

Wizner Krisztián

Szakértői támogató informatikai rendszer az
acélgyártás öntési folyamatának elemzésére

doktori tézisek

Témavezetők:

Dr. Baranyi Péter Széchenyi István Egyetem

Dr. Kővári Attila Dunaújvárosi Egyetem

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Bevezetés és célkitűzések

Az ISD Dunaferr Technológiai Igazgatóságán végzett munkám során kísérleti programok, illetve vevői reklamációk miatt számos adag gyártását és öntését kellett kiértékelnem, melynek során az öntött szál kérdéses szakaszainak pontos azonosítása is összetett feladatot jelentett. Ennek megkönnyítése céljából kidolgoztam egy komplex szakértő támogató informatikai rendszert. A program teszt jellegű használata során számos pozitív visszajelzést kaptam különböző szakterületekről, melyek megerősítettek abban, hogy munkám nem csupán egyéni szakmai kíváncsiság, hanem komoly szakmai igény is van iránta.

Kutatásomban a folyamatos acélöntés nem-állandósult szakaszainak hatását vizsgálom az öntött brammából hengerelt lemeztermék leminősülésére. A folyamatos öntés ipari gyakorlatában elkerülhetetlenek az állandósult állapotot megzavaró események. Ezen szakaszoknak a vizsgálatát több tényező is nehezíti. A folyamatkövetés szemlélete alapján a rögzített nagymennyiségű adat idő alapon kerül letárolásra, mely nem ad könnyen értelmezhető információt arról, hogy az adott esemény az öntött szál mely szakaszát, milyen mértékben érintette. Az öntési folyamat adatainak idő (folyamat) alapról öntött hossz (termék) alapra történő átalakításával pontosabb kép adható a nem-állandósult szakaszok elhelyezkedésével kapcsolatosan, ezáltal pontosabban vizsgálhatóvá válik hatásuk az öntött szálra, azaz a metallurgiai fázis késztermékét jelentő brammára.

A brammák azonosítása a diszkrét adaggyártás adminisztrációs szempontjainak figyelembevételével történik, mely alapján egy bramma kizárólag egy adaghoz tartozhat. Ez a megközelítés a folyamatos öntés vizsgálatánál csak korlátozottan alkalmazható. A folyamatos acélöntés technológiájából kifolyólag az egymás után öntött adagok a puffer szerepet betöltő közbenső üstben keverednek, ezért ilyen esetekben az érintett szálszakasz jellemzői a két adag összetett tulajdonságaitól függenek. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a vevői igények alapján összeállított

brammahosszok (brammatömegek) (az esetek túlnyomó többségében) nem feleltethetők meg pontosan egy-egy adag ~135 t tömegének. Emiatt elkerülhetetlen, hogy az adag kezdeti, vagy vég brammájának egy része másik adagból kerüljön leöntésre.

A hengerelt termékek metallurgiai jellegű leminősüléseinek vizsgálatához a fent említett folyamatos öntési jellegzetességek miatt egy szekvens (öntési) alapú adatkezelés kialakítása szükséges, melynek segítségével minden brammához egyértelműen hozzárendelhető a rá jellemző adaggyártási, finomítási és öntési körülmény.

Az acélgyártás metallurgiai folyamatai nagyon összetettek és számos tudományterületet érintenek. A folyamatok során képződő nagymennyiségű adat több szempontból történő értelmezése és értékelése nagy kihívás elé állítja a szakembereket. Különlegesen nagy kihívást jelent a leminősülések okainak azonosításában, hogy az egymást követő technológiai fázisok (acélgyártás, finomítás, folyamatos öntés, meleghengerlés) gyakran elfednek, vagy éppen felszínre hoznak olyan leminősülési okokat, melyek más technológiai fázisban keletkeztek. Ilyen hiba például a megszilárdulási fázisban kialakuló felszín alatti repedések, melyek a hevítő kemencében akár a felszínre is kerülhetnek és így leminősülést okozhatnak, de a hengerlési fázisban akár el is tűnhetnek az alakítás hatására.

Kutatásom elsődleges célja egy tudományos alapokon nyugvó, komplex adatfeldolgozó, és adat-vizualizációs informatikai rendszer kialakítása, mely támogatást nyújt a hengerelt termékben megjelenő metallurgiai hibák okainak feltárásához, valamint megteremti az alapot komplex vizsgálati módszerek kidolgozásához az acél minőségének javítása érdekében.

