

Szent István Egyetem

TÖBBRÉTEGŰ TŰZIHORGANY BEVONATOK ABRÁZIÓS KOPÁSA

Doktori (Ph.D) értekezés

Szabadi László

Gödöllő
2011.

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki tudomány

vezetője: Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

Témavezető: Dr. habil. Pék Lajos
főiskolai tanár, CSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Gépipari Technológiai Intézet

Társ-témavezető: Dr. habil. Kalácska Gábor
egyetemi tanár, CSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Gépipari Technológiai Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	5
1.1. A téma aktualitása	5
1.2. A kutatás célja és feladatai	5
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	7
2.1. A próbatestek kialakítása és a bevonatok jellemzői.....	7
2.2. Abráziós vizsgálati berendezés: módosított homok-keveréses triboteszter	10
3. EREDMÉNYEK.....	12
3.1. Abráziós kopás és súrlódási sebesség	12
3.2. Abráziós kopás és nyomásviszonyok.....	14
3.3. A bevonat rétegszerkezete és kopási értékek összehasonlítása	14
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	17
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	19
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	20
SUMMARY	22
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK.....	24

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

1.1. A téma aktualitása

A tűzihorganyzás vas- és acélszerkezetek, darabáruk felületeinek tartós korrózió elleni védelmére alkalmazott technológia, melynek védőhatása döntően a felületi réteg vastagságától és záróképességétől (tömörség) függ. Javasolt fő alkalmazási területei minden korrozivitási osztályban az atmoszférikus igénybevétel, valamint szellőztetett belső terek fémszerkezeteinek felületvédelme. A bevonat megbízható védőhatása, az eljárás ipari méretű alkalmazhatósága, viszonylag magas termelékenysége és csekély élőmunka igénye miatt alkalmazása folyamatosan terjed. Európában a legyártott acélszerkezetek egyre növekvő hányadát - több mint 6 millió tonnát - látják el tűzihorgany bevonatokkal.

A napjainkban terjedő és egyben új felhasználási területet jelentő ipari, mezőgazdasági és köztéri tűzihorganyzott járdarácsoknál, ipari szűrőknél, a korróziós hatások mellett mechanikai igénybevételek is érik a termékeket. Abráziós kopásnak, homok - és kőzúzalék szóródásnak kitett tűzihorganyzott felületeknél mára már felhasználói igény a kopás és dörzsálló bevonatok kialakítása is. Adhéziós csúszási viszonyokat és alakváltozási képességet már tanulmányoztak viszonylag szűk feltételek esetén, de abráziós kopásállóságra vonatkozó, rendszerezett összehasonlító mérési adatok azonban sem a szakirodalomban, sem a bevonatkészítő és fejlesztő cégek adatbázisában nem állnak rendelkezésre. Ezek az adatok elengedhetetlenek a kopási ellenállást javító technológiai fejlesztésekhez.

1.2. A kutatás célja és feladatai

A kutatás célja gyorsított laboratóriumi összehasonlító kopásállósági vizsgálatokkal meghatározni azt, hogy eltérő összetételű tűzihorganyzott bevonatok, egymáshoz viszonyítva, milyen kopásállósággal rendelkeznek. Olyan mérésekre alapozott kísérletek végrehajtása, melyek kellően tudományos megalapozottsággal reprezentálják a különböző összetételű, tűzihorganyzott bevonatok kopásállósága közötti különbségeket. Céлом továbbá a súrlódási úthossz, a sebesség és az abráziós közeg nyomásának függvényében empirikus jellemzők megadása a kopási ellenállást javító technológiai fejlesztéséhez.

A szakirodalom feldolgozásából a továbbiakban megállapítható, hogy a több mint 200 éves technológia jól elkülöníthető fejlődési szakaszaiban végzett kutatás és fejlesztés a bevont réteg kopási viszonyait nem tisztázta. A feltárt hiányosságok alapján kutatási feladataim az alábbiak:

- a koptató igénybevételnek kitett felületekhez alkalmazott bevonattípusok tanulmányozása és kiválasztása, próbatestek kialakítása és bevonása,
- a bevonat elemzése, pontos adatok (geometriai, rétegszerkezeti, összetevői jellemzők) megállapítása,

- a mérőberendezés kialakítása, a koptató közeg kiválasztása és a mérési rendszer és módszer meghatározása,
- előkísérletek után a méréssorozatok elvégzése, a mérési adatok feldolgozása és grafikus megjelenítése,
- az összefüggések, következtetések feltárása.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

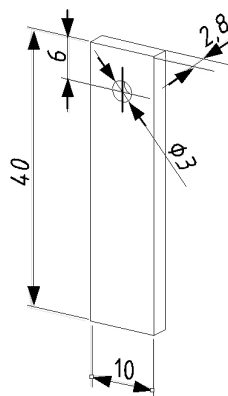
Az elvégzett mérések célja az volt, hogy minél pontosabb adatokat nyerjek a különféle horganybevonatok koptató hatásokkal szembeni ellenállásáról. A nagy koptató igénybevételnek kitett felületeken, így pl. az állattartó telepeken alkalmazott járdarácsok járó- és áthajtó felületein a horganybevonat gyorsabban sérül, mint pl. más épületszerkezeti helyeken. A lekopott bevonat helyén pedig a vas korróziója indul meg. Ez ronthatja a termék használati értékét. Emiatt célszerűnek látszik olyan bevonat kialakítása, mely jelentősen jobb kopási ellenállással bír, mint a tiszta horganyréteg. Egy lehetséges megoldás, a csak ötvözetű fázisokból álló horganybevonat kialakítása.

Kutatásaim során elvégzett mérésekkel tisztáztam egy többrétegű Technigalva (referencia) bevonat, és annak egy új, hőkezeléssel átalakított, de szintén ötvözetű fázisokból álló, többrétegű bevonat változatának abráziós kopásállósági sajátosságait. Az elért tribológiai eredmények a további bevonatfejlesztést segítik a továbbiakban.

