

WIZNER KRISZTIÁN – KÖVÁRI ATTILA

Az ISD Dunafer Zrt. folyamatos öntőművében az öntött és vágott szálhossz eltéréseinek minősítése

Az ISD Dunafer Zrt. gyártási adatainak komplex elemzésében kritikus pozíciót foglal el a folyamatos acélöntés, mivel a diszkrét jellegű adaggyártást és üstmetallurgiai kezelést követően több „diszkrét” adag folyamatos leöntését foglalja magába. Az öntési adatok feldolgozását tovább nehezíti a gyártásszemléletű, időalapon rögzített, és a termékszemléletű, vágott (hideg) hosszalapú adatok összeegyeztetése. Ebben a cikkben bemutatjuk a két szálhossz-számítási módszer összeegyeztetésének módját.

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kap az ipari folyamatok adatainak elemzése [1]. Az adatelemzés során nem szükséges az adott terméket ténylegesen legyártani, hiszen támaszkodhatunk korábbi gyártások rögzített adataira [2]. Külön előny a legtöbb esetben, hogy rengeteg adat áll rendelkezésre. A komplex vizsgálat problematikáját viszont nagyon sok esetben az adja, hogy az adatok struktúrája az évtizedek alatt formálódó elgondolásokat, folyamatos bővítéseket tükrözi, és nem a komplex adatelemzés egyszerűvé tételének a szempontjait. Az ISD Dunafer Zrt.-nél megkezdett PhD-munka során létrehoztunk egy adatfeldolgozási és megjelenítési rendszert a folyamatos acélöntőmű (FAM) adatainak elemzésére, mellyel komplexen váltak vizsgálhatóvá a brammákat (későbbi folyamatokban akár a tekercset) ért hatások és azok következményei (pl. leminősülés [3]). Az adatfeldolgozási rutinokat a 2008. január 1-től 2020. június 30-ig terjedő időszak adatai alapján vezették be, azonban jelen szálhosszeltérés vizsgálat csak a 2018. január 1-től 2020. június 30-ig terjedő időszak eredményeit ismerteti.

2. Az öntési események adatai

A Dunafer öntőgépein az öntési események adatait két különböző elgondolás alapján alakították ki. Az egyiket a „gyártás” oldalról az öntési folyamat időbeni lefolyása alapján rögzítették, míg a másikat a „termék” oldalról a kész, hideg bramma hosszmeretei alapján. Az adatok közös értelmezéséhez és az öntési görbéken megfigyel-

hető, a terméket (brammát) ért hatások vizsgálatához a két módszer összeegyeztetése elengedhetetlen.

A vágott hossz meghatározása a ténylegesen leöntött brammák hossza alapján történik, az öntött hossz pedig az öntőgép által mért öntött hossz alapján. Mind az öntött szálhossz mérése, mind pedig a brammák vágásának pozíciója (brammák hossza) a húzóhengereknél elhelyezkedő impulzus jeladó alapján történik. A két számítási mód erősen korrelál egymással, mint ahogy az várható, és a későbbi számítások is megerősítették.

Az öntés vége jel beadásának pillanatáig a folyamatirányító számítógép rögzíti a szálhossz növekedését. A lábvég és fejevég hosszának a rögzítése, valamint az öntés végének beadása emberi beavatkozást igényel, ami komoly eltérést okozhat esetenként a két rögzített hosszérték között.

3. Termék szempontú szálhossz-meghatározás

A szálhossz-meghatározás a leöntött, ismert hosszúságú brammák és veszteség-hosszok (kivágások, lábvég, fejevég) alapján történik.

A brammák hossza – a szigorú könyvelés miatt – jó kiindulási alapot biztosít az öntött szál hosszának meghatározásához. A teljes vágott hossz megállapításához több tényezőt is figyelembe kell venni:

- a bramma hideg hossza,
- a hőtágulás (zsugorodás mértéke),
- a lábvég mérete (öntött szál eleje),
- a fejevég mérete (öntött szál vége).

A brammák méretével szemben támasztott követelmé-

Wizner Krisztián a Miskolci Egyetemen 2002-ben okleveles kohómérnök diplomát szerzett. Jelenleg PhD-hallgató a Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskolában. 2002-től dolgozik az ISD Dunafer társaságcsoportnál műszaki fejlesztési és technológiai területen. Kutatási/érdeklődési területe az Ipar 4.0 és kohászati alkalmazásai.

