó mérési adathalmaz elemzésére került sor, mely az előzetes várakozásoknak megfelelően lehetőséget adhat az üzemi paraméterek és a középvonali dúsulás közötti kapcsolat feltárására, vagy legalábbis a főbb befolyásoló tényezők azonosítására. Az adatsor ívelt öntőgépre vonatkozik és felöleli a – dúsulási szempontból jelentőséggel bíró – üzemi körülmények között mérhető paramétereket.

A partner intézmény munkatársai mind a 400 lemezbuga állandósult állapotú öntési esetére vonatkozóan matematikai modellezést végeztek (IDS – termofizikai jellemzők, TEMPSIMU – hőtani modell, BOS – kihajlási modell). A statisztikai elemzés célját szolgáló adathalmaz az állandósult állapotú öntésre vonatkozó matematikai modellezés eredményeivel bővült.

Külön figyelmet érdemel a középvonali dúsulási index kérdése. Minden adagra, illetve bugára

vonatkozóan két érték szerepel az adatbázisban, az egyiket üzemi körülmények között, a másikat laboratóriumban határozták meg. Az üzemben és a laboratóriumban mért dúsulási jellemző között meghatározható korrelációs koefficiens 0,83 körüli, önmagában ez az érték is rávilágít arra, hogy a középvnali dúsulás becslése milyen bizonytalanságokkal jár még egy ilyen, körültekintően elvégzett mintavételezés és értékelés esetében is.

Az azonos adagra, lemezbugára meghatározott dúsulási indexek eltérését (vagyis a mérési bizonytalanságot) egyrészt az okozza, hogy az egy adaghoz tartozó öntött termék hossza a 100 m-es tartományba esik, a teljes szál egy-egy kb. 20 cm-es metszettel történő jellemzése nyilván hibákat tartalmaz. Másrészt a középvnali dúsulás számértéke érzékeny az előkészítési és a kiértékelési technikákra és a mérés információtartalma sem teljesen egyértelmű (pl. ötvözőkben, szennyezőkben dúsult rész marad-e, vagy a zárványok). Harmadsorban a teljes öntési folyamatra az állandósult öntési viszonyok érvényességét feltételezzük, de nyilvánvalóan voltak olyan öntési szakaszok, melyekben tranziens viszonyok valósultak meg.

Az adathalmaz statisztikai módszerekkel történő kiértékelésének célja a középvnali dúsulást befolyásoló főbb paraméterek azonosítása volt. Úgy ítéltük meg, hogy bár komoly mérési bizonytalanságok terhelik az adatokat, ennek ellenére a statisztikai megközelítés reményteljesen alkalmazható az alapvető kapcsolatok tisztázására. Ezért volt meglepő az az eredmény, amelyre a külföldi és hazai kutatócsoport egymástól függetlenül jutott: a teljes adathalmaz elemeinek kombinációi a középvnali dúsulás változását maximum kb. 20 %-ban magyarázza (R^2).

3. Az LMI modell és alkalmazása

Felmerül a kérdés, milyen típusú technológiai adat szolgáltatathat további magyarázatot a középvnali dúsulás változásaira? A bevezetésben elmondottak alapján egyértelműnek tűnik, hogy a kristályosodási folyamatot kísérő olvadékáramlás, az ebből adódó makrodúsulási folyamatok, illetve a zsugorodást kompenzáló olvadék utánpótlás feltételrendszerének paraméterei jöhetnek számításba. A probléma az, hogy a „mushy” zónában kialakuló olvadékáramlás, a dúsulás, valamint a szilárd kéreg alakváltozásának nyomon követése egy valós üzemi esetre igen bonyolult, ezek komplex matematikai modellezése jelenleg nem megoldott.

A kérdéskör megközelítésére egy korábban kidolgozott [5], fél-empirikus modell alkalmazását kíséreltük meg. A modell lényege, hogy a szilárd kéreg zsugorodásából, és a különböző okokból (metallosztatikus nyomás, támgörgők, kihajlás) létrejövő kényszer alakváltozásokból következtet a szál belsejében kialakuló olvadékáramlásra (LMI – Liquid Motion Intensity modell). Az olvadékáramlás intenzitásából, illetve a ciklikus olvadékáramlások halmozódásából olyan paramétereket generálunk, melyeket már az öntési folyamat jellemzőjeként figyelembe lehet venni.

Az új (LMI_7) paraméter bevezetésével és a statisztikai feldolgozásba való bevonásával a becsült és mért középvnali dúsulás közötti korrelációs kapcsolat lényegesen javult. Az LMI modell szerinti -

meglehetősen időigényes - számítási sorozatot három acélcsoporton belül összesen 38 esetben végeztük el. A próbaszámítások során világossá vált, hogy a modell alapján becsült és a mért középvonali dúsulás közötti korrelációs együttható erőteljesen függ az LMI_7 paraméter értelmezési tartományától. Az 1. ábra a korrelációs együtthatót az LMI_7 paraméter értelmezési tartományának függvényében mutatja.