2.1. A próbatetek kialakítása és a bevonatok jellemzői

A próbatetek alapanyagául a S235 JR G2 anyagot választottam, amely pl. a járdarács legmeghatározóbb alapanyag típusa. Mivel ez az anyag alumíniummal - és nem szilíciummal - csillapított, és a bevonati rétegek képződés mechanizmusát elsősorban az acélban levő szilícium mennyisége határozza meg, ezért a „kiválóan tűzhorganyozható” kategóriába sorolható.

A próbatetek méretének meghatározásakor a koptatógép próbatest tartói által meghatározott lehetőségeket, valamint az abrázió közegét tároló edény méreteit vettem figyelembe (1. ábra).



1. ábra. A próbatest geometriai méretei

- *Referencia bevonat (Technigalva):*

Az acél próbatetek referencia és hőkezelt bevonatai a NAGÉV Kft. tisztacsegei horganyzóüzemében készültek. A referencia bevonatot adó horganyfürdő meghatározó összetevői: cink (Zn), alumínium (Al), ólom (Pb), és nikkel (Ni). A bevonat száraz technológiás, szakaszos eljárással készült.

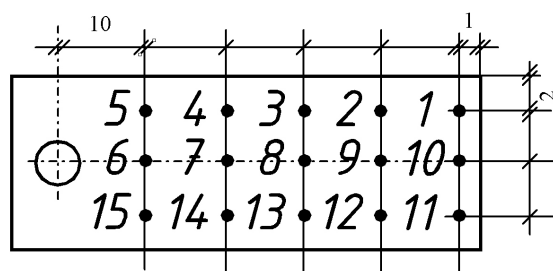
- *Hőkezelt bevonat:*

Az alap Technigalva tűzhorgany bevonatos próbateteket hőkezelésnek vettem alá annak érdekében, hogy a bevonat teljes keresztmetszetében horganyvas ötvözeti fázisokból álljon. A hőkezelési technológia a NAGÉV Kft. eljárása, mely a hajdúböszörményi telephelyen történt. A hőkezelés hőmérséklete 180-200 °C, a hőtartási és hűlési idő pedig cégen belüli technológiai jellemző. A hőkezelés eredményeként a próbatetekeken lévő eredeti fényes Technigalva bevonat homogén sötétszürke színűvé vált.

A szakirodalmi áttekintés bemutatta, hogy a fémek abrázíós kopásállósága függ a felület keménységétől, ezért a próbatetek kopásvizsgálata előtt elvégeztem a bevonatok keménységének meghatározását.

A vékony felületi rétegek – jelen esetben a próbatest bevonatok vastagságai jellemzően 70-100 mikron között változnak - keménységének meghatározására jól használható a mikro-keménységmérési eljárás, ami a Vickers módszer egyik változata.

A próbatetekeken a mikro Vickers értékek meghatározásához felvett mérési pontokat (•) a 2. ábra mutatja, a mért értékeket - 10-10 kiválasztott és megmért próbatest átlagolásával - az 1. táblázat foglalja össze.

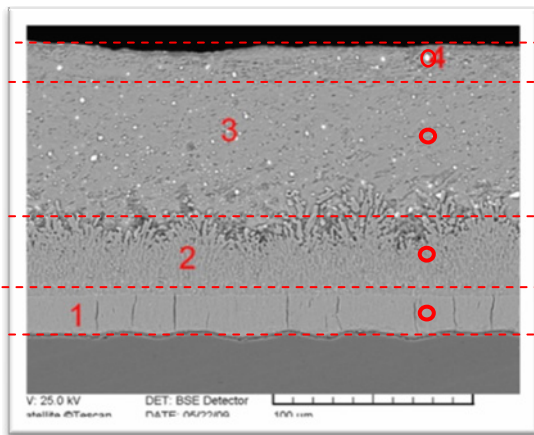


2. ábra. Mikro keménység mérési pontok a próbatetekeken

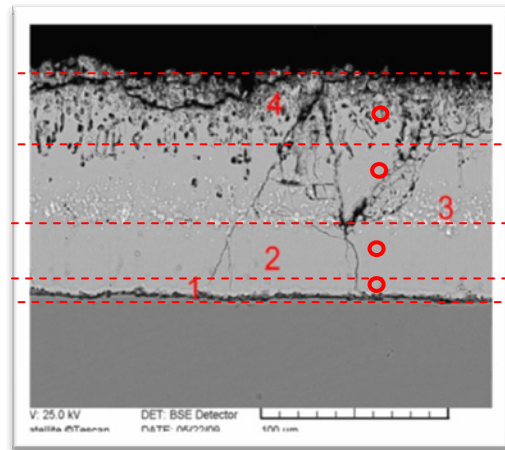
A 3. és 4. ábrák a bevonatok metszetéről készült SEM fotók, illusztrálva az egyes rétegsztruktúrákat és az EDS analízis mintavételi helyeit. Az egyes rétegek (1-gamma fázis, 2-delta fázis, 3-zeta fázis, 4-eta fázis) vastagsága jól elkülöníthető 1000x-es nagyításban. Az EDS EDS (Electron Detector System) spektroszkópia az egyes rétegekhez tartozó fő kémiai elemek arányát adja meg. A spektroszkópia eredményeit a 2. táblázat foglalja össze, a zeta-fázis eredményeit mintaként az 5. és 6. ábrák mutatják.