Dr. habil. Kővári Attila a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki Karán 2001-ben villamosmérnök, majd a Dunaújvárosi Egyetemen 2017-ben gépészmérnök mesterszintű oklevelet szerzett. Tudományos fokozatát 2014-ben a Pannon Egyetem Vegyészmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskolában szerezte anyagtudományok és technológiák tudományágban. Több mint 10 évig dolgozott az ISD Dunafer Zrt.-nél, jelenleg a Dunaújvárosi Egyetem Műszaki Intézeténél és az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karán egyetemi docens.

nyek hideg állapotra vonatkoznak, azonban még meleg állapotban kerülnek levágásra. A hőtágulás (zsugorodás) kompenzálása miatt a brammákat méretüktől függően 4700 mm hosszról 60 mm-rel, ez alatt 30 mm-rel hosszabbra vágják.

Az öntés indításakor a kristályosítóba helyezett indítószál zárja el alulról az acél útját. A kristályosító feltöltése során a legfontosabb, hogy az acél és az indítószál között stabil, szilárd kapcsolat alakuljon ki, ami feltétele a húzás elindításának. Ennek következtében az indítószál teteje és a beállított acélszint közötti különbséget (~ 400 mm) minőségi problémák elkerülése miatt a vágószinten kivágják, és veszteségként (lábvég) könyvelik el. Ha valamilyen okból (pl. öntésindítási probléma) a lábvég mérete eltér 400 mm-től, akkor azt figyelembe kell venni a szál hosszának számításánál.

A szekvens utolsó brammájának öntése után a közbenső üstben lévő acélt leürítik. A leürítés során a közbenső üstben az öntés során felszaporodott szennyezők egy része elsősorban az örvényhatás miatt [4, 5, 6, 7] az öntött szálba jut. Ebből az acélmennyiségből (~ 400 mm) feldolgozásra szánt bramma már nem keletkezik, veszteségként számolják el.

4. Folyamat szempontú szálhossz-meghatározás

Az öntőgép által rögzített szálhosszadatok alapján csak látszólag egyszerű az öntött hossz meghatározása. Az ipari környezet miatt előforduló hibás adatrögzítés (adatkommunikációs problémák, hiányzó, illetve hibás adatok, emberi beavatkozás), valamint a nem adatelemzés szempontjából kialakított adatrögzítési és adattárolási megoldások komoly kihívást jelentenek.

4.1. Adagvégi szálhossznullázás kezelése

A diszkrét jellegű adagszámítás miatt minden adag leöntése végén a kezelő egy szálvége jelet ad be. A szálvége jel hatására az adag végén az öntési adatok között a szálhossz nullázódik. Tévesen beadott szálvége jel esetén a következő bramma végén is megadható ez a szálvége jel, ami ismét a szálhosszérték nullázásához vezet. A 6 másodpercenként letárolt átlagolt szálhosszértékek jellegéből fakadóan a nullázásnál a szálhossz folyamatos növekedését jellemzően két negatív hosszváltozás követi (egy köztes és egy nullához közeli érték). A szálhossz tényleges növekedése ezen hibás negatív hosszváltozások korrigálásával határozható meg. A korrekció egyik módszere az öntési sebesség, és az adatletárolási időciklus periódusidejének (6 mp)

szorzatával meghatározott szálhossznövekedés meghatározása. Ez a módszer (mint minden becsléses korrekció) kis mértékű, de többször (adagonként jellemzően kétszer) előforduló bizonytalanságot visz a számításokba.

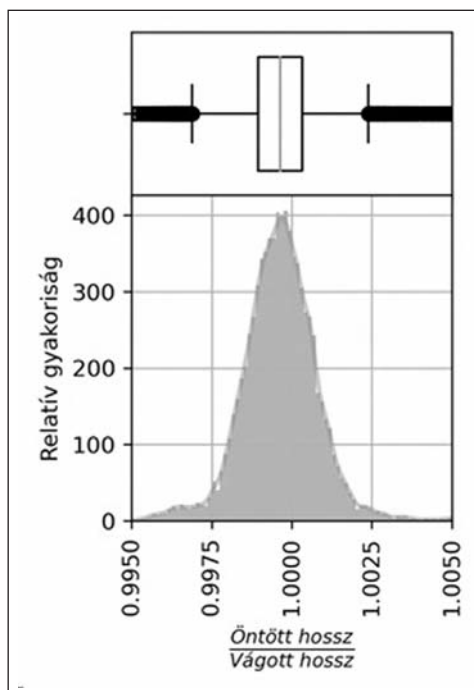
A bizonytalanság csökkentésének érdekében 2019 elejétől az átlagolt szálhosszértékek helyett az adott adatrögzítési ciklusban mért szálhossz maximumát tárolják, mely megoldással a szálhossznullázásoknál megközelítőleg felére sikerült csökkenteni a korrigálandó szálhosszváltozás értékeit.