A rendszerrel szemben támasztott követelmények:

- Adaptálhatóság (megfigyelt alapelvek, és kidolgozott módszerek más kohászati üzemben is alkalmazhatók legyenek)
- Bővíthetőség (új vizsgálati szempontokkal)
- Ingyenes, nyílt forráskódú programozási eszközök használata
- Ipari informatikai infrastruktúrába illeszthetőség biztosítása
- Platform független (webes) adat-vizualizáció
- Nagy szabadságfokú, dinamikus adatmegjelenítési lehetőség
- Szakemberek közötti kooperatív munka biztosítása (megosztható diagram nézetek)
- Egységes vizsgálati szempontok kialakítását tegye lehetővé (pl. leminősülések)
- Csökkentse a szakemberek terhelését az adatok elő-feldolgozása és vizualizációja által

A kutatás során alkalmazott módszerek

A kiterjedt kohászati szakirodalom, valamint az ISD Dunaferr Zrt. közel két évtizednyi üzemi adatai megfelelő alapot kínáltak jelen értekezés elvégzéséhez. Szakirodalom segítségével áttekintettem az egyes hibalehetőségek szempontjából jelentősebb, a folyamatos acélöntés állandósult állapotát megzavaró körülményeket.

Az ipari környezetben rögzített adatok számos esetben hibával és hiányossággal terheltek, ezért az adatjóság biztosításának érdekében a 2008.01.01-2020.06.30-ig terjedő időszak gyártási adatai alapján a kidolgozott informatikai rendszer segítségével azonosítottam a folyamatos acélöntés során megfigyelhető tipikus adathibákat, illetve azokat a körülményeket, melyek lehetetlenné teszik az adatok megbízható elemzését. A hibásan rögzített, azonban egyértelműen korrigálható adatokat javítottam az adatbázisban (fejvég hossz, lábvég hossz, ráöntés szám).

Az adatproblémák vizsgálata során megfigyelhető volt, hogy a mérőrendszerek, valamint a technikai feltételek folyamatos fejlesztésével évről évre javult az adatok megbízhatósága és pontossága. Kompromisszumos megoldásként jelen értekezés vizsgálatainak alapjául a 2018.01.01-től 2020.06.30-ig terjedő időszakot dolgoztam fel, mely elegendő adatot tartalmaz kis adatbizonytalanság mellett a vizsgálatok biztonságos elvégzéséhez (25.429 db szekvens \Rightarrow 122.712 db adag \Rightarrow 977.827 db bramma).

Az acélgyártás, üstmetallurgiai kezelés, folyamatos öntés adatai, valamint a brammák összetételi minősítésének feltételei az acélmű Oracle adatbázisából származnak. A brammákból hengerelt termékek (lemez, tekercs) leminősülési adatai a vállalatirányítási rendszert részét képező SAP/R3 adatbázisából származnak

Az adatok elő-feldolgozására a legkézenfekvőbbnek a Python nyelv alkalmazása mutatkozott, azonban az adatfeldolgozás kódját az üzem kérésére a későbbiekben átírtam az acélmű Oracle adatbázisán futó PL/SQL kódra. Az adatfeldolgozás programozása mellett párhuzamosan végeztem az acélmű PHP szerverén futó webes megjelenítő programozását az üzem kérésére PHP és JavaScript nyelveken.

Vizsgálataimat az ISD Dunaferr Zrt. adatai alapján végeztem el.

Az elő-adatfeldolgozás során azonosítottam az öntött szál sebességváltozással, szintingadozással érintett szakaszait. A sebességváltozási szakaszok ismeretében meghatároztam a sebességváltozás és a szelvényméret függő közbensőüst dugópozíció változás arányát, melynek figyelembevételével meghatároztam a zárványkirakodásra utaló közbensőüst dugópozíció változás szakaszait a teljes öntött szálra.

Boxplot analízis alkalmazásával minősítettem az öntési adatok (hossz) illesztési jóságát, valamint meghatároztam a nem-állandósult öntési szakaszokban előforduló változások kívülállóértékeit. A szelvénymérettől függő határértékek esetén lineáris regresszió alkalmazásával korigáltam a határértékeket.