1. táblázat. A mikrokeménység mérési adatok

Mérési pont	„T” minta [HV M]	„H” minta [HV M]
1	48,7	98,2
2	50,7	97,3
3	45,9	114,2
4	46,8	92,5
5	49,7	96,3
6	45,9	89,5
7	51,8	101,4
8	49,7	105,4
9	45,9	108,2
10	54,0	112,2
11	45,9	112,2
12	42,5	103,5
13	41,7	96,3
14	43,3	91,2
15	44,7	91,2



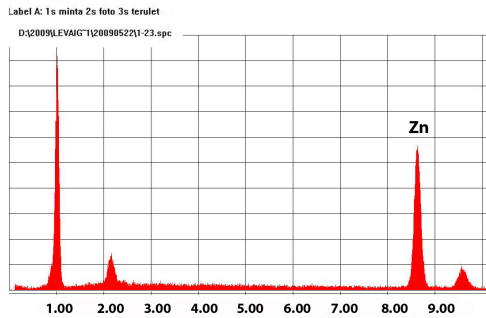
3. ábra. Az elkülönülő fázisok jelölése a „T” jelű mintadarabon
 ○ : mintavételi hely



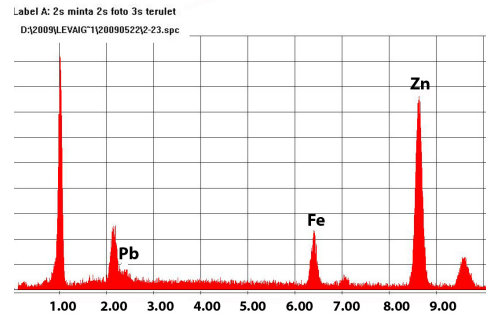
4. ábra. Az elkülönülő fázisok jelölése a „H” jelű mintadarabon
 ○ : mintavételi hely

2. táblázat. Fe, Zn és Pb %-os értékei

Fázisok	Technigalva réteg „T”			Hőkezelt Technigalva réteg „H”		
	Fe (%)	Zn (%)	Pb (%)	Fe (%)	Zn (%)	Pb (%)
1-es	16,4	83,6	-	47,5	52,5	-
2-es	10,1	89,9	-	16,3	87,7	-
3-as	-	100	-	19,6	79,6	0,8
4-es	-	21,2	78,8	17,9	82,1	-



5. ábra. A „T” próbatest, 3-as zeta fázis EDS spektruma



6. ábra. A „H” próbatest, 3-as zeta fázis EDS spektruma

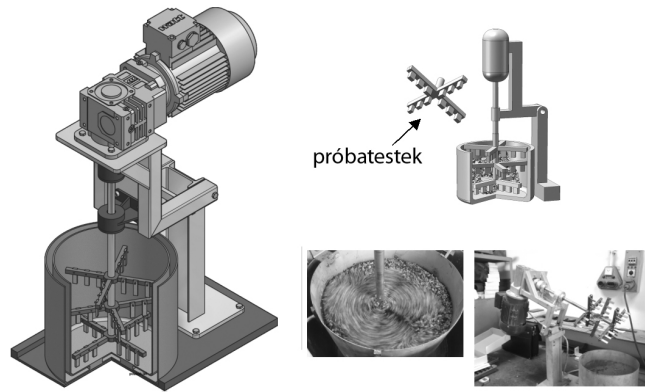
2.2. Abráziós vizsgálati berendezés: módosított homok-keveréses triboteszter

A homok-keveréses („sand-slurry”) elv közismert a tribológiai modellezési kategóriákban. A DIN50322 szabványon alapuló kategóriák közül a VI. számú kategória alkalmazza a gyors, összehasonlító mérésekre alkalmas egyszerű anyagmintákat, vagy egyszerűsített próbatesteket használó berendezéseket.

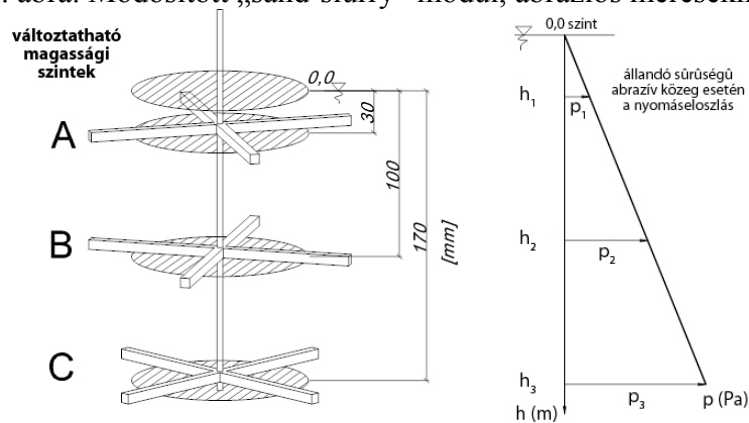
A homok-keveréses mérőgépek esetén többféle változat terjedt el, de abban mind megegyeznek, hogy pl. adott szemcseösszetételű homokban, mint koptató közegben, mozog a próbatest, általában körpályán, adott sebességgel.

Az általam átalakított alap-berendezést a SZIE Gépipari Technológiai Intézet fejlesztette ki és gyártotta. A gép lehetővé teszi nagyszámú próbatest egyidejű mérését adott abrazív koptatóközegben, valamint jól definiálható, de eltérő feltételek szerinti értékelést is megenged. A kialakítást az 7. ábra szemlélteti. Mivel a vizsgált próbadarabok a koptató berendezés tartókarjain különböző sugáron és szinteken kerülnek elhelyezésre, eltérő sebesség és nyomásviszonyok hatása tanulmányozható. Talajok, homok, kavicsok és egyéb abrúziós anyagokkal történő tribológiai mérések elvégzésére alkalmas a berendezés úgy, hogy egyszerre többfajta próbatest is egy méréssorozatban összehasonlítható, egyúttal az eltérő sebesség és nyomás hatása is elemezhető.

A motor tengelye egy csigahajtóműhöz kapcsolódik, melynek áttétele $i=22,58$. A hajtómű kimeneti oldalán található a munkatengely, amelyen 3 db 4 ágú keresztbefogó található, - az alaplemezhez viszonyítva különböző magasságban (8. ábra) - melyekre a koptatandó próbatestek megfelelő helyzetben rögzíthetők. Egy keresztbefogóra áganként 3 db, összesen 4x3 db próbatest rögzíthető. A keresztbefogó fontos tulajdonsága, hogy az egymással 90°-ot bezáró ágakon páronként, más-más, összesen 6 különböző pozícióban rögzíthetők a mintadarabok a forgásközépponthoz viszonyítva. A munkatengelyen a keresztbefogók egymáshoz képest elforgatva helyezkednek el, felülnézetben a kört 30°- s cikkekre bontják fel.



