



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Az ország vezető szaklapja - www.anyagvizsgaloklapja.hu 2020/I. lapszám

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA



éves az Anyagvizsgálók lapja

1990 - 2020

120 év
Bay Zoltán



Centenárium
Prohászka



Az Anyagvizsgálók
Lapjának kiadói



Skopál István
Portré



Dr. Biró Gyöngyvér
a MAE új elnöke



Bay Zoltán Kutatóközpont

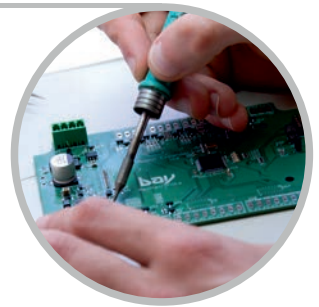
Versenyképes tudás, piacképes innovációs szolgáltatások

A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. célja a vállalatok versenyképességének és hatékonyságának növelése sikeres innováció és technológiatranszfer révén, szoros együttműködésben vezető hazai és külföldi partnerintézményekkel. Jelenleg több mint 200 vállalat innovációs és tudás igényét szolgáljuk ki, akiknek elsősorban komplex tudományos és műszaki megoldásokat kínálunk, több szakterületen. Szellemi műhelyként, kutatóink és szakértő csapatunk révén képesek vagyunk a felmerülő ipari kutatás-fejlesztési igényeket nemzetközi összehasonlításban is magas szakmai színvonalon kiszolgálni, és azokat az ötlettől egészen a megvalósulásig eljuttatni. Nemzetközi konzorciumépítésben, hálózatosodásban, illetve európai uniós kutatási, fejlesztési és innovációs pályázatokban is aktív szerepet vállalunk, valamint technológiai inkubációs tevékenységet is végzünk.



Stratégiai kutatás-fejlesztési területek (K+F):

- Anyagtudományok és – technológiák
- Biotechnológia
- Információs és kommunikációs technológiák
- Gyártmány- és gyártástechnológiák
- Környezetvédelem
- Üzemelési biztonság, szerkezetintegritás és megbízhatóság
- Logisztika
- Mechanikai, anyagszerkezeti, fizikai és kémiai-analitikai mérés-technika



Szolgáltatásaink:

- Anyag-, technológia- és termék-fejlesztés, gyártás
- Biotechnológiai kutatás-fejlesztés
- Elektronikai és informatikai fejlesztések
- Logisztikai tervezés, optimalizálás
- Üzemelési biztonság elemzések és élettartam-menedzsment
- Virtuális és kiterjesztett valóság alkalmazások fejlesztése
- Anyagvizsgálati szolgáltatások, komplex kárelemzés
- Innovációs szolgáltatások



Kapcsolat

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

H-1116 Budapest, Kondorfa utca 1.

Tel.: +36 1 463 0500

Honlap: www.bayzoltan.hu

E-mail: bayzoltan@bayzoltan.hu

Facebook: www.facebook.com/bayzoltan.hu



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

A Magyar Roncsolásmentes
Vizsgáló Szövetség Lapja
MAROVISZ

Az ország vezető szaklapja.
Alapítva: 1991-ben.

Negyedévente elektronikusan megjelenő folyóirat.
Országos, iparágakat átfogó, szakmai folyóirat a
minőségért és biztonságunkért.

Az Anyagvizsgálók Lapjának szerkesztősége a ki-
adó, a **MAROVISZ**, a Magyar Roncsolásmentes
Vizsgáló Szövetség címén érhető el:

1191 Budapest, Üllői út 206., B. ép. II. lh.

Tel.: (36-1) 278-0632;

fax: (36-1) 278-0633;

e-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu

web: www.anyagvizsgaloklapja.hu
www.avilap.hu

Az Anyagvizsgálók Lapjának szerkesztőbizottsága:

Dr. Dívós Ferenc

Dr. Dudra Judit

Kecskés Péter

Lutor Attila

Dr. Marinkovits Tamás

Skopál István

Szűcs Pál

Zsoldos Zsuzsanna

Dr. Tóth László, felelős szerkesztő

Dr. Trampus Péter, felelős kiadó

Berki Gábor, főszerkesztő

Balogh Bence, digitális szerkesztő



tripladuplav.hu
webstudio

Az elektronikus folyóirat szerver háttérét a

tripladuplav.hu
webstúdió biztosítja.



ISSN: 1215-8410

JEGYZET

„I have a Dream” (Van egy álmom), idézhetném Martin Luther King 1963-ban elmondott híres beszédét. Igen, az álmok mindig igazi hajtóerőt hordoznak! Így volt ezzel Szappanos György is, a TESTOR Bt. tulajdonosa, amikor harminc évvel ezelőtt megfogalmazódott benne az Anyagvizsgálók Lapja indítása. A kreatív marketing megfontolásokkal táplált ötlet kiváló volt, a felelős Szerkesztő személye, a néhai dr. Lehofer Kornél (1934.09.30.- 2007.06.04.) telitalálat, az anyagi támogatás pedig folyamatos. Lehet-e ennél kedvezőbb feltételeket kívánni egy szakmai folyóiratnak? Természetesen nem. Óramű pontossággal meg is jelentek negyedévenként az aktuális számok, előbb nyomtatásban, majd később elektronikusan és évenként egyetlen szám „papír alakban” válogatásként. Szappanos Úr nagyvonalúan 2006. november 2.-án térítésmentesen átadta a lap tulajdonjogát a MAROVISZ-nak. Az anyagvizsgálathoz közvetlenül kötődő gazdasági környezet változása, az eszközpark forgalmazásának körülményei, az újabb és újabb piaci szereplők, az erősödő politikai hullámok, a mikroelektronika és informatika adta döbbenetes fejlődés, mind-mind olyan „szellőket” gerjesztett szakmánkban, amelyek némelyike lokális turbulenciákat eredményezett. A „kedvező szelek” egyikének következménye a Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE), mint jogi személy bejegyzése 2012. június 27-i dátummal (a történeteket lásd: Anyagvizsgálók Lapja, 2013/3-4). A MAE első választott elnöke, néhai dr. Gillemot László (1944.01.30.-2018.05.22.) áldozatos munkájának köszönhetően lapunk több-kevesebb rendszerességgel bár, de megjelent. Az újjáalakult Szerkesztő Bizottság is „álmodott”. Ezek között szerepel többek között az, hogy folytatni kívánja a disszertációk magyar nyelvű irodalmi összefoglalóinak ismertetését segítve a magyar nyelvű szakirodalom terjedését, a közlemények referálását elismert szakemberek, egyetemi tanárok bevonásával, a MAE és a MAROVISZ elnökök szakmai életének bemutatását ugyanúgy, mint a sikeres Portré rovat folytatását. Új elemként kívánjuk elérni az olvasottság terjesztését és folyamatos felmérését, különösen egyetemi városainkban. Emléket kívánunk állítani a szakmai életünkre nagy hatást kifejtő, minket már elhagyott szakembereinknek. Jelen számunkban a 120 éve született Bay Zoltánra és a 100 éve napvilágot látó Prohászka Jánosra emlékezünk.

Gondolom megbocsátható a Felelős Szerkesztő személyének azon törekvése, hogy az ünnepi első számban a Bay Zoltán struktúrát, annak egyes eredményeit mutathatja be.

Trampus Péter & Tóth László

TARTALOMJEGYZÉK

ÁLLAPOTELLENÖRZÉS - RELIABILITY ASSESSEMENT

Dr. Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Repedést tartalmazó csővezetékek biztonságos üzemeltethetősége	5
Dr. Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Safety Assessment of Pipelines Having Crack-like Defects	
Takács Cs.: Vasúti sínek „head check” károsodási folyamatának vizsgálata	11
Takács Cs.: Testing of „head check” damage of railways	
Papp Sz.: Forgattyús tengely siklócsapágyazásának tribológiai vizsgálata	21
Papp Sz.: Tribological investigation of the slip bearings of crankshafts	

KÜLÖNLEGES ANYAGOK - SPECIAL MATERIALS

Maloveczky A., Windisch M., Szabó D., Buza G., Ugi D.: Mikrooszlopok előfaragása szilícium egykristály mintán femtoszekundomos lézer segítségével	25
Maloveczky A., Windisch M., Szabó D., Buza G., Ugi D.: Si - micro pillars preparation by femtosecond laser technology	
Windisch M., Buza G., Maloveczky A., Vida Á., Selemczi D., Dankházi Z.: Szilícium felületkezelése femtoszekundomos lézerrel.	28
Windisch M., Buza G., Maloveczky A., Vida Á., Selemczi D., Dankházi Z.: Surface treatment using femtosecond laser technology.	

PORTRÉ - PORTRAIT

Tóth L.: A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének elnökei – Biró Gyöngyvér (2019 -)	31
L. Tóth: Presidents of the Hungarian Association for Material Testing – Gyöngyvér Biró (2019-)	
Tóth L.: Skopál István bemutatása	33
L. Tóth: Portrait of István Skopál	

HÍREK - NEWS

Tóth L.: Az Anyagvizsgálók Lapja kiadójának változása 2006-ban	36
L. Tóth: Change of the Publisher at the Journal in the year of 2006	
Szappanos Gy.: Lehofer Kornél emlékezete – az Anyagvizsgálók Lapja indulása	38
Gy. Szappanos: In memoriam Lehofer Kornél – The borning period of our Jurnal	
Tóth L.: Bay Zoltán emlékezete	39
L. Tóth: Remembering for Zoltán Bay	
Tóth L.: Prohászka János születésének centenáriuma	44
L. Tóth: Centenary of János Prohászka	
Trampus P.: Nekrológ - Roger Lyon	57
P. Trampus: Obituary - Roger Lyon	

SZAKMAI ROVAT - TECHICAL PAPER

Bézi Z., Krállics Gy., Bereczki P.: Alumíniumötvözet alakítási szilárdságának kísérleti és elméleti meghatározása	58
Z. Bézi, Gy. Krállics, P. Bereczki: Theoretical and Experimental Determination of the Strengthening properties of Aluminim Alloy	
László N.: A feldolgozási előélet hatása lágyított PVC reológiai tulajdonságaira	65
N. László: Effect of Preperparation on the Reological Behaviour of PVC	
Balogh B., Kovács Z.P., Szávai Sz.: Digimat AM modul vizsgálata FFF additiv eljárás esetén	71
B. Balogh, Z.P., Sz.: Szávai: Investigation of the Digimat Modul in the Case of FFF Additive Manufacturing	
Balogh B.: 3D nyomtatott COVID-19 vírus maszkok gyártásának optimalizálása	74
B. Balogh: Optimalization of the COVID-19 Mask Production Process by 3D Printing	

Mindennapi törésmechanika – Belső nyomással terhelt csővezetékek biztonsága

Dr. Dudra Judit¹, Erdei Réka², Tóth László DSc³,

¹ Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, Vezető Kutató, judit.dudra@bayzoltan.hu

² Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, Junior Kutató, reka.erdei@bayzoltan.hu

³ Nyugalmazott egyetemi tanár, laszlo.toth@bayzoltan.hu

Összefoglaló:

A mérnöki szerkezetek biztonságos üzemeltethetősége szempontjából a legveszélyesebbek az anyagfolytonossági hibák. Ezeket repedésszerű hibáknak tekintve, hatásuk a törésmechanikai (TM) elvek alkalmazásával értékelhetők. A legkonzervatívabb módszerek, a lineárisan rugalmas törésmechanikai elvek alkalmazása kellő biztonságot nyújt a megengedhető repedésméret meghatározására. A biztonság még inkább növelhető az anyagjellemzők konzervatív megválasztásával. A roncsolásmentes vizsgálattal szembeni minimális követelmény az, hogy az így kijelölt repedésméretet üzembiztosan kimutassa.

Kulcsszavak:

törésmechanika, biztonság, szerkezetintegritás, roncsolásmentes vizsgálat, periodikus felülvizsgálat.

1. A törésmechanikai elemzések helye, szerepe a periodikus felülvizsgálatokban, a szerkezetek biztonságának megítélésében

1.1. Periodikus felülvizsgálatok alapvető és követendő stratégiája

Ahhoz, hogy bármilyen területen dolgozva a lényeg megértsük, az alapokhoz kell visszalépnünk és azt kell pontosan megérteni. Ha a nyomástartó rendszerekről beszélünk, akkor mi is az alapkérdés? Műszakilag természetesen az, hogy **két térrészt egymástól elhatároljon**. Az egyik a külső környezet, a másik pedig az, amelyben a „**megvalósítandó, tervezett folyamatok**” végbemennek és az emberiség számára hasznos eredmények születnek. Mi is a BIZTONSÁG értékelésének lényegi kérdése? A válasz nagyon sokrétű és sok szálon levezethető. Ha az okokat keressük, akkor a fentiek közül direkt módon keressük

- a külső környezet,
- a belső folyamatok és

- a két térrész elkülönítését szolgáló objektumok

szerepét a rendszer BIZTONSÁGÁNAK megítélésében. Ha bármilyen rendszer biztonságának értékeléséhez kívánunk hozzákezdeni, az előzőekben említettek mindegyikét át kell tekinteni. Ha ezt nem tesszük, következtetéseink mindig hibákat fog hordozni. Ez lehet kisebb, de katasztrofális is.

Kiragadva a „**két térrész elkülönítését szolgáló objektumok**” biztonságát, alapvető követelmény az, hogy az említett két térrészt mindenkor egymástól szétválassza, elzárja a tervezett üzemeltetés végső határidejéig. A további gondolkodás alapja az, hogy ezen alapgondolat miképpen vitelezhető ki és fogalmazható követelményekbe. A gondolatmenetet folytatva jutunk el a mérnöki gondolkodás „alapszavaihoz” és annak tartalmi vonatkozásaihoz. Az alapszavak a következők:

- biztonság,
- megbízhatóság
- kockázat.

Bármit is tervezünk egy adott célra, annak a biztonságos üzemeltethetősége alapkritérium a tervezett periódusban. De a biztonság valószínűségi kategória, dimenziója %!! Annak érdekében, hogy a biztonság szintjére következtetni lehessen műszaki számításokat, méréseket, vizsgálatokat kell végezni, azaz végső soron pénzügyi befektetésre van szükség. Ezzel állítjuk szembe, az üzemeltetés lehetséges kockázatát. Ez pedig nem más, mint egy **valószínűség** és **pénzösszeg** szorzata. A „valószínűség” tükrözi azt, hogy milyen eséllyel NEM TÖLTI BE SZEREPÉT az adott feladatra tervezett objektum (meghibásodás valószínűsége), a „pénzösszeg” pedig a meghibásodás pénzben kifejezett következményeit veszi számba.

A fenti gondolatmenet igaz kell, hogy legyen az üzemeltetés bármelyik periódusában az üzemeltetés kezdetétől a végéig! Ennek „szűrőpróbaszerű ellenőrzését” szolgálják a „**periodikus felülvizsgálatok**” Ez különböző roncsolásmentes (általában szemrevételezéses, folyadékbehatolásos, mágneses, esetleg radiológiai, stb.) vizsgálatokat foglal magába, ame-

lyek eredményeit értékelve dönteni lehet a további üzemeltethetőségről. Nyomástartó rendszereknél (általában az üzemi nyomásnál nagyobb nyomással elvégzett hidraulikus) nyomáspróbával még meggyőződnek az összeszerelt rendszer biztonságáról. Ha e folyamatot végiggondoljuk csupán egyetlen biztos kapaszkodót, kritériumot találunk a szerkezet biztonságának megítélésében, nevezetesen azt, hogy sérülés nélkül kibírta-e a próbanyomást, avagy sem. Az összes többi vizsgálati eredmény értékelése többé-kevésbé szubjektív, azaz az üzemeltethetőség és annak feltételei az értékelők felkészültségétől, tudásának színvonalától, tapasztalataitól, időnként még az érdekköreitől is függhet. A terhelési-, nyomáspróbák tekinthetők egyedül objektívnek (kibírja-e károsodás nélkül, vagy sem!). Nem hagyható azonban figyelmen kívül az a tény, hogy ezek egyrészt költségesek, másrészt káros hatásaik is lehetnek, pl. az esetleges lokális képlékeny alakváltozásnak az anyag ridegedésére, átmeneti hőmérsékletére gyakorolt hatása. Ebből egyértelműen következik, hogy terhelés (nyomás) próba önmagában messze nem tekinthető a biztonság megítélésének egyedüli kritériumaként.

1.2. Periodikus felülvizsgálatok javasolt rendszere [1]

A periodikus felülvizsgálatok tervezéséhez más utat kell keresni! A logikailag lehetséges legmegbízhatóbb gondolatsor a következő:

- Feltételezzük, hogy a szerkezetben létezik a biztonságot döntően befolyásoló anyagfolytonossági hiba.
- Ezt a hibát repedésnek tekintjük.
- A repedés csúcsában ébredő viszonyokat konzervatív eszközökkel értékeljük.
- Az anyag repedés terjedésével szembeni ellenállását konzervatív módon becsülve meghatározzuk azt a repedésméretet, amely kritikus állapotot idézhet elő állandó, statikus terhelés esetén.
- E repedés méretét módosítjuk (csökkentjük), abban az esetben, ha a terhelés változó (fáradást okozó) a korábbi üzemeltetési tapasztalatok és a tervezett élettartam függvényében.
- A roncsolásmentes vizsgálatok végzésére pedig olyan módszert, szakembereket választunk, amely garantálja azt, hogy a fenti gondolatmenettel kiszámított repedéshossznál

nagyobb hiba a 100 %-ot megközelítő valószínűséggel kimutatható.

- Zárójelben kell megjegyezni, hogy amennyiben a fenti elemzéssel kijelölt
 - › repedéshossznál nagyobbakat detektálnak, az nem jelenti automatikusan a további üzemeltethetőség kizárását, hanem újabb – kevésbé konzervatív – elemzésre van szükség.
 - › Repedéshosszra a biztonságos detektálás lehetőségét jelentősen csökkentő érték adódik, akkor ugyancsak újabb – kevésbé konzervatív – elemzésre van szükség.

Ahhoz, hogy a javasolt módszer megbízhatóan alkalmazható legyen, mindenképpen biztonsági kritériumokat kell a folyamatba beépíteni. Ezek a következők:

- A repedéscsúcs környezetében kialakuló viszonyok számítására felhasznált összefüggés megbízhatósága
- A repedésterjedéssel szembeni ellenállást tükröző anyagjellemző konzervativizmusának szerepe.

A periodikus felülvizsgálat javasolt rendszerének gyakorlati alkalmazhatóságát egy olyan cikksorozattal mutatjuk be, amelyben az ismertetett lépéseket egy-egy tipikus szerkezeti elemre kidolgozott számpéldák szemléltetik. Jelen közlemény a belső nyomással terhelt csővezetékek biztonságának megítéléséhez kötődő megfontolásokat veszi számba és kidolgozott számpéldával illusztrálja.

A lineárisan rugalmas törésmechanika tekinthető a **legkonzervatívabb modellnek**, mert ezt alkalmazva feltételezzük, hogy a szerkezetet terhelve a benne felhalmozódott alakváltozási energia teljes egészében a repedés terjesztésére fordítódik. A repedéscsúcsban keletkező viszonyok ilyen anyagmodell esetén függenek a szerkezet kialakításától, terhelésének körülményeitől, valamint a repedés alakjától, hosszától és helyének paramétereitől. Ekkor a repedéscsúcsban kialakuló viszonyokat az ún. feszültségintenzitási tényező, a K (MPa $\sqrt{m}$) foglalja össze. E kifejezések könnyen megtalálhatók kézikönyvekben, különböző közleményekben és az INTERNET-en is [2][3]. Ez utóbbi illusztrálására: a GOOGLE keresésre beírt „SIF expression” több mint 5 millió, a SIF calculator” kb. 1,5 millió, a „SIF formulas” több mint 3.5 millió találatot ad (SIF = stress intensity factor = feszültségintenzitási tényező).

2. Belső nyomással terhelt csővezetékek biztonságának megítélése törésmechanika elvek figyelembevételével

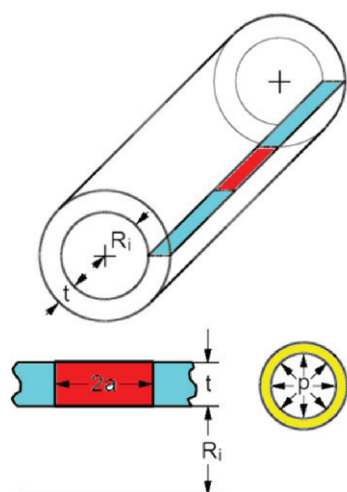
Két legveszélyesebb hiba a **körkörös**-, vagy a **hosszszanti** repedés. Az első pl. adódhat a csövek toldásánál, vagy csőszakaszok hegesztésénél keletkező körkörös gyökhibából, a második pl. a hosszvarratos csövek gyökhibájából.

A repedések csúcsában ébredő K feszültségintenzitási tényező számítására a szakirodalomban számos összefüggés fellelhető [1][5][6][7][8]. Ezek időnként egymással nem kompatibilitás eredményeket szolgáltatnak azonos tartományokban, de az is előfordulhat, hogy a közleményekben elírások vannak, stb. Következésképpen mindig célszerű a talált összefüggések összehasonlítása.

A következő bekezdésekben több összefüggést hasonlítunk össze, valamint a VERB7 program által számolt eredményeket is ismertetjük.

Az összehasonlítás tárgyát képezik:

- Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Non-profit Kft. által alkalmazott összefüggések [1]
- VERB7 program számítási képleteiről megjelent dokumentum [5]
- VERB7 program által kirajzolt görbe [6]
- H. Tada, P.C. Paris, G.R. Irwin „The Stress Analysis of Cracks Handbook” c. kézikönyvben megjelent összefüggések [7]
- I.M.Dmytrakh, L. Tóth, O.L. Bilyy, A.M. Syrotyuk „Workability of materials and structural elements with sharp-tipped stress concentrators” c. könyvében megjelent összefüggések [8]



1. ábra. Teljes keresztmetszeten átmenő hosszanti/axiális repedés

Vizsgált esetek:

- teljes keresztmetszeten átmenő hosszanti repedés,
- teljes keresztmetszeten átmenő körkörös repedés.

A számpéldákat a következő alapadatok alkalmazásával készülték:

- Belső sugár: $R_i = 610 \text{ mm}$,
- Falvastagság: $t = 8 \text{ mm}$,
- Nyomás: $p_6 = 6 \text{ MPa}$.

2.1. Teljes keresztmetszeten átmenő hosszanti repedés

A teljes keresztmetszeten átmenő axiális repedés (1. ábra) számításait elvégezve megállapítható, hogy a SIF görbék egymáson futnak, azonban a képletekben fellelhető némi eltérés. Míg az [1][8] irodalmak és a VERB7 összefüggései [5] teljesen megegyeznek és a belső sugárral számolják az összefüggéseket, a PARIS [7] összefüggéseiben a közepes sugár szerepel a λ számításánál. Eltérés tapasztalható az F számításában is, azonban az eltérések ellenére is a görbék jó egyezőséget mutattak (2. ábra).

A számítási összefüggések:

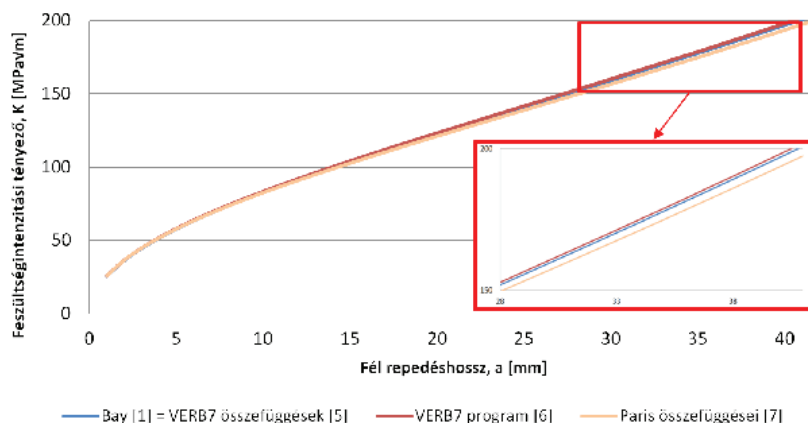
[1][8][5] irodalmak:

$$K = F \frac{pR}{t} \sqrt{\pi a}$$

$$F = 1 + 0,072449\lambda + 0,64856\lambda^2 - 0,2327\lambda^3 + 0,038154\lambda^4 - 0,0023478\lambda^5$$

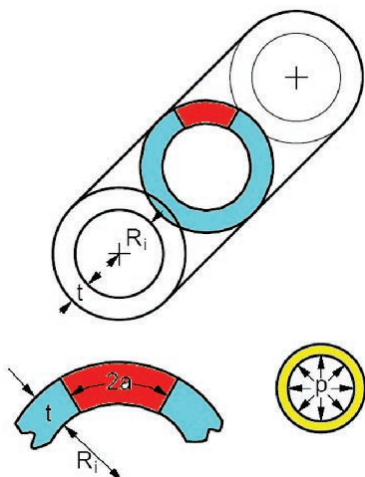
$$\lambda = \frac{a}{\sqrt{Rt}}$$

Feszültségintenzitási tényező axiális irányú átmenő repedés esetén, különböző megoldókkal



— Bay [1] = VERB7 összefüggések [5] — VERB7 program [6] — Paris összefüggései [7]

2. ábra. Teljes keresztmetszeten átmenő hosszanti repedés különböző megoldókkal



3. ábra. Teljes keresztmetszeten átmenő körkörös repedés

ahol:

- R belső sugár,
- 2a repedéshossz,
- t falvastagság,
- p belső nyomás.

Paris összefüggései [7]:

$$K = F \sigma \sqrt{\pi a}$$

$$F = (1 + 1,25 \lambda^2)^{1/2}, \text{ ha } 0 < \lambda \leq 1$$

$$= 0,6 + 0,9 \lambda, \text{ ha } 1 < \lambda \leq 5$$

$$\sigma = \frac{pR}{t}$$

$$\lambda = \frac{a}{\sqrt{Rt}}$$

ahol:

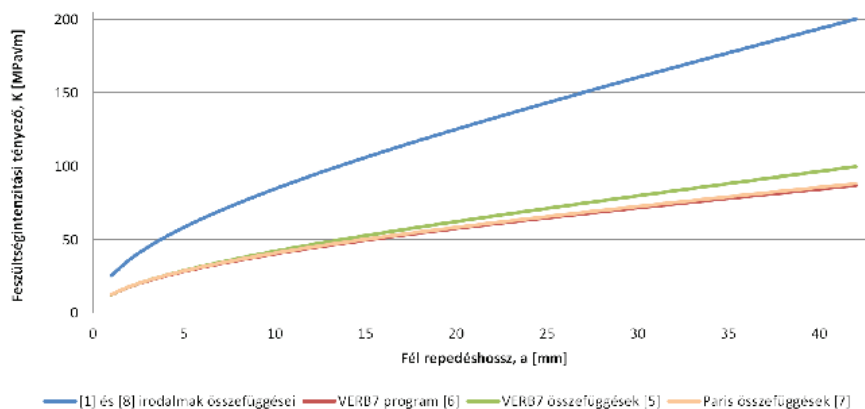
- R közepes sugár,
- 2a repedéshossz,
- t falvastagság,
- p belső nyomás.

2.2. Teljes keresztmetszeten átmenő körkörös repedés

A teljes keresztmetszeten átmenő körkörös repedés (3. ábra) esetén már eltérés tapasztalható a SIF értékei között. Az [1][8] irodalmak összefüggései megegyeznek. A VERB7 program [6] és a PARIS [7] összefüggései alapján számolt görbék szinte egymáson futnak. A VERB7 összefüggései [5] eltérnek attól, amit a program [6] kirajzol. Az eltérés oka itt a feszültség összefüggésében található:

- Az [1][8] irodalmak a közepes átmérővel számolnak ($R_0 = R$).
- A VERB7 összefüggésénél [5] a repedéscsúcs-

Feszültségintenzitási tényező kerületi irányú átmenő repedés esetén, különböző megoldásokkal



4. ábra. Teljes keresztmetszeten átmenő kerületi irányú repedés különböző megoldásokkal

nál (R_0) lévő feszültséget használja a számításoknál, ami ebben az esetben (átmenő repedés) a külső átmérőre számolt (R_o).

A sugár értelmezésében történő eltérés nagy különbséget mutat (4. ábra) a különböző esetekre, de valószínűsíthető, hogy az utóbbi értelmezés, azaz a külső átmérővel történő számítások a helyesek.

Alkalmazott számítási képletek:

[1][8] irodalmak: (Ezek az összefüggések nagy eltérést mutatnak a többitől, valószínűsíthetően rosszak! Az eltérés az R_0 értelmezésében van.)

$$K = F \sigma \sqrt{\pi a},$$

$$\xi = 0,3, R_0 = R_i + \frac{t}{2}, \tau = \frac{\sqrt{\frac{t}{R_0}}}{(12(1 - \xi^2))^{\frac{1}{4}}},$$

$$\alpha = \frac{a}{R}, \delta = \frac{\alpha}{2\tau},$$

$$\beta = 1 + \frac{\pi}{16} \delta^2 - 0,0293 \delta^3, \text{ ha } \delta \leq 1$$

$$= \left(\sqrt{8} \frac{\delta}{\pi} \right)^{0,5} + \left(\frac{0,179}{\delta} \right)^{0,885}, \text{ ha } \delta > 1$$

$$\mu = \frac{\sqrt{2}}{1 + \frac{\tan\left(\frac{\pi - \alpha}{\sqrt{2}}\right) \sqrt{2}}{\tan \alpha}}, \sigma = \frac{p}{\left(\frac{R_0}{R}\right)^2 - 1},$$

$$F_k = 1 + \mu \frac{1 - \frac{\alpha}{\tan \alpha}}{2\alpha}, I_o = \left(\sqrt{8} (F_k^2 - 1) + \pi \frac{\beta^2}{\delta} \right) \frac{\alpha^2}{\tau},$$

$$F_0 = \left(\frac{I_o}{2\pi\alpha} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

VERB7 program összefüggései [5]

$$K = F\sigma\sqrt{\pi a},$$

$$\xi = 0,3,$$

$$R = R_i + \frac{t}{2},$$

$$\alpha = \frac{a}{R},$$

$$\delta = \frac{\alpha}{2\tau},$$

$$\beta = 1 + \frac{\pi}{16}\delta^2 - 0,0293\delta^3, \text{ ha } \delta \leq 1$$

$$= \left(\sqrt{8}\frac{\delta}{\pi}\right)^{0,5} + \left(\frac{0,179}{\delta}\right)^{0,885}, \text{ ha } \delta > 1$$

$$\mu = \frac{\sqrt{2}}{1 + \tan\left(\frac{\pi - \alpha}{\sqrt{2}}\right) + \frac{\sqrt{2}}{\tan \alpha}},$$

$$R_a = R_i + t - a \text{ (a repedés csúcsánál, itt: } R_a = R_i + t),$$

$$\sigma = \frac{p}{\left(\frac{R_a}{R_i}\right)^2 - 1},$$

$$F_k = 1 + \mu \frac{1 - \frac{\alpha}{\tan \alpha}}{2\alpha},$$

$$I_o = \left(\sqrt{8}(F_k^2 - 1) + \pi \frac{\beta^2}{\delta}\right) \frac{\alpha^2}{\tau},$$

$$F_0 = \left(\frac{I_0}{2\pi\alpha}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Paris összefüggései [7]:

$$K = F\sigma\sqrt{\pi a},$$

$$F = (1 + 0,3225\lambda^2)^{1/2}, \text{ ha } 0 < \lambda \leq 1$$

$$= 0,9 + 0,25\lambda, \text{ ha } 1 < \lambda \leq 5$$

$$\sigma = \frac{pR}{2t},$$

$$\lambda = \frac{a}{\sqrt{Rt}}.$$

3. Gyakorlati megállapítások

Az előzőekben bemutatott példák – egyébként az ipari gyakorlatban is előforduló geometriai, terhelés és anyagi paraméterekkel elvégzett számítások eredményei – számos következtetést támasztanak alá.

Vegyük ezeket sorra először az átmenő hosszanti repedés tekintetében.

- Ha a cső átlukad, a repedés nem terjed instabilan tovább még akkor sem, ha a cső anyaga rendkívül rideg is (pl. $K_{Ic} \leq 50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$). Megjegyzendő, hogy a tranzitvezetékek építésénél használt anyagok törési szívóssága az üzemeltetés körülményei között 150-200 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ nagyságrendbe esnek.
- Az előbbi megállapításból viszont következik az is, hogy átlukadás esetén a kiáramló közeg esetleges hatását célszerű mérlegelni egyrészt a „mire jó” (pl. hiba detektálása), vagy a „mit okoz” kérdések feltevésével (pl. robbanásveszély előidézése, környezeti kár a következmény, mérgező hatás, stb.).
- A K-a görbét szemlélve az is látható, hogy a kritikus hibaméretre jelentős hatást gyakorol az anyag törési szívóssága. Ebből adódóan ezt célszerű kellő körültekintéssel, megbízhatósággal kísérleti úton meghatározni, hiszen nem mindegy, hogy megelégszünk egy becsült alsó határral (pl. $K_{Ic} \leq 50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ érték esetén a kritikus repedéshossz kb. 4 mm, míg $K_{Ic} \leq 100 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ -nél 15 mm, avagy $K_{Ic} \leq 150 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ mintegy 30 mm). Gondoljunk csak a b. pontban említettekre!
- Mivel a 2. ábra 6 MPa belső nyomásra vonatkozó viszonyokat tükrözi, nagyon egyszerűen következtethetünk a nyomásviszonyok változtatásának hatására. Semmi mást nem kell figyelembe venni, mint azt, hogy a függőleges tengely mentén a K érték a belső nyomással lineáris összefüggésben van.

Nézzük milyen gyakorlati következtetés lehetőségét kínálja a **4. ábra, kerületi repedés esetére!**

- Eklatánsan látható, hogy a „kék színnel rajzolt görbe” nem illik a többi közé, tehát az összefüggés hibás!!! Már ez - az egyetlen - példa is nyomtatékosan aláhúzza azt az igényt, hogy amikor számolunk és eredményeiből gyakorlati következtetések kívánunk levonni, óvatosnak, körültekintőknek kell lennünk!!
- Ha cső átlukad, a repedés nem terjed instabilan tovább még akkor sem, ha a cső anyaga rendkívül rideg is (pl. $K_{Ic} \leq 50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$)!
- Az előbbi megállapításból viszont következik

az is, hogy átlukadás esetén a kiáramló közeg esetleges hatását célszerű mérlegelni egyrészt a „**mire jó**” (pl. hiba detektálása), vagy a „**mit okoz**” kérdések feltevésével (pl. robbanásveszély előidézése, környezeti kár a következmény, mérgező hatás, stb.).

d. E példa kapcsán is különös hangsúlyt kap a csőanyag törési szívósságának szerepe a kritikus repedésméret tekintetében, hiszen ha csupán $K_{Ic} \leq 50 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, akkor a kritikus félrepedéshossz 12-13 mm, ha pedig $K_{Ic} \leq 100 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, akkor 12 mm helyett 40 mm!

e. Az előzőkből „kiabáló módon” (szinte „süvítve”) tör elő a helyszíni körvarratok megkövetelendő minősége!! A varratoknak tömörnek kell lenni (ez nem kérdéses), de az, hogy milyen zárványokat és milyen eloszlásban, vagy milyen egyéb hibákat engedünk meg, mindenképpen elgondolkodtató. Ugyanezen probléma más megfogalmazásban: egy körvarrat javítása/nem javítása műszaki szempontból mindenképpen elgondolkodtató. Még inkább igaz ez, ha a gazdasági hatásokat, következményeket is mérlegeljük (köszörülés, hegesztők vezénylése, be rendezések, javított varratok újbóli ellenőrzése, stb.).

Hangsúlyozni kívánjuk, célunk csupán az volt az egyes konkrét következtetések megfogalmazásával, hogy rámutassunk egy-egy számpélda kapcsán a gyakorlatban használható, hasznosítható, de egyben jelentős gazdasági-műszaki következményeket hordozó gondolatsorok lehetőségeire.

4. Összefoglalás

A közlemény célkitűzését, a számpéldákkal illusztrált, ezek eredményeiből levonható következtetését figyelembe véve az alábbi megállapítások tehetők:

1. A lineárisan rugalmas törésmechanikai elvek, mint a legkonzervatívabb megfontolások, alkalmasak a mérnöki szerkezetek biztonságának értékelésére a **periodikus felülvizsgálatok** során.
2. A mindennapi alkalmazás eszközszerkezete (számítástechnikai háttér és a repedésűcsúcs környezet viszonyait tükröző feszültségintenzitási tényező – K-számításának összefüggései) biztosított.
3. Mivel a K értékének számítására a szakirodalomban számos összefüggés található, ezeket célszerű összehasonlítani, mert alapvetően hibás következtetésre juthatunk.
4. A kritikus hibaméret számítására szolgáló anyagjellemző, a törési szívósság becslésére első közelítésben a legkonzervatívabb eredményeket cél-

szerű figyelembe venni.

5. A megengedhető repedésméret kimutatására a roncsolásmentes vizsgálatot végzőket tudatosan fel kell készíteni (és ellenőrizni) mind a módszer, eszköz és személyzet tekintetében.
6. Amennyiben a legkonzervatívabb eljárással becsült megengedhető repedéshossz a roncsolásmentes vizsgálat kimutathatóságának határát közelíti, úgy a törésmechanika alkalmazásában kellő gyakorlattal rendelkező szakember a konzervativizmus mértékét tudatosan csökkentheti.

Jelen közlemény egy olyan cikksorozat második eleme, amelyekben rá kívánunk mutatni arra, hogy

- a mérnöki szerkezetek periodikus felülvizsgálata során a biztonság megítélésében a törésmechanikai elvek kiválóan alkalmazhatók,
- objektumorientált roncsolásmentes vizsgálatok elvégzéséhez tudatos felkészítésre és ellenőrzésre van szükség.

Irodalom:

- [1] Dr. Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika a szerkezetek biztonságos üzemeltetőségének alapja. Anyagvizsgálók Lapja, A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség Lapja, ISSN: 1215-8410, 2019/IV p.30-41.
- [2] Tóth L.: Kísérleti és numerikus feszültséganalízis, A törésmechanika alapelvei (Paul C. Paris VIDEO-sorozat kézikönyve), TEMPUS S_JEP_11271 projekt, Miskolc, 1999 <https://mek.oszk.hu/01100/01190/>
- [3] Tóth L., P. Rossmanith: Kísérleti és numerikus feszültséganalízis, A törésmechanika és az anyagvizsgálat története, TEMPUS S_JEP_11271 projekt, Miskolc, 1999 <https://mek.oszk.hu/01100/01191/index.phtml>
- [4] G. Pluvinau, Tóth L.: Kísérleti és numerikus feszültséganalízis, Törésmechanikai példatár, TEMPUS S_JEP_11271 projekt, Miskolc, 1999 <https://mek.oszk.hu/01100/01192/index.phtml>
- [5] Formulae for stress intensity factors and plastic loads IWM VERB 7.0, Fraunhofer IWM, Freiburg., 2003
- [6] Defect assessment software IWM VERB, Version 7.7.0, Fraunhofer IWM, Freiburg. 2002
- [7] H. Tada, P.C. Paris, G.R. Irwin: The Stress Analysis of Cracks Handbook. 3. Kiadás, ISBN 0-7918-0153-5, ASME Press. New York, 2000, p.478, 485.
- [8] I.M.Dmytrakh, L. Tóth, O.L. Bilyy, A.M. Syrotyuk: Workability of materials and structural elements with sharp-tipped stress concentrators, Vol. 13., ISBN 978-966-665-493-2, Lviv, Publishing House (Spolom), 2012

Vasúti sínek „head check” károsodási folyamatának vizsgálata

Takács Csaba¹

¹ Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., csaba.takacs@bayzoltan.hu

Összefoglaló:

Az utóbbi években a vasúti forgalom megnövekedésének, illetve a növekvő sebességű és tengelyterhelésű vasúti szerelvények hatására a vasúti síneket érő igénybevételek is megnövekedtek, ami a vasúti sínek futófelületén növekedni képes párhuzamos repedéseket, úgynevezett „head check” károsodási folyamatot képes elindítani, ami szélsőséges esetben a sín teljes töréséhez vezethet. Ezért a károsodás korai szakaszban történő detektálása rendkívül fontos feladat, ugyanakkor komoly kihívást jelent az anyagvizsgáló szakemberek számára.