1. ábra. A becsült és mért dúsulási index közötti korrelációs tényező az olvadékmennyiség függvényében

A görbe maximumos jellegű, a maximum 25 és 30 % közötti olvadék tartalomnál van, ami jó egyezést mutat a szakirodalmi adatokkal. A három acélcsoportra meghatározott LMI_7 paraméter önmagában 69,7 %-ban magyarázza a középvonali dúsulási index változását, ami igen jó érték a korábbi számítási eredmények és a dúsulási index meghatározási bizonytalanságának tükrében. A kéntartalmat is figyelembe véve a magyarázó képesség 71 %-ra nő.

4. Összefoglalás, értelmezés

A tanulmányban bemutatott matematikai modell és az eredmények statisztikai feldolgozása alapján körvonalazható a középvonali dúsulás kialakulásának alapvető mechanizmusa. A számítási eredményeket természetesen a szakirodalmi információk, az üzemi tapasztalatok és az anyagvizsgálati, metallográfiai vizsgálatok tükrében célszerű áttekinteni.

Az eredmények alapján pontosabban lehet megfogalmazni a makrodúsulás és a középvonali dúsulás közötti különbséget. A kettő sok vonatkozásban összekapcsolódik, de alapvető különbség, hogy a makrodúsulás az oldott elemek (pl. Mn), illetve a kiválások (pl. NbC) és a zárványok (pl. MnS) bizonyos térrészekben való felszaporodásával jár és ez a térrész természetesen lehet a lemezbuga középvonala is. Az éles középvonali dúsulás kialakulásához a makrodúsulás jelenléte véleményünk szerint csak az egyik feltétel. Ebben az esetben a számítási eredmények és a metallográfiai vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy az olvadék utánpótlás lehetőségének a megszűnése következtében

kialakuló mikroüregek képződése is fontos szerepet játszik. Az eddigi tapasztalatokra és vizsgálatokra támaszkodó feltételezésünk szerint akkor jön létre éles középvonali dúsulás, ha a makrodúsulás mellett mikroüregek képződésére is sor kerül. Megjegyzendő, hogy a fentiek szerint értelmezett makrodúsulás és középvonali dúsulás között folyamatos átmenet tételezhető fel a mikroüregek szaporodásának függvényében.

Az egyik alapvető metallográfiai megfigyelésünk - melynek tisztázására jelenleg is folynak vizsgálatok – hogy a képződött mikroüregek egy része a lemezbuga hengerlése során nem tűnik el, vagyis nem történik meg az összehegedés. A középvonalban általában mindig több a zárvány, ez természetes és nem is okoz gondot, mivel nem szűnik meg a fémes alapanyag mátrix folytonossága. Ha azonban elnyújtott vékony folytonossági hiány hálózat jön létre az össze nem hegedő mikroüregek miatt, akkor az egyrészt a hengerelt lemezen ultrahanggal kimutatható hibát okoz, másrészt erőteljesen akadályozza a feldúsult oldott elemek diffúzióval történő kiegyenlítését.

A középvonali dúsulás drasztikus mértékben, irreverzibilisen tudja rontani az öntött termék, illetve a belőle hengerelt termékek felhasználhatóságát (elsősorban a durvalemezek vastagsági tartományában). A fentiek szerint a jelenség kialakulásában az acél típusán, minőségén kívül igen lényeges szerepet játszik a támgörgők állapota, az öntőgép beállítása, illetve a beállítás és az adott technológia összhangja. Ez utóbbi kijelentés azt is igazolja, hogy a folyamatos öntés összetett viszonyait csak a maguk komplexitásában, az acéltípus, a technológia és az öntőgép egységeként lehet kezelni.

Irodalom

- [1] A. Barber, P.A. Emtage, S.A. Moir: Prediction in As-Cast Semis, Proceedings of ECCC 2005 - 5th European Continuous Casting Conference, 20-22. June 2005.
- [2] A. Ghosh: Segregation in cast products, Sadhana, Vol. 26, Parts 1 & 2, February-April 2001, pp. 5-24
- [3] G. Lesoult: Macrosegregation in steel strands and ingots: Characterisation, formation and consequences, Materials Science and Engineering A 413-414 (2005), pp. 19-29
- [4] H.F. Jacobi: Investigation of Centreline Segregation and Centreline Porosity in CC-Slabs, Steel Research 74 (2003) No. 11/12, pp. 667-678
- [5] M. Réger, B. Verő, Zs. Csepeli, Á. Szélig: Macrosegregation of CC Slabs, Fourth Int. Conf. on Solidification and Gravity, 6-10 Sept. 2004

dr. Réger Mihály, főiskolai tanár
Munkahely: BMF BGK Anyag és Gyártástechnológiai Intézet
Cím: 1081 Budapest, Népszínház u. 8.
Telefon / Fax: 36-16665430/36-16665423
E-mail: reger.mihaly@bgk.bmf.hu