7. ábra. Módosított „sand-slurry” modul, abrázációs mérésekhez



8. ábra. Próbatest-tartókon kialakított fészkek pozíciói, és az egyes helyeken lévő próbatestek sebességvektorai állandó tengelyfordulat esetén

A koptatóközeget tároló edény – igény esetén – egy külső tároló edénybe helyezhető, melyet hűtő/fűtő vízzel lehet feltölteni, így a mérési folyamat hődinamikája is szabályozható. (Nagysebességű koptatás esetén az abrazív közeg a súrlódásból adódóan túlhevülhet.)

Vizsgálataimnál heterogén szemcsehalmazt használtam. Az abrazív koptatóközeg kereskedelmi neve 0/8 OK típusú kavics termék, melynek fő jellemzői a következők: átlagos halmaz-sűrűsége szárazon $1,7 \text{ tonna/m}^3$, agyagiszap tartalma gyakorlatilag nincs, mivel mosott, szemes kavics termékből állítják elő töréssel. Szemcsefrakció 2 és 8 mm közötti.

A próbatestek az eltérő rádiuszú helyzetnek köszönhetően eltérő kerületi sebességgel súrlódnak az abrazív közegben, az eltérő nyomással és közegellenállással rendelkező szinteken (9. ábra), így a berendezés komplex abrazív koptatási rendszerértékelést tesz lehetővé.

3. EREDMÉNYEK

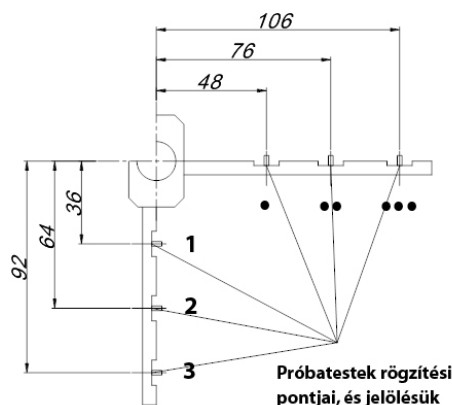
3.1. Abráziós kopás és súrlódási sebesség

6 - 6 hőkezelt és kezeletlen próbatestet helyeztem el minden vizsgálati szinten (A,B,C), majd a koptatási folyamatot elindítva mértem az abráziós kopást a rétegvastagság csökkenésével, hét különböző időpontban, azaz hét különböző koptatási út (s) megtétele után határoztam meg. A próbatestekre az eltérő szinteken ható felületi nyomás nyugalmi állapotban – azaz a berendezés elindítása előtt, a közegellenállás nélkül – az alábbiak szerint alakult (számított értékek a közeg sűrűsége alapján):

- p_1 (A szint) = 153,83 Pa,
- p_2 (B szint) = 521,82 Pa,
- p_3 (C szint) = 902,41 Pa.

A vizsgálati sebességi tartomány a legkisebb és legnagyobb sugárnak megfelelően:

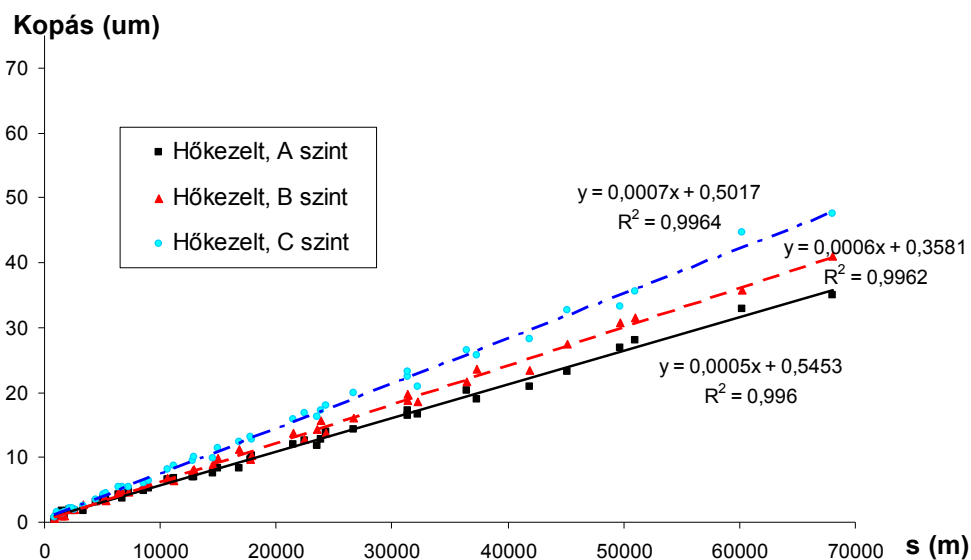
- $v = 14 - 40$ m/min.



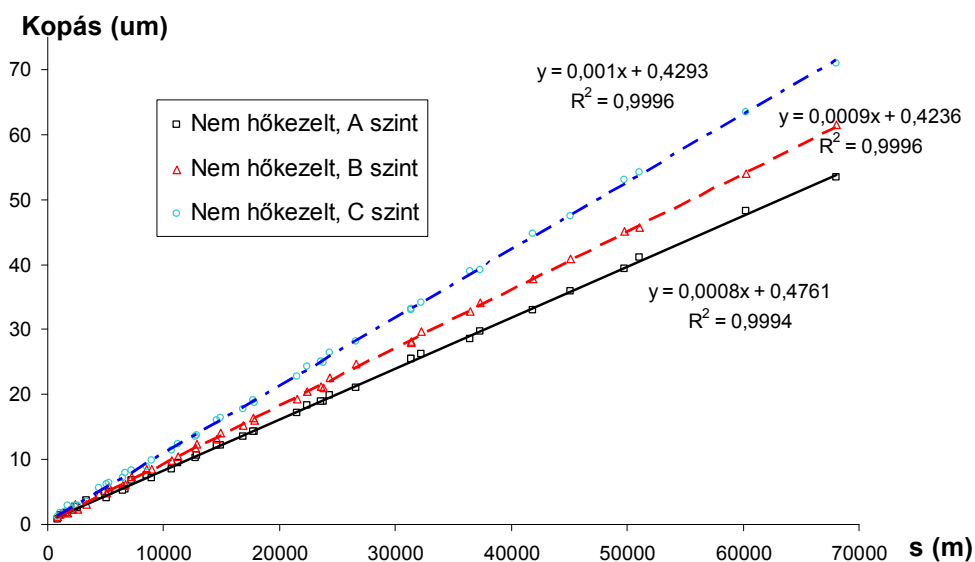
9. ábra. Próbatestek különböző sugáron elhelyezve

A 10. és 11. ábrákon látszik, hogy adott szinten elhelyezett próbatestek esetén a mért kopásértékek minden próbatestnél egy egyenesre illeszthetők. Ez azt jelenti, hogy az abrazív kopás nem függött a sebességtől a vizsgálati rendszerben. Az állítást a matematikai statisztikában használatos regresszióanalízis egyik eszközével, a kovariancia analízissel igazoltam.