Kulcsszavak:

Head check károsodás, roncsolásmentes vizsgálat, detektálás és méretezés, korai szakasz
Head check damage, non-destructive testing, detecting and sizing, early stage

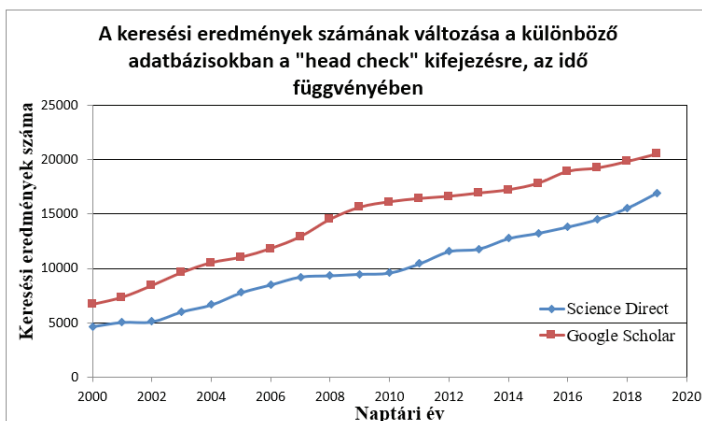
1. Bevezetés

A vasúti közlekedés napjainkban nagyon fontos szerepet tölt be, mind a személy, mind a teherszállítás területén, éppen ezért, a biztonságos vasúti közlekedés biztosítása kiemelten fontos feladat. A vasúti közlekedésben használt vonatoknak és síneknek ezért szigorú gyártási előírásoknak kell megfelelniük, valamint a gyártási és üzem közbeni roncsolásmentes vizsgálatok elvégzésének, és vonatok és sínek folyamatos karbantartásának is kiemelt szerepe van a biztonságos üzemeltetés érdekében.

Az utóbbi évtizedekben az európai vasúthálózat tömegközlekedési és áruszállítási kínálata folyamatosan javult. A végbement fejlődés leginkább a vonatok számának növekedésében, nagyobb sebességekben és erősebb, nagyobb teljesítményű vontatójárművek megjelenésében vehető észre. Ezek a vasúti infrastruktúra igénybevételét növelő változások az üzemeltetőt új kihívások elé állítják, hiszen hatásukra sokkal intenzívebb karbantartási tevékenység válik szükségessé. Legfőképpen a sínek gördülési érintkezési kifáradása (Rolling Contact Fatigue; RCF), vagy „head check” elleni küzdelem okozza a megnövekedett karbantartási igényt [1].

A „head check” károsodási folyamatnak még nem

jelent meg a szaknyelvben magyar megfelelője. Talán „sínfej fáradásnak” lehetne fordítani, ugyanakkor ez a fordítás sem fejezi ki, hogy csúszási fáradás okozza a károsodást. A károsodási folyamat magyar megfelelője lehet a „futófelületi csúszási fáradás”. Viszont amíg nincs a károsodásnak elfogadott magyar elnevezése, addig az angol „head check” kifejezés további használatát javaslom. A károsodás magyar elnevezésére ugyanakkor egyre növekvő igény lenne, mivel a károsodási folyamat akár a vasúti sín teljes törését is okozhatja, ezáltal emberéleteket is veszélyeztethet, ezért a károsodás korai szakaszban történő detektálása kiemelten fontos feladat az anyagvizsgáló szakemberek és az üzemeltetők számára. A károsodás világviszonylatban betöltött jelentőségéről, illetve jelentőségének növekedéséről az 1. ábra alapján következtethetünk.



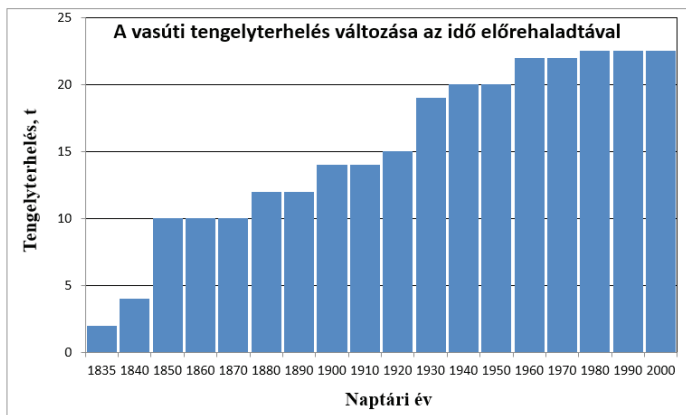
1. ábra. A keresési eredmények számának változása különböző tudományos adatbázisokban, az idő előrehaladtával

Ahogy az 1. ábrán is látható, az egyes adatbázisok keresési eredményei között van némi eltérés, aminek a tudományos adatbázisok közti különbségek lehet az oka. A tendencia azonban mindkét adatbázis esetében megegyezik, így évről évre jelentősen növekedett a keresési eredmények száma a „head check” kifejezésre az utóbbi két évtizedben. Ez egyértelműen arra utal, hogy egyre több tudományos szakirodalom születik a témában, tehát a „head check” károsodással foglalkozó szakemberek egyre növekvő hangsúlyt fektetnek a károsodás detektálá-

sára és megelőzésére.

2. A vasúti sínek igénybevételeinek változása

A vasúti szerelvények méretének és tömegének növekedésével azok tengelyterhelése is folyamatosan növekedett, ami a síneket érő terhelés növekedését okozza. A vasúti síneket érő tengelyterhelés az idő



előrehaladtával a 2. ábrán látható módon növekedett.

2. ábra. A vasúti sínek tengelyterhelésének fejlődése

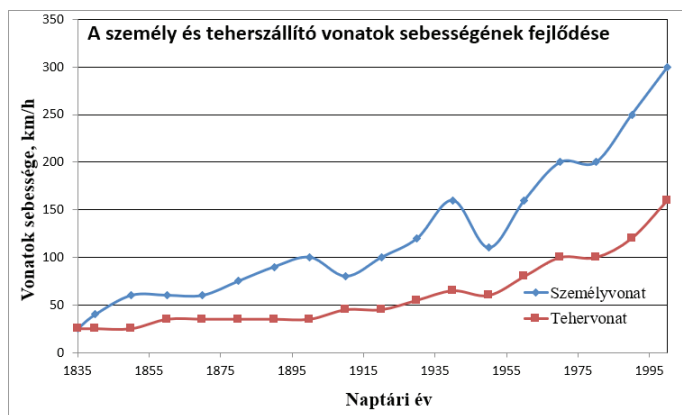
A függőleges tengelyteher maximális nagyságát pedig a különböző jellegű vasúti forgalom esetében az 1. Táblázat tartalmazza.

1. Táblázat. A maximális tengelyterhelés nagysága a vasúti forgalom jellege szerint

A vasúti forgalom jellege	Max. tengelyterhelés, kN
Közúti vasúti forgalom	100
Földalatti gyorsvasúti forgalom	160
Nagysebességű vasúti forgalom	200
Vegyes üzemű vasúti forgalom	225
Nagyterhelésű vasúti forgalom	360

A vonatok tengelyterhelésén kívül mind a személy, mind a tehervonatok sebessége is folyamatosan növekedett a technika fejlődésével, a 3. ábrán látható módon [2].

Ahogy az 1. és 2. ábrán látható, a vonatok tengelyterhelése a technika fejlődésével folyamatosan növekedett, valamint a vonatok sebessége is, az időnként bekövetkező kisebb visszaeséseket leszámítva szintén folyamatosan növekedett. Mind a vonatok tengelyterhelésének, mind a sebességének a



3. ábra. A személy és tehervonatok sebességének fejlődése az idő függvényében

növekedése a vonatok kerekeit és a vasúti síneket érő igénybevétel növekedését okozza, ami a „head check” károsodáshoz vezethet, ezért több szakaszon e károsodás megelőzése, illetve a már kialakult repedések terjedésének megakadályozása érdekében jelenleg is sebességhatározás van érvényben. A jelenlegi magyarországi vasúti sínek vonalhosszát a kiépítési sebességének és maximális tengelyterhelésének esetében a 2. Táblázat tartalmazza, valamint tartalmazza a kétvágányú pályaszakaszok hosszát is, mivel az üzemeltető szakemberek tapasztalatai szerint e károsodás megjelenése a kétvágányú szakaszokon és a gyorsító és lassító szakaszokon gyakoribb [3].

A technika fejlődésével természetesen nem csak a vonatok, hanem az alkalmazott sínek is folyamatosan fejlődésen mentek keresztül, annak érdekében, hogy képesek legyenek elviselni az egyre növekvő igénybevételeket. A MÁV vonalain alkalmazott sínrendszerek bevezetésének időpontját, a sínrendszer folyóméterének tömegét, valamint az egyes sínrendszerekhez tartozó maximális sebesség és tengelyterhelés értékeket a 3. Táblázat tartalmazza [2, 4].

Ahogy a 3. Táblázatban is látható, a sínrendszerek fejlődése lehetővé tette az egyre nagyobb tömegű, egyre gyorsabb vonatok folyamatos indítását, a megnövekedett igénybevételek hatására a síneken megjelenő speciális károsodás azonban új kihívások elé állítja a vasúti sínek üzemeltető és az anyagvizsgáló szakembereket.

3. A „head check” károsodás bemutatása

A vasúti sín e károsodása a vasúti sánt érő ismétlődő terhelés következménye. A károsodást futóélen kialakuló periodikus repedések jellemzik, amelyek a sínacél anyagának folyamatos, ciklikusan ismétlődő

2. Táblázat. A Magyar Államvasutak normál nyomtávú hálózatának osztályozása kategóriánkénti vonalhosszal, km mértékegységben

Képzési sebesség, km/h	Tengelyterhelés					Összes hossz	Kétvá- gányú
	<185 kN	185 kN	200 kN	210 kN	225 kN		
<40	-	-	24	51	-	75	-
40	159	68	19	106	-	352	-
50	204	256	92	37	-	589	-
60	317	526	297	818	-	1958	7
70	-	-	14	2	-	16	-
80	-	19	65	1151	11	1246	28
90	-	-	3	79	-	82	14
100	-	-	4	1650	12	1666	142
110	-	-	-	6	-	6	-
120	-	-	-	1669	356	2025	818
140	-	-	-	-	132	132	66
160	-	-	-	-	210	210	105
Összesen	680	689	518	5569	721	8357	1180

3. Táblázat. A MÁV vonalain alkalmazott sínrendszerek legfőbb technikai paraméterei

Sínrendszer megnevezése	Sínek tömege, kg/m	Bevezetés kezdeti éve	Maximális tenge- lyterhelés, kN	Maximális sebes- ség, km/h
c	34,5	1890	160	40
I	42,8	1894	185	50
MÁV 48	48,3	1929	210	100
UIC 54	54,4	1969	210	140
UIC 60	60	1987	225	160

túlterhelése miatt, a sín felületének a forgalom által hidegen alakított rétegéből indulva sín belseje felé növekednek, gyakran a futófelület szimmetria tengelyétől mérve akár 20 mm hosszúságúra is [5]. A 4. és 5. ábrákon [6] látható a szövetszerkezet részecs-

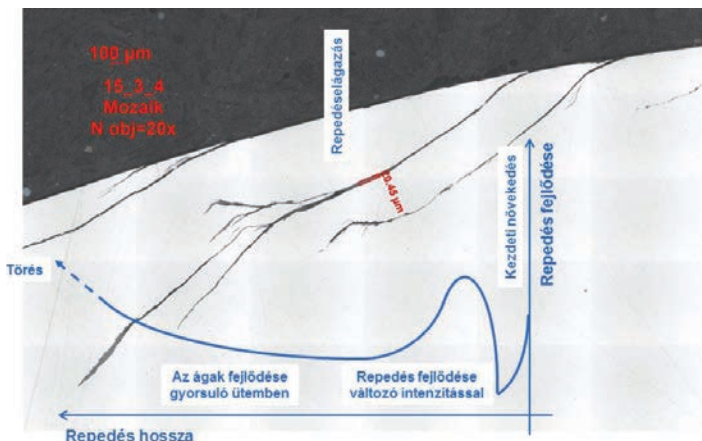
kéinek hosszirányban történő erős megnyúlása. Ez azt is okozza, hogy a perlitlamellák többnyire hosszirányban rendeződnek el. A felületről kiinduló repedés e hidegalakított mikroszerkezet mentén növekszik [7].



4. ábra. A sín eredeti szövetszerkezete



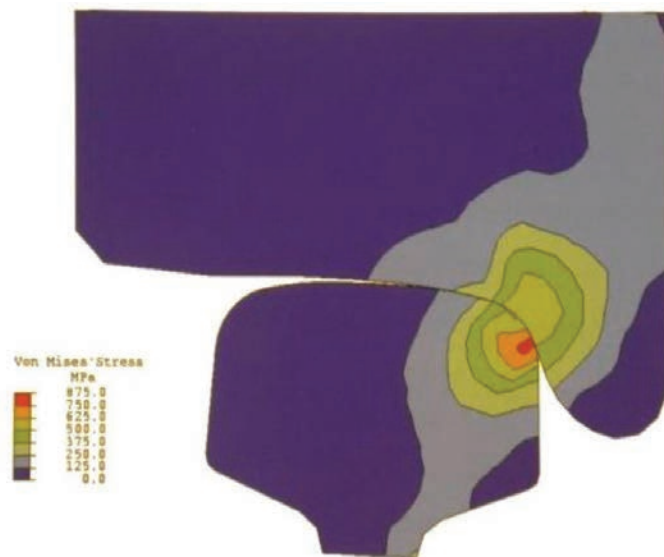
5. ábra. A képlékeny hidegalakítás hatására megnyúlt szemcséjű szövetszerkezet



6. ábra. A sínben és a vonatkerékben a terhelés hatására kialakuló feszültségmező [8]

A kerék és a sín érintkezési felületén különösen nagy, akár 1000 MPa nyomófeszültség is kialakulhat. A sín és a kerék érintkezésének hatására kialakuló feszültségmező a sín és a kerék keresztmetszetében a 6. ábrán látható.

Az itt kialakuló, rendkívül nagy feszültség párhuzamos mikropredések kialakulásához vezethet a futófelületen. A mikropredések az ismétlődő igény-



7. ábra. A „head check” károsodás időbeli lejátszódásának folyamata [6]

bevétel hatására növekedésre képesek, valamint a felülettől eltávolodva akár el is ágazhatnak. Ahogy a repedés folyamatosan növekszik a sín belseje felé, a hajlító igénybevétel válik a fő igénybevétellé, amittől a repedés terjedés szöge megváltozik, a repedés gyorsuló ütemben, egyre inkább a futófelületre merőlegesen kezd terjedni, ami szélsőséges esetben a sín töréséhez vezet. A vasúti sín „head check” károsodási folyamatának lejátszódása az idő előrehaladtával a 7. ábrán látható.



8. ábra. „Head check” károsodási folyamat során károsodott sín korai stádiumban



9. ábra. „Head check” károsodási folyamat során károsodott sín előrehaladott stádiumban [9]

A „head check” károsodás korai stádiumban a 8. ábrán, előrehaladott stádiumban pedig a 9. ábrán látható.

A „head check” károsodás tehát egy viszonylag hosszabb folyamat eredménye, viszont a korai stádiumban történő detektálása és a repedések mélységének meghatározása komoly kihívást jelent a szakemberek számára. Ugyanakkor a károsodási folyamat a korai szakaszban jelentősen lassabban megy végbe, így a károsodás e szakaszban történő detektálásával a vasúti sín élettartama jelentős mértékben megnövekedhet.

4. „Head check” károsodási folyamaton átment sínminták vizsgálata

A károsodási jelenség korai szakaszban történő detektálása érdekében 4 db korábban károsodott, kivágott síndarabon végeztünk vizsgálatokat. A kü-

lönböző roncsolásmentes vizsgálatok közül a felületi, repedésszerű hibákra érzékeny roncsolásmentes vizsgálatokat végeztük el, így a folyadékbehatolási, a mágnesezhető poros, a fázisvezérelt ultrahangos és az örvényáramos vizsgálati eljárások kerültek kiválasztásra. Ezt követően a sínfejből keresztmetszeti mintát vágunk ki, amin beágyazás, csiszolás, polírozás és maratás után mikroszkópos vizsgálatot és HV5 keménységmérést is elvégeztünk a felkeményedés mértékének meghatározására.

4.1 A folyadékbehatolási és a mágnesezhető poros vizsgálat eredményeinek bemutatása

A folyadékbehatolási és a mágnesezhető poros vizsgálatok célja annak eldöntése volt, hogy a károsodás kimutatható-e a károsodás korai szakaszában. A folyadékbehatolási vizsgálat elvégzése a következő vizsgálati paraméterek mellett történt:

- Behatoló folyadék: Pentrix 100 vörös behatoló folyadék
- Előhívó: Rivelex 200 fehér előhívó
- Felület előkészítése: MR 79 Speciális tisztítószerezrel
- Köztes tisztítás: MR 85 Köztes tisztítószerezrel
- Vizsgálati hőmérséklet: 20 °C

A károsodott sínminta a folyadékbehatolási vizsgálat elvégzése után a 10. ábrán látható.

A folyadékbehatolási vizsgálatok elvégzése után a

mágnesezhető poros vizsgálatok elvégzése is megtörtént. A mágnesezhető poros vizsgálat elvégzésének vizsgálati paraméterei:

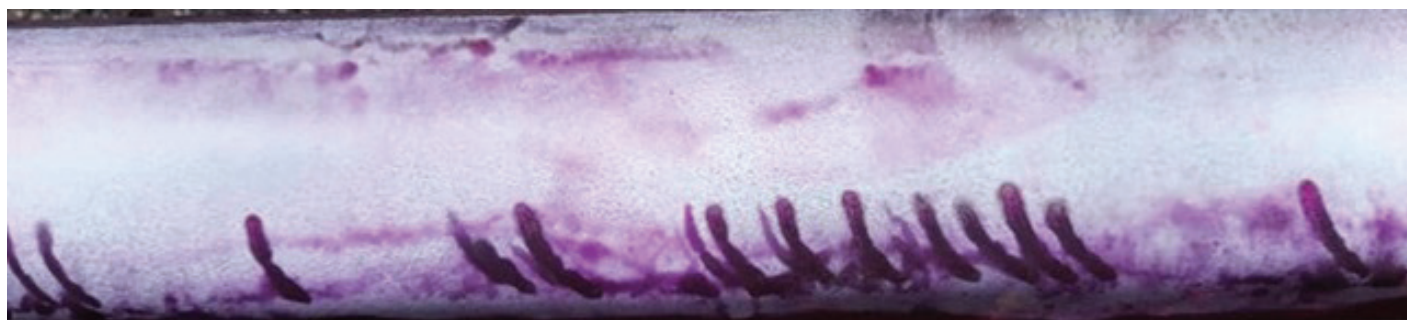
- Mágnesezhető poros folyadék típusa: MR 76 fluoreszkáló mágnesezhető poros folyadék
- Megvilágító fényforrás: MR 97 UV lámpa
- Felület felmágnesezése: MR 51 Járommágnessel
- Felület előkészítése: MR 79 Speciális tisztítószerezrel
- Vizsgálati hőmérséklet: 20 °C

A károsodott sínminta a felület felmágnesezése és mágnesezhető poros folyadék felületre vitele után, UV-fénnyel történő megvilágításban a 11. ábrán látható.

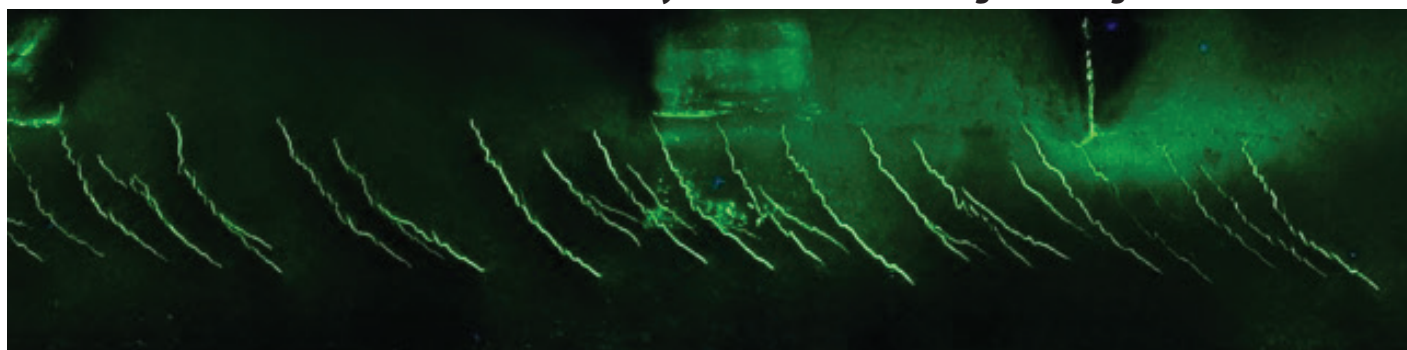
Ahogy a 10. és 11. ábrákon látható, a károsodás kimutatható folyadékbehatolási és mágnesezhető poros vizsgálatokkal a károsodás korai szakaszában, azonban egy hosszabb sínpályán ezek a vizsgálatok nem végezhetőek el gazdaságosan, továbbá ezek a roncsolásmentes vizsgálati módszerek csak a repedések kimutatására alkalmasak, a repedések mélységének meghatározására nem.

4.2 Az örvényáramos vizsgálat vizsgálati eredményeinek bemutatása

A károsodás korai szakaszában történő kimutatása érdekében örvényáramos vizsgálatok elvégzése is



10. ábra. A károsodott sínminta a folyadékbehatolási vizsgálat elvégzése után

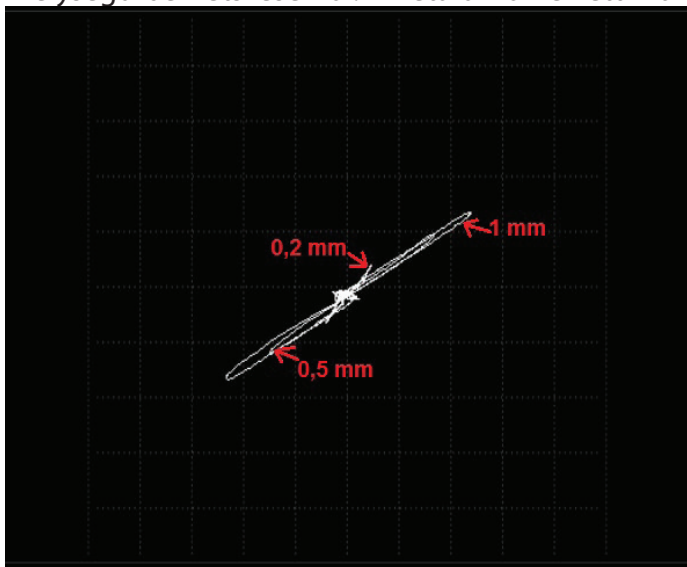


11. ábra. A károsodott sínminta a mágnesezhető poros vizsgálat elvégzése után

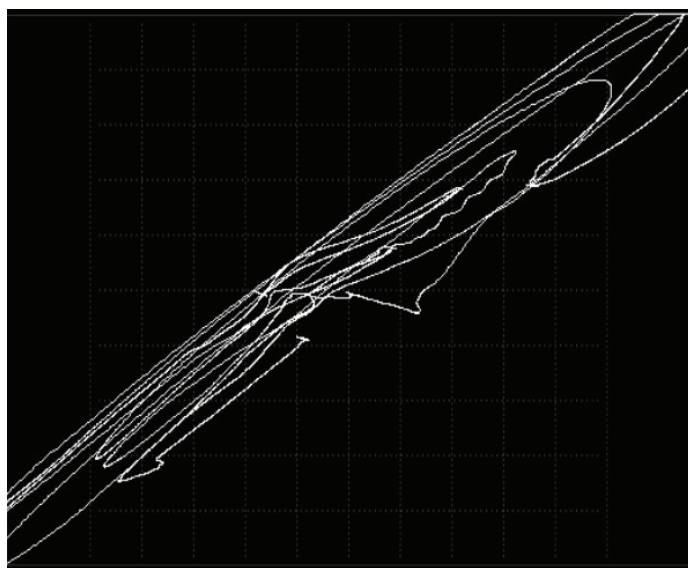
történt a károsodott sínmintákon. Az örvényáramos vizsgálat vizsgálati paramétereit:

- Az örvényáramos vizsgáló eszköz típusa: Olympus Nortec 600
- Az örvényáramos szonda típusa: Olympus PL/500kHz-2MHz/DU
- Vizsgálati frekvencia: 500 kHz
- Horizontális erősítés: 65,0 dB
- Vertikális erősítés: 65,0 dB

A sínminták vizsgálata előtt referencia jel felvétele történt bemetszett acél etalonról, 0,2; 0,5 és 1 mm mélységű bemetszésekről. Az etalonról felvett indi-



12. ábra. Az etalonról 0,2; 0,5 és 1 mm mélységű bemetszésekről felvett örvényáramos indikációk



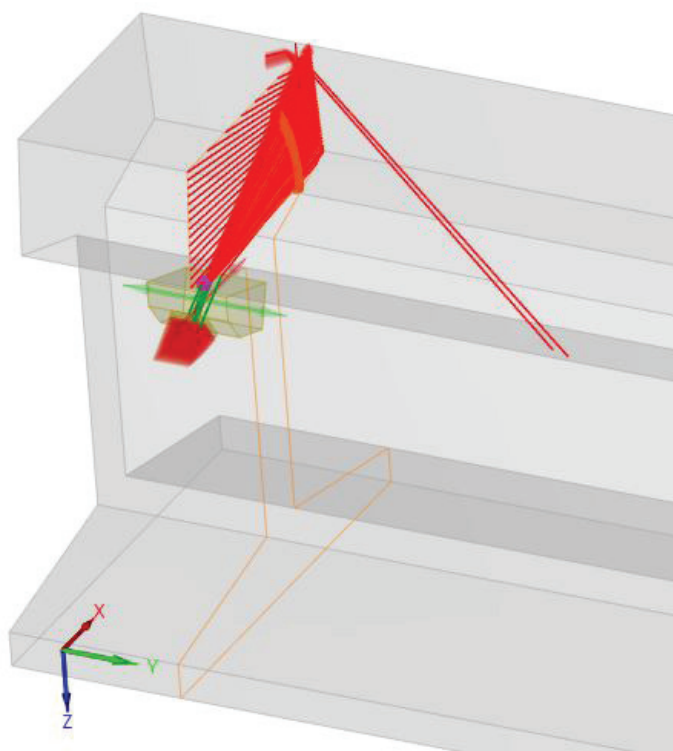
13. ábra. A későbbiekben kivágott, és mikroszkóppal is vizsgált sínmintáról felvett örvényáramos indikációk

kációk a 12. ábrán, a későbbiekben kivágott és mikroszkóppal vizsgált sínmintáról felvett vizsgálati indikációk a 13. ábrák látható.

Az örvényáramos vizsgálatok eredményei alapján a vizsgált sín minta 1 mm-től jelentősen nagyobb mélyebb repedéseket is tartalmazott. A 12-13. ábrák alapján az örvényáramos vizsgálat alkalmas a károsodás detektálására a korai szakaszban, illetve automatizált berendezéssel hosszabb sín pályán is elvégezhető gazdaságosan. A módszer megfelelően megválasztott vizsgálati paraméterekkel alkalmas lehet a repedések mélységének meghatározására is, a károsodás detektálásán felül, a megfelelő vizsgálati paraméterek megválasztása sínvizsgáló örvényáramos berendezés esetén azonban további vizsgálatokat igényel.

4.3 A fázisvezérelt ultrahangos szimulációk és a vizsgálat bemutatása

A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatok elvégzése előtt Civa 2020 programban fázisvezérelt ultrahangos szimulációk lefuttatását végeztük el az optimális vizsgálati beállítások megválasztása érdekében. A szimuláció elvégzése 40°-65°-os szögtartományban, a sín futóélén 20 mm hosszúságú, 3 mm mélységű, a sín keresztmetszeti síkjával 60°-os szöget bezáró, repedésszerű hibát feltételezve történt. Az elvégzett



14. ábra. Az elvégzett fázisvezérelt ultrahangos modellezés eredménye

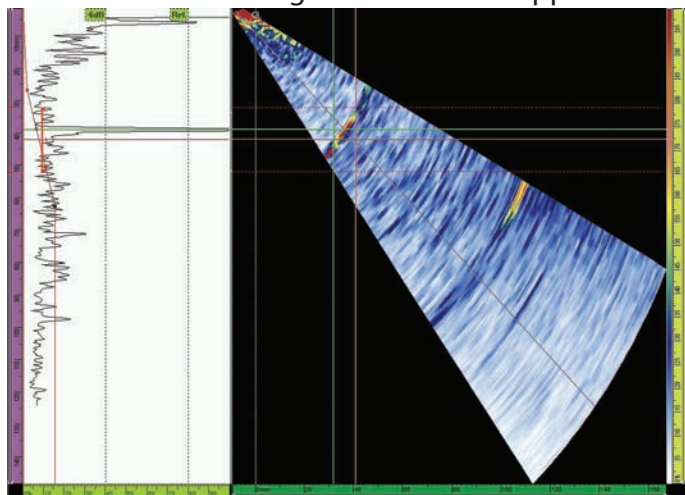
szimulációk eredménye a 14. ábrán látható.

Ahogy a 14. ábrán is látható, a sínmintába juttatott hangnyaláb jelentős része szóródik, a repedésszerű hibáról a vizsgáló fejbe csak kis része jut vissza. További kihívást jelent, hogy a vasúti sínek nehezen hozzáférhetőek a fázisvezérelt vizsgálófejekkel, a sínek geometriájából adódóan. A sín geometriájának és a felületi repedések elhelyezkedésének a figyelembe vételével a vizsgálatot a 14. ábrán is látható módon, a sínfej alsó éle felől, a futóéllal ellentétes oldalról végeztük el.

A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálat vizsgálati paramétere:

- A fázisvezérelt ultrahangos vizsgáló eszköz típusa: Olympus OmniScan MX2
- Az ultrahangos fej típusa: Olympus 5L16 5 MHz frekvenciájú, 16 rezgős vizsgálófej
- Az előtét típusa: Olympus SA10-N55S IHC plexi előtét
- Besugárzási szögtaromány: 40°-65°
- TCG felvétele: Ø=3mm keresztirányú hengeres furatokról, 27; 39; 51 és 63 mm mélységben
- TCG erősítés: 21 dB
- Vizsgálati erősítés: TCG + 32 dB
- Csatlóközeg: Sonotech Soundsafe NSN 6850-01-157-4338 ultrahangos csatoló

A későbbiekben kivágott és mikroszkóppal is vizs-



gált sínminta fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatának eredménye, illetve a sínmintáról felvett fázisvezérelt ultrahangos indikáció a 15. ábrán látható.

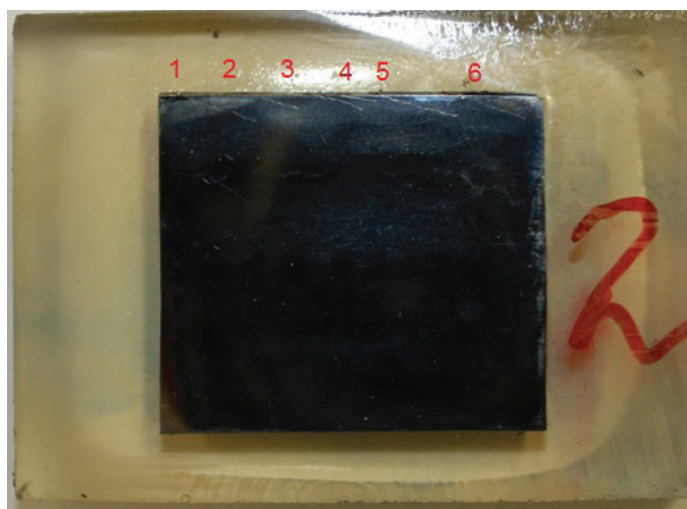
15. ábra. A későbbiekben mikroszkóppal is vizsgált sínminta fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatának vizsgálati eredménye

Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján he-

lyenként 3 mm mélységet is meghaladó repedések voltak a vizsgált sínmintában. A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálatok eredményei ezek alapján összhangban voltak az örvényáramos vizsgálatok eredményeivel, amivel szintén 1 mm-től jelentősen nagyobbra mértük a repedések mélységét. A vizsgálat eredménye összhangban van a modellezés eredményével is, mivel a modellezés eredményei alapján hasonló fázisvezérelt ultrahangos vizsgálati eredményekre számítottunk. A fázisvezérelt ultrahangos vizsgálat megfelelő csatolás biztosítása mellett alkalmazható hosszabb sínpályák vizsgálatára, azonban a vizsgálófej megfelelő pozícióban tartása és a folyamatos csatolás biztosítása komoly kihívást jelenthet. Az elvégzett vizsgálatok célja a repedések detektálhatóságának eldöntése, valamint a repedések méretezése volt. Üzemben lévő sínpályák vizsgálata előtt azonban érdemes a vizsgálati paraméterek gondosabb elemzése és optimalizálása.

4.4 A mikroszkópos vizsgálat és a keménységmérés

A roncsolásmentes vizsgálatok eredményei alapján a leginkább károsodott sínmintából mikroszkópos vizsgálatok és keménységmérés elvégzése érdekében 3 mintát vágtunk ki a repedések kiindulási helyéről (1-es minta), a repedések közepéről (2-es minta) és a repedések végpontjához közel (3-as minta). A kivágott mintákat műgyantába ágyazást, csiszolást és polírozást követően 10%-os nitallal marattuk meg. A sínminta károsodása során keletkező repedések már mikroszkópos vizsgálatokhoz történő előkészítés során szabad szemmel láthatóvá váltak. Ezért az elkészített mintákról makroképet is készítettünk, ami a 16. ábrán látható.

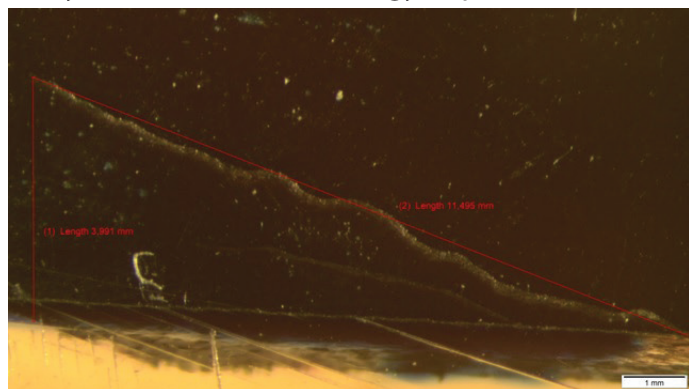


16. ábra. A repedések közepéről származó, 2-es minta makroképe, valamint a repedések pozíciója

4. Táblázat. A sztereomikroszkópos vizsgálatok eredményei

Repedés helye	Repedés mélysége (mm)	Repedés hossza (mm)
1-es minta 1-es számú repedés	3,5	9,5
1-es minta 2-es számú repedés	2,0	5,8
1-es minta 3-as számú repedés	2,7	7,4
1-es minta 4-es számú repedés	2,4	6,4
2-es minta 1-es számú repedés	3,9	11,8
2-es minta 2-es számú repedés	2,2	7,5
2-es minta 3-as számú repedés	2,3	7,9
2-es minta 4-es számú repedés	0,8	4,6
2-es minta 5-ös számú repedés	3,2	11,3
2-es minta 6-os számú repedés	3,9	11,5
3-as minta 1-es számú repedés	4,1	9,7
3-as minta 2-es számú repedés	1,7	3,9
3-as minta 3-as számú repedés	3,4	6,8
3-as minta 4-es számú repedés	3,6	6,7
3-as minta 5-ös számú repedés	3,9	10,9

Ezt követően a repedések Mitutoyo sztereo mikroszkóppal és Olympus CS180 típusú kamerával felvételeket készítettük, valamint a repedések méretezésre is kerültek. A sztereomikroszkópos mérések eredményei a 4. Táblázatban, egy repedésről készült,



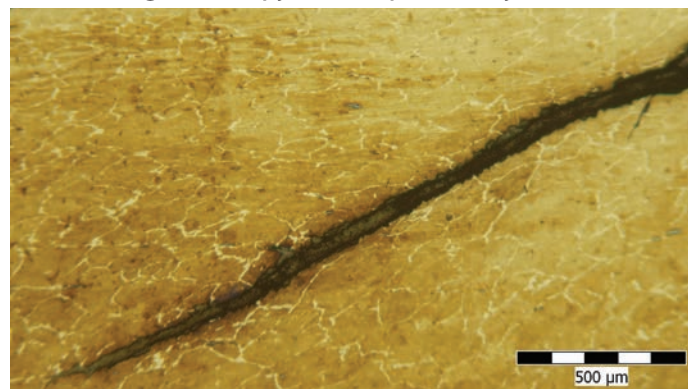
17. ábra. A repedések közepéről származó, 2-es minta 6-os számú repedésének méretezett sztereomikroszkópos felvétele

méretezett sztereomikroszkópos felvétel pedig a 17. ábrán látható.

A sztereomikroszkópos mérések eredménye (0,1 mm-es kerekítéssel) alapján a mikroszkópos vizsgálatra kivágott részben 2-3 mm mélységet is elérő, 9-11 mm hosszúságú repedések is voltak. Annak eldöntésére, hogy a repedések a szemcsék mentén terjednek-e, Olympus GX51 fénymikroszkóppal szövetszerkezeti vizsgálatokat is végeztünk. A 2-es mintáról készült, 50X-es nagyítású mikroszkópos fel-

vétel a 18. ábrán látható.

Ahogy a 18. ábrán is látható, illetve a többi elvégzett szövetszerkezeti elemzés alapján is kijelenthető, a repedések nem a szemcsehatárok mentén haladtak. A szövetszerkezeti vizsgálat alapján a repedésterjedés transzk-

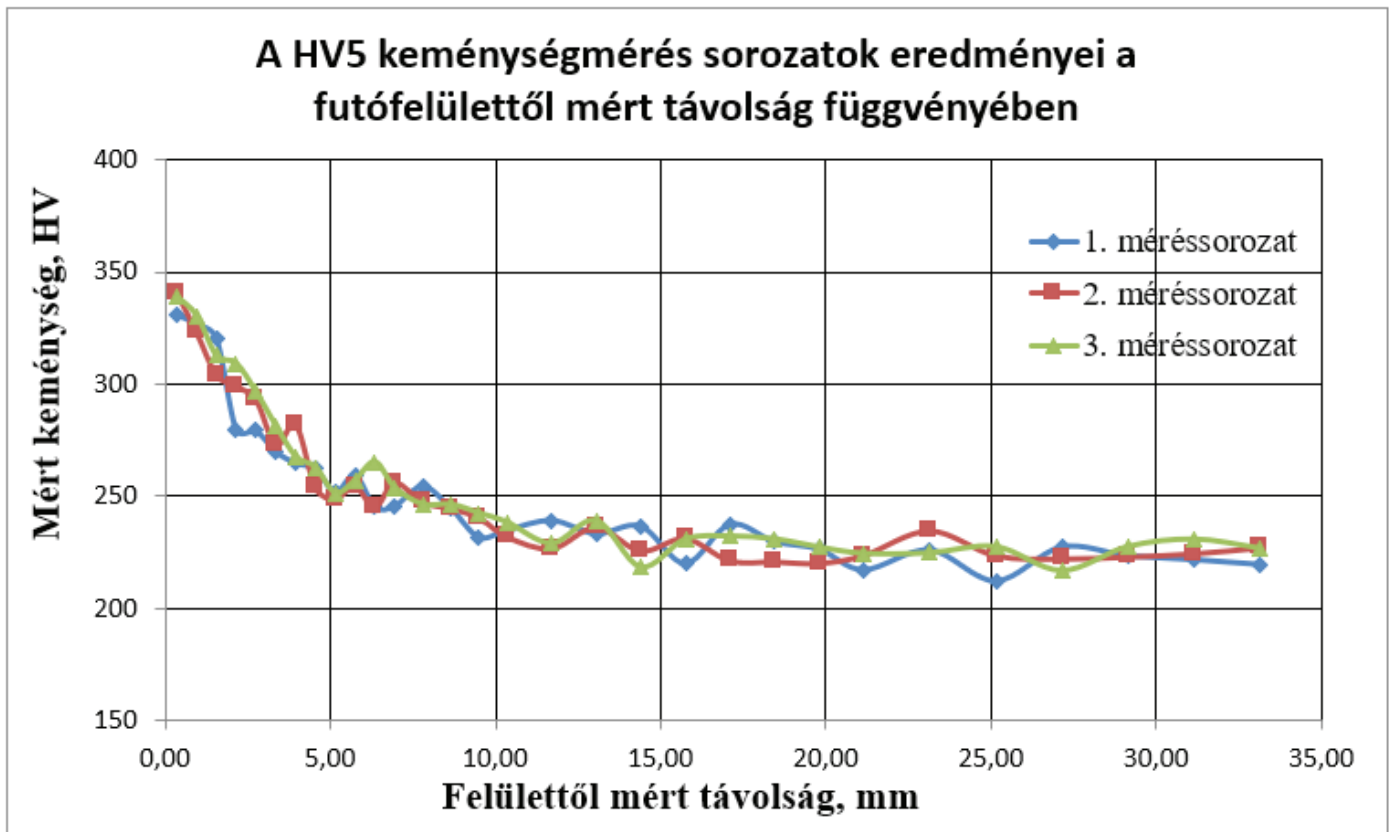


18. ábra. A 2-es minta szövetszerkezeti felvétele, 50X-es nagyításban

risztallin.