4.2. Szálvég meghatározása

A vizsgált időszakban az öntés befejezésének időpillanata sok esetben hiányzott az adatbázisban – melyet azóta korrigáltak az acélmű szakemberei –, azonban jelen vizsgálat elvégzéséhez szükséges volt egy módszer megalkotása, mely biztonsággal képes meghatározni az öntés befejezésének pillanatát az adott öntőgépen, figyelembe véve, hogy az öntött szálakon jellemzően nem egyszerre fejezik be az öntést gazdaságossági megfontolásokat szem előtt tartva.

A szál öntésének végéhez érve a kezelő beadja az öntés vége jelet, melynek hatására az öntött szálhossz értéke nem növekszik tovább. Sajnos ugyanez a jelenség akkor is, ha az öntési sebességet 0 m/perc-re vagy ahhoz közeli értékre csökkentik valamilyen okból (pl. beavatkozás). Az adatbizonytalanságok kiküszöbölésére minden öntött szál esetén egy rutin segítségével meg kellett keresni annak az időszaknak a kezdetét, ahol a szálhossz már nem változott. Túl rövid változatlan időszak esetén könnyebben fordulhat elő hamis szálvégeredmény, míg túl hosszú esetén megnő a veszélye annak, hogy a szál öntésének vége után az időszakon belül megszűnik az öntési adatok rögzítése, és így a rutin hibás eredményre jut, mert nem talál a feltételnek megfelelő szálvégszakaszt. Az öntési

adatok elemzése során megfigyelhető volt, hogy a felfüggesztett öntések jellemzően 3 percen belül újra indultak. Azokban az esetekben, ahol az öntés vége felé merül fel olyan probléma, mely a szál megállítását igényelte, ott jellemzően azon a szálon, a technológiának megfelelően befejezték az öntést, és a maradék acél leöntését az öntőgép másik szálán oldották meg szintén a technológiai előírásoknak megfelelően. Ezen okból az utolsó bramma öntésének végén kizárólag olyan állás fordulhat elő, ami a szál öntésének végét jelzi. A fentiek alapján a szálvég időpontját az az esemény adja, amikor a szál hossza legalább 3 percig nem változik, és az adatbizonytalanságot figyelembe véve a vágott hosszról legfeljebb 3000 mm-rel tér el. Az öntőgép fizikai adottságaiból adódó legrövidebb brammaméret 3200 mm, ezért szerepel a feltételben ennél kisebb érték.



■ 1. ábra. Öntött-vágott hossz arányának eloszlása

5. A hosszeltérés vizsgálata

A hosszeltérés minősítése információt szolgáltat többek közt az öntési adatsorokra illesztett események (brammahatárok, beavatkozások stb.) pontosságáról, mely elengedhetetlen a brammák megfelelő minősítése szempontjából, valamint a teljes rendszer megfelelő működéséről. Az eltérés jellemzi a technológiai paraméterek összhangját is.

A két elgondolás alapján számított szálhosszértékek között az elvártaknak megfelelően erős korreláció figyelhető meg ($R^2 = 0,999979$), azonban arányuk eloszlásának (1. ábra) vizsgálatánál megfigyelhető, hogy a jellemző arányszám az 1 alatti tartományban helyezkedik el, tehát a vágott hossz jellemzően nagyobb, mint az öntött hossz. A megfigyelést megerősítette a robusztus párosított t-próba (Wilcoxon-előjeles rangteszt, 1. táblázat), mely alapján a két adatsor párosított értékeinek eloszlása között szignifikáns eltérés van.

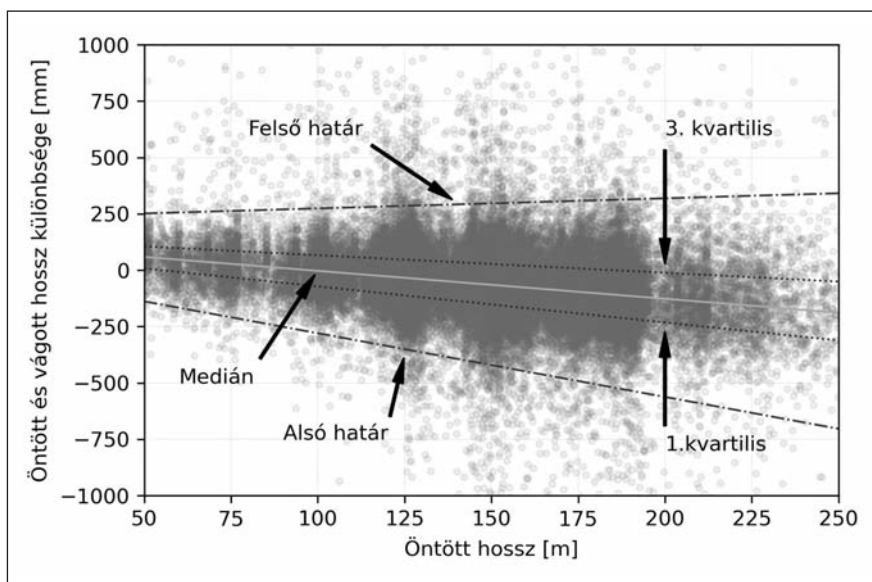
Az öntőgép által mért szálhosszok és vágott hosszok különbségének ábrázolásánál (2. ábra) tendencia figyelhető meg az öntött hossz függvényében (Medián vonala).