A 10. és 11. ábrákon látható a különböző sebességgel mozgó próbatestek kopásértékeire illesztett regressziós egyenesek egyenlete, és a korrelációs koefficiens (R^2) értéke mind a hőkezelt, mind pedig a referencia Techigalva bevonat eseteiben.



10. ábra. Hőkezelt próbatestek kopásértékei az „A”, „B” és „C” szinten (h_1 , h_2 és h_3 mélység)



11. ábra. Nem kezelt próbatestek kopásértékei az „A”, „B” és „C” szinten

3.2. Abráziós kopás és nyomásviszonyok

A 10. és 11. ábrákon lineáris trendvonalal közelíthetők a különböző szinteknek megfelelő adatsorok. Az illesztés minden esetben szoros. A különböző szinteknek megfelelő adatsorok szemmel láthatóan elkülöníthetők. Azt azonban, hogy közöttük szignifikáns különbség van-e, ismét regresszióanalízissel vizsgáltam. A bizonyítást a legrosszabb esetre elvégeztem, ahol a legkisebb a különbség az egyenesek iránytangensei között, azaz a hőkezelt próbatesteknél az „A” és „B” szint adatsorára. Megállapítottam, hogy

- Mindhárom szinten határozottan szétválik a hőkezelt és nem kezelt pontsor. A regressziós egyenesek meredekségei között 40-60%-os különbségek vannak.
- Szignifikáns különbséget a hőkezelt és nem kezelt pontsorok között mindhárom szinten kimutattam.

3.3. A bevonat rétegszerkezete és kopási értékek összehasonlítása

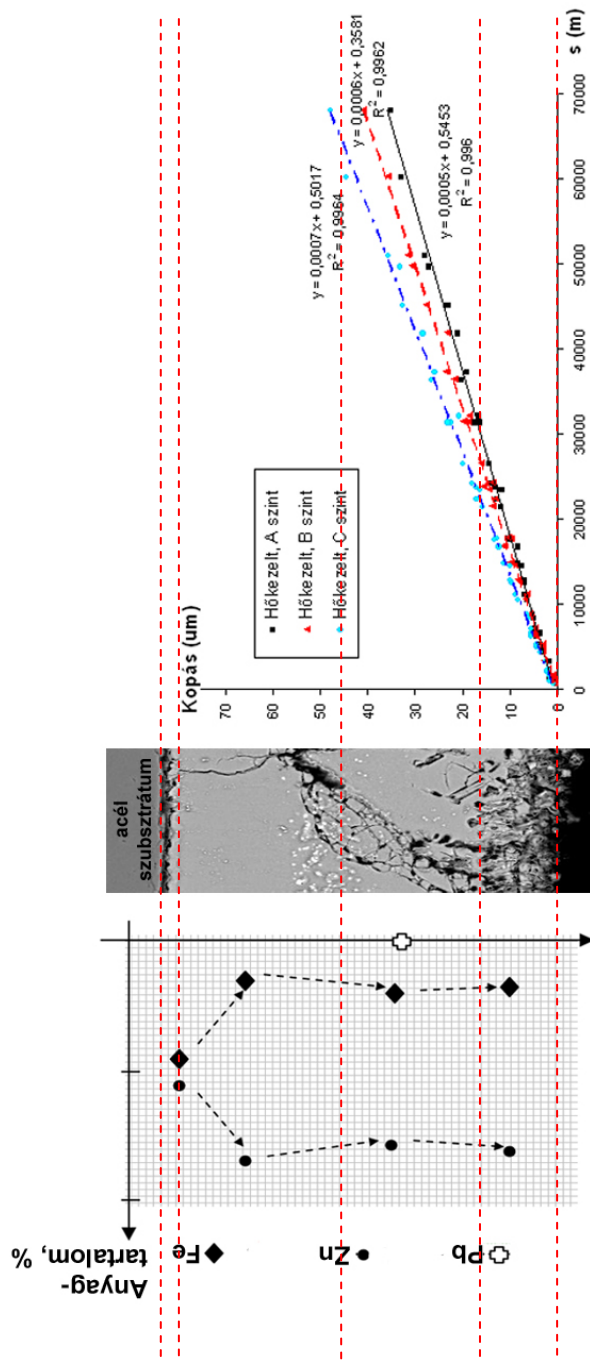
A próbatestek felületén eredő hatásként mért kopás a réteges szerkezetű bevonatok folyamatos elfogyását jelenti. A közvetlen, kopó felület a vizsgálatok során érinti az Éta, Zéta, és Delta fázisokat egyaránt.

A 2.1. fejezetben bemutatásra került az egyes rétegek összetétele, vastagsága. E rétegszerkezet és a kopás összehasonlítását mutatják a 12. és 13. ábrák.