Ezt követően a repedések közepéről származó, 2-es számú beágyazott mintán HV5 keménységméréseket végeztünk el annak érdekében, hogy meghatározható legyen, hogyan változik a sín keménysége a károsodott futófelülettől a sín belseje felé haladva. A 3 párhuzamos mérősorozat eredményei a futófelülettől mért távolság függvényében a 19. ábrán láthatók.

Az elvégzett keménységmérések eredményei alapján a vizsgált vasúti sín az érintett igénybevételek



19. ábra. A HV5 keménységmérés sorozatok mérési eredményei a futófelülettől mért távolság függvényében

hatására a futófelületen és a futófelület közvetlen környezetében jelentősen felkeményedett, a futófelülettől távol eső részek keménysége 100-120 HV értékkel is elmaradt a futófelület keménységétől, amire károsodási mechanizmus ismeretében számítani is lehetett.

5. Összefoglalás

A feldolgozott irodalmi adatok, valamint az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján a következő megállapítások tehetők:

1. A vonatok tengelyterhelésének és sebességének növekedése a vasúti sínek igénybevételeinek növekedését okozta, a vasúti sínek megnövekedett igénybevételei pedig a „head check” károsodás kialakulásához vezethetnek, ami szélsőséges esetben a sínek törését is okozhatja.
2. Az üzemeltető és az anyagvizsgáló szakemberek számára komoly kihívást jelent a „head check” károsodás detektálása a károsodás korai szakaszában, ugyanakkor a károsodás lejátszódásának jellegéből adódóan, a károsodás korai szakaszában történő kimutatásával és a beavatkozások elvégzésével a vasúti sínek várható élettartama

jelentősen megnövelhető.

3. A különböző, felületre nyitott, repedésszerű hibákra érzékeny roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások közül az örvényáramos és a fázisvezérelt ultrahangos vizsgálat lehet alkalmas a károsodás kimutatására a károsodás korai szakaszában, mivel ezek a roncsolásmentes vizsgálati eljárások viszonylag gyorsan és gazdaságosan elvégezhetőek és kiértékelhetőek hosszabb pályaszakaszokon is, valamint az észlelt repedések is méretezhetőek az említett roncsolásmentes vizsgálati módszerek által.
4. A pontos vizsgálati paraméterek meghatározása ugyanakkor további modellezéseket és pilot vizsgálatok elvégzését igényli.
5. E típusú károsodás csökkentésének (esetleges kiküszöbölésének) egy alapvetően eltérő módja lehet, ha a leginkább veszélyes helyeken más típusú (alapvetően hőkezelt – teljes térfogatra kiterjedő vagy felületi) sínek kerülnek beépítésre.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Tóth Lászlónak az odaadó lektori munkáért, valamint a munkám során nyújtott szakmai segítségért.

Irodalom

- [1] Lukas Prettnner (fordította: Tömő Róbert): Head Check meghibásodások miatt szükséges karbantartásokat csökkentenek; INNORAIL magazin, 2015/4. szám; <http://innorail.hu/head-check-meghibasodasok-miatt-szukseges-karbantartasokat-csokkentenek/>
- [2] Dr. Kazinczy László: Vasúti pályák; BMEEOUVAT22 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére; p.26.
- [3] Szemerey Ádám: A MÁV Zrt. üzemeltetésében lévő vonalak jellemzése; Sínek Világa; A Magyar Államvasutak Zrt. pálya és hídszakmai folyóirata; 2014. év 3. szám. <http://www.sinekvilaga.hu/a-mav-zrt.-uzemelteteseben-levo-vonalak-jellemzese?index=2>
- [4] Magyar Államvasutak: Építési és pályafenntartási műszaki adatok, előírások; I. kötet; Közlekedési Dokumentációs Vállalat, Budapest, 1987. p. 142
- [5] A. Belalia, Y. Kamla, M. Amara, M. Hadj Meliani, A. El Azizi, Z. Azari: Experimental and numerical investigation of UIC 54 rail degradation; Engineering Failure Analysis, 2019. Aug. 29.
- [6] Béli János, Dr. Horvát Ferenc: Sínef-hajszálrepedések kialakulása, a hibák mérése és minősítése; XIII. Vasúti Futástechnikai Konferencia, Pécs, 2010.10.19-20. p. 12.
- [7] Lukas Prettnner: Head Check meghibásodások miatt szükséges karbantartásokat csökkentő műszaki fejlesztések a vasúti síngyártásban; Sínek Világa; A Magyar Államvasutak Zrt. pálya és hídszakmai folyóirata; 2014. 6. szám; <http://www.sinekvilaga.hu/head-check-meghibasodasok-miatt-szukseges-karbantartasokat-csokkentemo-szaki-fejlesztések-a-vasuti>
- [8] Dr. Horváth Ferenc: Sínefjárosodási hibák kezelésének stratégiája, XVI. Közlekedési és Beruházási Konferencia, Bükkfüdő, 2015. 04. 15-17.
- [9] Dr. Wolfgang Schöch: Síkfelületi hiányosságok megelőzése és megszüntetése; Sínek Világa; A Magyar Államvasutak Zrt. pálya és hídszakmai folyóirata; 2014. 6. szám; <http://www.sinekvilaga.hu/sinfeluleti-hianyossagok-megeloze-es-megszuntetese>

Új szakmérnöki képzés: Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló



A **Debreceni Egyetem Műszaki Kara** új, Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló szakmérnök szakirányú továbbképzést indít várhatóan 2020-ban. A 180 óra terjedelmű 2 féléves képzés 13 különböző tantárgyaiban **20%-ot** képviselnek a **matematikai** (gépi tanulás, statisztika és végeselemes eljárások), **35%-ot** az **anyagokra** vonatkozó (tulajdonságok változása, hibák értékelése, szerkezetek megbízhatósága) és **45%-ot** a **roncsolásmentes vizsgálati** módszerek, ezek megbízhatósága és az ipar 4.0-ban betöltött szerepük). A képzést sikeresen befejező hallgatók a MAROVISZ második szintű roncsolásmentes anyagvizsgáló tanúsítását is megkaphatják.

A képzés részleteiről Dr. Mankovits Tamás tanszékvezető ad részletesebb tájékoztatást
(tamas.mankovits@eng.unideb.hu)

Forgattyús tengely siklócsapágyazásának tribológiai vizsgálata

Papp Szonja

Miskolci Egyetem, MSc Gépészmérnök hallgató, szony97@gmail.com

Összefoglaló:

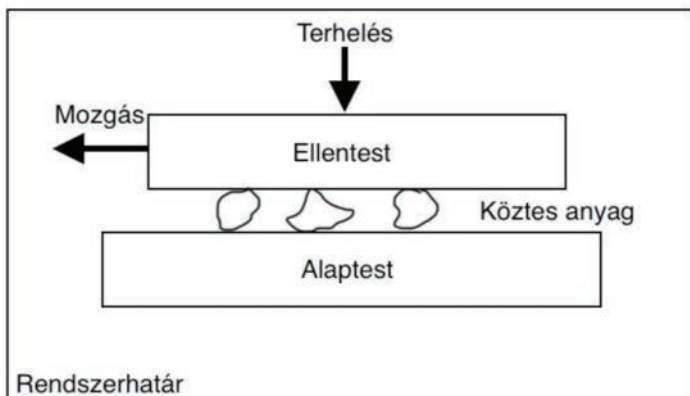
Az cikk témája forgattyús tengely siklócsapágyazásának tribológiai vizsgálata Tribology Simulator nevű szimulációs programmal. A vizsgálat során meg kell határozni a rendszerben jelenlévő kenési állapotot, a vizsgált csapágy szilárdságtani tulajdonságait, valamint a vizsgálati paramétereit. A betáplált adatokból a szoftver futtatásával eredményt kapunk a működés során fellépő erőkről, kopási mintákról.

Kulcsszavak:

tribológia, siklócsapágy, szimuláció, kopásvizsgálat

1. Tribológiai rendszer

Egy adott rendszer abban az esetben tekinthető tribológiai rendszernek, amennyiben a folyamatban jelen van legalább két egymáshoz képest elmozduló, érintkező felület. Kijelölünk egy rendszerhatárt, ezzel elkülönítve a rendszert a környezettől. A felületek érintkezésénél létrejövő kopási és súrlódási folyamatok miatt elkerülhetetlen a veszteség kialakulása (1. ábra). [1]



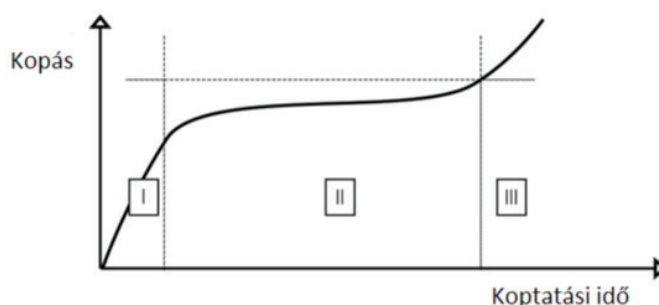
1. ábra. A tribológiai rendszer sematikus ábrája [1]

1.1. Kopás

A kopás a szilárd felületeken létrejövő anyagvesztés és deformitás, melyek mechanikai vagy kémiai behatás során keletkeznek. A különböző alkatrészek érintkezéséből adódó kopás csökkentésével növelhető az okélettartama. A várható kopási folyamat

leírására alkalmas az általános kopásdiagram (2. ábra) [2]

- I bejáratási szakasz
- II állandósult kopás
- III túlkopás (berágódás)

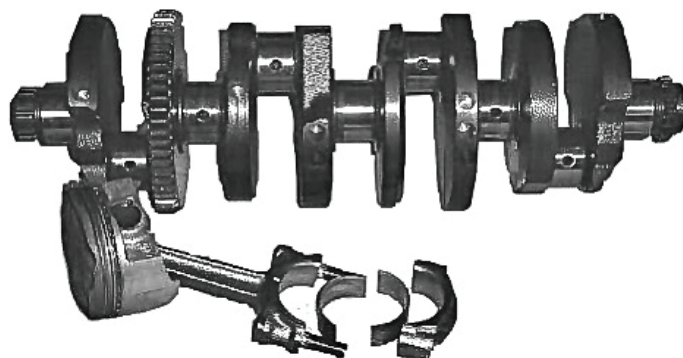


2. ábra. Jellegzetes kopásgörbe [3]

A bejáratási szakasz során az érintkező felületek „összekopnak”. A folyamat során kezdetben intenzív kopás figyelhető meg, majd idővel ez csökken, és belépünk az állandósult kopás szakaszába. Ebben a kvázi lineáris szakaszban éri el az alkatrész a bejáratott, használat kész állapotot egészen a túlkopás állapotáig. Berágódás esetén a felület kopási intenzitása hirtelen megnő, mely meghibásodáshoz vezet.

2. Forgattyús tengely szerepe

A forgattyús tengely fő feladata a forgó mozgás egyenes vonalú alternáló mozgássá alakítása, vagy ennek fordított alkalmazása. Általános felhasználása belsőégésű motorokban történik, amelyeknél a dugattyúk egyenes vonalú mozgását alakítja forgó



3. ábra. Forgattyús tengely felépítése

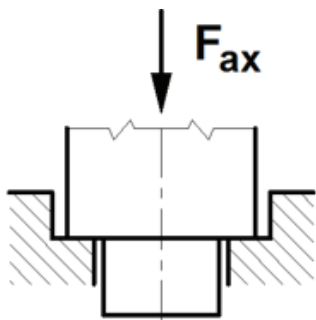
mozgássá. A tengely különleges kialakítása miatt tengelyirányban nem helyezhető fel csapágy, valamint nagy és váltakozó dinamikus terhelés jön létre működésnél. Ezek alapján olyan csapágyra van szükség, ami egyszerűen beépíthető, vagyis osztható, és nagy a radiális terheléssel szembeni ellenálló képessége. Így a forgattyúkar és forgattyúcsap közé siklócsapágy beépítése szükséges, amely általában bi-metálból vagy tri-metálból készül (3. ábra) [4]

3. Csapágyak szerepe

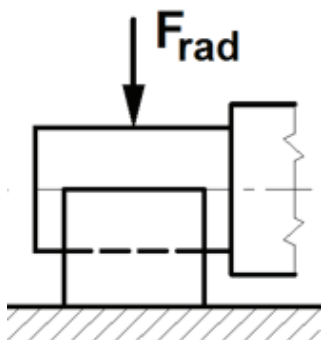
A csapágyak olyan gépelemek, amelyek tengelyek, forgó alkatrészek alátámasztásául szolgálnak, úgy, hogy a forgó mozgást minél kisebb ellenállás mellett, minél pontosabb vezetéssel biztosítsák. A csapágyba illeszkedik a tengelycsap. A csapágyaknak általában különböző terhelésekből adódó nagy erőket kell felvenniük, melyek származhatnak a forgó alkatrész súlyából, a kiegyensúlyozatlanságból származó forgó és alternáló tömegerőkből, vagy akár a gép működése folyamán fellépő más hatásokból is [5].

A csapágyak csoportosítása történhet működési elv és a terhelés iránya szerint. Terhelés iránya alapján megkülönböztetünk:

- Axiális (4. ábra),
- Radiális (5. ábra),
- Axiális és Radiális erők felvételére alkalmas csapágyakat.



4. ábra. Axiális terhelés



5. ábra Radiális terhelés

Működési elv szerint a csapágyak típusai lehetnek:

- Gördülőcsapágy
- Mágneses elven működő csapágy
- Rugalmas csapágy
- Siklócsapágy

3.1. Gördülőcsapágy

A gördülőcsapágyaknak két fő csoportját különböztetjük meg, a golyóscsapágyakat, valamint a görgőscsapágyakat, melyeknek terhelhetősége nagyobb. A gördülőcsapágyak fő jellemzői, hogy a csapágy erőfelvétele gördülő testeken keresztül megy végbe. Nagy előnye, hogy a gördülési súrlódás jelentősen kisebb ellenállással bír, mint a csúszási súrlódás.

3.2. Mágneses elven működő csapágyak

A mágneses elven működő csapágyak lényege, hogy a csap és a csapágy között létrejövő rést egy vezérelt elektromágnes biztosítja, melynek pozitív következménye képpen a csap és csapágy között nincs fizikai kontaktus, ezáltal csökkentve minimálisan a súrlódási erőt, valamint kivárva a mechanikai kopás jelenlétét. A mágneses csapágyak képviselik a legnagyobb sebességet elbíró csapágyakat, ugyanis nincs maximálisan megengedett relatív sebességük.

3.3. Rugalmas csapágyak

A rugalmas csapágyak nem alkalmasak forgó mozgás megvezetésére. Feladatuk kis szögelfordulás biztosítása kis ellenállással egy rugalmas elem közbeiktatásával. Nagyon alacsony és kiszámítható súrlódási erőt biztosítanak, és egyszerűségük miatt meglehetősen olcsók.

3.4. Siklócsapágyak

A siklócsapágyak, vagy más néven csúszócsapágyak a legegyszerűbb csapágykialakítással rendelkeznek. A csap és a csapágy között csúszó súrlódás jön létre. Egyszerű szerkezetüknek köszönhetően rendkívül gazdaságos a használatuk, valamint könnyen javíthatók. A gördülőcsapágyakhoz képest egy sokkal simább, csendesebb futást biztosítanak. Nagy hátrányuk azonban az elemek között fellépő nagy súrlódási erő és kopás, ami miatt fontos az optimális csapágyanyag megválasztása és a megfelelő kenés biztosítása.

4. Siklócsapágyak optimális anyagösszetételei

A siklócsapágyakat olyan anyagokból kell elkészíteni, melyek képesek nagy erőket felvenni, kicsi a súrlódási együtthatójuk, ellenállóak a megemelkedett hőmérséklettel szemben és korrózióállóak. Ezen szempontok figyelembevételével kell kiválasztani a megfelelő csapágy anyagot. Felhasználási területtől függően a legkülönbözőbb anyagokból választhatunk [6].

4.1. Bi – material

A bi – material, vagyis két anyagból álló csapágyaknál a külső, nagy terheléseket felvevő felületet fémből, míg a belső, csappal érintkező felületet műanyagból készítik. Az ellenálló külső fém héj képes nagyobb terheléseket is felvenni, míg a kevésbé strapabíró, belső műanyag hüvely kisebb súrlódásának köszönhetően simább járást és kisebb kopást eredményez.

4.2. Fehérfém

Rendkívül előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek a lágy, szárazon is jó súrlódási jellemzőkkel bíró fehérfém perselyek készült csapágyperselyek. Ezek a fehérfém perselyek készülhetnek ónból, ólomból vagy akár antimon ötvözetéből.

4.3. Grafit

A grafit szilárd kenőanyagként viselkedik, ebből következtethetően meglehetősen jó választás siklócsapágy anyagának. Vegyítetlen formában akár nedves körülmények melletti használatra is alkalmas.

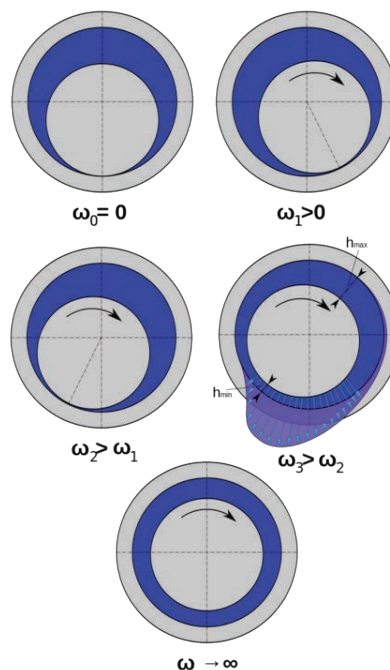
4.4. Plasztik

Manapság a műanyag csapágyak meglehetősen nagy népszerűségnek örvendenek, mivel nem igényelnek kenőanyagot, nem korrodálódnak, kicsi a tömegük és nem szükséges karbantartás. Azonban hátrányaik is akadnak. A hőtágulási együttható változása nem lineáris, valamint nagy tartományban mozog, ezért tervezésnél bonyolult vele számolni. A nem rendeltetésszerű használatból adódóan rendkívül gyorsan melegednek.

5. Siklócsapágy működési mechanizmusa

A siklócsapágnál a tengelycsap nyugalmi állapotban a csapágy aljára fekszik fel (6. ábra). Indításkor kezdetben száraz súrlódást kell a csapágnak le-

küzdenie, ugyanis csapágygyűrű belső felületén fekvő csap kiszorítja a rétegek közül a kenőanyagot. A sebesség növelésével a tengelycsap felkúszik a csapágy falán, gördülés során folyamatosan maga alá kenve a kenőanyagot, melynek hatására a falon való gördülés fokozatosan átvált csúszássá. A maga alá bevitt kenőanyagban olyan hidrodinamikai erők lépnek fel, melynek hatására a tengely elmozdul, és a sebesség növekedésével a forgás közel excentrikussá válik. Ekkor éri el a csapágy az üzemi állapotot [7].

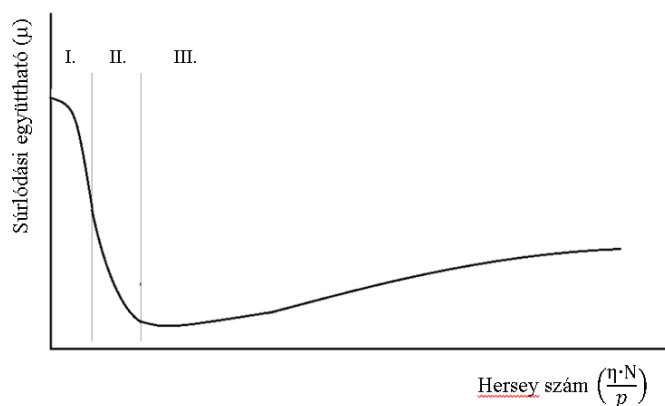


6. ábra. A siklócsapágy jellemző állapotai az életrciklusa során.

A forgás megszűnésével a tengelycsap visszakerül a kiindulási állapotba. Mivel a kezdeti határréteg súrlódás a nagy súrlódási együttható miatt jelentős veszteségekhez vezet, előfordulhat olyan helyzet, hogy energiatakarékosság szempontjából optimális a csapágy állandó működtetése a leállítás és újraindítás helyett. A Stribeck diagram (7. ábra) szemlélteti a siklócsapágy üzemeltetése során fellépő állapotokat, melyen jól látható az indításkor tapasztalható megnövekedett súrlódási együttható.

- | | |
|-----|-------------------------|
| I | Határréteg súrlódás |
| II | Vegyes súrlódás |
| III | Hidrodinamikus súrlódás |

A Stribeck görbe szemlélteti a súrlódási együttható és a Hersey szám kapcsolatát [8]. A Hersey szám egy dimenziótlanság, kenési állapotot leíró paraméter:



7. ábra. Stribeck görbe

$$\text{Hersey szám } \left(\frac{\eta \cdot N}{p} \right)$$

1. képlet

ahol:

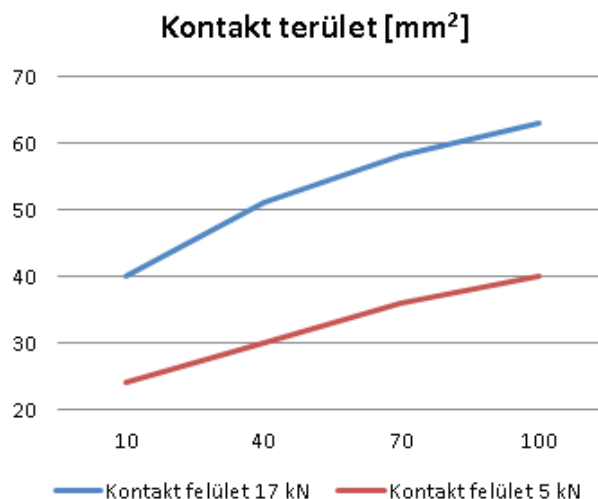
η : dinamikai viszkozitás,
 N : a folyadék sebessége,
 p : kontaktnyomás.

6. Tribológiai szimuláció

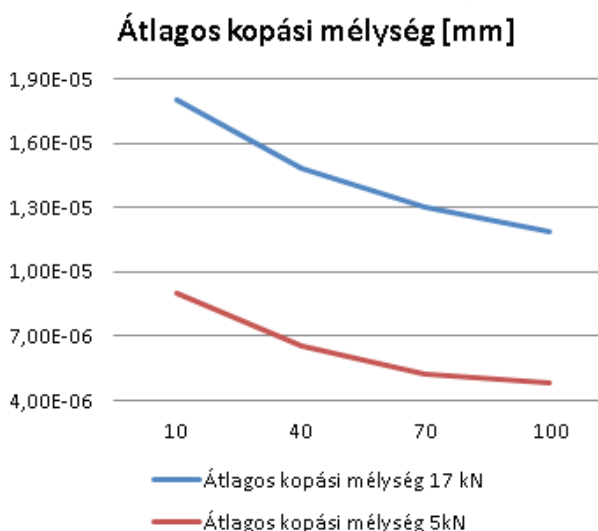
A kopás szimulációját a Tribology Simulator nevű szoftver segítségével végeztük el. A szoftver a leggyakrabban előforduló tribológiai érintkezési feladat szimulációjára alkalmas. A szimulátor fő funkciója a vegyes kenési körülmények közt érintkező kontaktfelületek között fellépő súrlódás számítása, amikor a terhelést részben a kenőanyag, részben pedig a közvetlenül érintkező felületek veszik fel. [9] Az eredmény kiértékelésénél a csapágyban bekövetkezett változásokat vizsgáltuk idő és terhelés függvényében. Mivel egy forgattyús tengely dinamikus terhelése a forgattyúkar és tengely által bezárt szög tekintetében változó, a szimulációt két különböző terhelés mellett futtattuk. Hozzávetőlegesen 17 kN terhelés lép fel abban az esetben, amikor a dugattyú működésbe lép. Ez a körülfordulásnak csupán rövid részét teszi ki, kb 10°. A működés során az átlag terhelés a tengelyen 5 kN, ezzel a faktorral végeztük a második szimulációt. Az így kapott eredményekből megállapítható, milyen mértékben befolyásolják a csapágy kopását a különböző terhelések.

7. Eredmények kiértékelése

Az alábbiakban láthatóak az Tribology Simulatorban kapott eredmények összesítései diagram formátumban: Az eredmények alapján látható, hogy nagyobb terhelés esetén a kopási folyamat gyorsul, ezáltal az



8. ábra Érintkező felület nagysága



9. ábra Átlagos kopási mélység

érintkező terület megnő (8. ábra). A csapágy felületén aránytalanul eloszló terhelés miatt fontos vizsgálni a különböző kopási mintákat, a várható élettartam számítása végett.

Irodalomjegyzék

- [1] Blau PJ.: Tribosystem analysis, 2016.
- [2] Chattopadhyay R.: Surface Wear – Analysis, Treatment and Prevention, 2001.
- [3] BME Járműgyártás és –javítás Tanszék: Károsodás (letöltés ideje: 2020.04.02.)
- [4] http://www.dansmc.com/bush_plain_bearings.htm (letöltés ideje: 2020.04.02.)
- [5] Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve 2. kötet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
- [6] Dean RR, Evans CJ: Plain bearing materials, 2003.
- [7] Williams J. A.: Engineering Tribology, 1994.
- [8] <https://www.tribology-abc.com/abc/stribeck.htm> (letöltés ideje: 2020.04.02.)
- [9] Tribology Simulator User Manual, www.tribonet.org, 2018.

Mikrooszlopok előfaragása szilícium egykristály mintán femtoszekundumos lézer segítségével

Maloveczky Anna^{1,*}, Windisch Márk¹, Szabó Dávid¹, Dr. Buza Gábor¹
Ugi Dávid²

¹Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, kutató

*anna.maloveczky@bayzoltan.hu

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, kutató, ugdaat@caesar.elte.hu

Összefoglaló:

Femtoszekundumos lézer segítségével elő-mikropillarokat készítettünk szilícium egykristályon. A kis fókuszolt-átmérő, az ultrarövid impulzushossz, és a nagy energiasűrűség új utakat nyit meg az anyagmegmunkálásban; a kezelt anyagon kisebb lesz a hőhatásövezet (HAZ), valamint precízebb, jobb minőségű anyagmegmunkálás válik lehetővé.

Kulcsszavak:

femtoszekundumos lézer, felület struktúrálás, mikromegmunkálás, mikrooszlop, hőhatásövezet

1. Irodalmi összefoglaló

Az elmúlt néhány évtizedben gyors fejlődésen mentek keresztül az ultrarövid impulzusú lézerek (azaz a piko- és femtoszekundumos lézerek). [1-3]

Ezeknek a lézereknek számos előnyük van a hagyományos (pl. nanoszekundumos) impulzuslézerekhez képest. A rendkívül rövid impulzusok eredményeként a hőhatásövezet (HAZ) mérete sokkal kisebb a kezelt anyagokban, ezzel kiváló minőségű megmunkálást tesz lehetővé mind a lágyabb, illetve a kemény, rideg anyagok esetében. Ennek magyarázata az, hogy az elektronoknak a kezelt anyagok elektron-fonon kölcsönhatási erősségétől függően 1-100 ps-ra van szükségük ahhoz, hogy a termikus energiát át tudják adni a rácsban lévő atomtörzseknek. Ez a femtoszekundumos lézereknél ahhoz vezet, hogy a besugárzott energiának csak egy nagyon kis része képes hővé alakulni.

Az ultrarövid impulzusú lézerek másik előnye, hogy rendkívül magas impulzus csúcsteljesítményt tudnak generálni, ami lehetővé teszi a multifoton abszorpció létrejöttét, így szigetelő anyagok is megmunkálhatóak vele (pl. üveg). [4,5]

Az egyfoton abszorpció nem képes a szigetelőanyagok elektronjait a vezetési sávba gerjeszteni. Azonban a multifoton abszorpció során a nagy fotonsűrűség miatt akkor is lehetővé válik az elektronok vezetési sávba gerjesztése, ha a tiltott sáv energiája

nagyobb, mint az alkalmazott fotoné. [1]

A fent leírtak miatt a femtoszekundumos lézerek képesek kiváló minőségben hiperszublimálni avagy ablálni. (Hiperszublimáció: nagy teljesítményű impulzuslézeres kezelés során plazmaállapotú anyagfelhő lép ki az anyagból és jól definiált gödröt, mélyedést hagy maga után. A szilárd anyag közvetlenül plazma fázisba alakul.) [1, 6, 7]

Így kimunkálhatóak mikrooszlopok, mikrocsatornák, mikrofuratok valamint akár stentek is.

A cikk tárgyát képező mikrooszlopokat egy kutatási együttműködés keretein belül, a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemmel közösen készítjük és vizsgáljuk. A tudományos életben (és a pástázó elektronmikroszkópok ionsugaras megmunkáló képességének fejlődésével) napjainkban a mikrooszlop faragások már nem számítanak áttörő jelentőségűnek, ugyanakkor nem is hétköznapi feladatról beszélünk. A mikronos és szubmikronos megmunkálás ugyanis nagy precizitást, komoly műszerezettséget és rengeteg időt (pénzt) igényel.

A bevett technikák időigényessége főleg abból adódik, hogy a kimunkálandó vizsgálati térfogat környezetéből sokszáz köbmikrométernyi anyagot kell eltávolítani, amely egy konvencionális Ga ionos technikával fél-1 munkanapot is igénybe vehet egy átlagos mikrooszlop esetében. A lézeres előásás alkalmazásával a munka durva része elvégezhető és mivel a HAZ mértéke nem számottevő, a finom, ionos megmunkálások során (mialatt a vizsgált oszlop valódi alakja testet ölt) teljesen eltűnik a lézer hatása.

A mikrooszlopokat anyagkutatási célokra használják. A képlékeny alakváltozás máshogy működik mikroszinten, mint makroszinten. A folyamatok megismerése egyrészt a mikroméretű alkatrészek elterjedése miatt, másfelől a diszlokációelmélet fejlesztése szempontjából fontos. [8, 9]

1.1 Alkalmazott lézer- és vizsgáló berendezések

A lézersugárforrás Coherent Monaco típusú. A su-

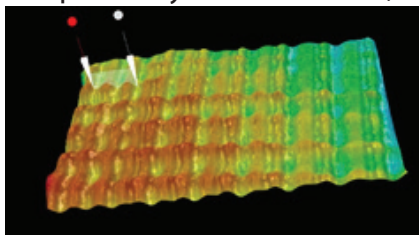
gárvezetés szál nélkül, tükrök segítségével történik a Scanlab gyártmányú z-kompenzációs lencsébe, majd a galvanotükrös F-theta lencsébe. Az ismétlési frekvencia: 188 kHz – 50 MHz-között változtatható, ami lehetővé teszi a berendezés ipari alkalmazásokra történő használatát is. Az impulzushossz 300 fs-től 10 ps-ig állítható (1 fs= 10⁻¹⁵ s). Bár az átlagteljesítmény 62 W, a maximális impulzusenergia pedig 200 μJ, a maximális impulzusteljesítmény 600 MW, ami rendkívül nagy energiasűrűséget jelent. A lézer hullám-hossza 1064 nm, a fókuszfolt átmérő pedig 80 μm.

A képalkotást Keyence VHX 2000-es optikai mikroszkóppal, a SEM felvételeket FEI Quanta FEG 3D elektronmikroszkóppal végeztük.

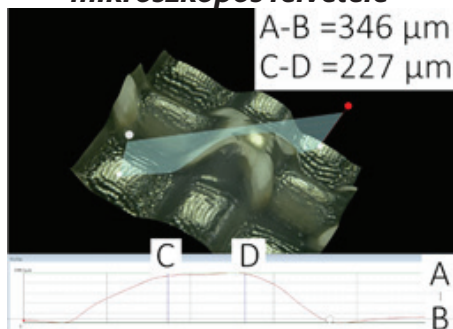
1.2 Mikrooszlopok készítése

Munkánk során elő-mikrooszlopot munkáltunk ki, amit később FIB-es utómunkával tökéletesítettünk. A lézer segítségével nagyságrendileg néhány perc alatt készíthető el több száz elő-mikrooszlop.

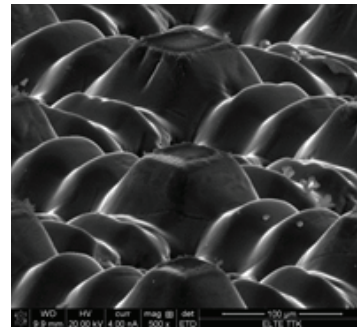
A mikrooszlopok elkészítése során négyzethálós elrendezésben árkokat munkáltunk szilícium egykristály lapkákba, az így kialakított árkok közötti részek az előgyártmányok. Egy ilyen mikropillar-erdő látható az 1. ábrán. A mikroszkóp fejét egy léptetőmotor mozgatta állítható lépésközzel letről felfelé, és az egyes állásokban készült képek éles részeit a szoftver összeillesztette. Így kaptunk 3D képet a mintáinkról. A piros szín jelenti a magasabban, míg a kék a mélyebben fekvő területeket. Egy-egy általunk készített oszlop néhány tíz mikrométer, de akár egy



1. ábra. Mikropillar-erdő 3D optikai mikroszkópos felvétele



2. ábra. 346 mikrométer magas mikrooszlop, 3D optikai mikroszkópos felvétele



3. ábra. 50 mikrométer magas mikrooszlopok

SEM felvétele

milliméter magas is lehet (lásd 2, 3. ábra).

Az anyagfizikai modell megalkotásának szempontjából fontos, hogy az oszlop tökéletes egykristály maradjon, így a hőhatásövezet jelenléte nem megengedett. A kisebb, 20-60 mikrométer magasságú oszlopoknál elhanyagolható HAZ-t mértünk EBSD-vel (visszaszórt elektron diffrakció), amit a FIB-es utómunka során könnyedén és gyorsan el lehet távolítani. Míg a nagyobb oszlopoknál, már jelentős, 20-30 mikrométer vastag HAZ-al kell számolni. Továbbá, a 2. ábrán megfigyelhető fehér színű területek oxidált, visszarakódott szilíciumra utalnak. Az oxidréteg keményebb, mint a szilícium egykristály, ezért FIB-el nehezebb eltávolítani. Azonban a HAZ és a visszarakódás mértéke a nagyobb oszlopok esetében minimalizálható, a lézersugaras kezelés paramétereinek optimalizálásával. Az eredmény szempontjából sokat számít, mennyi időt hagyunk az egyes pásztázási ismétlések között, továbbá alkalmazunk-e hűtőfolyadékot.

2. Összefoglalás

A munkánk során elő-mikrooszlopokat alakítottunk ki szilícium egykristályon, femtoszekundumos lézer segítségével.

A mikrooszlop készítésnek a diszlokációs elmélet fejlesztése, a mikro-alkatrészek elterjedése miatt van jelentősége.

A mikrooszlopok FIB-el történő kimunkálása rendkívül időigényes folyamat.

A célunk olyan méretű elő-mikrooszlopok készítése volt, ami jelentősen lecsökkenti a FIB-es utómunka idejét, de csak minimális térfogatban tartalmaz hőhatásövezetet.

Sikerült megfelelő méretű oszlopokat előfaragnunk, de a hőhatásövezet túl nagy volt, továbbá a felületre visszarakódott egy vastag oxidréteg.

Terveink közt szerepel, hogy optimalizáljuk a lézersugaras kezelési paramétereket a HAZ csökkentése érdekében: a pásztázási ismétlések között több időt várunk, továbbá hűtőfolyadékot is alkalmazunk.

Irodalom:

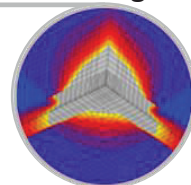
- [1] Sugioka K., Cheng Y.: Ultrafast Laser Processing: From Micro- to Nanoscale, 2013
- [2] Andreas Tuennermann Prof. Dr. Stefan Nolte Prof. Dr. Jens Limpert: Femtosecond vs. Picosecond Laser Material Processing: Challenges in Ultrafast Precision Laser Micromachining of Metals at High Repetition Rates, Laser Technik Journal, 2010
- [3] Zhen-Ze Li; Lei Wang; Hua Fan; Yan-Hao Yu; Qi-Dai Chen; Saulius Juodkazis; Hong-Bo Sun: Evolution of femtosecond laser-induced periodic structures: from nanoholes to regular structures, Nano Materials, Devices, and Applications, Proceedings Volume 11201, 2019
- [4] Malalahalli S. Giridhar, Kibyang Seong, Axel Schützgen, Pramod Khulbe, Nasser Peyghambarian, Masud Mansuripur: Femtosecond pulsed laser micromachining of glass substrates with application to microfluidic devices, Applied Optics 43(23):4584-9, 2004
- [5] Pablo Moreno, Cruz Méndez, A. García, I. Arias: Femtosecond laser micromachining of ceramics, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 44(1):9-12, 2005
- [6] David Gomez, Igor Goenaga, Ion Lizuain, Milagros Ozaita: Femtosecond laser ablation for microfluidics, Optical Engineering 44(5):1105, 2005
- [7] Ahmed Abdelmalek, Zeyneb Bedrane, El-Hachemi Amara, Belén Sotillo, Vibhav Bharadwaj, Roberta Ramponi, Shane M. Eaton: Ablation of Copper Metal Films by Femtosecond Laser Multipulse Irradiation, Appl. Sci. 2018
- [8] S.Akarapu, H.M.Zbib, D.F.Bahr: Analysis of heterogeneous deformation and dislocation dynamics in single crystal micropillars under compression, International Journal of Plasticity, Volume 26, Issue 2, Pages 239-257, 2010
- [9] E. C. Aifantis: Gradient Deformation Models at Nano, Micro, and Macro Scales, J. Eng. Mater. Technol., 121(2): 189-202 (14 pages), 1999

SZERKEZETINTEGRITÁS ÉS GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA OSZTÁLY

Tudásintenzív Szolgáltatások és Kutatás-fejlesztés

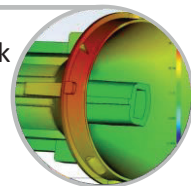
Megbízhatóság-biztonság üzemeltethetőség

- Hibaértékelés, károsodási folyamatok
- Élettartam elemzések, online monitoring
- Roncsolásmentes vizsgálattervezés



Termék és Technológia tervezés-modellezés

- 3D tervezés, mechanikai és hőtani elemzések
- Műanyag és fémtechnológiai modellezések
- Hajtásláncok dinamikája és tribológiája



VR és AR alapú megoldások

- Oktatás, tréning, munkavégzés támogatása
- Ipari és orvosi környezetek virtualizációja
- Jármű-vezetéstámogató rendszerek



Háttér

- Felkészült szakember állomány
- Egyedülálló ipari szoftverbázis
- Kimagasló számítási kapacitás



Szolgáltatási területek

- **Gyártó cégek**
 - Vegyipar-olajipar
 - Járműipar-gépipar
 - Műanyagipar
- **Energetika**
 - Erőművek
 - Szolgáltatók
 - Hálózat üzemeltetők
- **Közfoglalkoztatók**
 - Vasúti közlekedés
 - Közművelődés-Oktatás
 - Egészségügy



Kapcsolat

Dr. Szávai Szabolcs, osztályvezető

Telefon: +36-70-205-6455

e-mail: szabolcs.szavai@bayzoltan.hu



Szilícium felületkezelése femtoszekundomos lézerrel

Windisch Márk^{1,*}, Dr. Buza Gábor¹, Maloveczky Anna¹, Vida Ádám¹, Selmeczi Dániel², Dankházi Zoltán³

¹ Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft

² Semilab Félvezető Fizikai Laboratórium Zrt.

³ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar

*mark.windisch@bayzoltan.hu

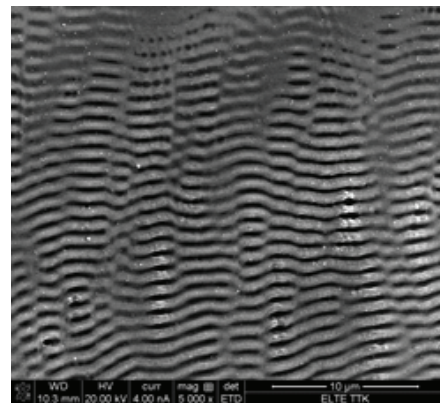
A femtoszekundomos lézer kiválóan alkalmas szilárd anyagok felületi kezelésére. A lézerrel történő besugárzás hatására a felületen különböző típusú felszíni struktúrák hozhatók létre. Jelen kutatás során szilícium egykristályon létrehozott különböző nano- és mikrométeres nagyságrendbe eső morfológiájú felületeket mutatunk be, lehetséges alkalmazásainak ismertetésével. Kiválasztva néhány adott struktúrát, visszaszórt elektrondiffrakcióval és spektroszkópiai ellipszométerrel határoztuk meg szerkezetét, majd az eredményeket összefoglalva további vizsgálati módszerként mikrokeménység mérést és pásztázó alagút mikroszkópos mérést tűztünk ki célul.

Femtoszekundomos lézer segítségével szilárd anyag; vezetőn, félvezetőn, bizonyos esetben szigetelőn különböző morfológiájú felületek hozhatók létre [1]. A felületi morfológiák az ultra rövid impulzusú lézeres technika következtében sokféleképpen alakíthatók, kontrollálhatók [1]. Az alkalmazott módszer további előnye, sok más módszerrel szemben, hogy rendkívül idő- és költséghatékony, ami az ipari felhasználhatóságnak egyik alapfeltétele. Egyik kutatási irányunk a szilícium egykristályon létrehozható felületi morfológiák különböző lézerparaméterekkel történő szabályozása, kialakult anyagszerkezet vizsgálata. Jelen cikkben bemutatunk néhány femtoszekundomos lézerrel Si egykristályon létrehozott felületi struktúrát, annak lehetséges alkalmazását. Két vizsgálati módszert kiválasztva ismertetünk egy konkrét példát a létrehozott morfológia szerkezetének megfigyelésére. Végül a kapott eredményeket összefoglalva, további vizsgálati technikák alkalmazásának lehetőségét mutatjuk be.

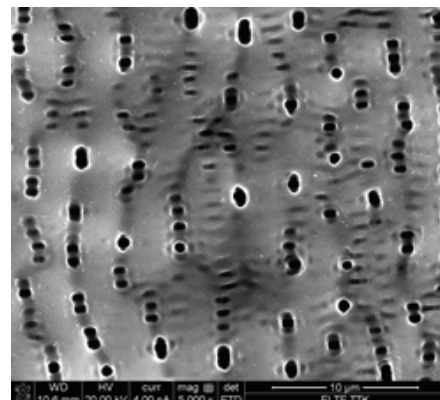
Az 1. ábrán a megfelelő lézerparaméterek esetén, Si egykristályon létrehozott eltérő morfológiájú felületi struktúrákat láthatunk. Az 1. a) ábrán a látható fény nagyságrendjébe eső periodicitású hullámos felület pásztázó elektronmikroszkópos képét láthatjuk, melynek mélysége tized mikron. A struktúra periodicitásának értékét a lézernyaláb hullámhossz-

za határozza meg. A létrehozott felszín lehetséges felhasználásában szerepel az optikai rácsként való alkalmazás, az antibakteriális felület kialakítása. A

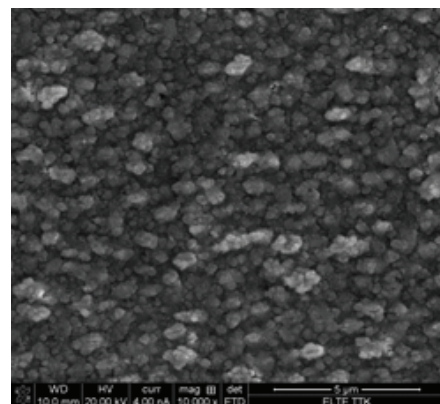
(a)



(b)



(c)



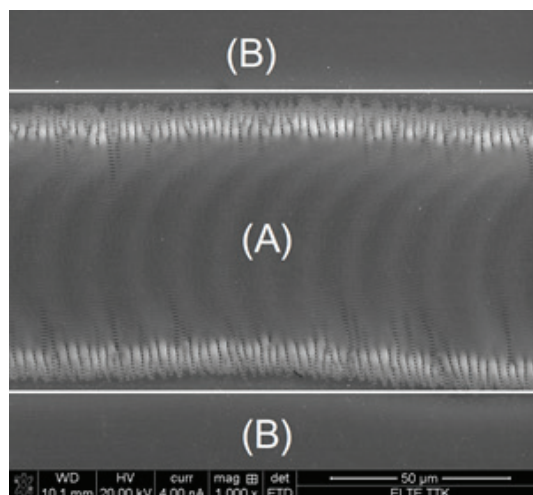
1. ábra. Szilícium egykristályon femtoszekundomos lézerrel kialakított a) hullámos felületi struktúra b) „lyukacsos” felszín c) „karfiolszerű” morfológia.

1. b) ábrán a hullámos struktúra elhalványul és egy „lyukacsos” felszín jön létre. A felszín különlegessége a gödrök néhány tized-mikron körüli szélessége, mely lehetővé teszi sejttenyésztési, illetve tribológiai felhasználásban. A 1. c) ábrán egy „karfiolszerű” felszín látható 50 – 100 nm-es képződményekkel. A felületi morfológiából adódóan a felület kiválóan alkalmas, erősített Raman spektroszkópiában használt szubsztrátok alapjaként [3]. A struktúrára vékonyrétegben (50-100 nm) ezüstöt párologtatva, tiofenon molekula esetében ezres felletti erősítésre is képes [4].

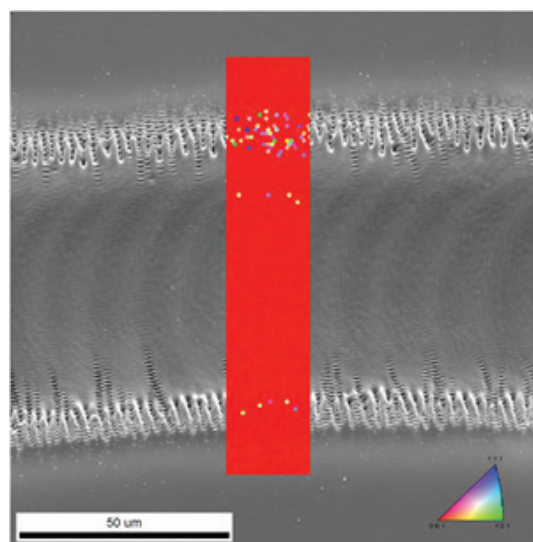
A struktúrák vizsgálata alapvetően optikai és pásztázó elektronmikroszkóppal történik, indokolt esetben atomerő mikroszkópot is használunk. A kialakult morfológia szerkezete több vizsgálati módszerrel megfigyelhető. Néhányat említve: visszaszórt elektrondiffrakció (EBSD = Electron Backscatter Diffraction), spektroszkópiai ellipszometria, mikrokeménység, transzmissziós elektronmikroszkópia vagy akár pásztázó alagútmikroszkóp (STM = Scanning Tunneling Microscope), illetve egyéb pásztázószondás metodikák. A felsorolt vizsgálati módszerekkel kapott eredmények kiegészítik, alátámasztják egymást. A módszerek közül jelen cikkben az EBSD-re és az ellipszometriára mutatunk be konkrét példát. Annak érdekében, hogy információt kapjunk a lézersugárral kezelt felület felső néhány 10 nm-es vastagságában lévő anyagszerkezetéről, a kezelt sáv irányára merőleges területen EBSD mérést végeztünk. Az eredményt a 3. ábrán láthatjuk, a kezelt sáv $\approx 50 \mu\text{m}$ -es része egykristály, melynek orientációja megegyezik a kezeletlen rész orientációjával. E szerint 3 lehetőség áll fenn.

Az első eset, a lézer nyaláb a kezelt felület közepét teljesen eltávolította, és az alatta lévő egykristályt látjuk. Másik lehetőség, hogy a nyaláb megolvastotta a szilíciumot és a gyors hűlés következtében egy epitaxiális kristálynövekedés következett be, azaz a mátrixnak megfelelő orientációjú kristály növekedett a kiindulási egykristályra. A harmadik eset pedig az előző kettő kombinációja, miszerint anyageltávolítás és epitaxiális kristálynövekedés is történt.

A kezelt felület szélén hullámos felszín jelenik meg, ahol néhány pontban látszólag változik az orientáció. Valójában ezen mért jelekből nem határozható meg egyértelműen az orientációváltozás. A hullámos felszín mellett detektorba kerülő visszaszórt elektronok hozama más és más lesz, mivel azok maximumát a morfológia geometriája megváltoztatja. Az felület szerkezetének pontosabb ismerete céljából ellipszométert használtunk.



2. ábra. Femtoszekundumos lézerrel (A) kezelt (B) kezeletlen terület.

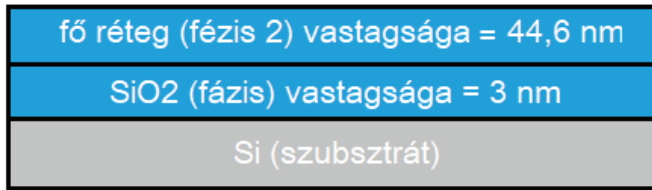


3. ábra. Femtoszekundumos lézerrel kezelt terület visszaszórt elektrondiffrakciós mérése.

ből ellipszométert használtunk.

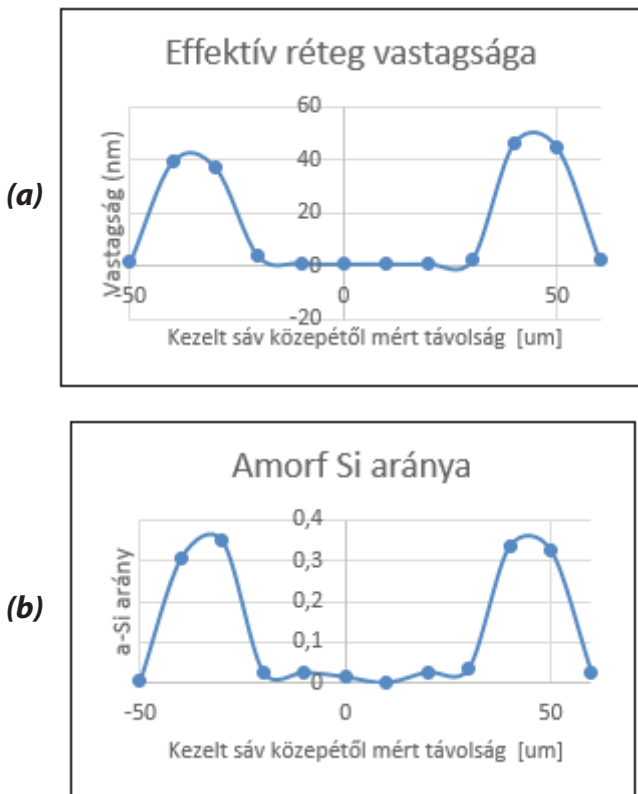
A lézerparamétereket változtattuk annak érdekében, hogy a kezelt sáv szélesebb legyen. Ezekről a területekről készült képek láthatók a 2-3. ábrán. Az egyik ilyen sávot $20 \mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$ -os folt mérettel rendelkező spektroszkópiai ellipszométer (SE) segítségével vizsgáltuk 10 mikrométerenként mérve a sáv hosszanti irányára merőlegesen. A mérőfolt hosszabb oldala ($40 \mu\text{m}$) a sáv hosszanti irányával volt párhuzamos, így a keresztirányú laterális felbontás $20 \mu\text{m}$, de ennél finomabb, 10 mikrométeres mozgással, felülmintavételezés által, ennél finomabb szerkezeti változás is kirajzolódni látszik. Az SE kiértékelés alapja a kezdeti optikai modell felállítása, melynek során a mérendő struktúra összes rétegének vastagságát, törésmutató valós és képzetes részének hullámhossz függését (diszperzióját) határozzuk meg [5]. A diszperzió leírása történhet különböző elmé-

leti vagy tapasztalati úton felállított függvények segítségével, illetve előre definiált adatokkal. Ebben a kiértékelésben a 4. ábrán látott modellt használtuk.



4. ábra. A kiértékeléshez használt optikai modell.

A modellben tehát a Si hordozó diszperzója a jól ismert, irodalmi Si kristályéval egyezik meg, a fölötte levő natív oxid vastagsága és diszperziója is fix. A lézer által módosított réteg vastagsága és diszperziója pedig a kiértékelés során a szabad, illesztendő paraméterek. A diszperzió három különböző anyag törésmutatójának keveréséből kapható meg, melynek során Bruggemann féle effektív-médium közelítéssel számolunk [5]. A három különböző anyag a Si, a levegő ($n=1$ és $k=0$ törésmutatóval), illetve egy a-Si jellegű anyag. A kiértékelés eredménye tehát nemcsak az effektív (kezelt) réteg vastagsága, hanem az optikai úton észlelhető amorf Si arány is. (Itt mindenképpen megjegyzendő, hogy az észlelt amorf Si törésmutatója lényegesen kisebb az irodalmi amorf Si törésmutatójánál, tehát az arány nem tekinthető abszolút koncentrációnak, viszont az anyagszerkezet változásának leírására alkalmas szám lehet.) Az



5. ábra. A modell segítségével meghatározott a) effektív réteg vastagsága b) amorf Si aránya.

illesztés során kapott eredményeket a 5. ábrán láthatjuk.

A 5. ábra a) és b) része szerint a sáv közepén a Si egykristály felett néhány nm natív oxidon kívül más nincs, míg a sáv szélén megjelenő hullámos felszín felső része 40 nm amorf Si, Si és levegő keverékét tartalmazza. A sáv közepén mért eredmények megerősítik, illetve kiegészítik az EBSD-vel mért eredményeket, miszerint csupán néhány nm-es natív oxid található a felszínen. A sáv szélén lévő hullámos-ságra pedig új információt kaptunk, mely szerint a struktúra néhány 10 nm-es rész eltér el a kristályos fázistól.

Femtosekundomos lézerrel Si felületen különböző periodikus struktúrák hozhatók létre, melyek alkalmazásának lehetőségére bemutattunk néhány konkrét példát. A létrehozott struktúrák egyikét kiválasztva vizsgáltuk a lézerrel kezelt terület anyagszerkezetét. Ezek alapján az SE és az EBSD által nyert eredmények alátámasztják és kiegészítik egymást. Mint azt bemutattuk, a lézerrel kezelt sáv szélén keletkezett hullámos struktúra szerkezete néhány 10 nm-ig amorf jellegű, alatta egykristály. A sáv közepén egykristály felett vékony, néhány nm-es, natív oxidon kívül más nincsen. Továbbá kérdés maradt, hogy a lézerrel kezelt sáv közepén lévő kristályos tartomány az alapanyag része és egy anyageltávolítás történt vagy pedig egy epitaxiális újra kristályosodás zajlott le. A probléma megoldására a jövőben a struktúra mikrokeménység mérésének vizsgálatát tűztük ki célul. A mikrokeménység adta értékekből, illetve a lenyomatok tulajdonságainak vizsgálatából szeretnénk következtetéseket levonni a natív oxid alatti rétegről. Ezen felül, kiegészítésként STM-mel történő elektron állapotsűrűség mérése adhat további információt a vizsgált rétegre vonatkozóan.

- [1] H. M. van Driel, J. E. Sipe, and J. F. Young, "Laser-induced periodic surface structure on solids: A universal phenomenon," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 49, pp. 1955–1958, (1982)
- [2] J. Bonse, S. Höhm, S. V. Kirner, A. Rosenfeld and J. Krüger, "Laser-Induced Periodic Surface Structures— A Scientific Evergreen," in *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 23, no. 3, (2017)
- [3] R. Pilot, E. Signorini, C. Durante, L. Orian, M. Bhamidipati, L. Fabris, A Review on Surface-Enhanced Raman Scattering. *Biosensors*, 9(2), 57. (2019)
- [4] E. D. Diebold, N. H. Mack, S. K. Doorn, E. Mazur, Femtosecond laser-nanostructured substrates for surface-enhanced Raman scattering. *Langmuir*, 25(3), 1790-1794. (2009)
- [5] H. Fujiwara, *Spectroscopic ellipsometry: principles and applications*. (2017)

A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete (MAE) elnökeinek rövid portréja

Tetmajer Lajos (vagy ahogyan a mérnöki tanulmányok során megismertük, Ludwig von Tetmajer) 125 éve, 1895 szeptember 9.-11. között Zürichben életre hívta az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetét. A MAGYAR ANYAGVIZSGÁLÓK EGYESÜLETE másodikként 1897. június 16-án alakult meg azzal az alapvető céllal, hogy hazánkat a nemzetközi rendezvényeken ez, és ne az osztrák-magyar egyesület képviselje. A II. Világháború végéig egyesületünk folyamatosan működött, majd az alapítás 100. évfordulóján a Miskolcra költözött elindult kezdeményezés hosszas vajúrást követően (Anyagvizsgálók Lapja, 2013/3-4) végül 2012-ben beérett. Az eltelt – immáron történelmi – kor nem csupán lehetőséget biztosít a Felelős Szerkesztőnek a visszatekintésre, hanem fel is szólítja arra, hogy megemlékezzünk dicső elődjainkről. Az alapvető kérdés ebben a helyzetben, a hogyan, milyen módon, miképpen? A történelem megismételhetetlen. Ami elmúlt, visszahozni nem lehet. Még törekedni sem szabad erre, hiszen a kudarc eleve adott. Mégis kapaszkodóként szolgálhat az a tény, hogy mindig és mindenkor voltak olyan emblematikus személyek, akik többet vállaltak a szakmáért, annak fennmaradásáért, a szakemberek összefogásáért, a tudás népszerűsítéséért. Ezek voltak az Egyesület elnökei. Álljon itt a névsoruk:

1. 1897-1904 Czigler Győző (műegy. tanár)
2. 1904-1910 Nagy Dezső (műegy. tanár)
3. 1910-1914 Czékus Aurél (min. tanácsos)
4. 1914-1917 Rejtő Sándor (műegy. tanár)
5. 1917-1924 Zielinski Szilárd (műegy. tanár)
6. 1924-1927 Gállik István (mint alelnök, államtitkár)
7. 1927-1930 Czákó Adolf (műegy. tanár)
8. 1930-1934 Zorkóczy Samu (műsz. vezérigazgató)

9. 1934-1939 Mihalich Győző (műegy. tanár)
10. 1939-1942 Quirin Leo (műegy. tanár)
11. 1942-1944 Misángyi Vilmos (műegy. tanár)
12. 2012-2014 Gillemot László, dr.
13. 2014-2019 Czinege Imre (professzor emeritus)
14. 2019 - Biró Gyöngyvér, dr. hab.

A 14 nevet felsorakoztató névsorra rápillantva két jellegzetesség ragadhatja meg szemünket. Az egyik egy űr, a mely 1944 és 2012 között tátong. Ezt akár a „politika okozta bombatölcsérnek” is tekinthetjük. A szakma azonban ekkor is élt, létezett csupán más formában, a Gépipari Tudományos Egyesület keretei között. Ezt a sérülést a jövőben igyekezni fogjuk javítani, döntően egy néhai kiváló szakember, dr. Lehofer Kornél gyűjtésére hagyatkozva. A szemet megkapó másik sajátossága az elnökök névsorának Biró Gyöngyvér személye, aki nőként elsőként vállalta fel ezt a nehéz, de megtisztelő feladatot.

A történelmi korra emlékezvén az Anyagvizsgálók Lapjának következő 14 számának mindegyikében visszatekintünk egy-egy elnökünk életére, főbb eredményeikre emlékeztetvén arra a korra, amelyben éltek, alkottak és bővítették tudásunkat.

Nehéz, de egyben könnyű helyzetben is vagyok az aktuális elnök bemutatása kapcsán, hiszen arról kell írnom, azt kell bemutatnom, akit személy szerint diákkora óta ismerem. Lehet, hogy elfogult, de az is lehet, hogy szigorú leszek. Döntse el a Tisztelt Olvasó!

Tóth László
Ny. egyetemi tanár

Dr. Biró Gyöngyvér

A Miskolci Egyetemen szerzett gépészmérnök diplomát, majd később a Debreceni egyetemen anyagtudományi mérnök-fizikus másoddiplomát.

Az egyetem elvégzése után a Miskolci Egyetem Mechanikai Tanszékén dolgozott főállásban 15 évig, majd 7 évig másodállásban. 1997 óta a jelenlegi Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. munkatársa. Kezdetben vezető kutatói, majd különböző szintű vezetői feladatokat látott el. 2013 év végéig a Bay kutatóközpont miskolci Logisztikai és Gyártástechnikai Intézetének (BAY-LOGI) vezető-

je volt. 2014-ben a Stratégiai Igazgatóság vezetését látta el, jelenleg a Mérnöki divízió igazgatója.

Eddigi kutatói pályafutása alatt több szakterületen is végzett kutatómunkát. Fő kutatási területei: a szerkezeti anyagok törési, károsodási folyamatainak vizsgálata és modellezése, a törésmechanika gyakorlati alkalmazása, szerkezetek, berendezések integritásának elemzése, kockázatalapú módszerek alkalmazása felülvizsgálat- és karbantartás-tervező rendszerekben a petrokémiai és energetikai iparban.



A műszaki doktori értekezésének témája ívhegesztések teljesítménynövelésének kutatása volt. A kandidátusi értekezését a szerkezeti anyagok dinamikus törésmechanikai jellemzőinek vizsgálati módszereivel kapcsolatos kutatási eredményeiből írta.

2011-ben habilitált a Miskolci Egyetemen „Szerkezeti anyagok töréssel szembeni biztonsága” témakörben.

A Miskolci Egyetemen eltöltött 22 év alatt számos tantárgy oktatásában vett részt: anyagvizsgálat, anyagismeret, törésmechanikai vizsgálatok, mechanikai technológiák, szerkezeti anyagok, anyagtudomány, anyagszerkezet. Tudományos tevékenységéhez kapcsolódóan több hallgató szakmai tevékenységét irányította diplomamunkák, TDK dolgozatok, PhD dolgozatok, illetve szakmai gyakorlatok keretében.

Számos külföldi egyetemen és kutatóintézetben járt hosszabb-rövidebb tanulmányúton Európában, Japánban és Dél-Amerikában.

Rendszeres résztvevője hazai és nemzetközi konferenciáknak, szakmai rendezvényeknek. Több hazai és nemzetközi konferencia szervezésében magam aktívan vett részt. Az elmúlt közel 40 éves szakmai pályafutása alatt számos hazai és nemzetközi K+F pályázat, ipari K+F és vállalati projektnek volt résztvevője illetve projektvezetője.

Kitüntetések, díjak:

- Gépipari Tudományos Egyesület Műszaki Irodalmi Díj, 1997.
- Széchenyi Professzori Ösztöndíj (1999-2002)

Főbb külső megbízatások, tudományos szakmai közéleti tevékenység:

- Európai Szerkezetintegritási Társaság (European Structural Integrity Society-ESIS) dinamikus vizsgálatokkal foglalkozó munkabizottságának társelnöke – 2000-2010
- ESIS Magyar Nemzeti Bizottságának titkára – 1994-2008
- Gépipari Tudományos Egyesület Borsod Megyei Elnökségének tagja – 2001-2007
- ICF (International Conference on Fracture) Magyar Nemzeti Bizottságának titkára – 2000-2004
- Magyar Tudományos Akadémia Köztestületi tag – 1995-
- MAB Mechanikai Technológiai munkabizottság, Anyagtudományi albizottságának titkára – 1998-2002
- Magyar Mérnökakadémia tagja (2001-)
- Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete elnökségi tag (2012-2014)
- MTA Anyagtudományi Munkabizottságának tagja (2009-2017)

Összes publikáció:

- Külföldi folyóiratokban megjelent idegennyelvű cikkek: 24
- Magyar folyóiratokban megjelent cikkek: 18
- Külföldi konferencia kiadványokban megjelent publikációk: 54
- Hazai konferencia kiadványokban megjelent publikációk: 54
- Oktatási segédletek, tankönyv fejezetek: 11
- Szóbeli előadások: 55
- WoS hivatkozások száma: 54
- Összes impakt factor: 20,4

Skopál István

Biztosan több mint egy évtizede találkoztunk először a MAROVISZ, majd később a szabványosítás égisze alatt. Mielőtt tovább lépnénk "becsületes szakmád" részleteihez, arra kérnélek, hogy "lexikon-szerűen" mutakozz be, mert ilyet nem találtam sem az interneten, sem pedig a különböző lexikonokban.



Előbb engedd meg, hogy én is visszatekintsek a múltba ismeretségünk eredete után kutatva. Emlékezetem szerint az első találkozásunk „féloldalasan” már 1998-ban megtörtént, amikor Aligán a TÜV-ös Létesítménytechnikai Konferencián hallottam egy előadásodat. Most pedig a bemutatkozás, mint a manapság szokásos önéletrajzokban:

Iskolák, szakképzettségek:

1970-1975 Eötvös Loránd Tudományegyetem, fizikus szak, okleveles fizikus

1996-1999 roncsolásmentes anyagvizsgáló tanfolyamok, ET3, UT2, PT2 és VT2 – OKJ-s szakképzettség és MSZ EN 473 szabvány szerinti tanúsítvány

2012 érvényes tanúsítvány: ET3

Nyelvismeret:

német és angol – tárgyalóképes, sok éves szakfordítási gyakorlattal

Munkahelyek, szakmai tevékenységek:

1975-1990 MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézet, tudományos munkatárs

az elektromos ellenállás és a kristályszerkezet közötti kapcsolat vizsgálata
porkohászati termékek roncsolásmentes ellenőrzése

ipari vizsgálati technológiák fejlesztése
elektromágneses vizsgálatok matematikai modellezése

1991-1993 LIS Befektetési Kft., tudományos munkatárs, kísérleti villamos gépek energia-vesztéseinek vizsgálata

1994-2009 AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző ZRt, örvényáramú és fejlesztési

csoport-vezető

ipari hibavizsgálatok és mérések, vizsgálatok szervezése és szakmai irányítása
speciális ipari vizsgálati technológiák kifejlesztése

kapcsolattartás megrendelőkkel és alvállalkozókkal, ajánlatok készítése
marketing tevékenység, szakmai napok megszervezése és lebonyolítása

2010- egyéni vállalkozó, anyagvizsgáló szakértő, atomerőművi roncsolásmentes vizsgálatok minősítése, anyagvizsgálati munkák, tanfolyami oktatás

Oktatási és más szakmai tevékenységek:

- oktatási tematika és jegyzet készítése örvényáramú anyagvizsgáló képző szaktanfolyamokhoz
- oktatás és vizsgáztatás anyagvizsgáló képző szaktanfolyamokon
- vizsgakérdések összeállítása anyagvizsgáló szakképesítő és minősítő vizsgákhoz
- szakmai publikációk hazai és nemzetközi konferenciákon, illetve műszaki folyóiratokban
- roncsolásmentes vizsgálati szabványok fordítása
- részvétel az EN 473 és ISO 9712 szabvány harmonizálását végző nemzetközi munkacsoport munkájában
- projekt menedzser és szakmai lektor a „Roncsolásmentes anyagvizsgálók minősítése – Európai képzési program továbbadása” nevű Leonardo-projektben
- részvétel az ISO/TR 25107 és 25108 jelű útmutató és az ISO 9712 jelű szabvány revízióját végző nemzetközi munkacsoportok, illetve műszaki albizottság munkájában

Mindig is szerettem a fizikusokkal, mérnökökkel dolgozni, mert a természettudományok talaján biztosan állva megalapozottan és határozottan lehetett velük együtt „lépkedni”. Ehhez társult – általában – sokoldalúságuk, így az élet legkülönbözőbb területein megállták a helyüket és sikereket tudtak felmutatni. Említenél néhány példát?

Örülök, hogy ez a véleményed; ha visszagondolok egykori évfolyamtársaimra, közülük sem jut eszembe senki, aki amolyan „elvarázsolt” szakbarbár lett volna. Ami engem illet, mindig is szerettem tanítani

(18 éves koromtól gyakorlom ezt a tevékenységet), versenyszerűen sakkoztam (bár túlnyomórészt csak csapatversenyeken játszottam), nyolcad magammal végig csináltam egy „házilagos kivitelezésű” társasház-építést (javarészt az építőközösség vezetőjeként, a 80-as évek elején), sokat fordítottam németből és angolból (vegyipari szabadalmakat, számítástechnikai cikkeket, anyagvizsgálati szabványokat).

Válaszod előző néhány sora meggyőzőtt a „fizikusi szemlélet” két lábon állásának hitelességéről. Pályádat kutatóintézetben, a MÜFI-ben kezdted. Hogy kerültél ide és mi volt a „feladatod”? Mielőtt visszakérdeznél, hogy miért használtam a „feladat” kifejezést, gondold arra, hogy a padsorból ki került fiatal először mindig ezt kapja, majd később önállósodik és próbálja saját gondolatait a gyakorlatban kipróbálni.

Doktori ösztöndíjra jelentkeztem és vettek fel a Fémkutatási Főosztály Fémfizikai Osztályára. A kiírás szerint volframhuzalok mágneses ellenállásváltozását kellett volna vizsgálnom alacsony hőmérsékleteken. Azonban az ehhez szükséges, szupravezető mágnessel felszerelt kriosztát szállítása több, mint egy évet késett, így addig is egy másik – egyébként az előbbihez kapcsolódó – feladatot kaptam: próbáljam megmérni volframhuzalokban a szemcsehatárok ellenállásjárulékát úgy, hogy az áram a hosszanti határookra merőlegesen folyik, azaz örvényárammal. Ez végül nem sikerült, de az örvényáramos módszer bevált előszinterelt (kb. 50%-os porozitású) volframrudak homogenitásának a vizsgálatánál, amit az Egyesült Izzó megbízásából végeztünk. Amikor pedig kíváncsiságból hosszabb idő után újból megmértem a rudakat, észrevettem, hogy azok elektromos vezetőképesége csökkent. Kimutattam, hogy ez atmoszférikus hatás, ami hidrogén gázzal végzett kezeléssel megszüntethető, azaz az eredeti állapot visszaállítható. Ezekből a munkákból született az első két publikációm, és így ismerkedtem meg az örvényáramú vizsgálatokkal.

Ami a doktori témádat illeti, nekem „szabadalom-gyanús”. Nem gondoltál erre? De lépünk egyet, 15 évet töltöttél a MÜFI-ben, kutatói környezetben. Milyen újabb részleteket adott számodra e „légkör”?

Természetesen a rudak homogenitásának volt gyártástechnológiai jelentősége, de a vizsgálat gyártásba illesztése, illetve szabadalmaztatása egyáltalán nem került szóba.

Először is, volt az intézetben egy rendszeres szeminárium-sorozat a fiatal kutatók számára, aminek keretében kölcsönösen megismerhettük egymás munkáját, egyben az egész intézet tevékenységét. A 70-es évek végétől egyre több ipari megbízást nyert el a kutatóintézet, egyeseket OTKA pályázatok révén. A mi főosztályunk, amelyik eleve több szalon kötődött az Egyesült Izzóhoz, gyakorlatilag az izzószál-gyártás teljes vertikumával foglalkozott. Ehhez tartozott, hogy belső szeminárium formájában feldolgoztunk egy porkohászati kézikönyvet. „Belekóstoltunk” az acélkohászatba is a Dunai Vasműben, például kísérletet tettünk folyamatosan öntött bugákon a megszilárdult kéreg falvastagságának mérésére örvényáramos technikával, öntőgépre felszerelt mérőfejekkel, a vékony kéreg tartományában. Ezt komoly modellszámításokkal is igyekeztünk megtámogatni. Nem jártunk sikerrel, de ennél ígéretebben indult „acélos” projektek is elhaltak, mert sem nálunk, sem a minket támogató műszaki részlegen nem volt meg az a tudás és tapasztalat, ami ezen az ipari területen szükséges lett volna. Az utolsó fejlesztő munka, amiben részt vettem, egy huzalrepedés-vizsgáló építése volt, ami a Lenin Kohászati Művek „Csavargyára” (nem veszek rá mérget, hogy ez volt a gyár pontos neve) részére készült. Bár eredményesen haladtunk előre, késtünk a teljesítéssel, a szükséges szerződés hosszabbításra pedig már nem került sor: ’89 őszén megkezdődött a kutatóintézet, egyben a csoportunk eróziója, és ’90-ben az LKM is felbomlott.

Végül, az utolsó egy évben a SZTÁV megbízásából hárman elkészítettük az első örvényáramos tanfolyami jegyzetet.

Miért és hogyan kerültél egy – látszatra – teljesen új munkakörbe?

A következő munkahelyemen is fizikusként dolgoztam, számításokat végeztem ott tervezett villamos gépek veszteségeire vonatkozóan. Sajnos az csak a munkába állásom után két héttel derült ki, hogy ezeket a gépeket a cég tulajdonosa egyfajta örökmozgóknak szánja, azaz több energiát akar kinyerni belőlük, mint amit a működésükbe befektet, leszámítva persze a veszteségeket. Ennek a mániájának a lehetetlen voltáról senkinek sem sikerült meggyőzni őt, így a cégnél megfordult munkatársaknak a viszonylag jó kondíciókon túl nem sok örömet okozott az ott eltöltött idő.

Egy fizikust (mint munkatársat) a természeti törvényekkel ütköző fejlesztésre „kényszeríteni” – nálam a „bűn” (a „butaságot” nem tekintve) kate-

gória. Hogyan léptél tovább a szakmában?

Az a meglátásom, hogy az ilyen emberek (nemrég volt szerencsém egy másikhoz is) fanatikusok, ők másként gondolkodnak erről. Másfelől a „kényszer” addig tart, amíg nem talál az ember jobbat. Szerencsémre az AGMI Mechanikai Laboratóriuma munkatársat keresett, és én jelentkeztem a hirdetésükre. Végül nem ott, hanem a Roncsolásmentes Vizsgálati Laboratóriumban „kötöttem ki”, ahol Klausz Gábor – akivel már ismertük egymást a MALÉV laborban tartott, első (SZTÁV által szervezett) örvényáramú tanfolyamról – bővíteni kívánta az örvényáramú és fejlesztési tevékenységet.

Valószínűleg igazad van, a „zseni és örült” időnként elmosódó határvonalára gondolván! Az AGMI-ban 15 évet töltöttél el, ami nem egy „múló pillanat”? Néhány tevékenységedet össze tudnád foglalni?

A legfőbb az örvényáramú vizsgálatokat és – ha volt ilyen megrendelés – a vizsgálatfejlesztési tevékenységet végző csoport munkájának irányítása volt. Az eredményeinkről több konferencián is beszámoltam. Közben – miután elvégeztem a megfelelő tanfolyamokat – az UT, MT, PT és VT munkákból is kivettem a részem, mint ahogy a laborunknak a paksi atomerőműben és a százhalombattai finomítóban rendszeresen vállalt feladataiból is. A csoportom munkáit persze menedzselni kellett: előkészítő megbeszélések, árajánlatok összeállítása, az újabb lehetőségek érdekében pedig marketing. Összességében, a legtöbbet különféle hőcserélő csövek örvényáramú vizsgálataival foglalkoztam ez alatt a másfél évtized alatt. És el ne felejtsem: éves átlagban kb. egy ET tanfolyam.

Az utóbbi évtized életrajzodban „egyéni vállalkozó, anyagvizsgáló szakértő” kifejezésekkel szerepel. Mit takar ez?

Negyedszázada vagyok egyéni vállalkozó (is), ebbéli minőségemben fordítottam/fordítok szakmai szövegeket, oktattam/oktatok anyagvizsgáló tanfolyamokon, dolgoztam (persze már nyugdíjasként) AGMI-s örvényáramú vizsgálatokban és veszek részt (2007. óta) az atomerőművi roncsolásmentes anyagvizsgálatok minősítésében.

Engedd meg, hogy egyik utolsó kérdésem a „fizikus és az ipar” koherens, szemikoherens vagy inkoherens kapcsolatára vonatkozzon. Tapasztalatod, életszemléleted és képzettséged alapján

hogyan ítéled meg a „koherencia szintjét”?

Nagyon összetett kérdés! Mondhatnám, hogy a fizikus mindennel „koherens” – vagy inkább „kompatibilis”, például lehet belőle kancellár (Angela Merkel), NATO-főtthkár (Javier Solana), vagy sokoldalú üzletember (Elon Musk). De az ilyenek nyilván kivételes személyiségek.

Az egyetem az alapvető természeti jelenségekkel és törvényekkel, valamint e törvények elméleti és kísérleti alkalmazásaival ismerteti meg a fizikus hallgatókat. Arra készíti fel őket, hogy új/újabb fizikai jelenségeket legyenek képesek megérteni, megvizsgálni és az azzal kapcsolatos paraméterek közti összefüggéseket feltárni. Ez lényegében kutató munka, akkor is, ha az alkalmazott fizika körébe tartozik. Az alap- és alkalmazott kutatások és az ipar – termékgyártás, energiatermelés, infrastruktúra-építés, stb. – között van egy nagy lépcső: a fejlesztés. Ez már a mérnökök és technikusok területe, az ő munkájuk nélkül nem lesz termék semmilyen tudományos felfedezésből sem. (Itt a vegyszerekre és biológusokra is gondolok.) Ilyen értelemben a fizikus nem „kompatibilis” az iparral.

Másfelől számos jó példa igazolja, hogy kiválóan tudnak együttműködni a fejlesztőkkel, akár meghatározói is lehetnek a sikeres, közös munkának. Gondoljunk csak az Egyesült Izzó legendás kutató laboratóriumára, ahol – többek között – megalapozták az elektroncsövek, a fénycsövek és a radarok gyártását, és amelyet hosszú éveken át az egyetemi katedráról odacsábított Bay Zoltán fizikus professzor vezetett. De említhetem a félvezető lapkák minőségének ellenőrzésére alkalmas, ún. mélynívó-spektroszkópot is, amit a MÜFI-ben fejlesztettek ki – a Félvezető Főosztály kutatóinak döntő hozzájárulásával – és az intézet kezdett el gyártatni. Az exportképes készülékkel később egy önálló kft. kezdett el foglalkozni, amely ma a félvezető elemek mérései terén az ötödik legnagyobb cég a világon.

Kedves István! Azt hiszem, hogy megadtad a „zárszót” a 120 éve született Bay Zoltán nevének említésével, akiről egy megemlékezés is olvasható lapunk e számában. Öröm volt veled beszélgetni. Köszönöm, hogy rendelkezésünkre álltál, engedted nekünk (a Tisztelt Olvasóra gondolok), hogy bepillantsunk életedbe, gondolataidba, eredményeidbe. Kívánok neked nagyon jó egészséget, „vírusmentes” időszakot. Éppen most jelent meg a médiák különböző csatornáin, hogy a koronavírus áldozatainak száma hazánkban is meghaladta a 100 főt. Vigyázzunk másokra és magunkra!!