Elvégeztem a vizsgált időszakban öntött brammák minősítését a túlhevítettség mértéke, valamint az alábbi átmeneti állapotok alapján:

- Jelentős öntési sebességváltozással érintett (idő, és öntött hossz alapon)
- Jelentős kristályosítói acélszint változással érintett (idő, és öntött hossz alapon)
- Jelentős közbensőüst dugópozíció változással érintett (idő, és öntött hossz alapon)
- Vegyes öntésű szálszakasszal érintett
- Jelentős lassítással érintett (minimális öntési sebességnél lassabban öntött)

Minősítési szempontokra bontva megvizsgáltam a leminősülések arányát az átmeneti állapottal terhelt, és nem terhelt brammák között. A terhelt és nem terhelt csoportok leminősülési arányai között tapasztalható különbséget statisztikai z-teszttel igazoltam.

Megvizsgáltam az öntéstechnológiából adódóan jelentős öntési sebességváltozással és jelentős kristályosítói szintváltozással terhelt szekvens kezdő brammák, valamint az adatfeldolgozó program által azonosított jelentős öntési sebességváltozással, illetve jelentős kristályosítói színtingadozással terhelt brammák közötti összefüggést.

Az összehasonlítás alapján megvizsgáltam az idő, illetve az öntött hossz alapú változások relevanciáját, valamint igazoltam az elkészített adatfeldolgozó rendszer által szolgáltatott adatok megfelelőségét.

Az alábbi feladatokat a Python nyelv eszközeivel oldottam meg (numpy, scipy, pandas, matplotlib, sklearn, statmodels csomagok):

- Nem-állandósult öntési szakaszok kívülállóérték határainak meghatározása (boxplot alapján)

- Szelvénymérettől függő határértékek korrekciója lineáris regresszió segítségével
- Statikus adatábrázolás
- Leminősülési arányok különbözőségének ellenőrzése z-teszttel

Az eredmények alapján az elemzések lehetőséget biztosítanak további vizsgálatok elvégzéséhez, melyet jelen értekezés keretein kívül a Python nyelv által biztosított gépi tanulás eszközeivel kívánok folytatni.

Tézisek

Tézis 1

Kidolgoztam és megvalósítottam egy adaptálható és bővíthető szekvens (öntési) szemléletű adatfeldolgozási rendszert a folyamatos acélöntés adatainak elemzéséhez [1, 10, 12, 13, 14].

Az adatfeldolgozás során a folyamatszempontú, idő alapon rögzített adatelemzési lehetőségen felül kidolgoztam egy termékszempontú, öntött hossz alapú adatelemzési eljárást.

A rendszer megoldást kínál számos mélyebb adatvizsgálatot támogató módszer megalkotásához az alábbi lehetőségek megvalósításával:

1. Diszkrét jellegű adagyártás és a folyamatos jellegű folyamatos öntés során képződött adatok összeegyeztetésével komplexen vizsgálhatóvá vált a nyersacél gyártásától a folyamatos acélöntés végtermékig (bramma) tartó folyamat, mely megalapozza a brammákból hengerelt lapos termék gyártásának automatizálható vizsgálatát;
2. Az öntött szálát ért öntési anomáliák bramma (termék) szinten váltak értékelhetővé;

3. A folyamatos öntés során fellépő zárványkirakódási (szűkülési) folyamat vizsgálhatóvá tétele, mellyel többek közt értékelhető a zárványmodifikáló Ca-s kezelés sikeressége;
4. Jelentős méretű zárványok, zárványcsoportok leválási eseményének lokalizálása az öntött szálon;
5. Öntési sebességváltozással, valamint kristályosítói szintingadozással terhelt szálszakaszok helyének, kiterjedésének, súlyosságának meghatározása;
6. Beavatkozással terhelt szálszakaszok azonosítása, lokalizálása;
7. Vegyes összetételű szálszakaszok azonosítása, kémiai eltérés alapján az átmeneti összetételű szálszakaszok automatizált minősíthetőségének megteremtése.

Tézis 1.1

Az adatok értelmezésének érdekében kidolgoztam egy adaptálható, és bővíthető platform független webes alapú adat-vizualizációs rendszert a folyamatos acélöntés jellegzetes eseményeinek megjelenítéséhez.

Az adatmegjelenítő rendszerbe az alábbi adatelemzési lehetőségeket implementáltam:

- szekvens (öntési) alapú adatmegjelenítés;
- dinamikus adatmegjelenítés (öntési szakasz eseményei kiemelhetők);
- időalapú ábrázolás mellett termék szempontú öntött hossz alapú adatábrázolás.