A tendencia korrekciójával elvégzett párosított t-próba (Wilcoxon-előjeles rangteszt) megerősítette, hogy az öntőgép által mért és a levágott száldarabok hosszának adatsora 0,05 szignifikanciaszint mellett azonos eloszlásúnak tekinthető.

1. táblázat. Öntött és vágott hosszok azonosságának ellenőrzése (0,05 szignifikanciaszint mellett)

Hossz adatok	Azonosság valószínűsége (p)	Eredmény
Eredeti	$1,738 \times 10^{-263}$	Különböző
Korrigált	0,4516	Hasonló

A technológiához tartozó eltérés tendenciája miatt a boxplot analízis kiemelt értékeit mozgóablak segítségével (az adatok ~1%-a, 500 adat) határoztuk meg, majd lineáris regresszió segítségével meghatároztuk a kiemelt boxplot értékeket képviselő egyeneseket (2. ábra).



2. ábra. Hosszeltérés trendje mozgóablak alapján

A tendencia arra enged következtetni, hogy az öntési folyamat során folyamatosan fennálló tényező okozza az eltérést.

A vizsgált adatok évekre bontott vizsgálata alapján javulás figyelhető meg a tendencia meredekségében (közelít 0-hoz, 2. táblázat).

2. táblázat. Az öntött hossz és az öntött-vágott hossz közötti trend egyenlet paraméterei (1. képlet)

Év	m	b
2018	-1,36727	125,1733
2019	-1,05402	109,4198
2020	-0,88759	124,0695

6. Hosszeltérés minősítése

A boxplot analízis sémája alapján meghatározott, az adatsorokra illesztett trendegyenések képlete adja a hosszeltérések egyfajta lehetséges minősítési kritérium határait (2. ábra, 3. táblázat). Ez alapján az 1. és 3. kvartilis közé eső terület esetén „jó”, a kvartilisek és a határok közötti terület „elfogadható”, míg a határokon kívüli terület esetén „bizonytalan” a két szálhossz megfeleltetése.

3. táblázat. Hosszeltérések minősítési határainak paraméterei (1. képlet)

	m	b
Felső határ	0,443769	228,894579
3. kvartilis	-0,780165	143,989375
Medián	-1,235780	120,336569
1. kvartilis	-1,596121	87,385906
Alsó határ	-2,820054	2,480702

$$\Delta \text{Hossz} = m \times L_{\text{öntött}} + b \quad (1)$$

ΔHossz : öntött és vágott hossz közötti különbség (mm)

$L_{\text{öntött}}$: öntött hossz (mm)

m : regressziós egyenes meredeksége

b : regressziós egyenes konstans tagja

7. Összefoglalás

A Dunaferri Zrt. adattökejének kiaknázásához elengedhetetlen az adatok előfeldolgozása és összerendelhetőségének biztosítása. A PhD-munka keretében a folyamatos öntés adatainak vizsgálata során létrejött egy adatfeldolgozó/megjelenítő rendszer, melynek segítségével komplexen váltak vizsgálhatóvá a brammákat (későbbi folyamatokban akár a tekercset) ért hatások és azok következményei. Az adatvizsgálat részeként összeegyeztettük a különböző szempontok (gyártás és termék) szerint rögzített öntési eseményeket. Az összeegyeztetés jóságának minősítésére készült egy rendszer, mellyel az öntött és a vágott hossz összerendelésének jósága

megadható. Az adatok vizsgálata során megfigyelhető, hogy a két elgondolás (gyártás, termék) alapján számított szálhosszok között trendszerű eltérés van, azonban ezt korigálva azonosnak tekinthető a két szálhossz-számítási módszer.

Köszönetnyilvánítás

EFOP-3.6.1-16-2016-00003 K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen projekt által finanszírozott kutatás.