Tóth László, Felelős Szerkesztő

Az Anyagvizsgálók Lapjának kiadói

Tóth László

¹Nyugalmazott egyetemi tanár, laszlo.toth@bayzoltan.hu

Összefoglaló:

A lap alapítója a TESTOR Bt. tulajdonosa, Szappanos György, aki a rendszerváltozás lehetőségeit kiválóan ismerte fel. A mérőeszközök beszerzése, fogalmazása területén ismert szakember 1991-ben alapította a lapot, meglátván a nem csupán a marketing célokat, hanem cégének a szakmai életben elfoglalható helyét is. Kiváló szerkesztő Bizottságot állított össze. A MAROVISZ 1997-ben alakult felismerve a civil mérnökszervezetek erodálását, és folyamatosan erősödött. Szappanos György és a MAROVISZ elnöke, Prof. Trampus Péter kölcsönösen előnyös megállapodásra jutott azzal, hogy a szakmai folyóirat gondozója 2006-ban megváltozott. E közlemény ennek dokumentumait mutatja be a Tisztelt Olvasóink számára.

Kulcsszavak:

TESTOR Bt., Szappanos György, MAROVISZ, Prof. Trampus Péter, Anyagvizsgálók Lapja

Alapítás körülményei

A TESTOR Anyagvizsgáló - Méréstechnika Betéti Társaság alapításának időpontja 1989. december 12 (<https://www.ceginformacio.hu/cr9310512161>). A cég bejegyzésének címe: 1124 Budapest, Meredek u. 45. A tulajdonosi kör/tulajdonos szakmai tevékenysége a cég nevében megfogalmazott területen már korábban ismeretes volt, elsősorban a külkereskedelemhez köthetően. A rendszerváltást megelőző időszak állapotát egyszerű szavakkal jellemezve így

Átadás-átvételi megállapodás

az Atestor Kft. ügyvezetője és a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (Marovisz) elnöke között az Anyagvizsgálók Lapja folyóirat kiadásának folytonosságáról.

A különböző iparágakban, a minőség- és állapotellenőrzés területén tevékenykedő honi anyagvizsgáló szakmai közösség igényeit szem előtt tartva az Atestor Kft. (1016 Budapest, Aladár u 19) térítésmentesen átadja és a Marovisz (1211 Budapest, Varrógépgyár u 8-10) átveszi az 1991-ben alapított* Anyagvizsgálók Lapja folyóirat tulajdoni és kiadói jogát mind a nyomdai (ISSN 1215-8410) mind az elektronikus** (HU ISSN 1787-5072; önállóan indítva 2006-ban) változataira vonatkozóan, beleértve a lap www.anyagvizsgaloklapja.hu honlapjának arculatát és kezelési szoftverét is, mégpedig 2006. november 2-ától.

A lapkiadás zökkenőmentes és ütemes folytatása érdekében az Atestor Kft. a lapkiadás technikai részletei tekintetében információ-átadással segíti – igényei szerint – a Marovisz-t.

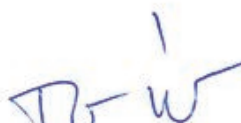
Átadásra kerültek:

* Az Anyagvizsgálók Lapja B/SZI/990/91 sz., a Művelődési és Köznevelési Minisztérium által kiállított lapkiadási okirat.

** Az Országos Széchényi Könyvtárban működő Magyar ISSN Nemzeti Központ levele

Budapest, 2006. november 2.


Szappanos György,
az Atestor Kft. ügyvezetője


Dr. Trampus Péter,
a Marovisz elnöke

1. Kép. Az ATESTOR Kft. és a MAROVISZ megegyezésének szövege.



2. Kép. Az Anyagvizsgálók Lapja kiadói jogának átadás- átvételének résztvevői

(állnak; balról-jobbra: Trampus Péter, Szappanos György, ülnek; jobbról-balra: Borbás Lajos, Fodor Olivér, Lehofer Kornél, Mihucz Viktor)

beszélhetünk; devizahiány, műszerek beszerzésekor devizával történő fizetés, centralizált beszerzés, túlburjánzott és lassú adminisztráció, hazai gyártás hiánya, stb. Mindezek következménye az anyagvizsgálat, méréstechnika színvonala messze elmaradt a nemzetközi átlagtól. A rendszerváltást követően első lépésként robbanásszerűen megnövekedett a külföldön gyártott anyagvizsgáló berendezéseket és méréstechnikai eszközöket forgalmazó hazai cégek száma. A TESTOR Bt. ezek egyike volt, amely éppen a tulajdonos(i) kör) élettapasztalata, kapcsolatrendszer miatt kedvező helyzetben volt, így „extra profitra” tehetett szert. A tulajdonosi kör ennek egy részét a szakmai marketing céljaira fordította azzal, hogy újtárra indította az Anyagvizsgálók Lapja kiadványt egy kiváló szerkesztő garnitúrával. Ennek élére állt a precizitásáról híres (hírhedt) Dr. Lehofer Kornél (1934-2007)¹, a műszaki tudomány kandidátusa. E szerepét haláláig lelkiismeretes töltötte be.

A cég neve időközben ATESTOR Kft.-re módosult, székhelye is változott (<https://www.ceginformacio.hu/cr9310512161>). Lényegesebb volt azonban az, hogy a piac átalakult, szegmentálódott és egyre

több hazai cég alakulásával a konkurencia jelentősen megnőtt. Ennek következménye az un. „extra profit” csökkenése. Egy szakmai lap fenntartása, periodikus megjelentetése folyamatos – meglehetősen nagy terhet ró a kiadóra a hazánkra jellemző szűk olvasói kör létszámának figyelembevételével. Időközben az 1997-ben alapított Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség, a MAROVISZ az elnök, prof. Trampus Péter és a mindenkori elnökség koncepciózusos és dinamikus tevékenységének eredményeként jelentősen megerősödött. Ennek egyik eredménye volt az, hogy a MAROVISZ 2006. november 2.-i dátummal átvehette az Anyagvizsgálók Lapjának kiadási jogát. Az alapító pedig mindezt térítésmentesen biztosította. A megállapodás szövege olvasható az első képen.

Azóta újabb mintegy 15 esztendő telt el; az új tulajdonos, valamint a mindenkori szerkesztő bizottság, ill. annak tagjai „testközelben szembesültek” egy nagyon kicsi méretű piacra készített szakmai lap megjelentetésének mindennapi nehézségeivel. Az átadás-átvétel résztvevőiről készült fényképfelvételt a 2. Kép szemlélteti.

¹ Tóth L.: Lehofer Kornél (1934-2007), Anyagvizsgálók Lapja, 2007/3, p.123-124.

In memoriam Lehofer Kornél

(1934.09.30.-2007.06.04)

Visszaemlékezés az Anyagvizsgálók Lapja kezdeteire (1991-2006)

„Ne úgy jussak az eszedbe, hogy belerándulj a fájdalomba, hanem úgy, hogy elmosolyodj.”

Szabó Magda

Kornél. Csak így egyszerűen, röviden, mint egy tekintélyt adó személynév és becenév egyben. Mert vannak emberek, akiknek elég egyik nevét említeni, s mindenki tudja kire gondoljon, s nem azért, mert olyan ritka, hanem, mert olyan beivódott neve van. Ilyenek akik nevet szerzetek maguknak. Ő ilyen volt, másfél évtized távlatából is hat szellemisége, kisugárzása.

Engedjék meg nekem, hogy e szakmai folyóirat hasábjain, hogy én Kornél emberi mivoltát, kisugárzását méltassam, azt amit tőle kaptam, tanultam.

1990-ben, amikor elhatároztam, hogy Anyagvizsgálók Lapja néven szakmai folyóiratot alapítok, felkerestem a GTE-et, melynek akkor volt már volt hagyománnyal bíró szaklapja (Gép, ill. Gépipar), viszont én tartalmilag ugyancsak magas színvonalú, de megjelenésében újabb, frissebb megjelenést gondoltam. Kiderült, épp jókor jöttem, a GTE-nek kiapadtak a forrásai a kiadáshoz.

Ekkor ismerhettem meg Kornélt, s kaptam egy "szakképzett" főszerkesztőt személyében. Az induláskor a rovatok és azok szerkesztői leginkább a korábbi GTE-s kiadványok szerzői közül jöttek át, de bővült is az idők során például a minőségbiztosítási rovattal. (Koczor Zoltán), ez még a Lap nevét átformálta a nagyobb olvasótábor reményében.

Nyilvánvaló, ez a Lap Kornél szellemi terméke, a 15 év, míg mi voltunk a kiadó, az ő munkáját, szakmai hozzáértését dicséri.

"Veszi a lapot, aki veszi a lapot!" Többnyire maga hozta el az elkészült példányokat a nyomdából, előttem van mindig mosolygó arca amikor belépett az irodánkba, ezzel a régies, Lúdas Matyit kínáló rikancsokra utaló kínálással.

Sokszor utaztunk együtt, én vezettem, ő mesélt. Emlékszem simán elmentünk úgy Németországba (12-13 óra), hogy bírta történetekkel, érdekes, tanulságos történetekkel. Gyerekkoráról, mikor nyarat egy szlovákok által lakott magyar faluban töltötte, ahol a nyelvet is vegyesen használták, kicsit ő is megtanult szlovákul. De városi gyerekként itt tanul-

ta meg, hogy minden jó valamire, a parasztember, mindent felhasznál ami a gazdaságban keletkezik így a szelektív hulladékgyűjtés nem volt téma, mert nem volt hulladék. De a boltba is csak sóért és gyufaért mentek.

És mesélt a technikumi tanulmányairól, amikor még a logarléc is technikai újdonság volt, s függvény tábla nélkül számoltak cosinust, de a tudásuk egy mérnökével felért.

Ha már az autózásról van szó, szerencsés kimenetelű, de totálkáros autóbalesetet is szenvedtünk együtt a régi 3-ason. Miskolc felé utaztunk a Suzukijában 90-100-zal, amikor egy részeg hátulról eltalálta a kocsit. 180 fokot pördültünk az úton és az árokban kötöttünk ki. Onnan az egri balesetiben. Szerencsésen megúsztuk. Akkor sem esett kétségbe.

Mesélt egyetemi éveiről, Gillemot Lászlóról, az anyagvizsgálat világhírű magyar tudósáról. Számtalan története volt a "vörös" Csepel művekben töltött évekről, ahol az anyagvizsgáló labor vezetője volt.

Sokszor utaztunk együtt szakmai konferenciákra is, ahol én kiállítóként vettem részt. Ő előadott, levezető elnök volt, vagy a MAROVISZ dolgait beszélték meg. Zsúfolt nap, este ismét találkoztunk. Ha éppen nem volt közös vacsora, mentünk együtt színházba, vízi labda meccsre, moziba, vagy esti fürdőzésre, de még teniszeztünk is villanyfénynél.

Volt alkalmam tehát megismerni tájékozottságát, széles látókörét, csillogó humán érdeklődését, és remek humorát.

Nagyon szép énekhangja volt, borozgatások alkalmával szívesen hallgattuk, de az egyik legemlékeztetesebb közös emlékem is itt jön elő. Egy kiállításon valami nagyobb méretű molinót vittünk. Ő elől, én a hátsó végét fogtam, a tavaszi szél fújta a selymet. Gondolom erről jutott eszébe az egykori dal, s spontán énekelni kezdte: "Sej a mi lobogónkat fényes szellők fújják..." persze csupán anyag-technológiai, nem mozgalmi értelemben.

2006 novemberben átadtam a Lap kiadási jogát, honlapját, minden és kapcsolódó anyagot a MAROVISZ-nek, ők az illetékesek a témában. Különben is Kornél nélkül már nem volt ugyanaz.

Szappanos György, 2020 tavasza

Bay Zoltán emlékezete

Tóth László

ny. egyetemi tanár, tlaszlo@tvekft.hu

Összefoglaló:

Egy nagyszerű ember, egy kiváló tudós születésének 120. éves évfordulóját ünnepeljük az idén. Tevékenységének 1900. Július 24, Gyulavári – 1992. Október 4. Washington, szab belátható keretet. A rövid közlemény csupán megemlékezni kíván a születés évfordulójáról, de semmiiképpen nem törekszik bemutatni azt a gazdag örökséget, amelyet Bay Zoltán ránk hagyott. A hivatkozott irodalmak ezt megteszik. A cél; néhány olyan „morzsa” megjelenítése, amelyek még inkább árnyaltabbá teszik az emlékezés tényét.

Kulcsszavak:

Bay Zoltán, Bay Zoltán tér Miskolc Tapolca, emlékünnepek 1993, 2000,

Azon 12 személy egyike lehettem, akit Pungor Ernő akadémikus 1992-ben az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság elnöke kiválasztott a Fraunhofer Gesellschaft működési feltételeinek megismerésére. A másfél hónapos tanulmányútnak budapesti, szegedi és miskolci oktatók, kutatók lehettek részesei. Az ötlet, a cél igazán kiváló volt. Egy új hazai kutatási struktúra kialakítása. A meglevő vállalati, egyetemi és akadémiai bázis mellett a „non-profit” szektor létrehozása. Ha egy picit sarkosan fogalmazunk, akkor a „non-profit” jelző helyett a leginkább „piac-érzékeny” jelző is írható. Igaz ebben már a „mérnökiroda – kutató hely” tartalmi keveredése is megjelenhet egyesekben.

Joggal merül fel a kérdés, hogy Bay Zoltán 120. születésnapja alkalmából miért a non-profit kutatási struktúra „megszületését” említettem először. A válasz egyszerű és tényszerű is lehet. Azért, mert megalkulásakor a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány nevet vette fel. Pungor Ernő előterjesztését a Kormány 1992 októberében jóváhagyta és 1993 szeptemberében Szegeden, majd 1993 decemberében Miskolcon egy-egy „Bay-intézet” kezdte meg működését, amelyeket 1995-ben egy budapesti, anyagtudományi egészített ki. A „politika vérzivataros körülményei közötti” több mint negyedszázados folyamatos működés már önmagában is a stabilitás egyik jelképe lehet. E tény, a küzdés, az eredmények, a megpróbáltatások akár Bay Zoltán életéből,

küzdelmeiből, megpróbáltatásaiból is átemelhetők, hiszen életének már apró rezdülései is jól ismert a felsorolt irodalmakban [1-25]. Ezeket nem kívánom sorra venni, csupán néhány kevésbé közismert momentumot választok.

Bay Zoltán és Pungor Ernő személyes kapcsolatának jellemzésére tekintsünk két kiragadott pillanatot. Az egyik, legyen Pungor Ernő otthonában 1986-ban készült fénykép [23]. A másik pedig Bay Zoltán „Az ember és világa” címmel, halála után 1994-ben a Technika c. folyóiratban közölt írása [10]. Pungor Ernő ennek kapcsán így ír: „Bay Zoltán több mint húsz évvel ezelőtt tartotta ezt az előadását, mely tudományosan ma is aktuális. Úgy hiszem, a tőlünk már eltávozott Bay Zoltán elfogadná azt a kérésemet, hogy tegyük közzé ezt a magasröptű kiváló előadását a



1. Kép. Bay Zoltán és Pungor Ernő (1986)

A Magyar Tudományos Akadémia mély megrendüléssel tudatja, hogy

BAY ZOLTÁN

a Magyar Tudományos Akadémia tagja, volt osztályelnök, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteleti tagja, a Budapesti Műszaki Egyetem, a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem és a szegedi József Attila Tudományegyetem tiszteletbeli doktora 1992. október 4-én, életének 93. esztendőjében washingtoni otthonában elhunyt. Bay Zoltán nevét az elektronszokszorozó részecskeszámlálás, a Holdról felfogott rádióvisszhang és az új nemzetközi méter-szabvány befirta a modern természettudomány aranykönyvébe. Tanítványok serege köszöni neki, hogy megtanított: miként lehet és kell Magyarországon is alkotóan művelni a modern természettudományt és világszínvonalra emelni a magyar technikát. Bay Zoltán végakarata szerint hamvait szülőföldjén helyezik majd végső nyugalomra. A gyászszertartás 1993. április 10-én 11 órakor kezdődik a gyulavári református templomban.

BAY ZOLTÁN EMLÉKÉT

A NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS VILÁG
ÉS A MAGYAR NEMZET TUDATA ŐRZI

2. Kép. Bay Zoltán hamvainak végső nyugalomra helyezése.

Technika lapjain, mely folyóiratot Bay Zoltán nagyon értékelte A cikket olvasva nem nehéz felismerni Szent-Györgyi Alberthez fűződő szemléletét. Bay Zoltán hamvai végakaratainak megfelelően szülőföldjében nyugszik. A Magyar Tudományos Akadémia erről így tudósított. Az eseményhez kötődően minden olyan város, amely Bay Zoltán életében szerepet játszott valamilyen mértékben megemlékezett. Ezeket foglalja egységben a 3. Képen látható programfüzet.

IN MEMORIAM BAY ZOLTÁN (1900–1992)

PROGRAMFÜZET



Budapest–Hódmezővásárhely–Szeged–Debrecen–Gyula
1993. április 3–10.

3. Kép. In Memoriam Bay Zoltán, 1993. Április 3-10. [6].

A Budapesten, Hódmezővásárhelyen, Szegeden, Debrecenben és Gyulán szervezett rendezvények koordinálására *Emlékbizottság* alakult, amelynek elnöke Pungor Ernő volt. Koordinátora Nagy Ferenc, tagjai: Bay Zoltánné, Bay Zoltán, Berényi Dénes, Bor Zolt, Csikai Gyula, Csoóri Sándor, Gallé Tiborné Bay Rózsa, Gyémánt Iván, Horváth Tibor, Kádár Péter, Marx György, Márki-Zay Lajos, Náray-Szabó Gábor, Németh Judit, Németh Magda, Toró Tibor és Weszely Tibor.

Az igazán gazdag programból kiemelni valamit is, meggondolatlanul lenné. E vádat nyugodt lélekkel tudomásul veszem. Számomra legmegkapóbb, ahogyan kortársai szólnak Bay Zoltánról Ezeket fogja csokorba a 4. Kép, ahol Gábor Dénes (1900–1979), a viszonylag fiatalon elhunyt Neumann János (1903–1957), az író Németh László (1901–1975) és több mint félévszázados barátja, Szent-Györgyi Albert (1893–1986) eleveníti fel emlékeit. Jómagam Debrecenben születtem és középiskoláimat ott végeztem a Mechwart András Gépipari Technikumban – talán megbocsátható nekem – hogy az egyhetes programból a földrajzilag ide kötődőkből emelek ki. Bay Zoltán középiskoláit itt, a – méltán nagyhírű, a

1948. február 23.

Kedves Professzor Úr!

Ma érkezett meg a különnyomata a holdról visszavert mikrohullámokról, azonnal elolvastam és sietek hogy kifejezzem őszinte bámulatomat. Mint fizikai-technikai teljesítmény olyan színvonalon áll, amelyet Európában csak nagyon ritkán értek el, de ha hozzáveszi az ember, hogy a számításokat az összeomlás alatt végezték el, a kísérleteket pedig a csaknem tönkretett országban, egyidejűleg az Egyesült Ízű csudálatos fölépítésével, csaknem hihetetlen. [...]

Meleg üdvözléssel
Gábor Dénes

Los Alamos, 1949. június 21., kedd

Kedves Zoltán,

Mégegyszer meg szeretném Neked mondani, hogy mennyire örültem, hogy elutasítást előtti találkoztunk, és hogy volt egy alkalmunk az "electron multiplier" és a számológép problémákról és ezeknek az érintkezési pontjairól beszélgetnünk. Tiszán látom, hogy lényeges dolgokat tanultam Tőled, és a meggyőződés egyre erősebb, hogy az "electron multiplier" a számológépek terén a jövőben valószínűleg lényeges szerepet fog játszani. [...]

A viszonthallásig és viszontlátásig sokszor üdvözl

kész híved
(Neumann) Jancsi

Tudd be ennek a pályám megszokott viszontagságainak, hogy most csak boldog újévet kívánok mindkettőtöknek és a gyönyörű tanulmányt köszönöm meg, amely kettős öröm volt számomra: nem igen kaptam még a fizika érdeklődéséből lassan kicsúszó kérdéseiről ilyen tömör, világos áttekintést – s külön meglepetés, hogy ezzel egy volt debreceni diák, Szabó Lőrinc és Gulyás Pál osztálytársa tért vissza a magyar esszé írók ián nem egész méltatlan családjaiba.

Mély barátsággal ölel, feleségednek kézcsókját küldi:
Budapest, 1969. január 10.

Laci
[Németh László]

Miután nekem nincs tudományos képzettségem a fizikában, én lehetnék az utolsó, aki arra hivatott, hogy Bay Zoltánról mint fizikusról írjak. De mivel több mint fél évszázada szívbeli belső kapcsolat fűz hozzá, kétem, hogy lehetne nálam alkalmasabbat találni, aki arra hivatott, hogy Bayról, mint barátáról írjon [...] Bay nemcsak jó barát volt, hanem jó hazafi és humanista eszmék harcosa is.

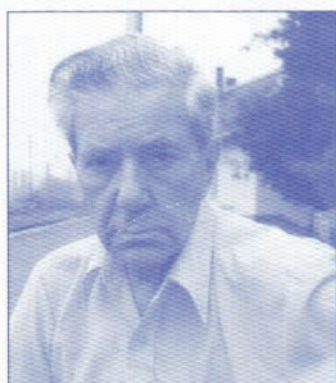
Szent-Györgyi Albert

4. Kép. Bay Zoltánról szólnak kortársai, Gábor Dénes, Neumann János, Németh László és Szent-Györgyi Albert [6].

**Emlékünnepségek Bay Zoltán fizikus
születésének 100. évfordulóján
2000. július 23-25.**

PROGRAMFÜZET

**Budapest, 2000. július 23-24.
Gyulavári július 25.**



**5. Kép. A Debreceni Akadémiai Bizottság által
szervezett program [14].**

Program

- 10⁰⁰** A Bay Zoltán tér ünnepélyes avatása
*Kobold Tamás, Miskolc Megyei Jogú Város
polgármestere*
*Prof. Dr. Pungor Ernő, a Bay Zoltán Alkalmazott
Kutató Alapítvány főigazgatója*
- 10¹⁵** Bay Zoltán munkásságának a magyar
tudományra és az ipar fejlődésére
gyakorolt hatása
*Prof. Dr. Tóth László, a Bay Zoltán Alkalmazott
Kutató Alapítvány Logisztikai és
Gyártástechnikai Intézetének igazgatója*
- 10⁴⁵** A Bay Zoltán Alkalmazott Kutató
Alapítvány intézeteinek tevékenysége
*Prof. Dr. Cser László, a Bay Zoltán Alkalmazott
Kutató Alapítvány kutatói igazgatója*
- 11¹⁵** Bay Zoltán ipar- és kutatószervező;
a TUNGSRAM rövid története
*Csapody Miklós, a GE Lighting alelnöke,
kutatófejlesztési igazgatója*
- 11⁴⁵** Sajtóbeszélgetés
- 12¹⁵** Állófogadás

zivataros időszakokat át- és megelőző – Református Kollégiumban végezte, amely sok-sok kiváló személyiséget adott hazánknak [24].

A Debreceni Akadémiai Bizottság 1993. április 7.-én Székházában az MTA elnöke, Kosáry Domonkos megnyitójával emlékezett meg a város volt diákjáról az 5. képen látható program keretében.

A hamvak hazatérése kapcsán megjelent írások közül mindenképpen kiemelendő Nagy Ferenc munkája, dokumentumgyűjteménye [7], aki nem csupán bemutatja azokat, hanem felemlíti kalandos történetét is. Hankó Ildikó a Magyar Nemzet napilapban írott cikkében állít emléket Bay Zoltánnak [12].

Bay Zoltán neve, munkássága születésének centenáriumi évében, 2000-ben került újból számos rendezvény címlapjára. A 2000. július 23-25 közötti programsorozat eseményeit foglalja keretbe a 6. Kép. Az első mozzanata, Bay Zoltán szobrának leleplezése Budapesten, a IV kerület Görgey Artúr és Kiss Ernő utcák sarkán levő téren. A szobor Gömbös László szobrászművész alkotása. Július 24.-én a Magyar Tudományos Akadémia Díszterme adott otthont az Emlékülésnek [15]. Ennek egyik súlyponti témája az Európa első kutatóintézetében, a TUNGSRAM-ban töltött évek hangulata és eredményei [19, 20, 25]. Az itt elhangzott előadások egy részét a Fizikai Szemle 2000/8. száma őrzi a jövő számára. A rendezvények programfüzeteit nézegetve a legben-

A

Bay Zoltán Alkalmazott Kutató Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézete

tisztelettel meghívja Önt a

Bay Zoltán tér ünnepélyes avatására és az azt követő állófogadásra.

Helyszín:

BAY-LOGI

Miskolc, Miskolc, Bay Zoltán tér 1.

Időpont:

2000. augusztus 10. (csütörtök) 10 órától

6. Kép. A „Bay Zoltán tér” avatásának programja.



7. Kép. A téravató résztvevőinek csoportképe

A táblától balra 3. Kobold Tamás Miskolc városának polgármestere, 4. Pungor Ernő, 5. Cser László a BAYLOGI első igazgatója, 5. Tóth László a BAYLOGI második igazgatója).

sőségesebbek egyike a szülőföldhöz, Gyulavárihoz és Márki-Zay Lajos nevéhez kötődik [15], amelynek délelőtti programja a gyermekkor áttekintésével kezdődik és „Indulás a temetőbe” ponttal zárul. Ugyancsak a születés centenáriumi évéhez kötődik a miskolci intézet előtti tér „névadója” is. A Miskolc Városi Közgyűlés jóvoltából a tér felvehette Bay Zoltán nevét (általában az érintett halálát követő 10. év helyett már ez 2000.-ben megtörténhetett). A 2000. augusztus 10.-én szervezett rendezvény programja a 6. képen látható [17], míg népes résztvevőit a 7. csoportkép örökíti meg.

A rendezvényről a helyi médiák is beszámoltak, ill. a napilapban is tudósítás jelent meg [13].

Bay Zoltánról készült újabb kép 2017. október 4.-re datálódik. Halálának 25. évfordulójára Márki-Zay Lajos állandó kiállítást szervezett a gyulavári református templom és a parókia épületeivel szemben. A szervező tájékoztatása szerint e kiállítást napjaink-

ban is sokan látogatják.

Talán nem (is) véletlen, hogy a radarcsillagászat megteremtője, Bay Zoltán halának 25 éves évfordulója és az első mesterséges égitest, a Szputnyik-1 Bajkonurból történt felbocsátásának 60. Évfordulója ugyanazon napra, október 4.-re esik.

Bay Zoltán életéről, szakmai tevékenységéről oldalak százait lehet írni úgy, hogy ismétlésekbe kelljen bocsátkozni. Ezt most nem teszem. Csupán a BME Mérnöki Továbbképző Intézet [22], az általa írt életrajzi ihletésű könyvéhez [2, 3, 4] valamint „az otthonról hozott családi génnek” kötődnek záró gondolataim. Ez utóbbit a már végtelenség útjára lépett Czeizel Endre (1935-2015) állította össze [18].

A „naprakész tudás” nem csupán korunk „szlogenje” és követelménye, de minden idők fejlődésének alapja. Így volt ez hazánkban is. Ennek élére a Patantyús Á. Géza 1936-ban tett előterjesztésre 1939-ben létrehozott Mérnöki Továbbképző Intézet állt [22]. Bay Zoltán előadásai és ezek írásban történt megjelentetésével ugyancsak kivette részét. Álljon itt az egyszerű felsorolás.

Előadásai:

- 1942 – „A rádióhullámoktól a világűrsugarakig”
- 1943 – „A fizikai mérések elvi határai”
- 1945 – „Atomfizika”
- 1947 – „Amerikai tapasztalatokról”
- 1948 – „A korpuszkulaszámlálás új módszeréről”

Kiadványai:

- 1942 – „Atomfizika” 43 old.
- 1944 – „A rádióhullámok tovaterjedése” 36 old.
- 1946 – „Atomfizika” 64 old.

Elkövettem azt a hibát, hogy egyetlen mondatot sem idéztem Bay Zoltán életrajzi ihletésű könyvéből [2-4]. E vétkemet most sem korrigálom. Inkább a Szerző, Bay Zoltán emberi nagyságára szeretnék rámutatni. A WIKIPÉDIA rövid megjegyzését [1] egészíti ki a Debreceni Református Kollégium Gimnáziumának volt igazgatója, Győri József [24], aki már részletesebben is feljegyezte a történeteket. Ezek szerint Bay Zoltán 1990-ben a könyv tiszteletdíját (80.000 Ft.-ot) alapítvány formában felajánlotta „a természettudományi tárgyakból kiemelkedő pályamunkákat készítő diákok jutalmazására”. Ezt egészítette ki Bay Zoltán özvegye 1995-ben 342.000 Ft névértékű kárpótlási jeggyel. Emlékét középiskolájának falán a 9. Képen látható dombormű őrzi.

Czeizel Endre [18], a kiváló genetikus művészek és



8. Kép Gyulai József megnyitja a Bay Zoltán emlékkiállítást Gyulaváriban 2017. Október 4.-én

(Márki-Zay Lajos jóvoltából).



9. Kép- Bay Zoltán domborműve a Debreceni Református Kollégium Gimnáziumában

(készítője Győrfi Lajos szobrászművész, 1997).

tudósok életpályáit vette „górcső” alá abból a szempontból, hogy eredményeik alakulásában milyen szerepet játszottak az **egyéni adottságok** és a fejlődést meghatározó **környezet**. Az előbbit az *általános értelmességgel, speciális szellemi adottságokkal, a kreativitással és a motivációval* méri. Az utóbbiakat a *család, iskola, kortársak és a társadalom* szerepével értékeli. A Kármán Tódor, Szilárd Leó, Wigner Jenő, Neumann János, Gábor Dénes és Teller Ede kortársaival történő összehasonlításban az itthon eltöltött idő hossza, a vidéki születés és az alföldi középiskolai tanulmányok szerepére, következményére mutat rá Czeizel Endre.

Sok-sok mondat forog még fejemben. Ha mindezeket „kiírnám magamból” felállásom a számítógéptől igen megnehezülne. Így nem a saját gondolattal fejezem be, hanem Márki-Zay Lajos egyik legutóbbi elektromos leveléből idézek:

*„Sajnos az évek nagyon szaladnak és vannak még feladataink, hogy Bay Zoltán emlékezete örök marandósággként és példaképként álljon utódaink számára is. Kezdeményezném, hogy egy **szobor** is elhelyezésre kerüljön szeretett **szülőhelyén**”*

Így legyen és minél előbb – ezt már e közlemény szerzője írja, bizonyára sokak egyetértésével.

Irodalom

- [1] https://hu.wikipedia.org/wiki/Bay_Zoltán
- [2] Bay Zoltán: Az élet erősebb. Csokonai-Püski. Debrecen-Budapest. 1990.
- [3] Bay Zoltán: Az élet erősebb. Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. Püski 2013.
- [4] Zoltán Bay: Life is Stronger. Püski Publisher Ltd. Budapest. 1991
- [5] Bay Zoltán: A Holdvisszhangtól az új méterig. Kriterion Könyvkiadó. Bukarest. 1985.
- [6] In Memoriam Bay Zoltán (1900-1992). Programfüzet. Budapest-Hódmezővásárhely-Szeged-Debrecen-Gyula. 1993. Április 3-10.
- [7] Nagy Ferenc: Bay Zoltán pályája és példája dokumentumokban. BETTER – OMIKK - PÜSKI. Budapest. 1993
- [8] Francis S. Wagner: Bay Zoltán atomfizikus az úrkutatás úttörője. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1985 (magyar kiadás, 1994)
- [9] Szabadváry Ferenc. Bay Zoltán. Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány kiadványa.
- [10] Bay Zoltán: Az ember és világa. Technika. 1994. augusztus-szeptember. p.44-49.
- [11] Marx György: Bay Zoltán (1900-1992) Tér és idő egysége. Fizikai Szemle. 2000/8.
- [12] Hankó Ildikó: Bay Zoltán végleg hazatért. Aki „megtapogatta” a Holdat. Magyar Nemzet. 1993. Április 5.
- [13] Bay Zoltán tér Tapolcán. Ő mondta meg, hogy mennyi a méter. Három intézet viseli a tudós nevét. Déli Hírlap. 2000. augusztus 11.
- [14] Bay Zoltán Emlékkülés. MTA Debreceni Akadémiai Bizottság. 1993. Április 7.
- [15] Bay Zoltán fizikus születésének 100. Évfordulója tiszteletére rendezett emlékkülés. MTA Díszterme. 2000. július 24. Gyulavári. 2000. Július 25.
- [16] Vértessy Sándor: Aki megtapogatta Holdat. Rádió-dokumentumműsor Bay Zoltánról. Fizikai Szemle. 2002/7 p. 217-223.
- [17] Bay Zoltán tér avatása. 2000. Augusztus 10. Miskolc-tapolca.
- [18] Czeizel Endre: Tudósok, Gének, Tanulságok. Galenus Kiadó, 2006. P.265-295.
- [19] http://www.holux.hu/katalogus/A_Tungstram_marka_tortenete.pdf
- [20] A Tungstram Rt. Története. 1896-1996. <http://mek.oszk.hu/08700/08736/08736.pdf>
- [21] Kovács László: Bay Zoltán, a kísérleti fizikus. Magyar Tudomány. 2000/6. P. 769-774.
- [22] Tallózás a Mérnöktoivábbképzés Klasszikus Kiadványaiból. Budapesti Műszaki Egyetem, 1782-1982. Budapest. 1982.
- [23] Pungor Ernő: Ifjan – Éretten – Öregén. 80 kérdés-válasz nyolc évtizedről. Beszélgetőtárs Tóth László, 2003
- [24] https://hu.wikipedia.org/wiki/Debreceni_Református_Kollégium
- [25] Rojko Annamária: Aki a korát megelőzte – Aschner Lipót élete. Kossuth Kiadó, 2011.

Prohászka János születésének centenáriumára

Tóth László

ny. egyetemi tanár, tlaszlo@tvekft.hu

Összefoglaló:

Szerény, de okos, törekező, de megértő, szorgalmas, de határozott mélyről indult, de sokra jutott, egyetlen kifejezéssel; kiváló ember születésének centenáriumára emlékezhetünk 2020. április 20.-án. Ő volt az, akit sikertelenül kértem, biztattam élettörténetének megírására az „Ifjan – Éretten – Öregeken” sorozatban. Pedig lett volna rá ideje, hiszen 92. Születésnapján Páczelt István akadémikussal együtt még személyesen is köszönhettem az igazán kiváló szellemi frissességben levő ünnepeltet. A 90. születésnapján még sokan örülhettünk együtt Magyarpolányban.

Kulcsszavak:

Prohászka János, születés, évszázad, anyagtudomány, Budapesti Műszaki Egyetem

Egy magyar mondás szerint „Minden kezdet nehéz”. Ez így igaz, hiszen teljes elszántsággal ültem le számítógépem elé azzal a szándékkal, hogy méltó módon emlékezzek meg egy igazán kiváló emberről, tudósról, tanítómestereim egyikéről – aki talán még barátságával is megtisztelt- születésnek centenáriuma. Őszintén be kell vallanom, hogy sokáig csak ültem, anélkül, hogy egyetlen szót leírtam volna. Zavaromat csak fokozta az, hogy Prohászka Professzor Urat, János Bácsit sokkal jobban megismerhettem ahhoz, hogy a méltatások sablonos formájához, életének, eredményeinek tárgyyszerű felsorolásához és néhány személyes tapasztalat felállításához nyúljak. Mindezeket egyébként megtettem én is, már korábban a 80. majd a 90. születésnapjához kötődő cikkeimben [1-4], majd pedig ravatalánál, a végleges búcsúnál. Ugyanezt tették meg munkatársai, tanítványai is [5-7].

Ebből az indíttatásból most csupán három momentumot fogok kiragadni személyéhez kötődően. Ezek a következők:

1. Dr. Prohászka János Alapítvány
2. A 90. és 92. Születésnap
3. A pályatárs, Michelberger Pál emlékezete a fiatal Prohászka Jánosra

Végezetül pedig csatlakozom Prohászka János közleményeinek címjegyzékét. Ennek kiegészítésében, ellenőrzésében munkatársa, tanítványa és egyben

tisztelője Dobránszky János DSc volt segítségemre. Lelkiismeretes munkáját itt is szeretném megköszönni.

1. Dr. Prohászka János Alapítvány

Prohászka János fia, ifj. Prohászka János édesapja születésének 100. Évfordulójához kötődően 2020.04.26.-án 21 óra 35 perckor jegyezte be az alapítványt a következő célkitűzésekkel:

- A technológia és az anyagtudomány területén kiváló előmenetelű egyetemi és főiskolai hallgatók, fiatal oktatók és kutatók valamint Prohászka János életútját bemutató tevékenységek támogatása.
- A régióban végzett, vagy a régióval kapcsolatos tudományos kutatás és az abban résztvevő kutatók támogatása, így:
 - › pályázatok támogatása,
 - › pályaművek díjazása,
 - › kiadványok megjelenítésének támogatása
 - › rendezvények támogatása,
 - › ösztöndíjak létrehozása,
 - › nemzetközi rendezvényeket való részvétel támogatása.
- Dr. Prohászka János technológiai díj alapítása.
- Prohászka János professzor leszármazottainak tanulmányi, szakmai és kutatói tevékenységének támogatása.
- A nagytétényi, magyarpolányi, a magyarországi német nemzetiségű, cserkész valamint az FTC-ben sportoló a műszaki felsőoktatásban szakmailag kimagasló hallgatók támogatása.

A tervezett konkrét tevékenységek:

- A technológia és az anyagtudomány iránt érdeklődő egyetemi és főiskolai hallgatók, fiatal oktatók, PHD hallgatók kutató munkájának segítése, szakmai gyakorlat szerzésének, publikációk megjelentetésének támogatása, hazai és nemzetközi tudományos és kutatási pályázatokon való részvétel segítése.



1. Kép. Prohászka János háza Magyarpolányban

- Előadások tartásának ösztönzése, publikációk és kiadványok megjelenésének támogatása.
- A tanulmányokat lezáró egyetemi és doktorandus hallgatók, és a fokozatszerzés előtt állók kutatási tevékenységének és a kutatás lehetőségét biztosító foglalkoztatásának támogatása.
 - › pályaorientációs rendezvények és tevékenységek végzése;
 - › közösség-fejlesztő előadások, tartása;
 - › kutatások végzése az alapanyag megtartó technológiák igényeivel kapcsolatosan;
 - › tapasztalat megosztásként és erkölcsi támogatásként előadások szervezése.

Az Alapítvány első kuratóriumában a családhoz, a volt munkahelyhez, a volt lakóhelyekhez és a Magyar Tudományos Akadémiához kötődő személyek vállaltak feladatokat. A tagok nagyon bíznak abban, hogy tevékenységükkel hozzájárulhatnak Prohászka János életművének megőrzéséhez, ápolásához.

2. A 90. és 92. Születésnap

Prohászka János a nyugdíjazását követően relatíve rövid időn belül a Rozmaring utca alatti házát feladta és egyrészt lakást vásárolt a Móricz Zsigmond körtérhez közel, majd pedig Magyarpolányban alakította ki végleges tartózkodási helyét. Nagyon szerette ezt a környezetet. Ami érthető is volt természetének, emberi tartásának ismeretében. A házról készített fénykép az az 1. képen látható.

Többször találkoztunk (évente legalább 3-4 alkalommal) mind a pesti lakásban, mind pedig Magyarpolányban. Többnyire hosszabb-rövidebb szakmai beszélgetéseink voltak, amelyet részben „A fémek

és ötvözetek mechanikai tulajdonságai” (2001), részben pedig a „Bevezetés az anyagtudományba” (1997) c. könyvei iniciáltak. Ez utóbbira nézve szerződése is volt. Igaz, hogy többnyire én utaztam (néha a családdal, néha Páczelt István akadémikussal), de az is előfordult – nem egyszer – hogy beszélgetéseinknek Miskolc vagy Bükksgentkereszt adott helyszínt.

Az egyik ilyen emlékezetes találkozásra a 90. Születésnap adott alkalom Magyarpolányban. A polgármester asszony megható szavait az üdvözlések, köszöntések, majd jóízű beszélgetések sora követte a meghívottak között. Az akkor készített fényképeket lapozgatva sok-sok emlék tódul hirtelen agyamba. A bőség zavarával küzdve két fényképet emelek ki csupán. Az egyik a születésnap tortája és azon levő



2. Kép. Prohászka János 90. Születésnap tortája

könyv, beszélgetéseink sokszor megjelent tárgya (2. Kép).