Tézis 2

A különböző megközelítés alapján rögzített szállhosszadatok (öntőgép által mért öntött, és a ténylegesen levágott szállhossz) összeegyeztethetőségének igazolása során Wilcoxon előjeles rang teszt segítségével bizonyítottam, hogy az öntőgép által

rögzített szálhossz és a vágott szálhossz között szignifikáns különbség tapasztalható ($\alpha = 0,05$; $p = 1,738 \cdot 10^{-263}$) [9].

Az öntött szálhossz függvényében ábrázolt öntött és vágott hossz különbség értékeken egy 500 elem széles (adatok $\sim 1\%$ -a) mozgóablak használatával és a boxplot analízis jellegzetes értékeinek meghatározásával kimutattam, hogy az adatokban tendencia figyelhető meg, melyet lineáris összefüggéssel jellemeztem.

A meghatározott regressziós egyenesek statisztikai kívülálló érték keresés szempontjából 3 részre bontják a hosszeltérések öntött hosszától függő adatait, mely alapján az öntési adatok hosszalapú összerendelése minősíthetővé válik.

- 1. és 3. kvartilis közötti terület között található az adatok 50%-a. Ezen a területen statisztikailag nem számottevő a hosszeltérés
- Alsó határ és az 1. kvartilis, valamint a felső határ és a 3. kvartilis közötti terület. Ezen a területen elhelyezkedő adatok statisztikailag még nem veszélyeztetik hosszadatok összerendelését, de már számottevők
- Az alsó és felső határon kívül eső terület statisztikailag kívülálló értéknek számít, ezért a határokon kívül elhelyezhető adatok bizonytalanná teszik az adatok összerendelését a hosszok alapján

Tézis 2.1

Wilcoxon előjeles rang teszttel igazoltam ($\alpha = 0,05$; $p = 0,4516$), hogy a trend alapján korrigált hosszadatok már azonosnak tekinthetők.

Tézis 3

Boxplot elemzés segítségével meghatároztam az öntési folyamat szempontjából jelentősnek tekinthető, állandósult állapottól eltérő öntési sebesség, kristályosító szint és közbensőüst dugópozíció változások (idő és öntött hossz alapú) határértékeit. A határértékek alapján elvégeztem a brammák minősítését, és validáltam az eredményeket.

A zárványkirakódásra/leválásra utaló, jelentős közbensőüst dugópozíció változás határértékeinek meghatározásánál figyelembe vettem a térfogatáramot befolyásoló szelvényméretet, valamint a zárványkirakódást befolyásoló kalciumos kezelés tényét. [11, 12, 13, 14]

Tézis 3.1

A szelvényméret függvényében meghatározott jelentős kristályosítói acélszint ingadozások határértékei alapján megállapítottam, hogy a szelvényméret növekedésével növekszik a határértékek közötti távolság, tehát a szintváltozás kompenzációja lassabb. A lassabb szintkompenzáció az anyagáram pótlás tehetetlensége miatt lép fel, ami növekszik a szelvény keresztmetszetének növekedésével.

Az alsó és felső határértékek szelvénymérettel való összefüggésére meghatároztam a határegyenesek paramétereit.

Tézis 3.2

A zárványleválás/kirakódás folyamatának vizsgálata során figyelmen kívül kell hagyni az öntési sebességváltozásból adódó „inert” közbensőüst dugópozíció változásokat, melyek a megváltozott szükséges térfogatáram hatására jönnek létre. Az egységnyi öntési sebesség változására eső térfogatáram változás fix szálvastagságot figyelembe véve egyenes arányban van a szelvény szélességével.