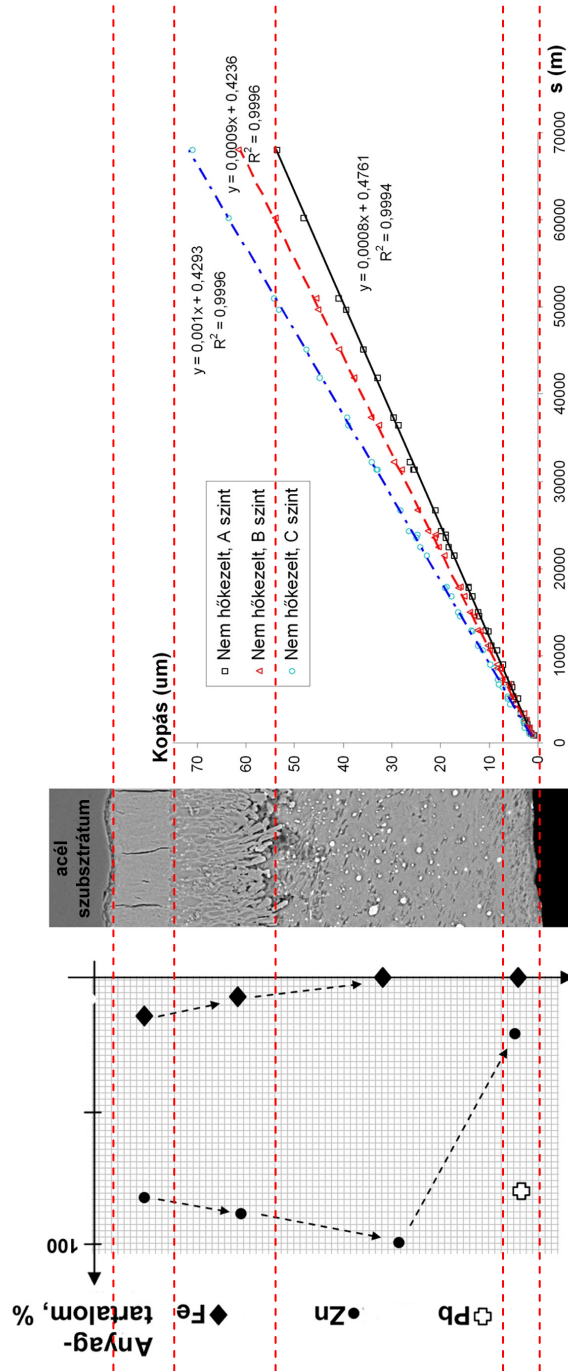
Az ábrákból egyértelműen megállapítható, hogy a kopásintenzitást nem befolyásolta az, hogy épp melyik réteg kerül a felszínre aktív koptatásnak kitéve.

A rétegek gradiens szerkezetét is figyelembe véve (Fe, Zn, Pb) megállapítható, hogy a hőkezelt és kezeletlen próbatesteknél tapasztalható eltérő összetételű rétegszerkezet együttes hatása érvényesül csak. Az egyes rétegek jelentősen eltérő összetétele és keménysége nem volt kimérhető a koptatási rendszerben, a regressziós egyenesek illesztése ezt is bizonyította.

Az eredő hatása a rétegszerkezetnek viszont bizonyított, a hőkezelt próbatestek kopásintenzitása kisebbnek adódott. A 12. és 13. ábrák összehasonlításánál látható az egyes szintekhez tartozó kopási egyenesek meredekségében lévő különbség.



12. ábra. Hőkezelt próbatestek kopása és a rétegszerkezet kapcsolata



13. ábra. Nem hőkezelt próbatestek kopása és a rétegszerkezet kapcsolata

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A megalkotott modell vizsgálati rendszerben és feltételek esetén statisztikai módszerekkel igazoltam, hogy többretegű tűzihorgany bevonatok esetén az abráziós kopás intenzitása nem függ a súrlódási sebességtől. Szignifikáns különbség nem volt kimutatható az eltérő sebességgel koptatott próbatestek kopásintenzitásában. A megállapítás az alap- és a hőkezelt bevonatra egyaránt érvényes, eltérő nyomásviszonyok esetén is.
2. Méréseimmel igazoltam, hogy Rabinowicz elmélete igaz a többretegű tűzihorgany bevonatok esetén is, ahol az abráziós kopás intenzitása függ a közeg nyomásától és az abból eredő közegellenállástól. Az eltérő nyomási szinteken elhelyezkedő próbatestek kopásintenzitásában szignifikáns különbség mutatkozik. A legnagyobb nyomású helyen jelentkezett a legintenzívebb abráziós kopás.
3. A többretegű Technigalva tűzihorgany bevonatok abráziós kopásállóságát a hőkezelés javítja. A Technigalva bevonatokra méréseimmel igazoltam, hogy a hőkezelés következtében, termodiffúziós folyamat eredményeként, „Fe” atomokban dúsul a bevonat, mely szignifikáns mikro-keménység növekedést eredményez. A nagyobb keménység abráziós kopásállóság növekedést eredményezett a vizsgálati rendszer minden sebesség és nyomás feltétele esetén.
4. SEM felvételekkel és EDS spektroszkópiával igazoltam, hogy a hőkezelés eltérő rétegszerkezetet és összetételt eredményez. Megállapítottam, hogy az alap- és a hőkezelt rétegek egyaránt gradiens szerkezetűek a Zn és Fe atomok mennyiségi előfordulása szempontjából. A gradiens trendeket az EDS spektroszkópia eredményei alapján megszerkesztettem, és megállapítottam, hogy a hőkezelt rétegek gradiens szerkezete jelentősen különbözik az alap bevonat szerkezetétől.
A hőkezelt bevonat esetében az egyes rétegek vastagsága kevésbé eltérő. „Fe” atomok jelen vannak a két felső rétegben is, mellyel indokolható a bevonat mikro-keménység növekedése, melynek mérése során főleg a felső két réteg terhelt. Az alap bevonat alsó rétegeiben található „Fe” atom jelenlét nem befolyásolja a felület eredő keménységét.
5. Megállapítottam - figyelembe véve a lineáris kopásdinamikát, a rétegefogyás sebességét -, hogy a bevonatok rétegszerkezete nem jelenik meg a kopásállóságban, az egyes rétegek kopásállósága nem tér el. A vizsgált tűzihorgany bevonatok lineáris kopásdinamikája független volt attól, hogy éppen melyik réteg – adott összetételű és keménységű - került súrlódó kapcsolatba a koptató közeggel. Megállapítottam az abráziós kopásállóság

szempontjából, hogy a többrétegű, belső gradiens szerkezettel rendelkező bevonatok eredő hatása érvényesül. A vizsgálati rendszerben a belső gradiens jellegnek nem volt hatása a mért kopásintenzitásra, de az eltérő gradiens szerkezet eredője eltérő abrázíós kopásállóság volt.