A másik kép (a 3. Kép) pedig már az elmúláshoz, a búcsúzáshoz kötődik. Gyulai József akadémikus még vidáman köszöntötte barátját, az MTA Műszaki Tudományok Osztályát vezető elődjét 2010-ben, de ugyanolyan szomorúan búcsúztatta a középen ülő Prohászka Jánost 2012-ben mint az asztal harmadik személye, jómagam.

Néhány alkalommal Páczelt István akadémikus is társ volt a látogatásokban. Az egyik ilyen alkalomra a 92. születésnap adott alkalmat. Az ekkor készített



3. Kép. Az ünnepi asztal egyik pillanata

(Gyulai J., Prohászka J., Tóth L.)



4. Kép. Prohászka János és Páczelt István Magyarpolányban, a kertben

fényképeket görgetvén talán a 4. Kép jellemzi a találkozás érzésvilágát, a jókedvű beszélgetést.

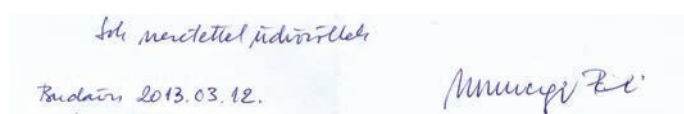
Kiragadhattam volna közös ebédünk vidámságát, János Bácsi házának, dolgozószobájának, a ház bútorainak bemutatását, az együtt töltött órák képes dokumentálását. Kellemes nap volt ez mindhárunk számára. Akkor még nem tudtuk, hogy néhány hónapra rá leszegett fejjel, szomorúan fogunk állni a sok-sok tisztelőjével, barátaival, munkatársaival a búcsúzők tömegében.

Tudván azt, hogy Prohászka János fiatal korában üvegcsiszolóként is dolgozott Michelberger Pál (1930-2014) akadémikus édesapjának műhelyében néhány alkalommal beszélgettünk ezen időkről mind Michelberger professzor úrral, mind pedig János Bácsival. Ösztökéltem Pali Bácsit arra, hogy egyszer küldje el nekem emlékeit ezen időszakról. A két kiváló szakember kölcsönösen respektálta egymást és e tényt demonstrálta is. Ennek egy pillanatát hűen tükrözi az 5. Kép. Úgy látszik a pályatárs halála mély nyomokat hagyott a túlélőben, mert 2013. 03.12.-én írt levelében (6. Kép) megkaptam mindazt, amiről korábban már szóban beszélünk.



5. Kép. 2005. Április 28. MTA-Miskolci Akadémiai Bizottság székháza. Műszaki osztály ülése

(Páczelt István szívésségéből)



6. Kép. Michelberger Pál levélrészlete, amelyben megküldte Prohászka Jánosról írt anyagát

3. A pályatárs, Michelberger Pál emlékezete a fiatal Prohászka Jánosra

Honnan jött Prohászka és mivé lett
(avagy a velencei tükörtől a gyors hőkezelésig)

Michelberger Pál

Tüneményes tudományos pályát futott be Prohászka János. Akadémiai tagságok, nemzetközi megtiszteltetések, egyetemi karrier és hazai elismerések (Állami díj, Széchenyi díj) kísérték életútját. Kevesen ismerik azonban a kezdeteket, életének első 30 évét. Legtöbb megemlékező az egyetemi diploma megszerzése utáni időkről a 30 éves Prohászka-ról beszél. Pedig az első 30 éve legalább olyan kemény és tudatos munkával telt el, mint az azt követő 60 év. Munkatársai, kollegái csak a kész mérnököt, a Vaskut és az Egyesült Izzó kutatóját, a műegyetemi professzort, az MTA tagját ismerte.

Szerencsés kivételként az 1930-as évek végétől elemi iskolás gyerekként szinte naponként hallottam apámtól Prohászka Jánosról. Apám szemében ő volt a „bezzeg” Jancsi, aki példakép lehetett a fia számára. Személyesen csak a 70-es években találkoztam Prohászka-val, de híre – apámon keresztül – majd negyven évvel megelőzte.

Prohászka a 30-as években üvegcsiszoló szakmát tanult abban a műhelyben, ahol apám és két testvére is dolgozott. Az üvegcsiszolás viszonylag kevés szakembert foglalkoztató kis- és közepes vállalkozásokban működő iparág volt. Az üvegipar elit szakmának számított. Az üvegcsiszolók a szűk értelemben vett sík-, fazon- és öblösüveg-csiszoláson kívül jártasak voltak az üveg - megmunkálás más ágaiban is (vágás, fúrás, maratás, homok fúvatás, stb). Ismerték a tükörkészítés (foncsorozás) műveleteit is. Az üvegtechnológia egyetlen oldala – az olvasztás – hiányzott csak a képzésükből. A csiszolás, maratás, fúvatás a kézügyességen kívül geometriai ismereteket és művészi érzéket is kívánt a szakembertől, sok tekintetben már nem egyszerű ipari szakmának, hanem ipari művészetnek tekinthető. A jelenleg kapható üveg dísz tárgyak (vázák, poharak, stb) zöme már iparművészek alkotása, a 30-as években azonban ezeket még iparosok készítették. A szecessziós építészeti stílus elterjedésével az öblös üveg dísz tárgyak és kristály csillárok mellett igen népszerű volt a sok darabból összeillesztett ún. „velencei tükör”. Egy-egy ilyen alkotásra aztán az egész műhely büszke volt. (1. ábra)

Az üvegcsiszoló szakma elit jellege azonban rendkívül

egészségkárosító hatásokkal is járt. A csiszolókat, homok fúvókat szilikózis, a foncsorozókat higany-mérgezés, a fluorsavas maratást végzőket pedig légzőszervi károsodás fenyegette. A nagy szakmai követelmények és a munka veszélyessége miatt csak kevesen választották ezt a pályát. Az üvegcsiszolóipar részben Ausztriából és Csehországból idetelepült mesterekből, részben pedig a többnemzetiségű magyar iparosok elitjéből (magyarok, szlovákok, svábok és zsidók) épült fel. A vegyes nemzetiségi összetétel miatt a szakma kétnyelvűvé vált, magyarul és németül egyformán beszéltek (a cseh, szlovák és jiddis nyelv magán használatra maradt). Ebbe a szakmai közegbe került apám (M. Pál) az 1910-es évek elején, követve bátyját Józsefet, majd őket követve öccsük György. Később a három testvér vált a szakma nagy öregjévé, egyúttal Prohászka szakmai tanítójává. (Apám eredetileg hegedű szakra szeretett volna menni konzervatóriumba, de nagyapám 10 gyereket nevelve – anyagi okok miatt – erre nem vállalkozott, helyette a legidősebb és legkisebb fiát hangszerkészítőnek, a középső hármat üvegcsiszolónak nevelte, de minden fia kottaolvasó, több hangszeren játszó zeneileg művelt ember lett.)

Prohászka János tehetségéről, szorgalmáról szakmai és iskolai eredményeiről apám mindig elragadtatva beszélt és példának állította elém. A 4. elemi befejezése után a plébános rábeszélésére — és Prohászka példája nyomán — (talán az elmaradt konzervatóriumot pótlendő) választotta apám polgári helyett a gimnáziumi tanulmányokat és kérte rajtam számon következetesen minden évben a jeles bizonyítványt. Az 1944-45-ös tanévet a háború miatt 3 hónap alatt kellett lezárnom és becsúszott néhány jó is az eredmények közé, amiért apám megrótt és természetesen ismét Prohászka eredményességét állította példaképnek. Érthető módon kíváncsi voltam Prohászka-ra és bár többször jártam apámnál a csiszoldában de Prohászka-val személyesen nem találkoztam.

Ennek az elit szakmának nem szakszervezete, hanem a Rákosi időkig szakegylete volt gazdag könyvtárral, melyből apám időnként hozott olvasni valót. A 40-es évek elején kezembe került egy munkáról szóló könyv, aki kemény munkával és megfeszített tanulással építésmérnöki diplomát szerzett. (Sajnos sem a könyv címe, sem szerzőjére nem emlékszem). Olyan érzés alakult ki bennem Prohászka pályáját végig gondolva, hogy Ő is olvasta ezt a könyvet. Ő is én is elhatároztuk, hogy mérnökök leszünk, a kérdés csak az, hogy milyen mérnökök?

Az üveg dísz tárgyak a belső-építészetéhez álltak közel, jelenleg azonban már az üveg a hagyományos építészet szerkezeti anyagai közé számít. Ezek a körülmények az építészet felé fordítják a pályát keresőt. Az üveg fizikai tulajdonságai, a megmunkálás sokfélesége viszont a technológiai oldalt emeli ki. Apám elbeszéléséből tudom, hogy sokféle üveg van, a legszebb tükröket belga üvegből lehet csiszolni, a legszebb poharat, vázát pedig cseh öblös üvegből. Teljesen más hangulatban fogott a munkához apám, ha jó alapanyaghoz jutott. Úgy érzem, hogy Prohászka is az üveg fizikai tulajdonságának sokfélesége és ettől függően a megmunkálás eredményessége/eredménytelensége ragadta meg és vitte el — nem az építészet — hanem az anyagtudomány, a szűk értelemben vett anyagtechnológia területére.

Érdekes módon — bár 1945 tavaszán apámmal belekóstoltam az üveges mesterségbe — én sem az építészetet, hanem egy 1942 évi Ganz Gyár-i kirándulás hatására a gépészmérnök (ezen belül a jármű gépészet) szakmát választottam, de végig erős technológiai vonzódással. (Az első önállóan előadott tantárgy képlékeny alakítással foglalkozott, első külföldi publikációm ausztenites acélok hőkezeléséről szólt.) Egyetemi és ipari pályám erősen kapcsolódott a járműiparhoz és a technológiai tárgyakhoz. Kandidátusi vizsgámat 1957-ben Gillemot és Geleji akadémikusoknál tettem le metallográfiából és képlékenyalakítás technológiájából. Jellemző volt Gillemot tárgyilagosságára, hogy a kandidátusi vizsgára készüléshöz nem a saját, hanem Verő József akadémikus könyveit ajánlotta. Utólag visszatekintve Verő könyvei valóban kiválóak voltak, messze meghaladták a gépészmérnökök felületesebb metallográfiai, fémtani ismereteit. Az aspiráns vizsga letétele után haláláig jó kapcsolatom alakult ki Gillemot akadémikussal. Előadásokat tartottam az általa szervezett három nemzetközi Méretezési Konferencián. Figyelemmel kísérte az IKARUS – i fejlesztő munkámat, több cikkemet bírálta, az akadémiai doktori védésen elnök volt és számos Gillemot által elnökölt kandidátusi és doktori védésen voltam bizottsági tag, vagy opponens. Utólag visszatekintve Gillemot ilyenkor nem csak a fokozatra pályázót, hanem a bíráló bizottság tagjait is minősítette. Az 1970 – es évek közepén egy személyes beszélgetésen felvetette, hogy időszerű lenne az akadémiai jelölésem. 1977 – es halála miatt ez a jelölés elmaradt.

Ekkor ismerkedtem csak meg személyesen a Gillemot örökébe lépő Prohászka professzorral. Elmond-

tam neki Gillemot felvetését és kértem, vállalja jelölésem. Prohászka azonban személyesen kívánt meggyőződni alkalmasságomról. Kérte az életrajzomat, publikációs listámat, különlenyomatokat. Felkért több szakmai bizottságban vélemény-nyilvánításra és Ő is személyesen minősítette a tudományos minősítő bizottságokban végzett munkámat. Csak személyes tapasztalata alapján vállalkozott 1979-ben levelező tagsági ajánlást készíteni, azzal a megjegyzéssel, hogy igen erős a jelöltek mezőnye (Csibi Sándor villamos mérnök, Kovács György vízépítő mérnök került megválasztásra). Az 1982-es választásra Lévai András akadémikussal ismételt jelöltek, ezúttal sikerrel. (Lévai András a BME korábbi rektorhelyetteseként ismerte a dékánhelyettesi munkámat).

Együtt dolgozva Prohászkaival (az elvont Jancsi helyett) személyesen is mélyebben megismertem nyílt, egyenes, szókimondó természetét, igényességét. Nem felejtette el üvegcsiszoló múltját, volt munkatársait és barátait. Feltétel nélkül tisztelte az Akadémiát, mint testületet, de felismerte a személyek által elkövetett hibákat. Gillemothoz hasonlóan haláláig tisztelte Verő József akadémikust, aki létrehozta a magyar fémtani tudományos iskolát. Ő is figyelemmel kísérte a fiatal tudós jelöltek munkáját, de míg Gillemot a teljes gépészmérnöki kört figyelte, addig Prohászka a kohászokra is ügyelt, a gépészek közül viszont csak a technológusokat értékelte. Személyes beszélgetéseinken tapasztaltam, hogy milyen részletesen ismeri a kohász Verő Balázs, Répási Gellért vagy a szerszámozással foglalkozó Bakondi Károly, a számítógépes gyártás-tervezésben sikert elért Monostori László munkáját. Számon tartotta a Miskolci Egyetem technológusait is (Tisza Miklóst, Roosz Andrást, Tóth Lászlót is). A névsor korántsem teljes, Gillemothoz hasonlóan a technológusi szakmában dolgozó minden jelentősebb eredményt felmutató mérnököt számon tartott.

Együttműködésünk egyre szorosabbá vált, ő irányította az Osztályon a Gépész-Kohász Szakcsoportot, majd 1993-99 között osztályelnökként a VI. Műszaki Tudományok Osztályt. 6 éven keresztül közösen vettünk részt az MTA Elnökség munkájában. 70. születésnapjára én írhattam az Acta Technica 103/1 számában a rövid megemlékező cikket. (Ragaszkodott a cikk rövidségéhez és nem engedett semmi méltató megjegyzést, csak száraz tények szerepelhettek benne. A Széchenyi Díja átadásakor jelen lehettem a parlamentben és az ünnepségen elsőként gratulálhattam az Állami és Rocwell díjas akadémikusnak a sikeres életpályát lezáró, méltó kitüntetéséhez.

Ezzel talán zárhatnám is Prohászka akadémikus életének szubjektív szemléletét. A Prohászka-Michelberger kapcsolat azonban ezzel nem fejeződött be. Michelberger Pál üvegcsiszoló unokája az ifjú M.Pál gépészmérnök hallgatóként a 80-as években Prohászka professzortól tanulta az anyagtudomány legújabb eredményeit és lelkesedve mesélte apjának, hogy azért egészen más egy akadémikustól tanulni, mint egy kezdő tanársegédétől. A kör ezzel zárult, Prohászka három generációval épített ki kapcsolatot.

Irodalom:

- [1] Tóth L.: Prohászka János akadémikus 80 éves. Anyagszerkeztani modellek és a kontinuummechanika. Prohászka János akadémikus 80. Születésnapja alkalmából. II. Országos szeminárium. Miskolc, április 26-27.
- [2] Tóth L.: A fémek tudós professzora. Prohászka János akadémikus 90 éves. Technika. 2010/3. p.13-14.
- [3] Tóth L.: Prohászka János 90 éves. Gép 2010/1-2. Szám. Melléklet.
- [4] Tóth L.: Prohászka János, akadémikus (1920-2012). Anyagvizsgálók Lapja, 2012/4. p.80-82.
- [5] Dobránszky J.: Búcsúunk Prohászka Jánostól (1920-2012). Hegesztéstechnika 2012/4.
- [6] Dobránszky J., Szabó P.J., Tóth L., Verő B.: Emlékezés Prohászka János, az MTA elhunyt tagja felett. Magyar Tudomány 2020/8 (megjelenés alatt)
- [7] http://www.att.bme.hu/~femtech/index_elemei/prohaszka_janos.htm (gondozza: Dobránszky J.)



7. Kép. Velencei tükör, készült az 1920-as években a Menczer és Pregler üvegcsiszoldában, Budapesten.

(A 2. sorban balról a második id. Michelberger Pál üvegcsiszoló)

Prohászka János (1920–2012) szerzői közleményeinek jegyzéke.

Ellenőrizve: 2020. május 16.

- [1] Prohászka János:
A diffúzió öntészeti vonatkozásai. Kohászati Lapok. [1954. aug.]
- [2] A titántartalom hatása a vasban a szén diffúziós sebességére és az acél cementálhatóságára. Kandidátusi értekezés. [1956.]
- [3] T. Millner, J. Prohászka, A. Horváth:
Der Einfluss von Fremdschubstanzspuren auf die sekundäre Rekristallisation von Wolframdrähten. Acta Technica Tom. XVII. [1957.] 289.
- [4] T. Millner, L. Bartha, J. Prohászka:
Autoradiographische Untersuchungen über die Ortsänderung von Verunreinigungen während des Rekristallisationsvorganges. Zeitschrift für Metallkunde (NSZK) [1960.] 11. 639.
- [5] J. Prohászka, A. Horváth, T. Millner:
Über die Wachstumsgeschwindigkeit der Kristallite während der sekundären Rekristallisation von Wolframdrähten. Festkörperphysik, Akademie – Verlag, Berlin. (NDK) [1961.]
- [6] T. Millner, J. Prohászka, J. Neugebauer:
Über den sekundären Rekristallisationsvorgang vom mit Zusatzstoffen bereiteten Wolframdrähten. Festkörperphysik, Akademie – Verlag, Berlin. (NDK) [1961.]
- [7] L. Bartha, J. Prohászka, T. Millner:
Autodiographische Untersuchungen über die Besetzungsart gheringer Fremdschubstanzen während der sekundären Rekristallisation von Metallen. Festkörperphysik, Akademie – Verlag, Berlin. (NDK) [1961.]
- [8] T. Millner, J. Prohászka und L. Bartha:
Autoradiographische Untersuchungen über die Örtliche Verteilung von Silber in Zinn bei weit unterhalb der Löslichkeitsgrenze liegenden Ag – Konzentrationen. Chemie – Ing – Techn. (NSZK) 33. [1961.] 224.
- [9] Prohászka János:
Hidrogenalakított fémek hőtágulási együtthatójának változása lágyítás közben. Kohászati Lapok. [1962.] 6 248.
- [10] L. Bartha, T. Millner, J. Prohászka:
Szennyezők rekristallizációs folyamatok során történt helyzetváltozásának vizsgálata fémekben autoradiográfiás módszerrel. Crsz. Atomenergia Bizottság Izotópalkalmazási Szakbizottságának kiadványa 3. [1962.] I/1. I/1. II r. 1 - 8.
- [11] J. Prohászka:
Änderungen des Wärmeausdehnungskoeffizienten von kaltverformten Metallen in Verlaufe de Weichglühens. Acta Technica, Tom. XXXIX. [1962.] 349.
- [12] J. Prohászka, H. Wadewitz:
Zum Gleitsystem von Wolfram. Reinstoffe in Wissenschaft und Technik. Akademie – Verlag, Berlin [1963.] (NDK)
- [13] T. Millner, L. Bartha, J. Prohászka:
Untersuchungen über Wanderung kleiner Silbermengen in reinem Zinn bei Verwendung von radioaktiven Silber. Zeitschrift für Metallkunde (NSZK) [1963.] 54. 17.
- [14] J. Prohászka:
Über einen Mechanismus der Versetzungsbildung während der dendritischen Kristallisation. Acta Metallurgica (USA) Vol. 11. [1963.] 125.
- [15] Gillemot László, Prohászka János, Kator Lajos:
Kiegészítő jegyzet a Metallográfia és anyagvizsgálat c. tankönyvhöz. Tankönyvkiadó, Budapest [1963.] 77. lap J4-366.
- [16] Prohászka János:
Diszlokációk képződése a dendrites kristályosodás során. Budapest [1963.] Akadémiai doktori értekezés.
- [17] J. Prohászka:
Reply to comment by Hamilton on the origin of dislocations in dendrites. Acta Metallurgica (USA) [1964.] 12. 1094.
- [18] Prohászka János:
Anyagszerkezettan. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest [1964.] 340 old.
- [19] Prohászka János., Tóth Gy.: Finommechanikai melegtechnológia (230 old.) Egyetemi jegyzet [1966.]
- [20] J. Prohászka, M. F. Ashby:

- An experiment to determine the nature of work hardening in dispersion – hardened alloys. Kutatási jelentés a Harvard Egyetemen (USA) [1966.]
- [21] Prohászka János:
A fémek képlékeny alakváltozásának kapcsolata a valódi kristályszerkezettel. GTE kiadványa a II. Nemzetközi Hidegalakítási konferenciáról [1967.]
- [22] Prohászka J., Kovács Á., Ágoston A.: Hidegalakítás. Egyetemi jegyzet [1968.] 223. old.
- [23] J. Prohászka:
Plastic stability during tension test. Közlésre benyújtva a SZU Tudományos Akadémiai Közleményekhez (Dokladi A. N.) [1969. Jan. 28.]
- [24] J. Prohászka, I. Tóth:
Brittle Fracture in alnico – type cast hard magnets having body centred cubic crystal structure. Acta Technica, Tom 64. (3-4) 443. [1969.]
- [25] Prohászka János:
Köbös kristályok sztereografikus vetítésével kapcsolatos feladatok megoldása szerkesztés nélkül. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 103. évf. 2. sz.[1970.]
- [26] J. Prohászka:
Hrupkoszty magnetnich matyerialov tipa alnico. Metallovegyenyije, Iszgyaljeljsztvo Nauka, Moszkva [1971.]
- [27] Prohászka János:
A közepes hőmérsékleten igénybevett fémes szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságainak várható fejlődése. (Akadémiai székfoglaló előadás, amely „Fémek mechanikai tulajdonságainak várható fejlődése” címmel elhangzott 1970. november 11-én). Műszaki Tudomány 44. [1971.]
- [28] Prohászka János:
A fémek mechanikai tulajdonságainak várható fejlődése. (A szilárdtestfizika fejlődésének várható irányai.). Magyar Fizikai Folyóirat XIX. kötet, 5. füzet. Akadémiai Kiadó, Budapest [1971.]
- [29] Prohászka János:
A szilárdságnövelés lehetséges módjai és korlátai a korszerű fémtani kutatások tükrében. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 105. évf. 5. sz. [1972.]
- [30] Prohászka János:
Hexagonális kristályok sztereografikus pólsábráinak meghatározása szerkesztés nélkül. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 105. évf. 2. sz. [1972.]. Műszaki Tudomány 45. [1972.]
- [31] Prohászka János:
A fémek szerkezete I. Természete Világa Budapest [1972.]
- [32] J. Prohászka:
Extension of heat treatment possibilities for steel by setting metastable states. Torinói Nemzetközi Kongresszus az acélok hőkezeléséről c. kiadvány [1972.]
- [33] J. Prohászka:
Determining orientations in metals of hexagonal crystal structure by etch pit figures. Periodica Polytechnica, Vol. 16. No. 2. Budapest [1972.]
- [34] J. Prohászka, L. Müller:
Schnellausglühen von aluminium. Periodica Polytechnica, Vol. 15. No. 2. Budapest [1972.] 219-231.
- [35] J. Prohászka:
Determining of the stereographic pole figures of hexagonal crystals without plotting. Acta Technica, Tomus 73 (3-4), pp. 279-291 [1972.]
- [36] J. Prohászka, T. Bánki:
Über den Einfluss der Vormsungsgeschwindigkeit auf die Spödruchtemperatur von Wolframdrähten (eingegangen am 1. April 1966.). Sonderdruck aus Tungsram Technische Mitteilungen Nr. 23. September [1973.]
- [37] J. Prohászka:
Nuove Possibilitá nel campo dei trattamenti termici degli acciai per mezzo del controllo dello stato metastabile. Notiziario Tecnico Amma, N. 7-8. (31.-ben leírt előadás) [1973.]
- [38] J. Prohászka:
Problems of increasing yield stress of metals and alloys used in engineering industries. Economic Commission for Europe. Ad Hoc Meeting of Experts on Engineering Industries. Symposium on Application of Metal and Non – Metal Materials in Engineering. Varna, 28 May – 2 June [1973] pp. 1-14.
- [39] Prohászka János:

- A general problem of metal research. Acta Technica, Tomus 75 (1-4), pp. 321-330 [1973.]
- [40] Prohászka János és a Tanszéki Munkaközösség:
- [41] Anyagtechnológia (jegyzet). Egyetemi Tankönyvkiadó, Budapest [1974.] (1-498 old.)
- [42] Éva Tassy – Betz, J. Prohászka:
A general method of determining orientation in the cubic crystal system on the basis of geometrical evaluation of etch figures. Metallography 189-226 [1974.] American Elsevier Publishing Company, Inc. 1974.
- [43] Prohászka János, Hidasi Béla, Varga László:
Feszültségcsökkentés hőkezelés nélkül. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 107. évf. 9. sz. (363-367) [1974.]
- [44] Prohászka János:
Új módszer hidegenhengerelt és húzott termékek hőkezelésére. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 108. évf. 2. sz. (61-67) [1975.]
- [45] J. Prohászka, B. Hidasi, L. Varga:
Vibration – induced internal stress relief. Periodica Polytechnica, Vol. 19. No. 1. pp. 69-78. Budapest [1975.]
- [46] Prohászka János, Tassy – Betz Éva:
Általános metallográfiai módszer a köbös kristályok orientáció meghatározására. Műszaki Tudomány [1976.] (79-92 old.)
- [47] Verő József, Prohászka János:
A kétalkotós ötvözetek állapotábrái. Műszaki Tudomány [1976.] (1-25 old.)
- [48] Prohászka János:
Az anyagvizsgálati eredmények szórásának termodinamikai okairól. Balatonaliga, 1977. május 2-5. (Előadáskivonatok kiadvány)
- [49] J. Prohászka:
Theoretische und praktische Probleme der Beschleunigung von Wärmebehandlungsprozessen. Neue Hütte. juni [1977.]
- [50] Prohászka János:
Gillemot László életútja. Műszaki Tudomány [1977.] (283-292.)
- [51] Prohászka János:
Gondolatok a technológiáról. Természet Világa 8. sz. 341-345 [1978.]
- [52] Prohászka János:
Prof. Dr. László Gillemot. Periodica Polytechnica Vol. 22. No. 1. [1978.]
- [53] Pál Tardy, Verő Balázs, Prohászka János:
Untersuchung des Korngefüges von Metallen mit kfz. Gitter unter dem Emissionselektronenmikroskop. Neue Hütte. 23 Jg. Heft. 8. Aug. [1978.] (303-308.)
- [54] Prohászka János:
A technológia jelentősége. Bányászati Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 111. évf. 11. sz. [1978.]
- [55] Prohászka János:
Kristálytani számítások a fémtanban. Bányászati Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 111. évf. 12. sz. [1978.]
- [56] J. Prohászka, J. Ginsztler, P. Gangl, M. Komáromi:
Tocsnoszty opredelenija raszpredelenijja temperaturi na obrazcah pri termiceszkoj usztaloszty. Fizika i himija obrabotki materialov 6. sz. 16-20. [1978.]
- [57] Prohászka János, Müller László:
A gyors hőkezelés néhány elméleti és technológiai problémája. Műszaki Tudomány 55. [1978.] (1-17)
- [58] Prohászka János:
Az öntvényminőség javításának természettudományos alapjai. IX. öntőnapokon Kecskeméten 1979. április 26-án megtartott előadás. Műszaki Tudomány 56. [1978.] (412-430.)
- [59] Prohászka János:
Anyatudomány, anyagtechnológia, anyagtulajdonságok. Elhangzott az MTA III. VI. és VII. osztályainak közös rendezésében 1979. Május 7.-én „Anyagtudomány és gyakorlat” címmel tartott ülésén. Műszaki Tudomány 56. [1978.] (270-293.)
- [60] J. Prohászka, P. Gangl, M. Komáromi:
Wärmeverteilung in schnellerwärmten Stangen mit konstantem Querschnitt. Neue Hütte, január, [1979].
- [61] Prohászka János:
A fémes szerszámanyagok néhány kérdése, GÉP XXXI. évf. [1978.]
- [62] Prohászka János:
A technológiával kapcsolatos fogalmak értelmezése és osztályozása. Gépgyártástechnológia

- gia 6. sz. [1979.]
- [63] J. Prohászka, J. Berzy, L. Dévényi, L. Müller, I. Szalai:
Erfahrungen mit der schnellwarmerbehandlung Doppelgeschichteter (Cu-FeNi42) Metalle. 7. Nemzetközi Fémtani és Hőkezelő konferencia IX. 24-26. Bukarest [1979.]
- [64] J. Prohászka, L. Varga:
The Effect of the Rapid Heat Treatment on the Strain Aging Behavior of Unkilled Deep-drawing Steel, by means of Artificial Aging. 7. Nemzetközi Fémtani és Hőkezelő konferencia 1979. IX. 24-26. Bukarest, [1979.]
- [65] Prohászka János:
A Technológia jellegzetes vonásai és kapcsolata a többi tudományággal. Elhangzott Műszaki Tudományos Osztály 1978. augusztus 12-én tartott nyilvános ülésén. Műszaki Tudomány 57. [1979.]
- [66] Prohászka János:
Tervteljesítés – takarékoság – technológia. Magyar Tudomány 7-8 szám [1981.] (558-564)
- [67] Prohászka János, Varga Ferenc:
Az öntvények minőségjavításának tudományos alapjai I. – II. rész. Bányászati és Kohászati Lapok ÖNTÖDE 32. évf. 15. sz. [1981]
- [68] J. Prohászka, J. Ginsztler:
Vijanyie formi obrazca na lokalizacije razrusnyija malociklovom nagruzsenyije. VI. Mezaduradniji Kollokvium Mechanicseskaja Usztaloszty. Metallov, 8-13. Ijunja 1981. Kiev Izd. Naukova Dumka p. 12-13.
- [69] M. A. Abd Elhady, J. Prohászka:
Effect of rapid heat treatment on the microstructure and tensile properties of cold drawn Boron-treated steel (ZF). Acta Technica, Budapest 92. [1981.] (23-32.)
- [70] Prohászka János:
Kohászat plazmával. Természet Világa, 112. évf. 11. szám (482-485.), [1981.]
- [71] J. Prohászka, J. Ginsztler:
Some characteristics of low-cycle fatigue process. VIII. Anyagvizsgáló konferencia Budapest 1982. IX. 28. [1982.]
- [72] Prohászka János, Gangli Péter:
Folyamatos hőmérséklet C=0,1 %-os ötvöztelen acélszalagok hőmérséklet eloszlása. 1982. XI: Kohászati Anyagvizsgáló Napok Balatonaliga [1982.]
- [73] J. Prohászka:
On the Fracture of Fe – Si single Crystals. Akadémia Kiadó [1982.]
- [74] J. Prohászka:
New Developments in rapid Heat treatment of steel. II. International Congress on Heat Treatment of Materials of IFHT. Florence, Italy, 20-24. Sept. [1982.] p. 791.
- [75] Prohászka János:
Gondolatok a grafitkristályosodásról. Bányászati és Kohászati Lapok ÖNTÖDE 34. 116. évf. 3 sz. [1983.]
- [76] J. Prohászka:
The Relationship Between the Strain – Hardening Coefficient and Machinability. Annuals of the CIRP Vol 32/1/1983. (105-107.)
- [77] J. Prohászka:
Die Rolle der Technologie in der wissenschaftlich-technischen Revolution. Akademia Der Wissenschaften der DDR. Institut für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft. Sozialismus und wissenschaftlich – technische Revolution. Teil 1. [1983.] (232-239.)
- [78] Prohászka János, Répási Gellért:
A kisszéntartalmú acélok szilárdságnövelésének lehetőségei. DUNAI VASMŰ Műszaki – gazdasági közleményei 4.sz. (1-10.) [1983.]
- [79] Prohászka János:
Szilárdságnövelő technológiák. Természet Világa 2. sz. [1983.]
- [80] J. Prohászka:
Thermodynamic Instability of Solid Bodies. Periodica Polytechnica [1983.] (145-153.)
- [81] Prohászka János:
Anyagminőség és termodinamikai bizonytalanság. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT. 117. évf. 4. sz. (145-153.), [1984.]
- [82] Prohászka János:
Az alakítási keményedési kitevő és a forgcsolhatóság közötti kapcsolatok. GÉP XXXVI. évf. 5. sz. (175-178.) [1984.]
- [83] Prohászka János:
Anyagminőség és termodinamikai bizonytalanság. Értekezések, emlékezők, „Akadémiai Székfoglaló 1983. IV. 20.” Akadémiai Kiadó,

- Budapest [1984.]
- [84] Prohászka János, Baranyi Zoltán:
A tüzi alumíniumozás fázisátalakulással kísért diffúziós folyamatai. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 117. évf. 8. sz. (255-261) [1984.]
- [85] Prohászka János:
A technológia jelentősége. PÁRTÉLET XXIX. évf. július 7. sz. (24-28.) [1984.]
- [86] Prohászka János:
A képlékeny alakítás szerepe a hengerelt áruk szilárdságának növelésében. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 118. évf. 2. sz. (49-55) [1985.]
- [87] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella:
A dual – phass (DP) acélok szerkezete, tulajdonságai és technológiája. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 118. évf. 4. sz. (145-150) [1985.]
- [88] J Prohászka:
Neue Ergebnisse der Schnellwärmebehandlung von Metallen. Neue Hütte október 30. lg. Heft. 10. (367-390.). [1985.]
- [89] Prohászka János:
Mennyiségi és gazdaságos termelés. GÉP XXXVII. 1985. 11. sz. (436-440.) [1985.]
- [90] Prohászka János:
Anyagtudomány és képlékeny alakítás. Gépgyártástechnológi. XXV. 12. sz. (537-542.). [1985.]
- [91] Prohászka János:
A szerkezeti acélok minőségének javítása új hőkezelési technológiával. Minőség és megbízhatóság XX. évf. 2. sz. 107-112. old. [1986.]
- [92] J. Prohászka:
Microstructure and plastic formability. Athéni Műszaki Egyetem, IV. 21-28. [1986.]
- [93] Prohászka János:
A technológia szerepe a műszaki tudományos fejlődésben. „Magyarok szerepe a világ természettudományos és műszaki haladásában” konferencia. BME VIII. 4-9. [1986.]
- [94] J. Prohászka:
Funkce vedy o materiálech a technologie ve VTR. „Socialismus a globálny problémý soucasnosti” Materiály z mezinárodní konferencie Prága. Konferencia kiadványa 90-96. old. [1986.]
- [95] Prohászka János:
A fémek vezetőképességének javítása. V. Fémkohászati Napok, Balatonaliga X. 1-3. I. kötet 1-12. [1986.]
- [96] J. Prohászka:
On the Incubation Time of Isothermal TTT Diagrams. Nemzetközi Hőkezelési Kongresszus, Budapest, X. 20-24. Vol. 1. 17-22. old. [1986.]
- [97] Prohászka János:
Az anyagtudomány fejlődésének visszatükrözése a kohászati termékek iránti igényekben. Miskolc, június 12-13. [1987.]
- [98] Prohászka János:
A szerkezeti anyagok szerepe és jelentősége. IX. Országos Hengerész Konferencia Ózd, október 7-10. [1987.]
- [99] Prohászka János:
A gyorshőkezelés technológiája és gazdasági vonatkozásai. XXI. Országos Hőkezelési Szeminárium
- [100] Zalaegerszeg, október 8-10. [1987.]
- [101] Kristyákné Maróti Gizella, Prohászka János:
Az ausztenitkristallitok orientációjának meghatározása a benne keletkező martenzit jellegzetes síkjainak alapján. XXI. Országos Hőkezelési Szeminárium. Zalaegerszeg, október 8-10. [1987.]
- [102] A.G. Mamalis, G.C. Vosniakos, N.M. Vaxevanidis, J. Prohászka:
Macroscopic and Microscopic Phenomena of Electro-Discharge Machined Steel Surfaces: an Experimental Investigation. Journal of Mechanical Working Technology, 15 [1987] (35-36.)
- [103] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella:
Szerkezeti anyagok sugárkárosodása. Energia és Atomtechnika, XLI. évf. 1. sz. 27-32. [1988.]
- [104] Prohászka János:
Atomi mozgások a martenzites átalakulásokban. Bányászati és Kohászati Lapok, KOHÁSZAT 121. évf. IV. sz. [1989.] (140-141.)
- [105] Prohászka János:
A technológia a gazdasági fejlődés tükrében. Társadalmi szemle XLIII. évf. 8-9. [1989.] (110-115.)
- [106] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella:

- Alakemlékező ötvözetek. Bányászati és Kohászati Lapok, KOHÁSZAT 121. évf. 7. sz. [1986.] (290-301.)
- [107] Prohászka János:
Bevezetés az anyagtudományba I. (villamosmérnökök számára). Budapest, Tankönyvkiadó [1986.] (346.)
- [108] J. Prohászka:
Phase transformations in steel during rapid heat treatment. Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering Vol. 32. No. 2. [1988.]
- [109] J. Prohászka:
Rapid heat treatment of unalloyed low carbon steel. Symposium on Rapid Heat Treatment of Metals at the ASM World Materials Congress. September 24-30. 1988. Chicago, Illinois
- [110] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella:
A korszerű, nagy hőmérsékleten is kitűnő tartósfolyású ötvözetekről. Bányászati és Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 122. évf. 6. sz. [1989.]
- [111] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella:
Az acélok gyors hőkezelése során végbemenő szerkezetváltozások. „Magyarok szerepe a világ természettudományos és műszaki haladásában”. II. Tudományos találkozó augusztus. [1989.]
- [112] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella:
Anyagtudomány és technológia. GÉP XLI. évf. 10. [1989.]
- [113] J. Prohászka, K. G. Maróti:
In situ observations of plastic deformation on single crystals in SEM. International Symposium on Electron Microscopy in Plasticity and Fracture Research of Materials. Holzhaus 8 to 13. October [1989.]
- [114] Prohászka János:
Hová tart a gazdaság. HITEL 1990/6. [1990.]
- [115] Prohászka János:
Az anyagtudományi kutatás, fejlesztés helyzete, ipari jellegű feladatai. Bányászati Kohászati Lapok – KOHÁSZAT 123. évf. 7. sz. [1990.]
- [116] A.G. Mamalis, G. N. Gioftsidis, J. Prohászka:
Manufacturing of thin rectangular plates by explosive compaction of copper powder, Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 204. (237-247.) Mach. E. [1990.]
- [117] J. Prohászka, Kristyákné G. Maróti:
About the Martensitic Transformation of the Ferrite – Austenite Phase Change, Moszkva, XII. 11-14. [1990.]
- [118] Prohászka János:
A technológia jellegzetes vonásai, Magyar Tudomány, 2. szám (190-197.) [1991.]
- [119] Prohászka János, Dobránszky János:
A gyors hőkezelés hatása a bórral mikro ötvözött ZF – acél tulajdonságaira. XIV. Kohászati Anyagvizsgáló Napok. Balatonaliga, május 7-9. [1991.]
- [120] J. Prohászka:
Introduction: Some Remarks on the Properties of Tungsten. Tungsten Symposium Budapest [1990.].
- [121] J. Prohászka, J. Dobránszky:
Soudage par resistance de ronds a eton après traitement thermique rapide. Soudage et techniques connexes. may – june. [1991.]
- [122] J. Prohászka, J. Dobránszky:
Quality Improvement of Low Carbon Reinforcing Steel by Rapid Heat Treatment. Journal of Heat Treating. 1991/1. [1991.]
- [123] Prohászka János:
A technológia jellegzetes vonásai. Bányászati Kohászati Lapok - KOHÁSZAT 124. Évf. május (193-197.). [1991.]
- [124] Prohászka János:
Az izotermikus átalakulási diagramokról. Bányászati Kohászati Lapok - KOHÁSZAT 124. évf. július – augusztus (308-311.) [1991.]
- [125] Prohászka János:
A munkanélküliség réme ránk köszönt. Magyar Nemzet 1992. május 13. [1992.]
- [126] Prohászka János:
A munkanélküliség ürügyén. Bányászati Kohászati Lapok - KOHÁSZAT 125. évf. július – augusztus (253-256.). [1992.]
- [127] Prohászka János:
A megmérettetés szabályai. Magyar Tudomány 5. sz. (585.) [1993.]
- [128] Kristyákné Martói Gizella, Prohászka János:
Reliefek keletkezése a ferrit – ausztenit átalakulás során. XV. Hőkezelő Országos Konferencia Dunaújváros október 19-21. (74-82.). [1993.]
- [129] Dobránszky János, Prohászka János:

- A kyszénttartalmú acélhuzalok gyors hőkezelésének kutatási eredményei. XV. Hőkezelő Országos Konferencia Dunaújváros 1993. 19-21. (64-73.). [1993.]
- [130] Prohászka János:
A ridegtörés mikroszerkezeti vonásai. GTE - ankét január 18. Anyagvizsgálók Lapja 1994/1. [1994.].
- [131] J. Prohászka:
Phase transformation with change in concentration. Acta Technica Ac. Sci. Hung. Vol. 105/3. [1993.]
- [132] Prohászka János:
Munkanélküliség itt és ott. Magyar Nemzet 1995. január 3. (13.) [1995.]
- [133] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella:
Az izotermikus átalakulási diagramokkal kapcsolatos néhány megjegyzés. XVI. Hőkezelő Országos Konferencia. Székesfehérvár október 10-12. [1995.]
- [134] Prohászka János:
Brókerek országa. Magyar Nemzet 1995. november 4. [1995.]
- [135] Prohászka János:
Göröngyös út az Egyesült Európába. Magyar Nemzet 1996. szeptember 10. (11.) [1996.]
- [136] Prohászka János:
A gazdasági felemelkedés útja. Magyar Nemzet 1997. április 17. [1997.]
- [137] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella, Dobránszky János:
A nagy hőmérsékleteken tartós terhelésnél kitett szuperötvözetek alakváltozást okozó mikromechanizmusai. Energiagazdálkodás 38. évf. 2. sz. [1997.]
- [138] J. Prohászka, J. Dobránszky:
Effect of Concentration Changes on Nucleus Formation. EUROMAT'97.
- [139] Prohászka János:
A kohászat válsága – vagy valami más? Észak – Magyarország. December. [1996.]
- [140] J. Prohászka:
The Effects of the anisotropy of young modules on the beginning of plastic deformation – előadás
- [141] Japán. Mie University aug. 6-9. [1997.]
- [142] Prohászka János:
A versenyképes termékek és a tudomány kapcsolata. A versenyképes termékfejlesztés '96. konferencián elhangzott előadás rövidített változata. [1996.] Gépgyártástechnológia. 1998. február – március XXXVIII. évf. [1998.]
- [143] Prohászka János, Tóth László:
Anyagtudomány, mint műszaki tudomány. Bányászati és Kohászati Lapok. - KOHÁSZAT október – december 130. évf. [1997.] I. Magyar Anyagtudományi és Anyaginformatikai Konferencia. Dunaújváros október 29. [1997.]
- [144] Prohászka János, Dobránszky János, Kristyákné Maróti Gizella:
A kúszásálló, Ni alapú anyagok látványos fejlődése. VASKOHÁSZAT május – június 130. évf. (161-170.) [1997.]
- [145] J. Prohászka, J. Dobránszky:
Les effets d'un chauffage rapide lors de la réalisation d'un traitement thermique. Traitement Thermique (PÁRIZS) marc. N°306. [1998.]
- [146] Prohászka János:
Néhány megjegyzés a kutatás, a termelés és a technológia kapcsolatáról. Gépgyártástechnológia.. április XXXVIII. évf. [1998.]
- [147] Prohászka János, Dobránszky János, Szabó Péter:
Az acél karbontartalmának hatása az intermetallikus Al – Fe vegyületek kialakulására. Bányászati és Kohászati Lapok - KOHÁSZAT 130. évf. 4. sz. [1997.]
- [148] Prohászka János:
A technológia szerepe a gazdaság fejlesztésében. EZREDFORDULÓ 1998/4. (27-29.). [1998.]
- [149] J. Prohászka:
Mechanical anisotropy and its role in polycrystalline metals for the inhomogeneity of stress. GÉPÉSZET konferencia BME május 28-29. [1998.]
- [150] Prohászka János:
Gépészet és új anyagok. Anyagvizsgálók Lapja 1998/3. plenáris előadás a GÉPÉSZET 1998. Konferencián [1998.]
- [151] J. Prohászka, J. Dobránszky, P. J. Szabó:
EDS Investigation of Fe-Al Intermetallic Compounds. EDXRS – 98. Bologna június 7-12. (148). [1998.]
- [152] Prohászka János:
Tudomány, fejlesztés, termelés, gazdaságosság. Országos Szakmai Napok, Kolozsvár (10-16.) [1998.]