Az öntési adatok alapján azonosított öntési sebesség változási szakaszok elemzésével meghatároztam az egységnyi öntési sebességváltozáshoz tartozó közbensőüst dugópozíció változás mértékét (a) a szelvényméret függvényében. Az így kapott pontokra felvett regressziós egyenes adja a változások arányát adott szelvényméret esetén.

$$a = \frac{\Delta \text{Dugópozíció}}{\Delta \text{Öntési sebesség}} \left[\frac{1}{\frac{m}{\text{min}}} \right] = 3,51187 * W_{\text{szelvény}} + 2,39215 \quad (1)$$

ahol:

a: Egységnyi öntési sebességváltozásra eső közbensőüst dugópozíció változás [$1/(m/min)$]

Δ Dugópozíció: Közbensőüst dugópozíció változás [1]

Δ Öntési sebesség: Öntési sebesség változás [m/min]

$W_{szelvény}$: Szelvényméret [m]

Tézis 3.3

Megállapítottam, hogy a bramma minősítésénél használt idő és öntött hossz alapú jelentős közbensőüst dugópozíció változások erősen korrelálnak egymással ($R^2 = 0,977$). Ezen megfigyelés alapján a korábban ismertetett öntési sebesség és kristályosítói acélszint változásokkal szemben nincs jelentős különbség az idő és az öntött hossz alapon vizsgált változások között. Az egyszerűbb (öntött hossz adatbizonytalansága mellett is alkalmazható), idő alapú vizsgálat közel azonos eredményt hoz, mint az öntött hossz alapú.

Tézis 4

Az öntési sebesség és kristályosítói acélszint változások validációja, valamint a leminősülések vizsgálata alapján bizonyítottam azt a feltevést, miszerint a nem-állandósult állapotú (változási) öntési szakaszokat jobban jellemzik a termék szempontú, öntött hossz alapján számított, mint a folyamat szempontú, eltelt idő alapján számított változásértékek. [11, 12, 13, 14]

Tézis 5

A leminősülési adatok vizsgálata során Z teszt alkalmazásával (95%-os konfidencia szintet figyelembe véve $p < 0,05$) igazoltam azt a feltételezést, hogy az alábbi öntési körülmények növelik a brammák leminősülési kockázatát [11]:

- Határértéken kívüli öntési sebességváltozással érintett brammák
- Határértéken kívüli kristályosítói acélszint változással érintett brammák
- Határértéken kívüli közbensőüst dugópozíció változással érintett brammák
- Jelentős öntésslassítással érintett brammák (technológiában meghatározott minimális öntési sebességnél lassabban öntött)

- Vegyes összetételű szálaszakaszt tartalmazó brammák
- Túl alacsony, illetve túl magas túlhevítettség mellett öntött brammák
- Szekvens kezdő brammák (melyek technológiából adódóan érintettek jelentős öntési sebességváltozással és jelentős kristályosítói szintváltozással)
- Szekvens záró brammák (melyek érintettek jelentős öntésslassítással)

Összefoglalás

Jelen értekezésben ismertetett adatfeldolgozó és megjelenítő rendszer hosszú múltra tekint vissza. A fejlesztés során szorosan együttműködtem a Dunaferr szakembergárdájával annak érdekében, hogy a kidolgozott rendszer minél pontosabb, áttekinthetőbb és informatív legyen. Fontos szempont volt, hogy használható legyen azoknak a szakembereknek is, akik alacsony informatikai ismeretekkel rendelkeznek. A megközelítőleg 10 éves fejlesztés és adatvizsgálat eredményeképpen sikerült egy olyan adatfeldolgozó rendszert létrehozni, mely megbízhatóan képes azonosítani az öntés szempontjából fontos eseményeket, és megteremti a diszkrét adaggyártás, valamint a folyamatos acélöntés komplex vizsgálatához szükséges kapcsolatot. Segítségével automatizálhatóan, egyben válnak vizsgálhatóvá a hengerelt termékért körülmények a nyersacél legyártásától egészen a hengerlési fázis befejezéséig. Az elemzett adatok felhasználásával a jelenlegi lehetőségekhez képest sokkal mélyebb betekintés nyerhető az öntés technológiai folyamataiba, könnyebben azonosíthatók a minőséget befolyásoló hatások. A termék szempontú (öntött hossz alapú) adatvizsgálat lehetőségének megteremtésével pontosabb információ vált elérhetővé a brammákat ért hatások azonosítása érdekében. Az adatfeldolgozó rendszer további nagy előnye, hogy a feltárt tipikus adathibák ismeretében, valamint az öntési szakaszok azonosítási elvének felhasználásával tetszőlegesen adaptálható további folyamatos öntőművekre. Az adatelemzés programkódjának kiemelt szempontja volt, hogy a későbbiekben további szempontokkal lehessen bővíteni, ezáltal a továbbfejlesztése

ne jelentsen problémát. Az elemzési eredmények megbízhatóságát ismert, és könnyen azonosítható öntési körülmények segítségével validáltam, mely alapján az elemzési folyamat megbízhatónak minősült.