6. A méréseimmel igazoltam, hogy a hőkezelési eljárások alkalmasak a belső gradiens szerkezet változtatása révén az eredő abrázíós kopásállóság módosítására.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Abráziós kopásnak kitett tűzihorganyzott felületeknél, a korrózióállóság mellett mára már felhasználói igény a kopás és dörzsálló bevonatok kialakítása is.

A szakirodalom feldolgozásából kitűnt, hogy az eltérő rétegösszetételű bevonat kopási viszonyait az eddigi kutatások nem tisztázták. A gyakorlati hasznosítást segítő kutatásom célja gyorsított, reprodukálható laboratóriumi vizsgálatokkal meghatározni, hogy különböző bevonatok egymáshoz viszonyítva milyen kopásállósággal rendelkeznek. Továbbá meghatározni az abráziós kopásállóság és rétegszerkezet közötti lehetséges összefüggéseket, megadni a kopás, a megtett út, a sebesség és a koptató közeg nyomása közötti kapcsolatokat.

A módosított „sand-slurry” berendezéssel, a DIN 50322 szabvány szerinti VI. vizsgálati kategóriában, a Technigalva® tűzihorgany bevonat és annak hőkezeléssel módosított változata – Technigalva® H – került vizsgálatra. Az elvégzett kísérletek alapján, összefüggéseket tártam fel a vizsgálati modellrendszer érvényességi tartományában:

- Az abráziós kopás és a koptatási sebesség között, mely új kopásdinamikai ismeretek pontosítását jelenti.
- Az abráziós kopás és a felületi terhelés között, amely a korábbi Rabinowicz elmélet kiterjesztését jelenti.
- Az abráziós kopás és a felületi keménység között, mely pontosította a fémek felületi keménységének szerepét az abráziós kopással kapcsolatban.
- Az abráziós kopás és a bevonatok rétegszerkezete között, mely rávilágított a gradiens szerkezetű anyagok eredő kopásállóságának meghatározó szerepére.

A méréseimmel igazoltam, hogy a hőkezelési eljárások alkalmasak a belső gradiens szerkezet változtatása révén az eredő abráziós kopásállóság módosítására. Az ideális abráziós kopásállóság elérése hőkezelés-technológiai paraméterek kutatásával, a rétegszerkezet és annak jellemzőinek változtatása hathatós eszköz a további rétegfejlesztési kutatásokhoz.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatási munkám során a többetű tűzihorgany bevonatok egy újonnan felmerült igénybevételét tanulmányoztam, az abráziós kopásállóságot.

A tűzihorganyzás vas- és acélszerkezetek, darabáruk felületeinek tartós korrózió elleni védelmére alkalmazott technológia, melynek védőhatása döntően a felületi réteg vastagságától és záróképességétől (tömörség) függ. Javasolt fő alkalmazási területei minden korrozivitási osztályban az atmoszférikus igénybevétel, valamint szellőztetett belső terek fémszerkezeteinek felületvédelme. A bevonat megbízható védőhatása, az eljárás ipari méretű alkalmazhatósága, viszonylag magas termelékenysége és csekély élőmunka igénye miatt alkalmazása folyamatosan terjed.

A napjainkban terjedő és egyben új felhasználási területet jelentő ipari, mezőgazdasági és köztéri tűzihorganyzott járdarácsoknál, ipari szűrőknél, a korróziós hatások mellett mechanikai igénybevételek is érik a termékeket. Abráziós kopásnak, homok - és kőzúzalék szóródásnak kitett tűzihorganyzott felületeknél mára már felhasználói igény a kopás és dörzsálló bevonatok kialakítása is. Kopásállóságra vonatkozó, rendszerezett összehasonlító mérési adatok azonban sem a szakirodalomban, sem a bevonatkészítő és fejlesztő cégek adatbázisában nem állnak rendelkezésre. Ezek az adatok elengedhetetlenek a kopási ellenállást javító technológiai fejlesztésekhez.

A kutatásaim célja gyorsított laboratóriumi összehasonlító kopásállósági vizsgálatokkal meghatározni, hogy eltérő összetételű tűzihorganyzott bevonatok, egymáshoz viszonyítva, milyen kopásállósággal rendelkeznek. Ennek keretében:

- olyan mérési eredmények felmutatása a cél, melyek kellően tudományos kísérleti megalapozottsággal reprezentálják a különböző összetételű, tűzihorganyzott bevonatok kopásállósága közötti különbségeket.
- A súrlódási úthossz, a sebesség és az abráziós közeg nyomásának függvényében empirikus jellemzők megadása a kopási ellenállást javító technológiai fejlesztéséhez.

Gyártói ajánlások alapján a Technigalva® és annak hőkezeléssel módosított változata – Technigalva® H – bevonat került vizsgálatra. A próbatestek koptatása előtt meghatároztam a jellemző keménységi értékeket a natúr és a hőkezelt bevonatok esetén egyaránt.

A bevonatokról mikrosziszolátot és mikroszkópos felvételeket készítettem, megállapítva a jellegzetes rétegszerkezetet.

A részletes szerkezeti elemzéshez SEM felvételeket, az anyagösszetételi változások nyomonkövetéséhez pedig EDS spektroszkópiai méréseket végeztem.

A bevont próbatestek koptatásához modell vizsgálati rendszert terveztem és gyártottam, mely a mezőgazdaságban alkalmazott járdarácsok terhelési és súrlódási jellemzőit és hőmérsékleti viszonyait szimulálja.

A laboratóriumi koptató berendezést úgy terveztem meg, hogy megfeleljen a DIN 50322 szabványban rögzítette VI. vizsgálati kategória kritériumainak, azaz reprodukálható mérési rendszerben, egyszerű próbatestekkel összehasonlítható vizsgálatokra legyen alkalmas. A „sand-slurry” berendezés célszerű kialakításával biztosítottam, hogy egy mérési folyamatban három eltérő terhelési szinten, hat különböző súrlódási sebesség mellett, kétféle felületű próbatest legyen összehasonlítható.