- [153] Prohászka János., Kristyákné Maróti Gizella, Pethő Árpád, Dobránszky János:
A habitus síkok szerepe az alakemlékezési jelenségek során. XVIII. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia Győr. Gépgyártástechnológia. október [1998.]
- [154] Prohászka János:
Lesz –e versenyképes iparunk? Magyar Nemzet 1999. január 15. (8.) [1999.]
- [155] Prohászka János:
Az EU csatlakozás és a hazai termelés problémái. Gépgyártástechnológia 1999. január XXXIX. évf. (17-18.)
- [156] J. Prohászka, J. Dobránszky, J.P. Szabó:
EDS Investigation of Fe-Al Intermetallic Compounds. X-Ray Spectrom. 28. 233-236 [1999.]
- [157] Prohászka János:
Anyagtudomány és fémes szerkezeti anyagok. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás. Balatonfüred október 10-13. (186-188.). [1999.]
- [158] Prohászka János, Kristyákné Maróti Gizella, Dobránszky János:
A képlékeny alakváltozás folyamatos megfigyelése elektronmikroszkópon. Országos Jubileumi Tudományos Konferencia és Szakkiállítás. Dunaújváros, október 20-22. Gépgyártástechnológia október XXXIX. évf. (7-11). [1999.]
- [159] J. Prohászka, B. Hidasi and J. Dobránszky:
The effect of magnetic field on the recrystallisation of ferromagnetic material with special respect regarding its anisotropy. Proceedings of the 1st Japanese – Greek Joint Workshop on Superconductivity and Magnetic Materials. Greece, Athens, May 14-15. [1999.]
- [160] Prohászka János:
Tudomány és technológia. Bányászati és Kohászati lapok - KOHÁSZAT 132. évf. 9. sz. (371-373). [1999.]
- [161] Prohászka János:
Tudomány – technológia – technika: hagyományos és (leg)újabb értelmezések. Magyar Tudomány 10. (1231-1233). [1999.]
- [162] Prohászka János:
A kutatás teheti tudóssá az oktatót. NAPI MAGYARORSZÁG 2000. február 10. [2000.]

Roger Lyon
az Európai Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség elnöke



Roger Lyon, akit 2018 júniusában választott meg az Európai Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség (EFNDT) közgyűlése a Szövetség elnökének, 2019. szeptember 30-án, 74 éves korában váratlanul elhunyt.

Roger hosszú idő óta végzett rendkívül aktív munkát az angol szövetségben (BINDT), a világszövetségben (ICNDT) és az európai szövetségben (EFNDT). 2007-2008-ban a BINDT elnöke volt. Mindenki csodálta hatalmas energiáját és elkötelezettségét. Tapasztalt vezető volt, és mindig kész volt a legapróbb részletekig elmenni munkája során, ha azzal a roncsolásmentes vizsgálók közössége javát szolgálta. 2016-ban – az Egyesült Királyság roncsolásmentes vizsgáló személyzete egy speciális képzési rendszerének a kidolgozásáért – megkapta az ICNDT „Havercroft” Díját.

Trampus Péter

Alumíniumötvözet alakítási szilárdságának kísérleti és elméleti meghatározása

Bézi Zoltán¹, Krállics György², Bereczki Péter³,

¹ Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, Vezető Kutató, zoltan.bezi@bayzoltan.hu

² Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Egyetemi tanár, femkgy@gold.uni-miskolc.hu

³ Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Tudományos munkatárs, bereczki.peter@uniduna.hu

Összefoglaló:

Ebben a publikációban, EN AW 8006 anyagminőségű alumínium melegalakítását jellemző alakítási szilárdság meghatározását végeztük el, figyelembe véve a mikroszerkezeti átalakulásokat. Vizsgálatainkat Gleeble 3800 termo-mechanikai fizikai szimulátoron hajtottuk végre egytengelyű feszültség-állapotban, nagymértékű alakváltozás $\bar{\varphi}=1-1.5$ és $T=300-500$ °C hőmérséklet, valamint $\dot{\varepsilon}=1-50$ 1/s alakváltozási sebesség intervallumban. Az alakítás befejezése után gyors hűtést hajtottunk végre a mikroszerkezet alakítás utáni állapotának megőrzése céljából, majd mikroszkópi csiszolatokat készítettünk a szemcseszerkezet vizsgálatához. A mérési adatok feldolgozásánál analitikus összefüggések felhasználásával figyelembe vettük a sűrűlódás, valamint a folyamat során fejlődő hő hatását is, melyek jelentősen befolyásolják a mért eredményeket. A fizikai kísérletekkel párhuzamosan virtuális tesztek hajtottunk végre melyek segítették a kiértékelési eljárás pontosítását. Az eredmények kiértékelésére a Laasraoui és Jonas féle leírásmódot alkalmaztuk az alakváltozás és feszültség kapcsolatának a felírásához. A konstitutív egyenlet paramétereinek leírására azok Zener-Hollomon paramétertől való függését vettük figyelembe.

Kulcsszavak:

AW 8006 alumínium, alakítási szilárdság, Gleeble, aktiválási energia, DRV

1. Bevezetés

Alumíniumötvözetek melegalakítási technológiájának tervezéséhez, az alakítási folyamat modellezéséhez szükség van az adott anyag anyagtörvényére és ehhez kapcsolódóan az alakítási szilárdság alakváltozási mértéktől, alakváltozási sebességtől és hőmérséklettől való függvényére. A melegalakítási folyamatoknál általában nagymértékű alakváltozás széles alakváltozási sebességtartományban történik, ezért az anyagjellemző pontos meghatározása

kísérleti és elméleti kihívásokat jelent. A kísérleti eredmények kiértékelésére, az anyagtörvény paramétereinek meghatározására alapvetően két módszer terjedt el. Az egyik esetben, amely alapvetően fenomenologikus, a klasszikus kontinuummechanikát alkalmazzuk. A másik esetben a képlékeny alakváltozás – feszültség vizsgálatába bevonjuk az adott anyagban végbemenő fizikai folyamatok elemzését, az anyagszerkezet hatását.

Köztudott, hogy melegghengerlés során végbemegy az alakítási keményedés, bizonyos esetekben az alakítással, az anyagi viselkedéssel kapcsolatos lágyulási folyamat, ami lehet dinamikus megújulás (DRV) és dinamikus újrakristályosodás (DRX). Ezen jelenségek befolyásolják alapvetően a kialakuló szövetszerkezetet és ezzel együtt a mechanikai tulajdonságokat is. Általánosan elmondható, hogy az ötvözetlen alumínium esetén a melegalakítás során nem megy végbe a DRX. Helyette a dinamikus megújulásról lehet beszélni. Ez az elmélet alapvetően a kis alakváltozási sebesség és kis alakváltozási mérték esetében helytálló. Valójában sokáig nem is alkalmaztak olyan alakítási technológiát, ahol szerepe lett volna a DRX-nak alumíniumötvözetek esetében. A DRX hiányának oka, hogy az alumíniumnak nagy rétegződési hiba energiája. Az ezáltal a stabil diszlokációs szerkezet azt eredményezi, hogy a megújulást kerül előtérbe, mert a diszlokációs szerkezet által létrehozott tárolt energia értéke túl kicsi ahhoz, hogy a DRX meginduljon. Ugyanakkor az erősen ötvözött alumínium, melynek kisebb a rétegződési hibaenergiája, melegalakítása során végbemegy a DRX, aminek a leírásával a szakirodalom és részletesen foglalkozik [1]-[3]. A szakirodalomban található kísérleti tapasztalatok alapján a DRX bekövetkezésének feltétele, hogy az alakváltozás egy kritikus értéket meghaladjon. Alumíniumötvözeteknél a DRV hajtóereje jelentős, mely nagymértékben gátolja a hagyományos DRX-ást. Ebben az esetben már egy a hagyományostól különböző mechanizmusról beszélünk, ami jelenleg még nem tökéletesen feltárt. Ebből adódik az, hogy a jelenlegi szakirodalom szerint létezik a nagy

rétegződési és a kis rétegződési hibaenergiájú anyagok esetében alkalmazható folyamatos és szakaszos dinamikus újrakristályosodás is [4][5]. Ezért számos kutatócsoport megkísérelte fejleszteni konstitutív egyenleteket, melyek tartalmazzák magukban a korábban említett jelenségeket, jellemzően melegzőmítő vizsgálatokkal mért adatok felhasználásával különböző anyagokra, a melegalakítás leírására. A folyási feszültség meghatározására különböző modellek kerültek kidolgozásra.

Jelen munkában EN AW 8006 anyagminőségű alumínium ötvözet meleghengerteléséhez kapcsolódó anyagtörvény paramétereinek meghatározását végeztük el annak érdekében, hogy a későbbiek során ezen ötvözött alumínium meleghengertelésének a numerikus modellezéséhez nélkülözhetetlen, a mikroszerkezeti változásokhoz kapcsolódó konstitutív alakváltozás feszültség összefüggéseket meghatározzuk. A mikroszerkezeti vizsgálatok igazolták a fent említett megállapításokat a mikroszerkezet változásával kapcsolatban. Ugyanakkor ahhoz, hogy ezen változáshoz kapcsolódó alakváltozás feszültség összefüggéseket meg tudjuk határozni szükséges volt a hagyományos melegzőmítő vizsgálatok kiértékelő metódusának a felülvizsgálata. Amely jelen esetben a zömítés közbeni súrlódási és a hőmérsékleti viszonyok figyelembevételét jelenti. Ez utóbbinak a figyelembevétele a helyes kiértékelés szempontjából, mint látni fogjuk, igen kritikus.

2. Az elvégzett kísérletek

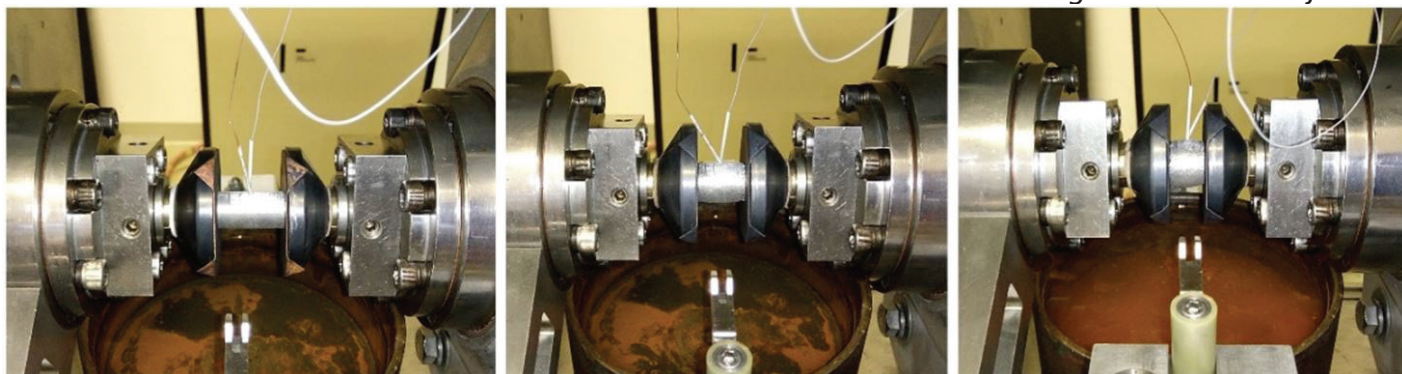
Alumínium ötvözetet alakítási szilárdságának meghatározására Ø16x28 mm méretű, hengeres próbatestek alkalmaztunk. A vizsgálatok a Dunaújvárosi Egyetem anyagvizsgáló laboratóriumában történtek Gleeble 3800 termo-mechanikus szimulátoron. Megfelelő kenés, grafit spray, alkalmazásával oldottuk meg ezért a homogenizált állapotú hengeres próbatestek zömítésekor minimális volt a hordósodás.

A vizsgálat során a próbatest hőmérsékletét a termoelemek segítségével folyamatosan rögzítettük. A zömítő vizsgálatokat az alábbi vizsgálati paraméterek szerint végeztük el: hőmérséklet 300,400,450,500 °C, alakváltozási sebesség 1,10,20,50 1/s.

A Gleeble rendszer egyik jellemzője, hogy a keresztfejek horizontális elrendezésűek emiatt egy tartószerkezet biztosítja a hengeres próbatestet a keresztfejek között a zömítés megkezdése előtt. A berendezés másik sajátossága, hogy az alakváltozási sebesség szabályozható. A munkadarab magasságának függvényében a keresztfej sebessége csökkenthető, így a folyamat során az alakváltozási sebesség közel állandó. A zömítő vizsgálat során mérjük a próbatest magasságát (h) és az anyagra ható erő nagyságát (F). Amennyiben feltételezzük, hogy a próbatest alakja ideális a folyamat során, akkor az alakítási ellenállás (p) és a logaritmikus alakváltozás (ε) felírható az alábbi összefüggésekkel:

$$p = \frac{F}{A}, \quad \varepsilon = \ln \frac{h_0}{h} \quad (1)$$

ahol A – a próbatest keresztmetszet területe a térfogat állandóságból számítva, a próbatest kiinduló magassága. A zömítő vizsgálat során fellépő inhomogén alakváltozást hordósodásnak nevezzük. Számos oka van annak, hogy a mérési gyakorlatban homogén alakváltozási állapotot nem lehet elérni. Először is, a vizsgálat pontossága nagymértékben függ a minta előkészítésének minőségétől. Másodszor, mivel a súrlódásmentes körülményeket nem lehet biztosítani, még a leghatékonyabb kenőanyagok használatával sem, így mindig fellép valamilyen szintű hordósodás. A zömítő vizsgálatok esetén a legkézenfekvőbb a súrlódási hatás kiküszöbölése. Ugyanakkor a súrlódási tényezőt előzetesen nem ismert, így a hatását csak kiegészítő mérés és számítás segítségével vehető figyelembe. A folyamatos zömítés során, nem közvetlenül az anyag alakítási szilárdságát mérjük (σ_s), hanem az alakítási ellenállását. Az alakítási szilárdság a következő kifejezéssel



1. ábra. Gleeble termo-mechanikus szimulátor a vizsgálati elrendezésben

fejezhető ki Kudó (m) típusú súrlódásra, ahol $\bar{d}$ és h a pillanatnyi átmérő és magasság:

$$\sigma_s = \frac{p}{\left(1 + \frac{m}{\sqrt{3}} \frac{\bar{d}}{3h}\right)} \quad (2)$$

A továbbiakban már csak a súrlódási tényező meghatározása szükséges (m). Analitikus összefüggések segítségével a súrlódási tényező nagysága számítható a próbatest hordósságából. Avitzur szerint az átlagos súrlódási tényező becsülhető az alábbi összefüggések szerint, a kiinduló és végső próbatest geometria ismeretében [6][7]:

$$m = \frac{\left(\frac{\bar{r}_v}{h_v}\right)b}{\left(\frac{4}{\sqrt{3}}\right) - \left(\frac{2b}{3\sqrt{3}}\right)}, \quad b = 4 \frac{\Delta r}{\bar{r}} \frac{h}{\Delta h} \quad (3)$$

ahol h_v a próbatest végső magassága $\Delta r = r_m - r_t$, a próbatest közepén és a véglapon mért sugár nagyságának a különbsége (2. a) ábra). Amennyiben azt feltételeztük, hogy a kialakuló hordóalak megközelítőleg parabola, akkor a véglapi sugár és a próbatest közepén mért sugár becsülhető a másik ismeretében az alábbi formula használatával:

$$r_m = \frac{-2r_t h_v + \sqrt{30r_0^2 h_v h_0 - 5r_t^2 h_v^2}}{8h_v} \quad (4)$$

Annak érdekében, hogy a térfogat állandóság teljesüljön a súrlódási tényező becslésére csak az egyeik mért sugár adatot használtuk fel [7]. A mért és (4) összefüggés segítségével számított közép sugár nagyságának az összehasonlításából lineáris regresszió segítségével meghatároztuk (2.b) ábra) a folyamatra jellemző átlagos súrlódási tényező értékét, mely jelen esetben $m=0,14$ -re adódott.

Köztudott, hogy az anyagok képlékenyalakítása hőmérsékletnövekedéssel jár, általánosságban elmondható, hogy a minél nagyobb az alakváltozási sebesség egy adott hőmérsékleten annál nagyobb a hőmérsékletnövekedés. Zömítő vizsgálatok esetén mindig törekedünk az állandó hőmérséklet tartására ugyanakkor elkerülhetetlen, hogy a méréseinkben megjelenjen a hőmérsékleti hatás is [8]. A képlékeny alakváltozás által előidézett hőfejlődés az alábbi egyenlet definiálja feltételezve, hogy a környezeti hőmérséklet hatása elhanyagolható és hőátadás csak a szerszám és a munkadarab között valósul meg:

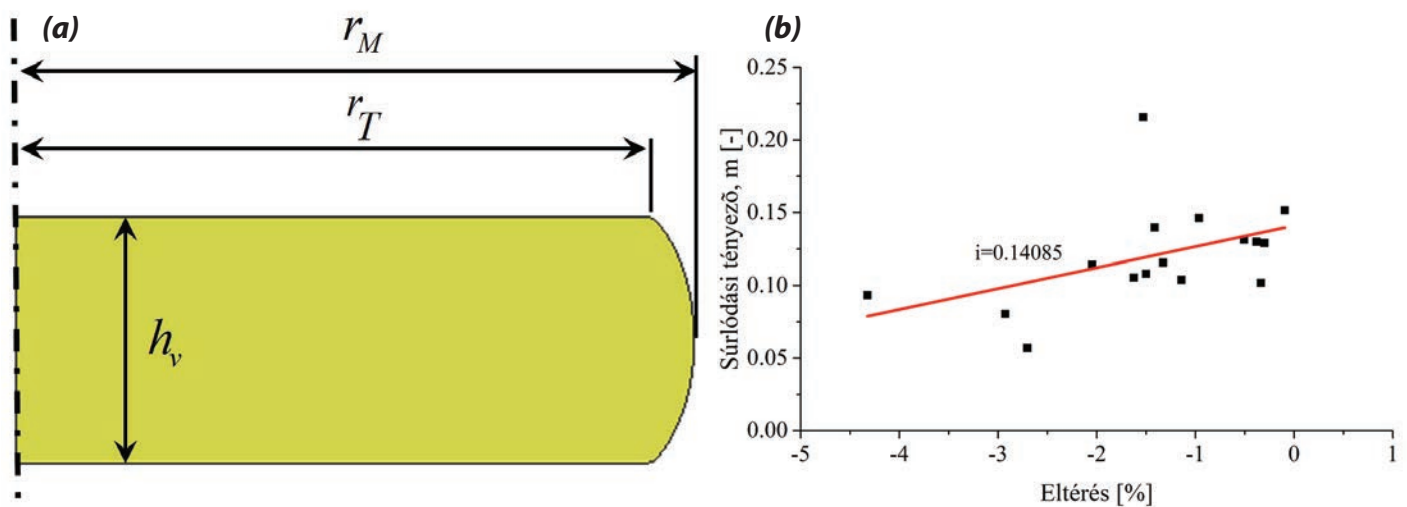
$$\Delta T = \frac{\eta_0 Q_{def}}{2\eta_1 S_1 h_c t + 2\eta_2 \frac{S_2 \lambda t}{h} + \rho C V_{def}} \quad (5)$$

ahol η_0 a határfok, ami definiálja, hogy a bevitt Q_{def} alakítási energia hány százaléka alakul hővé, ρ az anyag sűrűsége, C a fajhője és V_{def} az alakított térfogat, S_1 és S_2 a kontaktfelületek nagysága, h_c a kontakt hőátadási tényező az érintkező felületek között, λ a hővezetési tényező, h a darab pillanatnyi magassága, illetve t az idő. Az alakítási energiát az alábbi módon definiálhatjuk:

$$Q_{def} = V_{def} \int_0^{\Delta \varepsilon} \sigma_y d\varepsilon \quad (6)$$

ahol $\Delta \varepsilon$ a logaritmikus alakváltozás változása a teljes zömítés során.

Annak érdekében, hogy vizsgálni tudjuk a darab hőmérsékletemelkedését, szükséges az egyenletekben szereplő fizikai jellemzők ismerete. Az adott ötvözet fizikai jellemzőinek a becslésére a JMatPro szoftvert használtuk [9][10]. Ahol is az anyag a vegyi összetétel megadását követő a program matematikai modellezéssel az ötvözet hőmérsékletfüggő



2. ábra. (a) A deformált geometria; (b) A számított súrlódási tényezők

fizikai jellemzőire ad jó becslést. A szoftver által meghatározott értékeket ezt követően a fizikai szimuláció szempontjából jellemző 300-500 °C tartományra átlagolva: $\lambda = 206 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$, $\rho = 1075 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$ és $\rho = 2658 \text{ kg/m}^3$. Míg a kontakt hővezetési tényező $h_c = 20000 \text{ W/m}^2$, illetve a hatásfok η_1 és $\eta_2 = 0,95$ -nek feltételezhető a zömítés során. Ezen értékek ismeretében előzetesen becsülhető a próbatest hőmérsékletnövekedése az alakítás során, amelyek jó egyezést mutattak a termoelemekkel mért hőmérsékletnövekedési értékekkel.

Jól ismert, hogy a hőmérsékletnövekedés által előidézett feszültségcsökkenést az alábbi egyenlet segítségével definiálhatjuk:

$$\Delta\sigma = \frac{Q}{n\alpha R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T + \Delta T} \right) \quad (7)$$

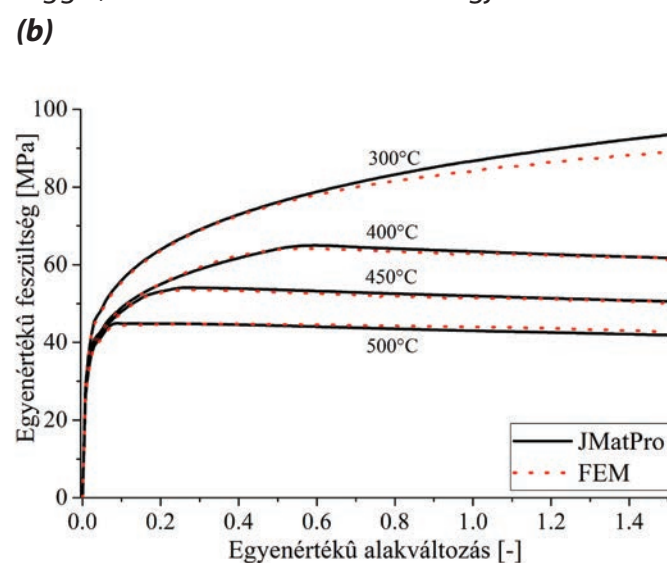
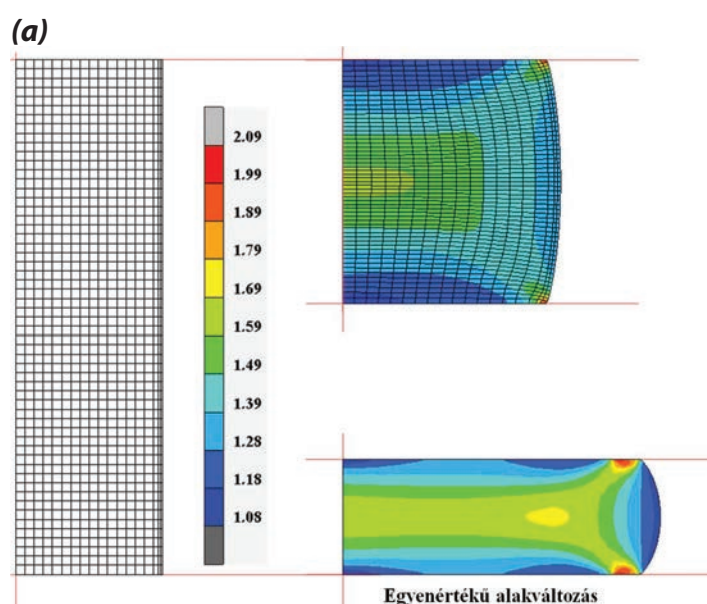
ahol az aktiválási energia és anyagi állandók, valamint az univerzális gázállandó [11].

A probléma az, hogy a mérési adatok kiértékelése során nem tudjuk e mennyiségeket, mivel ezek csak az után válnak számunkra ismertté, miután a teljes kinetikai kiértékelést elvégeztük. Ugyanakkor, mint látható, a hőmérséklet hatás figyelembevételéhez ezek nélkülözhetetlenek, erre lehet egy jó megoldás a numerikus eszközök használata az ismeretlen anyagi állandók meghatározására. Ennek érdekében virtuális zömítő vizsgálatokat végeztünk MSC. Marc nemlineáris véges elemes rendszerben, felhasználva a vizsgálati paramétereket és próbatest geometriai adatait. A feladat megoldására 2D tengelyszimmetrikus véges elemes modellt építettünk fel, ahol a szerszámokat merevnek tételeztük fel. A

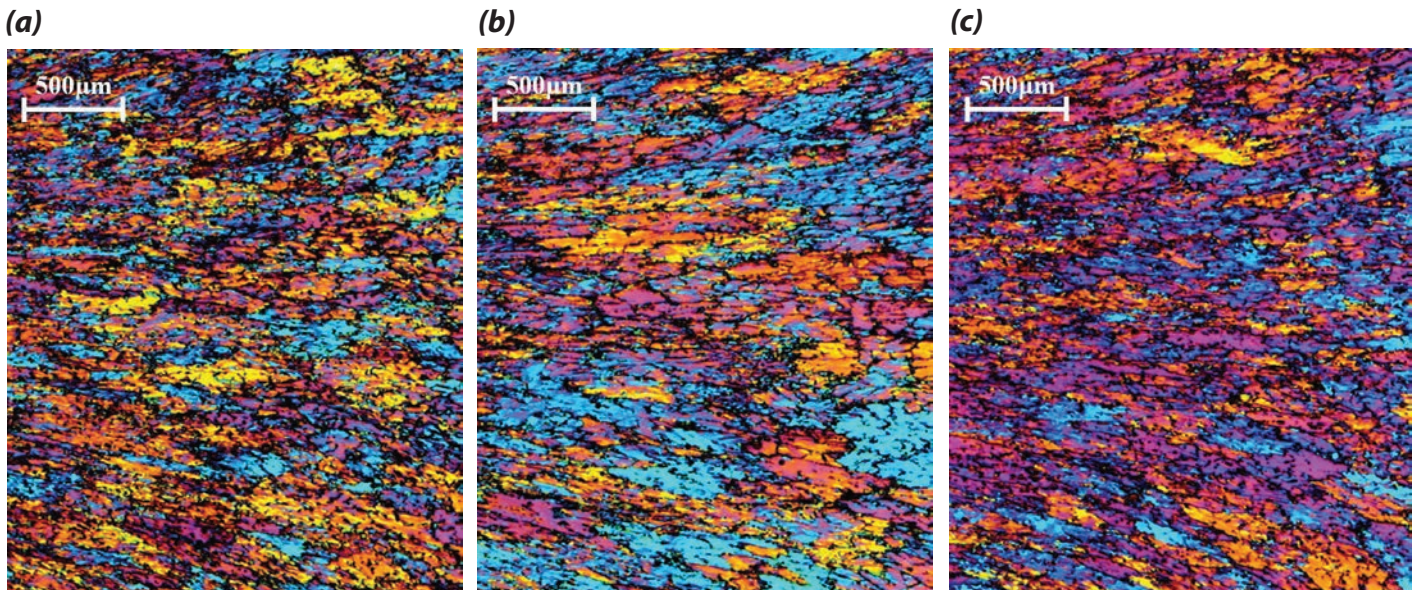
szimulációban rugalmas-képlékeny anyagmodellt használtunk, amely az alakítás sebességét és a hőmérséklet változását is figyelembe veszi. A kísérleti anyag pontos kémiai összetételét definiálva a JMatPro szoftverben [9][10], meghatároztuk a vizsgált ötvözet alakítási szilárdság görbéit, úgy, hogy azok lefedjék a teljes zömítési folyamat alakváltozás, alakváltozási sebesség és hőmérséklet tartományát. A virtuális vizsgálat során a feszültség és a hőmérséklet változása számítható volt, így a (7) egyenletben ismeretlen Q/naR hányados már meghatározható, a bevitt és az előbbieken vázolt kompenzációs metodológia felhasználásával számított alakítási szilárdság görbék különbségének alapján. A 3. (b) ábra egy ilyen összehasonlítást szemléltet az eredeti JMatPro szoftver által meghatározott és a modellt, valamint a vázolt kiértékelési eljárás által számolt alakítási szilárdság görbék között, különböző hőmérsékleteken 10 1/s alakváltozási sebesség mellett. A szimulációkat a teljes vizsgálati tartományra elvégeztük. Az összehasonlításból meghatározott hányados ($Q/naR = 132300 \text{ MPaK}$) értéke a teljes alakváltozási tartományon 2%-os átlagosan abszolút relatív hibával rendelkezik, így kijelenthető, hogy a módszer alkalmas a kompenzáció elvégzésére ezen érték használatával.

3. A kompenzált mérési eredmények

A képlékenyalakítás során végbemenő alakváltozási mechanizmusok, valamint a mikroszerkezeti változások szoros kapcsolatban állnak az alakítási szilárdsággal, hisz karakterisztikusan megjelennek benne.



3. ábra. (a) A FE modell, különböző zömítési lépésekben; (b) Az eredeti és számított alakítási szilárdság görbék összehasonlítása



4. ábra. A mikroszerkezet 25X nagyításon, $\dot{\epsilon} = 1$ [1/s] mellett különböző hőmérsékleten esetén: (a) 300°C, (b) 400°C and (c) 500°C

Mint a 6. ábrán látható, hogy az 500°C-os, 1 és 10 1/s alakváltozási sebességhez tartozó görbék kivételével nem láthatunk a DRX jelenlétére utaló jellegzetes alakot, a görbék nem tartalmaznak éles feszültség-csúcsot mely elérése után a feszültség kis mértékben visszaesne, és beállna egy állandó értékre. Ez arra utal, hogy a vizsgált tartományban az uralkodó lágyulásért felelős mechanizmus a DRV. A lágyulásért diszlokációs szerkezet megváltozása a felelős, csökken a diszlokációsűrűség, a diszlokációk rendeződnek, és kis szögű szemcsehatárokat hoznak létre. Ennek következtében a keménység valamint a szilárdság kisebb mértékben csökken. Mindezen megállapításokat a mikroszerkezet vizsgálata is alátámasztotta (4. ábra). Az elvégzett zömítő vizsgálatok után a próbatestekről csiszolatokat készítettünk melyeket optikai mikroszkóppal vizsgáltunk. Mivel az alakváltozási mező kismértékű inhomogenitást mutat $\bar{\varphi} = 1,5$ alakváltozás mellett, ezért a vizsgált terület a 3. a) ábra alapján került kijelölésre a próbatest hosszanti keresztmetszetében középen, a sugár 2/3-a mentén, ahol a várható jellemző alakváltozási mérték 1,5.

A mikroszerkezet fejlődésének elméleti leírása többek között a diszlokációsűrűség-evolúciós modellekkel felhasználásával történik. Ezekben az átlagos diszlokációsűrűséget modellezzik a deformáció függvényében azzal a megfontolással, hogy diszlokációsűrűség változásához bizonyos mikroszerkezeti folyamatokat tételeznek fel többek között a megújulási folyamatot. Az első lépés itt is a folyamatok szétválasztása. Tudjuk, hogy az alakítási keménye-

dés mellett mindig fellép a diszlokáció-szerkezet átrendeződését, illetve sűrűségének csökkenését eredményező DRV. A diszlokációs-szerkezet átrendeződésének az alakváltozás függését az alábbi összefüggés definiálja:

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = U - \Omega\rho \quad (8)$$

ahol, az egyenlet bal oldala azt fejezi ki, hogy az alakváltozás növekedésével, hogyan növekszik a diszlokációk sűrűsége (ρ), U az alakítási keményedést, míg $\Omega\rho$ a dinamikus megújulást reprezentálja. Ahol Ω a dinamikus megújulás együtthatója. Integrálva a (8)-as összefüggést:

$$\rho = \frac{U}{\Omega} - \left(\frac{U}{\Omega} - \rho_0 \right) \exp(-\Omega\varphi) \quad (9)$$

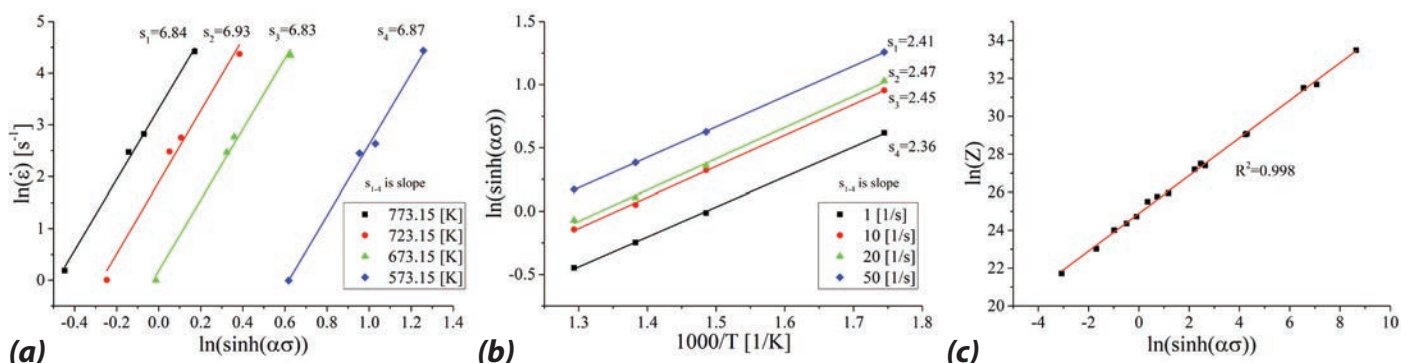
ahol, ρ_0 a kezdeti diszlokációsűrűség. Kihasználva a $\sigma = \alpha\mu b\sqrt{\rho}$ Taylor összefüggést [12] ahol az α paraméter egy geometriai állandó, a μ nyírási modulus és a b vizsgált anyagra jellemző Burgers-vektor nagysága. Az alakváltozás feszültség összefüggés Laasraoui és Jonas szerint [13]:

$$\sigma_y = \sqrt{\left[\sigma_{sat}^2 + (\sigma_0^2 - \sigma_{sat}^2) \exp(-\Omega\varphi) \right]} \quad (10)$$

ahol σ_0 – a folyáshatár és σ_{sat} – a telítési feszültséget ($\varepsilon \rightarrow \infty$ esetén).