Irodalom

- [1] *Wizner K., Kővári A.*: Novel concepts for establishing expert support systems to investigate the defect occurring in metallurgical phases in the technology of ISD DUNAFERR Zrt., Conference Series: Materials Science and Engineering 903 (2020) 012001, p 6.
- [2] *Wizner K., Kővári A.*: Root cause analysis of metallurgical defects in continuous cast steel slabs at ISD DUNAFERR Zrt., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 903 (2020) 012043, p 8.
- [3] *Wizner K., Kővári A.*: Effect of the production conditions of continuously cast steels on the degree of hot rolled product downgrading, Acta Materialia Transylvanica Vol. 3, No 1 (2020) pp 55–59.
- [4] *Solorio-Diaz G., Ramos-Banderas J. A., Bareto J. de J., Morales R. D.*: Fluid dynamics of vortex formation in tundish operations: Physical modelling, Steel Research International Vol. 78, No. 3 (2007) pp 248–253.
- [5] *Garcia-Hernandez S., Solorio-Diaz G., Ramos-Banderas J. A., Bareto J. de J., Morales R. D.*: Fluid dynamics of vortex formation in tundish operations: Mathematical modelling, Steel Research International Vol. 80, No. 4 (2009) pp 256–263.
- [6] *Odenthal H.-J., Bölling R., Pfeifer H.*: Numerical and physical simulation of tundish fluid flow phenomena, Steel Research Vol 74, No. 1 (2003) pp 44–55.
- [7] *Väyrynen P., Vapalahti S., Louhenkilpi S., Chatburn L., Clark M., Wagner T.*: Tundish flow model tuning and validation: Steady state and transient casting situations, Konferencia kiadvány: SteelSim Graz/Seggau Austria (2007), pp 147–152.

TÖRÖK TAMÁS ISTVÁN

EUROCORR 2021 – Harcolni a korrózió ellen is kell

A nagyon változatos felhasználású szénacéloknál szinte mindig figyelemmel kell lenni ezen fontos szerkezeti anyagok megfelelő korrózióvédelmére. A korróziós folyamatokkal és a korrózióvédelmi célú felületkezelő eljárásokkal foglalkozó EUROCORR 2021 Nemzetközi Konferencia és Kiállítás újbóli magyarországi megrendezése (Budapest, 2021. szeptember 19–23.) okán is készült a jelen szemlélő tanulmány, melyben néhány tipikus anyagkárosodási folyamat illusztrálása mellett a szerző olyan hatásos felületvédelmi megoldásokra kívánta felhívni a figyelmet, mint például az inhibitoros védelem és a szerves védőbevonatok alkalmazásának szükségességére, továbbá a korróziós anyagelhasználódás rendszeres ellenőrzésének a fontosságára.

1. Bevezetés

A globális nemzetközi térben elsősorban a NACE (National Association of Corrosion Engineers / USA), míg Európában az EFC (European Federation of Corrosion) mérnökegyesületek fogják össze a korróziós területek legjelesebb szakértőit, és az EFC tizenhét év után ismét Magyarországon, a fővárosunkban rendezi meg az éves EUROCORR nagyrendezvényét. A hazai fogadó, a HUNKOR (Magyar Korróziós Szövetség) igyekszik mozgósítani a hazai érintetteket, és újrolag is felhívni a figyelmet néhány tipikus korróziós káresetre és a korszerű védekezési megoldásokra.

Török Tamás István Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Metallurgiai Intézet, Kémiai Metallurgiai és Felülettechnikai Intézeti Tanszék.

A cikk színes képei a hátsó-belső borítón láthatók.

2. Kültéri acélszerkezetek korrózióvédelme

Hazánkban a klimatikus viszonyok a városi környezetben (1. ábra) és az esetenként még agresszívebb ipari környezetben (2. ábra) általában szükségessé teszik az acél- és egyéb vasalapú ötvözetekből készült szerkezetek korrózióvédelmét.

A szerves bevonatokkal történő korrózióvédelem esetén esztétikai vagy akár bizonyos munka-, tűz- és környezetvédelmi elvárások is kielégíthetők. Ugyanakkor a szerves bevonatok elkerülhetetlen öregedése (oxigén, nedvesség, elektrolitok, UV-fény stb. hatására) általában rendszeres ellenőrzési, javítási és felújítási feladatokkal is együtt jár.

Ezek elhanyagolása különösen a festékbevonattal védett acélszerkezet korróziójának megindulása szempontjából veszélyes. Ilyenkor megfelelő korróziógátló alapozó alkalmazása a mai korszerű megoldás. Olajfestékekhez egykoron nagyon jól bevált korróziógátló pigmentként