Vizsgálati közegnek osztályozott, mosott kavicstermék került alkalmazásra. A felületi bevonatok abrázíós kopását a rétegvastagság mérésével oldottam meg, melyhez örvényáramú felülettapintós merőeszközt használtam.

Az elvégzett kísérletek alapján összefüggést állapítottam meg a natúr és hőkezelt Technigalva tűzihorgany bevonatok esetében:

- az abrázíós kopás és a koptatási sebesség között,
- az abrázíós kopás és a felületi terhelés között,
- az abrázíós kopás és a felületi keménység között,
- az abrázíós kopás és a bevonatok rétegszerkezete között.

A kutatási eredmények további jelentős segítséget biztosítanak a tűzihorgany bevonatok további fejlesztéséhez, a hőkezelési eljárások hatásának további kutatásához, a megbízhatóbb, hosszabb élettartamú termékek piacra jutásához.

SUMMARY

During my research work I have studied the abrasion resistance a newly arisen load of the multilayer hot-dip galvanized coatings.

The hot-dip galvanizing is a technology used to protect the surfaces of iron- and steel constructions, of piece goods against permanent corrosion, which protective effect depends mainly on the thickness of surface layer and on its density. Its main application fields suggested are the atmospheric load in every corrosion class as well as the surface protection of metal constructions of ventilated insides. Its application spreads continuously because of the reliable protective effect of the coating, the industrial scale applicability of the process, comparatively high productivity and because of small labour requirement.

Mechanical loads also affect the products beside corrosive affects at industrial, agricultural and public place pavement grids at industrial filters hot-dip galvanized spreading nowadays. It is already a utilizing demand nowadays to develop an abrasion and rubbing resistance coatings at surfaces hot-dip galvanized exposed to abrasion, to sand - and breakstone scatter. There are not at disposal neither in technical literature nor in database of coat-producing and of developing companies comparative regulated measuring data concerning abrasion resistance. These data are indispensable to develop technology improving the abrasion resistance.

The aim of my research work was to determine with rapid comparative laboratory abrasion tests that the coatings with different composition hot-dip galvanized what abrasion resistance got as compared to with each other. Within the scope of this:

- the aim is to produce such measuring results which represent with properly scientific test basis the differences between abrasion resistance of hot-dip galvanized coatings with different compositions
- to give empirical characteristics in the function of frictional length, of speed and of abrasion medium pressure for developing technology improving abrasion resistance.

Based on the producer's recommendations the Technigalva® and its modified variation by heat treatment - Technigalva® H-coatings were tested. Before abrasion test I have determined the specimens hardness values in case of natural and heat treated coatings alike.

I made metallographic specimen and microscopic exposures determining the characteristic layer structure.

I have carried out EDS spectrometric measurings for following track of the changes of material composition and SEM exposures for detailed structural analysis respectively.

I have planned and manufactured a model testing system for the abrasion tests of specimens coated simulating the loading and frictional properties and the temperature conditions of pavement grids applied in agriculture.

I planned the laboratory abrasion tester to be suitable to the criterion of the VI. testing category put down in DIN50322 standard namely it should be suitable for comparative tests with simple specimens in reproducible measuring system.

I have guaranteed by suitable developing the “sand-slurry” abrasion tester that during one measuring process two specimen types (different coatings) should be able to be compared at three different load levels, at six different frictional speeds.

Classified, washed ballast-stone was used as testing medium. I solved the abrasive wear of coatings by measuring the layer thickness to which I applied a gauge with eddy (Foucault) current surface feeler.

Based on the tests carried out I have established connection in case of natural and heat treated Technigalva hot-dip galvanized coatings:

- between the abrasive wear and abrasive speed,
- between the abrasive wear and surface load,
- between the abrasive wear and surface hardness,
- between the abrasive wear and layer structure of coatings.

The results of the research work guarantee further significant help for further developing hot-dip galvanized coatings, for further research of heat treatment processes, for the introducing to the market of products with more reliable and longer service-life.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven:

1. Szabadi L., Pek L.: Hot-dip galvanizing: further challenges. Mechanical Engineering Letters. Trans – Trio Sciences Vol. 2. 2009, pp. 146-149.
2. Szabadi L.: Abrasive tribological testing of different hot-dip galvanized multilayers. Sustainable Construction & Design. Volume 2010/a pp. 70-76.
3. L. Szabadi, G. Kalácska, L. Pék: Abrasive wear of different hot-dip galvanized multilayers. Competitive advantages through tribo-innovation. Österreichische Tribologische Gesellschaft. Buch, 2010, pp. 255-265.
4. J. Sukumaran, L. Szabadi, M. Andó, P. De Baets, G. Kalácska: Tribological modelling of gear contact with twin-disc setup. Tribology International. Elsevier. 2011. (in print)
5. L. Szabadi, G. Kalácska, L. Pék, I. Pálinkás: Abrasive wear of different hot-dip galvanized multilayers. Sustainable Construction & Design. 2011 (in print)

Lektorált cikk magyar nyelven:

6. Szabadi L., Pék L.: Tűzihorgany-bevonatok vizsgálata abrázioskopás-állósági szempontból. Mezőgazdasági Technika LX. évfolyam 2009. október. 2-4. o.
7. Szabadi L., Pék L.: A tűzihorganyzás, mint a korrózióvédelem egyik stratégiai eszköze GÉP. LX.évfolyam, 2009/4-5, 114-115 o.
8. Szabadi L., Pék L.: A tűzihorganyzás és a környezetvédelem kapcsolata, az eljárás gazdaságossága GÉP LX. Évfolyam, 2009/4-5, 117-120 o.
9. Szabadi L., Pék L.: Tűzihorgany-bevonatok abrázioskopás-állósági vizsgálata. 1. rész. Mezőgazdasági Technika LI. évfolyam 2010. április. 2-6. o.
10. Szabadi L., Pék L.: Tűzihorgany-bevonatok abrázioskopás-állósági vizsgálata. 2.rész. Mezőgazdasági Technika LI. évfolyam 2010. máj. 6-8. o.