Az öntési adatok megjelenítésére a webes felületet találtam legalkalmasabbnak, mert ezzel a megoldással a program részeredményei is azonnal elérhetővé tehetők a felhasználók számára. A webes megjelenítés további nagy előnye volt, hogy a fejlesztett programkódot elegendő volt a szerveren átírni a felhasználók zavarása nélkül. A megjelenítés megvalósítása nagy szerepet játszott az adatfeldolgozó rendszer validációjának első lépésében. A webes felület megalkotása során törekedtem az áttekinthetőség biztosítására. A dinamikus adatábrázolás segítségével a vizsgált öntési szakaszok tetszőleges részletességgel váltak vizualizálhatóvá, mely nagyban segíti a szakemberek munkáját. További lényeges előnye a webes felületnek, hogy leegyszerűsítette a szakemberek kooperatív munkáját a diagramnézetek megosztásának segítségével. A webes megjelenítés megvalósítása során az adatelemzéshez hasonlóan elsődleges szempont volt az adaptálhatóság biztosítása, ezért az adatfeldolgozási résszel együtt a megjelenítési rész is adaptálható további folyamatos öntőművekbe. A Tézis 1-ben ismertetett alaprendszert már jelenleg is használják a Dunaferr szakemberei (üzem, technológia, minőségügy). Az azonosított tipikus adathibák nem kizárólag Dunaferr öntőgép specifikusak, ezért más hasonló folyamatos öntési adatfeldolgozó rendszer kidolgozásánál is felhasználhatók, figyelembe vehetők.

Publikációs jegyzék

Értekezésben hivatkozott

- [1] Wizner K., Kővári A.: Az acélgyártás/öntés folyamatának elemzése
Konferencia kiadvány: XXI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), (2019) pp 153-157
- [2] Wizner K., Kővári A.: Efficiency of different kinds of aluminium during deoxidation at the Steelworks of ISD Dunaferr Co. Ltd.
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 426 (2018) 012052 p 7
- [3] Wizner K.: Acélok argonos öblítése az acélgyártás során
Miskolci Egyetem Kutatószeminárium (2004) p 7
- [4] Wizner K.: Az üstmetallurgia fejlődésének nemzetközi trendje, Dunaferr adottságai
Miskolci Egyetem, Kutató szeminárium (2004) p 14
- [5] Szabadi Zs., Wizner K.: Desulphurisation in the secondary steelmaking process without heating
Konferencia kiadvány: 11th International Students Day of Metallurgy, Fachschaft metallurgie und Werkstofftechnik der RWTH Aachen, Germany (2004) pp 247-249
- [6] Szabadi Zs., Wizner K.: Application of aluminium slags for desulphurisation in the secondary steelmaking process
Konferencia kiadvány: 10th International Students Day of Metallurgy, Montanuniversität Leoben Austria (2003) pp 168-171
- [7] Móger R., Réger M., Ender A., Józsa R., Wizner K.: Optimizing steel-making secondary metallurgy slag at ISD Dunaferr Zrt.
Materials Science Forum Vol. 812 (2015) pp 173-179
- [8] Wizner K.: Üstmetallurgia szerepe a mikroötvözött, nagy tisztaságú acélok gyártásában
Miskolci Egyetem, Kutató szeminárium (2003) p 12

- [9] Wizner K., Kővári A.: Az ISD Dunaferr Zrt. folyamatos öntőművében az öntött és vágott szálhossz eltéréseinek minősítése
Bányászati és Kohászati Lapok (Kohászat) Vol. 154, No 1. (2021) pp 1-4
- [10] 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
- [11] 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
- [12] Metallurgiai eredetű hibák reklamáció-kivizsgálását támogató szakértői rendszer kialakítása az ISD DUNAFERR Zrt. technológiájában
Magyar Acél (2020) No. 1 pp 42-48
- [13] 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

Egyéb

- [14] Kővári A., Katona J., Wizner K., Ujbányi T., Nagy B., Berki B., Sudár A.: Ember-számítógép-, valamint megjelenítő és elemző interfészek alkalmazási lehetőségei
Dunakavics, Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata Vol. 9. No 5 (2021) pp 45-60
- A publikációkra nincs független hivatkozás.