Az alumínium és más fémek melegalakítás közbeni feszültség és alakváltozási sebesség összefüggésének a leírására szolgáló konstitutív egyenletek Arrhenius féle formalizmusát széles körben használják:

$$\dot{\epsilon} = A \left(\sinh(\alpha\sigma_s) \right)^n \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad Z = \dot{\epsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \quad (11)$$



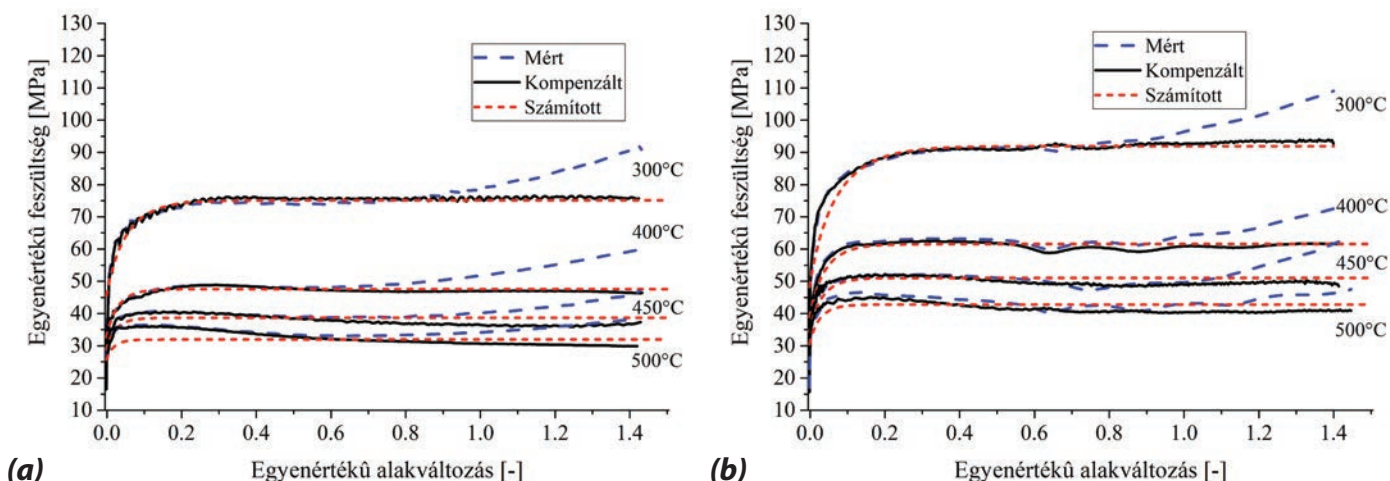
5. ábra. Összefüggés: (a) $\ln \dot{\epsilon}$ és $\ln(\sinh(\alpha \sigma_{sat}))$, (b) $\ln(\sinh(\alpha \sigma_{sat}))$ és $1/T$, valamint (c) $\ln Z$ és $\ln(\sinh(\alpha \sigma_{sat}))$ között

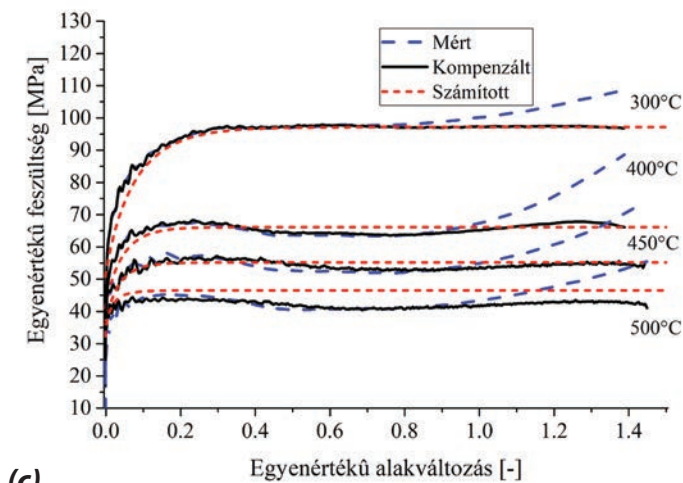
ahol σ_s – a feszültség, $\dot{\epsilon}$ – az alakítási sebesség, T – a hőmérséklet, A, n, α – anyagi paraméterek, R – az univerzális gázállandó, Q – az aktiválási energia és Z – a Zener-Hollomon paraméter. A (11) összefüggés átrendezett alakjának természetes alapú logaritmálása után az n és α paraméter meghatározható. Amennyiben a kihasználjuk a ($\sigma_s = \sigma_{sat}$) feltételt és ábrázoljuk az $\ln \dot{\epsilon}$ az $\ln(\sinh(\alpha \sigma_{sat}))$ függvényében különböző hőmérsékleteken, mely görbék meredeksége a keresett n paraméter szolgáltatja, oly módon, hogy az ismeretlen α értékét úgy változtatjuk, hogy az ábrázolt görbék meredeksége (5. a) ábra) a legkisebb eltérést mutassa [14]. Az ily módon meghatározott anyagi paraméterek $\alpha = 0,018 \text{ MPa}^{-1}$, míg $n=6,87$. Ezután, ha az $\dot{\epsilon}$ -ot állandónak tekintjük, akkor lineáris összefüggést találunk a $\ln(\sinh(\alpha \sigma_{sat}))$ és az $1/T$ között (5. b) ábra), így megkaphatjuk az aktiválási energia értékét ($Q=138 \text{ kJ/mol}$), felhasználva az n és az R értékét, a vizsgált alumínium ötvözet esetén. A még hiányzó A paraméter meghatározásához az $\ln Z$ ábrázoljuk az $\ln(\sinh(\alpha \sigma_{sat}))$ függvényében, ahol függőlegestengelymetszete adja (5. c) ábra) a keresett értéket, így: $\ln A = 24,89 \text{ 1/s}$. A (9)-es összefüggésből kifejezhetjük a dinamikus megújulás együtthatóját (Ω), felhasználva a mérési

si adatpontjainkat, felírhatjuk a Ω Zener-Hollomon paramétertől való függését. Emellett felhasználva mért $\ln \sigma_0$ valamint felhasználva az $\ln Z$ -t értékeket, meghatározhatjuk a folyáshatár Zener-Hollomon paraméterrel való kapcsolatát az adott ötvözetre, mely az alábbi módon adódott:

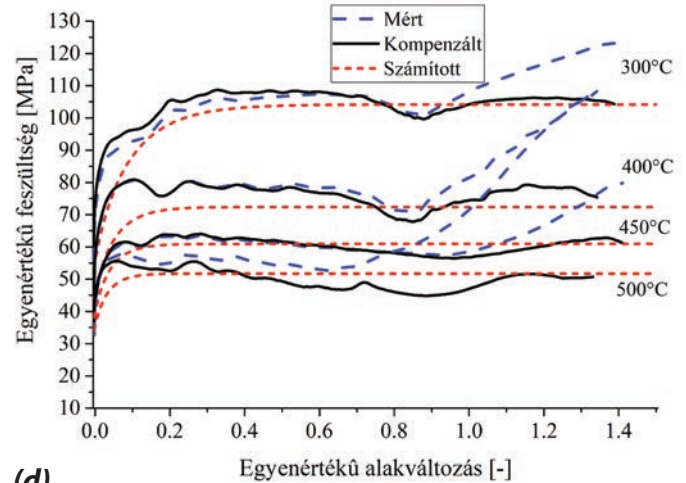
$$\Omega = 750.97 Z^{-0.129}, \sigma_0 = 5.08 Z^{0.077} \quad (12)$$

Az előző pontban lépésről lépésre bemutattam azokat a technikákat, amelyek szükségesek ahhoz, hogy a zömítő vizsgálattal rögzített alakítási ellenállás görbéinkből megkapjuk a tényleges alakítási szilárdság görbéinket. A 6. ábrán különböző hőmérsékleten és alakváltozási sebesség mellett elvégzett meleg zömítő vizsgálatok segítségével meghatározott valódi feszültség-valódi alakváltozás görbék láthatóak. Az ábra jól szemlélteti a korrekció fontosságát és a fentiekben bemutatott konstitutív egyenletek alkalmazhatóságát. A választott konstitutív egyenlet relatív hibája a teljes vizsgált tartományon 8,71%, ami a kompenzációs módszertan és az alkalmazott leírásmód jóságát tükrözi. Az eredmények azt mutatják, hogy a meghatározott konstitutív egyenlet felhasználható a melegen hengerelési folyamat véges elemes szimulációjában.





(c)



(d)

6. ábra. Alakítási szilárdság görbék különböző alakítási sebességek mellett:
 (a) $\dot{\epsilon}=1 [1/s]$, (b) $\dot{\epsilon}=10 [1/s]$, (c) $\dot{\epsilon}=20 [1/s]$, (d) $\dot{\epsilon}=50 [1/s]$ különböző hőmérsékleteken

4. Összegzés

A képlékenyalakítás segítségével előállított termékek mechanikai és egyéb tulajdonságait tovább javíthatjuk, az alakítástechnológia tudatos megtervezése segítségével. Itt kerülnek előtérbe a technológiatervezést segítő szimulációs eszközök, szoftverek. Ahhoz, hogy képesek legyünk a valóságot minél jobban megközelítő szimulációkat készíteni szükséges az, hogy a szoftverek bemenő paraméterei minél jobban közelítsék a valóságot. Ehhez mindenekelőtt ismernünk kell az alakítás során az anyagban lejátszódó mikroszerkezeti folyamatok működési elveit. Meleg zömítő vizsgálatok során az EN AW 8006 alumínium ötvözetből kimunkált hengeres próbákat alakítottunk egy Gleeble 3800 termo-mechanikus szimulátoron. A megfelelő kenés, grafit spray, alkalmazásával oldottuk meg, ennek ellenére a homogénizált állapotú hengeres próbatestek zömítésekor hordósodás így is fellépett. A kapott alakítási ellenállás görbéinket súrlódás szempontjából az Avitzur módszerrel korrigáltuk, majd ezután az alakítás közbeni intenzív hőfejlődés hatását is figyelembe vettük. Meghatároztuk az ötvözet aktiválási energiáját: $Q=138 \text{ kJ/mol}$.

A metallográfiai vizsgálatok eredményeiből azt állapítottuk meg, hogy a vizsgált hőmérsékleti és alakváltozási sebesség tartományban a dinamikus megújulás a meghatározó lágyulásért felelős folyamat. Ennek megfelelően felírtuk az ötvözet konstitutív egyenleteit a Laasraoui és Jonas által publikált, a dinamikus megújulást leíró alakváltozás-feszültség összefüggés szerint. A kapott eredményeket későbbi numerikus szimulációkhoz kívánjuk felhasználni.

Irodalom:

- [1] Mikó, T., Barkóczy, P.: Determination of the Onset of the Dynamic Recrystallization of a 7075 Al Alloy, *Materials Science Forum* (2013) 752:105-114.
- [2] Ponge, G. G. P.: Dynamic recrystallization in High Purity Aluminum, *Scripta Materialia* (1997) 37:1769-1775.
- [3] Hegyes, T., Barkóczy, P.: The effect of homogenization on the annealing of Al-1,5% Mn aluminum alloy. *Anyagmérnöki Tudományok* (2013) 38/1:129-135.
- [4] Humphreys, F.J., Hatherly, M.: Recrystallization and related annealing phenomena. 2nd ed. Oxford: Elsevier; 2004.
- [5] Sakai, T., Jonas, J.J.: Plastic deformation: role of recovery and recrystallization, *Encyclopedia of materials: science and technology* (2001) 7: 7079-7084.
- [6] Vo, P., Jahazi, M., Yue, S., Bocher, P.: Flow stress prediction during hot working of near- α titanium alloys, *Materials Science and Engineering: A* (2007) 447:99-110.
- [7] Ebrahimi, R., Najafzadeh, A.: A new method for evaluation of friction in bulk metal forming, *Journal of Materials Processing Technology* (2004), 152/2, 20:136-143.
- [8] Charpentier, P.L., Stone, B.C., Ernst, S.C.: Characterization and modeling of the high temperature flow behavior of aluminum alloy 2024, *Metallurgical Transactions A* (1986) 17/12:2227-2237.
- [9] Guo, Z., Saunders, N., Miodownik A.P., Schillé, J.P.: Hot deformation of aluminum alloys, Sente Software Ltd., 2016.
- [10] Guo, Z., Saunders N., Schillé J.P.: Age hardening of aluminum alloys, Sente Software Ltd., 2018.
- [11] Xiao, G., Yang, Q., Li, L.: Constitutive analysis of 6013 aluminum alloy in hot plane strain compression process considering deformation heating integrated with heat transfer, *Metals and Materials International* (2016) 22:58-68.
- [12] HKDHB and RWKH, Preface to the Third Edition, In *Steels* (Third Edition), edited by H.K.D.H. Bhadeshia and Sir Robert Honeycombe, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2006.
- [13] Laasraoui, A., Jonas, J.J.: Prediction of steel flow stresses at high temperatures and strain rates. *Metall Mater Trans A* (1991) 22:1545-58.
- [14] Uvira, J.L. and Jonas, J.J.: *Trans. Metall. Soc. "Hot compression of Armco iron and silicon steel"*, AIME, (1968) 242:1619-1626.

A feldolgozási előélet hatása lágyított PVC reológiai tulajdonságaira

László Noémi

¹Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, Laborvezető

noemi.laszlo@bayzoltan.hu

Összefoglaló:

A polimerek a feldolgozás során általában ömledék állapotba kerülnek, ezért a gyártástechnológia szempontjából a makromolekuláris anyagok reológiai tulajdonságainak ismerete meghatározó. Jelen cikk célja a lágyított PVC rendszerek reológiai vizsgálata a feldolgozási előélet függvényében. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az extrúziós módszer választ adhat a különböző előéletű anyagok viselkedésére, feldolgozási anomáliájára.

Kulcsszavak:

PVC, ömledékreológia, viszkozitás, Bagley-korrektció, extrudálás

1. Bevezetés

A gyakorlatban alkalmazott polimerek közül az egyik legnagyobb mennyiségben a polivinil-klorid (PVC) kerül felhasználásra, fontos tömegműanyag. A PVC-ből gyártott termékek száma – előnyös tulajdonságai és széles körben történő alkalmazhatósága miatt – folyamatosan nő. Különböző adalékanyagok felhasználásával a PVC tulajdonságai és szerkezete széles határok között változtatható [1]. A PVC különleges tulajdonsága, hogy a termék feldolgozási előélete nyomon követhető, az előélet meghatározását a polimermolekula szupermolekuláris szerkezete, annak változása teszi lehetővé [2]. A PVC feldolgozása során kialakult szerkezete a hűlés során nem alakul vissza, így alkalmas a polimer termék termikus és feldolgozási előéletének meghatározására [3].

A PVC-k esetén gyakran megfigyelhető jelenség az ún. ömledéktörés [4,5], amely a szerszámból kilépő anyag alakját meghatározza. Az ömledéktörés rugalmas hatásokra vezethető vissza. Nagy nyírási sebességnél a szerszámból kilépő anyag szerkezete szabálytalan vagy periodikusan hullámszerű. A rugalmas turbulencia szerepe feldolgozási szempontból lényeges. A szerszámba történő belépésnél az orientáció, a szerszám falán történő megcsúszás a rugalmas deformáció periodikus visszaalakulását eredményezi.

A kapillárisból kilépő anyag felülete sima és egyen-

letes. Adott nyírófeszültség mellett a felület rücskös, egyenetlenné válik. A feszültség hatását torzulás, elcsavarodás jellemzi. A nyírófeszültség növelése a láncok nagyrugalmas deformációját eredményezi, amely részleges orientációt okoz. A polimer elválhat a kapilláris falától a láncok közötti orientáció felerősödése miatt. A cső falától való elválás során feszültségrelaxáció figyelhető meg. A cső falával kontaktus alakulhat ki a polimer láncok dezorientációja következtében. A feszültség koncentrálódása a kilépő ömledék sugár irányú torzulását okozza [6]. A reológiai duzzadás és a szerszámban kialakuló parabolikus sebességprofil [7] a termék alakjának eltorzulását okozza. A rugalmas turbulencia a termék minőségét és a termelékenységet rontja. Az ömledéktörés a jelenség időpillanatában fellépő kritikus deformáció-sebességgel és kritikus nyírófeszültséggel jellemezhető.

Az ömledéktörés extrudálás során okoz nehézségeket. A kilépő anyag geometriája torzul, a felület pedig durván egyenetlen lesz. A vizsgálati eljárások közül az extrudálással [8], fröccsöntéssel [9], MFI-vel [10], differenciál scanning kalorimetriával (DSC) [11], Brabender plasztográffal, hengerszékkel végzett kísérletek a legjellemzőbbek.

A vizsgálatok során különböző hőmérsékleten extrudált PVC reológiai tulajdonságait vizsgáltam, melyhez DSC vizsgálatot, viszkozitásmérést, folyásindex és aktiválási energia meghatározást végeztem. A vizsgálatokat és a kapott eredményeket a következő fejezetek mutatják be

2. Kísérleti rész és eredmények

2.1. Lágyított PVC keverék előállítás

A vizsgálatok elvégzéséhez lágyított PVC keveréket készítettem, melynek összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

A keverék fő komponense a PVC S5070 por, melyben a 70 a láncban lévő monomerek számára vonatkozik. Lágyítóként DINP-t alkalmaztunk, amely napjainkban biztonságosnak ítélt ftalát típusú lágyító. A komponensek keverése az MTI-20-as keverőben történt. Az áramerősség a keverés során maximálisan

1. táblázat. A vizsgálatokhoz használt lágyított PVC keverék összetétele

Komponens	PVC S5070	DINP	Stabilizátor	E-viasz	Csúsztató
Tömegrész	100	45	1,5	1	0,3

11-12 A értéket vett fel. Az alkalmazott fordulatszám 2100 s-1. A lágyító keverékhez adása 70 °C esetén történt. A komponensek keverése addig tartott, ameddig anyag hőmérséklete a 140°C-ot el nem érte (20 perc), ezt vízűtés, majd levegőn hűtés követte.

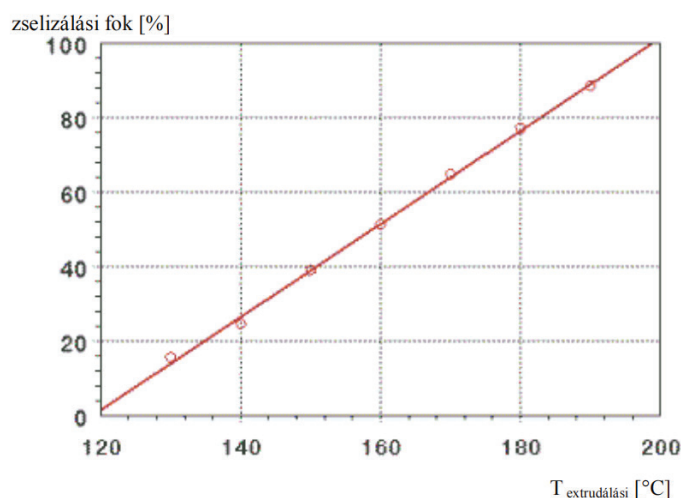
A keverékkészítést granulálás és extrudálás követte. Az extruderszerszám (dűzni) 30 mm hosszú, 3 mm átmérőjű hengeres szerszám 90°-os beömléssel. Egy extrudálás során 1,2 kg PVC-t került felhasználásra. Az extrudálás különböző hőmérsékleteken történt (130; 140;150;16;170;180 és 190 °C), az extrudálás során alkalmazott fordulatszám 60 1/perc.

2.2. DSC vizsgálat

A differenciál scanning kalorimetriával az adott anyag hevítés hatására lejároló energiaváltozásai, az entalpia és fajhő változása valamint a változásokhoz tartozó hőmérsékletek leírhatók. A módszerrel az a hőmérsékletre vonatkoztatott hőáramláskülönbségnek a hőmérséklet függvényében történő meghatározása lehetséges, amely a vizsgálati minta és az összehasonlító cella között mutatkozik az elnyelt vagy felszabadult hő következtében [19]. A vizsgálat során a bemért minta mennyisége 10 mg. A felfűtési sebesség 20 K/min. A vizsgálat hőmérséklettartománya -40-250°C, a vizsgálat során használt berendezés METTLER- Toledo DSC 823E típusú kaloriméter. A különböző hőfokon extrudált PVC esetén termogramokat 1. ábra szemlélteti.

A görbén lévő töréspont a feldolgozás során jelentkező legnagyobb hőmérsékletet mutatja. Meg-

figyelhető, hogy a nagyobb hőmérsékleteken feldolgozott alapgranulátumok esetén a töréspontok nagyobb hőmérsékleteket jelölnek. Az alapgranulátum esetén ez a hőmérséklet 155°C, 180°C feldolgozási hőmérsékletnél 168 °C, 190 °C extrudálási hőmérsékletnél 192°C. A feldolgozottsági (zselizációs) fok és az extrudálási hőmérséklet közötti kapcsolat vizsgálható. A zselizációs fok a DSC görbe alapján

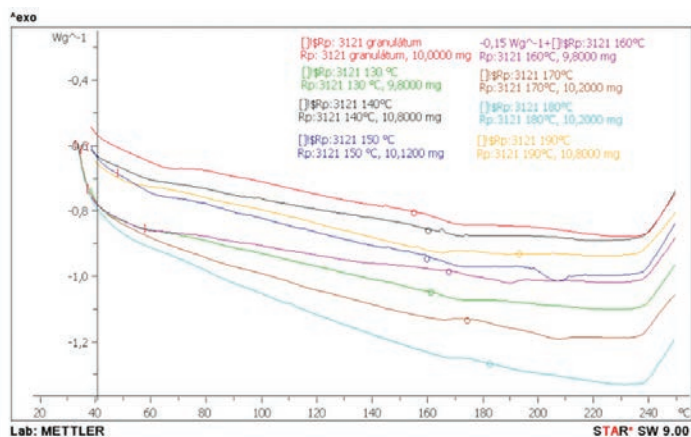
**2. ábra. A lágy PVC feldolgozottsági foka az extrudálási hőmérséklet függvényében**

számolható. A feldolgozottsági fok és az extrudálási hőmérséklet közötti kapcsolatot a 2. ábra mutatja be.

Az extrudálási hőmérséklettel a zselizációs fok nő. Granulátum esetén a feldolgozottsági fok 14%, 130-150 °C esetén 15-20 %. A kisebb extrudálási hőmérséklet miatt az anyag megömlése kisebb mértékű. Az extrudálási hőmérséklet növekedésével a feldolgozottság foka 55-90 %, amely a 15-20 %-os zselizálási fokhoz viszonyítva háromszoros növekedést jelent.

2.3. Bagley-korrektció

A polimerömlédek viszkozitás-függése különféle módszerekkel határozható meg. A vizsgálatok során kapott primer mérési értékek az alkalmazott kapilláris geometria függvénye. A látszólagos értékek korrekciót követően tekinthetők valós eredményeknek. A korrekció alapja lehet a falhatást, a nem parabolikus sebességeloszlás, a falcsúszás és a diszzipációs hőfejlődést figyelembe vevő számolás. A

**1. ábra. Különböző hőmérsékleteken extrudált PVC-k termogramjai**

Bagley-korrektció a belépési és kilépési hatást veszi figyelembe. A korrekció során a kapilláris adott L szakaszán regisztráljuk a nyomáskülönbséget. Körkapilláris esetén a kapilláris sugara R . Réskapillárisok esetén a korrigálatlan nyomásgradiens a nyomásmérők által jelzett értékekből meghatározható. A nyomásgradiens ismeretében a korrigálatlan nyírófeszültség számítható. A korrigálatlan nyírósebesség meghatározása a térfogatáramból történik. A nyírósebesség és nyírófeszültségek használhatók a be- és kilépési nyomásveszteségek meghatározására. Az ömledék-reológiai tulajdonságok, a viszkozitás nyírósebesség- és hőmérsékletfüggésének meghatározása extruziométeres mérések segítségével történt. A Bagley korrekcióhoz különböző hosszúságú kapillárisokat használtam. A vizsgálatokat Göttferd Extruziometer 20 típusú extruderrel végeztem. A szerszámok névleges hossza 18,30 és 45 mm, átmérője 3 mm. A vizsgálatok során alkalmazott csiga 1:4 kompresszióviszonyú, egyenletes kompressziójú. Az alkalmazott hőmérsékletprogramok a következők:

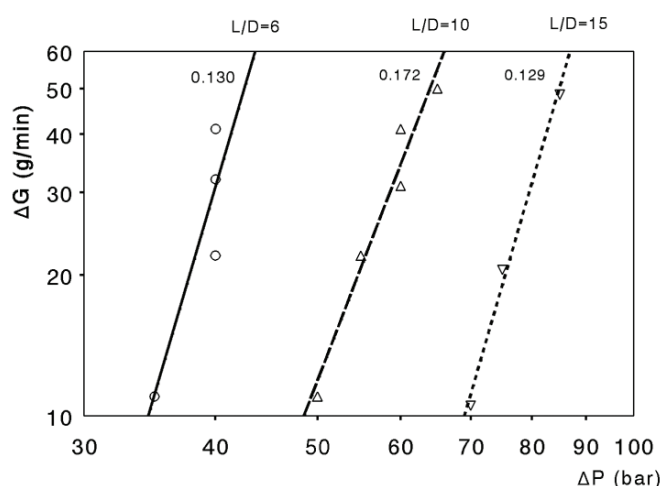
A - 120/130/140 °C

B - 140/150/160 °C

C - 160/170/180 °C

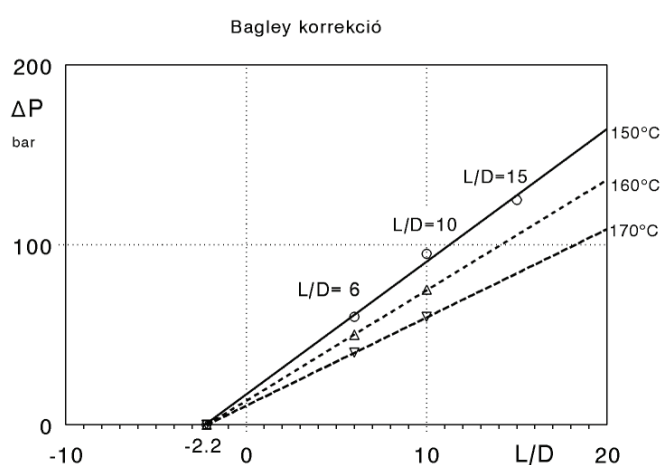
A mérések során meghatároztam három mérési helyen a nyomásokat [Bar] az anyaghőmérsékleteket [°C], a G tömegáramot [g/perc]. Az alkalmazott fordulatszám 20, 40, 60, 80 és 100 1/perc. A mérések során meghatároztuk a folyásindex értékeket. Az n folyásindex meghatározásához az egyes hőmérséklet beállítások és L/D viszonyok mellett logaritmikus léptékben ábrázoltuk a tömegáramokat a nyomásesés függvényében. A Q térfogatáram arányos a G tömegárammal és a nyírósebességgel, a nyomásesés és a nyírófeszültséggel.

Az n folyásindex az különböző hőmérsékletprogramokon lévő egyenesek egyenlete alapján számítható. A különböző hőmérsékletprogramokkal végzett mérési eredményeket grafikusán a 3. ábra szemlélteti. Az egyeneseken feltüntetett érték a meredekség reciproka, az n folyásindex. A méréshez használt kapillárisok 90°-os kúpos beömlésűek. A beömlés során nyomásesés figyelhető meg, mely a beömlési szöggel ekvivalens szerszámhosszal jellemezhető. Ez a szerszámhossz a korrigált szerszámhossz. A



3. ábra. Különböző L/D arányok esetén a DG és a DP összefüggése

korrigált szerszámhossz és a tényleges hossz együtt alkalmas a tényleges nyírófeszültség számítására. A nyomásesés az L/D függvényében egy egyenest ad (4. ábra). A 0 DP értékre vetített metszete a beömlés egyenérték hosszát adja meg. A számítások alapján a szerszámok látszólag 6,6 mm-rel hosszabbak. A mérőkapillárisok jellemző adatait a 2. táblázat tartalmazza.



4. ábra. A Bagley korrekció meghatározása

A viszkozitás meghatározása a kapillárisfalra számított nyírófeszültség és nyírósebesség felhasználásával történt. A számításokhoz tartozó összefüggések a következők (1) (2) (3):

2. táblázat. L/D viszonyok Bagley-korrektció esetén

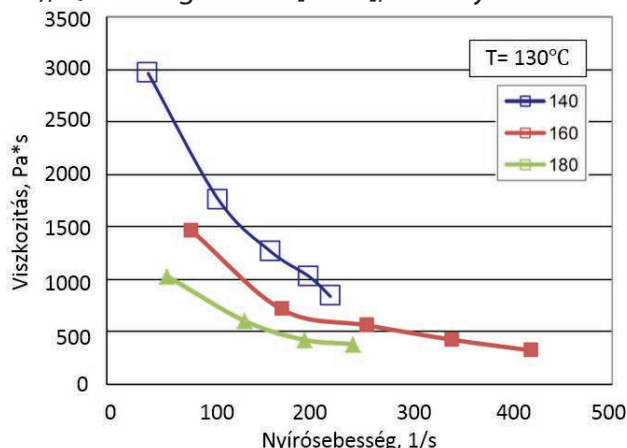
	l , mm	L/D	l_{corr}	$(L/D)_{corr}$
rövid	18	6	24,6	8,2
normál	30	10	36,6	12,2
hosszú	45	15	51,6	17,2

$$\dot{\gamma}_w = \left(\frac{3n+1}{n} \right) \frac{Q}{\pi r^3} \quad (1)$$

$$\tau_w = \frac{r \Delta P}{2l} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w} \quad (3)$$

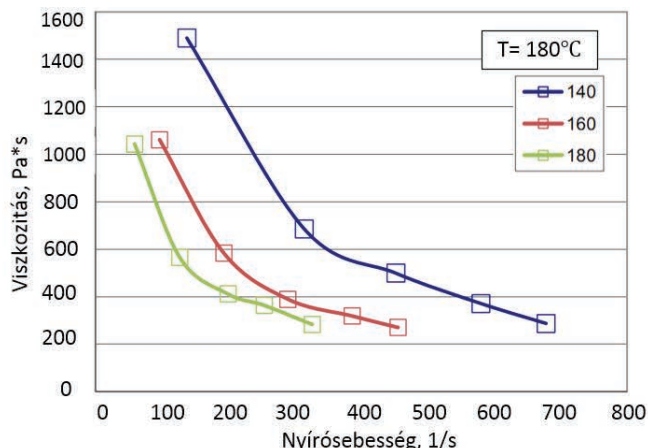
ahol: r – a kapilláris sugara [m]; l – a kapilláris korrigált hossza [m]; ΔP : a nyomásesés a kapillárison [Pa] (10^5 Pa); Q – térfogatáram [m^3s^{-1}]; n – folyásindex.



sek meredeksége leolvasható, ebből – az $R=8,314$ J/mol·K állandó segítségével – az aktiválási energia meghatározható. A 3. táblázat adott meredekségű görbék esetén a számított aktiválási energia értéket mutatja be.

3. táblázat. Aktiválási energia értékek adott feldolgozási hőmérsékletek esetén

A 3. táblázat számításai alapján megállapítható, hogy az aktiválási energia a feldolgozási hőmérséklet növelésével nő. A 6. ábra a 130, 140, 150, 180 és 190 °C-on extrudált PVC viszkozitás-hőmérséklet



5. ábra. Különböző extrudálási programok esetén a viszkozitás-nyírósebesség függése

Látható, hogy az alkalmazott extrudálási hőmérséklettel a viszkozitás csökken. Az ömledék rétegek közötti súrlódás hőmérsékletfüggő. Nagyobb extrudálási hőmérséklet esetén a rétegek kevésbé súrlódnak, mely a viszkozitás csökkenését eredményezi.

2.4. Az aktiválási energia meghatározása

Kismolekulájú anyagok folyása során molekula-átugrások mennek végbe hőmozgás hatására. Az átugrások folyadékmolekulák elrendeződése biztosítja, az elrendeződés aktiválási energiát igényel. A vizsgálatok során különböző hőmérsékleten feldolgozott lágy PVC aktiválási energiáját határoztam meg, a Bagley-korrekciónál meghatározott viszkozitás és nyírósebesség értékek felhasználásával. A viszkozitások logaritmusát és a fejhőmérséklet közötti kapcsolatot a 6. ábra szemlélteti. A kapott egyene-

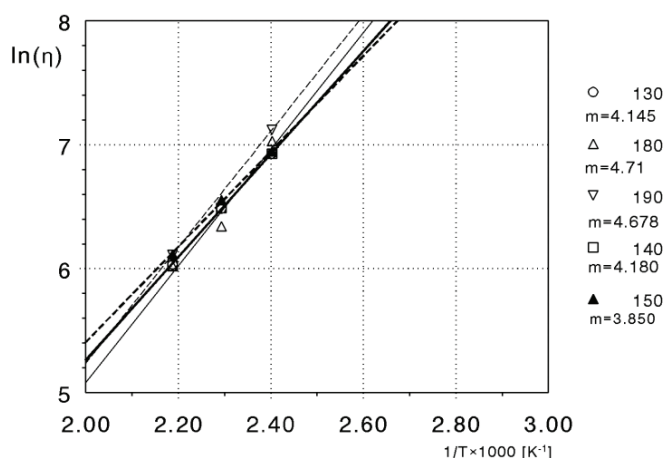
görbéit ábrázolja, az egyes görbékhez tartozó meredekséggel.

6. ábra. Különböző hőmérsékleteken extrudált lágy PVC-k viszkozitása

Az ábrán, a magyarázatban lévő értékek a granulálási hőmérsékleteket jelentik °C-ban. Az ábrán látható, hogy az aktiválási energia értéke a 130, 140 és 150 °C-on feldolgozott PVC esetén nagyjából megegyezik. A nagyobb feldolgozási hőmérséklet esetén ug-rásszerű változás figyelhető meg.

3. táblázat. Aktiválási energia értékek adott feldolgozási hőmérsékletek esetén

$T_{\text{feldolg.}}, ^\circ\text{C}$	Meredekség	$E_{\text{akt}}, \text{J/mol}$
granulátum	3,24	26,94
130	4,15	33,70
140	4,18	34,75
150	3,85	32,01
180	4,71	39,16
190	4,68	38,91



6. ábra. Különböző hőmérsékleteken extrudált lágy PVC-k viszkozitása

2.5. Az újrafeldolgozás hatása

A különböző hőmérsékleteken előállított, egyébként teljesen azonos összetételű granulátumokat összekeverve feldolgoztam. A granulátumot és a 130-190 °C extrudálási hőmérsékleten feldolgozott PVC-t a feldolgozási előélet hatásvizsgálata miatt extrúziós vizsgálatoknak vettem alá. A vizsgálatok során a csiga kompresszióviszonya 1:2,5, a kapilláris átmérője 3 mm. A szerszám L/D aránya 10, az alkalmazott fordulatszámok 20, 40, 60, 80 és 100 1/perc. Az extrudálás hőfokai az egyes zónák szerint a következők:

- A. 120/130/140 °C
- B. 140/150/160 °C
- C. 160/170/180 °C

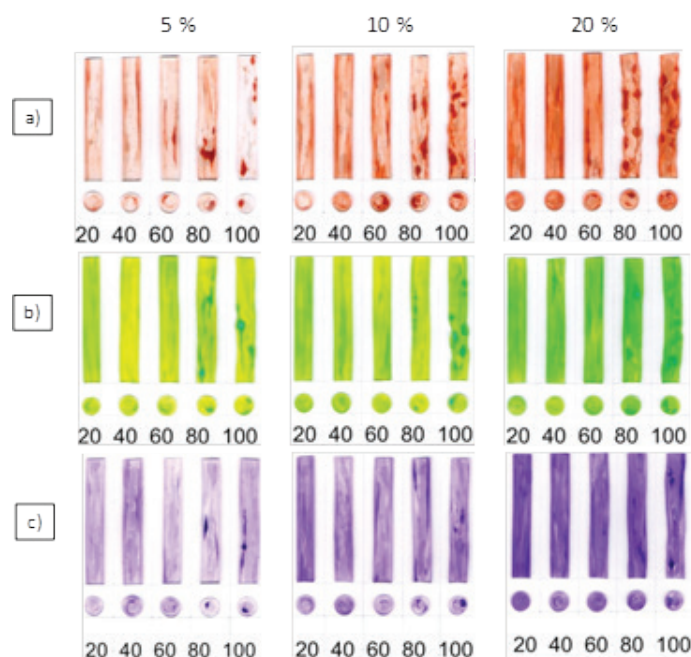
A vizsgálatok során a zónákban lévő p1, p2, p3 nyomást, a T1, T2, T3 hőmérsékleteket, az egy perces anyagkihozatalt és a nyomatékot mértem. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az anyagkihozatal az extrudálási hőmérséklet növekedésével nő. A nyomásértékek és a hőmérséklet a 3. zónába a legmagasabb. A fordulatszám növelésével az egyperces kihozatal vizsgálattal megállapítható, hogy a legnagyobb kihozatal a 100 1/perc fordulatszám esetén jellemző. Magasabb extrudálási hőmérséklet a kihozatal növekedését eredményezi. Az extrudálás során megfigyelhető az ömledéktörés. Az ömledék felszíne a dermedést követően strukturálódik. A fordulatszám növelésével felületi elváltozások, egyenetlen felszín figyelhető meg.

A feldolgozási előélet vizsgálatához a különböző hőfokon extrudált PVC-t granuláltam, majd a granulátumot 5,10 és 20 % arányban kevertem össze. Az alkalmazott düzni átmérője 3mm. A csiga kompresszióviszonya 1:4. Az extrudálásához használt lágyított PVC keverékek a következők:

- A. Granulátum – 190°C;
- B. 140°C – 180°C;
- C. 130°C – 160 °C.

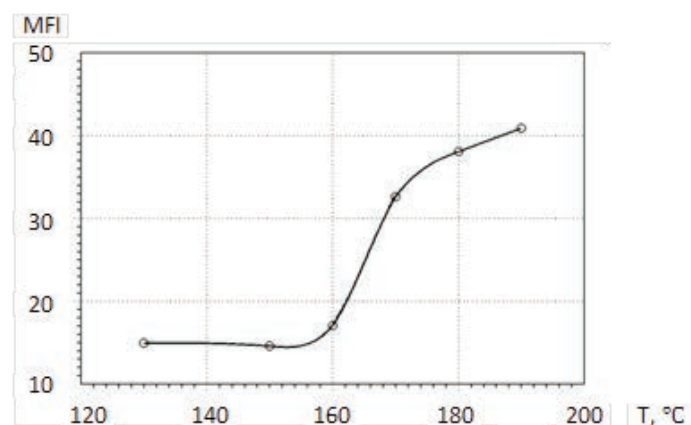
A keverékeket extrudálása a 150/160/170 °C hőmérsékletprogramon történt. Az alkalmazott fordulatszámok 20, 40, 60, 80 és 100 1/perc. A keverési sajátosságok vizsgálatára az extrudált zsinórokból metszeteket készítettem. A különböző fordulatszámú és keverési arányú metszeteket a 7. ábra tartalmazza. A metszeteken jól látható, különböző receptúrájú keverékek keveredési viszonyai. A keveredés romlik, amennyiben keverési arány 5%-ról 20%-ra nő. Az extrudálás során megfigyelhető volt az ömledéktörés jelensége. Keverékek esetén az ömledéktörés az alkalmazott fordulatszám növelésével jel-

lemzőbb. Az ömledéktörés leginkább a 100 1/perc fordulatszámánál figyelhető meg.



7. ábra. Az ömledéktörés jelensége különböző hőmérsékleteken feldolgozott PVC keverékeken

A makromolekuláris anyagok folyási tulajdonságai MFI (Melt Flow Index) segítségével vizsgálható. A folyásindex meghatározását a granulátum és a 130-190 °C-on extrudált zsinórok granulátumával végeztük. A méréseket során alkalmazott hőmérséklet 180 °C-on, a terhelés 21,6 kg terhelés, a bemért minta tömege 5 g. A folyásindex hőmérséklet-függését az ábra szemlélteti.



8. ábra. Az MFI folyásindex a feldolgozási hőmérséklet függvényében

A 8. ábra alapján megállapítható, hogy a folyásindex a feldolgozási hőmérséklet növelésével nő. A granulátum és a 150 °C-on feldolgozott PVC folyásindexe 14,84. Jelentős változás a 180-190 °C-on

feldolgozott PVC esetén jelentkezik. A folyásindex értéke mintegy háromszorosára növekszik. A görbe alapján megfigyelhető, hogy 160 és 180 °C között az MFI értéke ugrásszerűen megnő, mivel a kezdeti MFI értékhez képest a kétszeresére nő a folyásindex. A növekedés oka, hogy a feldolgozási hőmérséklet növelésével a polimerömlédek folyási tulajdonságai javulnak, azaz időegység alatt a PVC szerkezete megváltozik, a domének részlegesen felbomlanak, a folyás a részecskefolyásból fokozatosan molekuláris folyásra változik. Ez a viszkozitás csökkenésével jár, azaz az MFI érték jelentősen megnő.

3. Összefoglalás

Kutatásom során feldolgozási előélet hatásait vizsgáltam a lágyított PVC reológiai tulajdonságaira. A granulátumokból DSC és MFI méréseket végeztünk, valamint extrudálással folyásgörbéket vettem fel. Az extrúziós mérések kiértékeléséhez az alapgranulátumon meghatározásra került az alkalmazott mérőkapilláris Bagley korrekciója, és valamennyi beállításhoz a Rabinovits korrekcióhoz szükséges folyásindexek., különböző hőmérsékleten végzett extrúziós folyásgörbék alapján aktiválási energiát számoltunk. A vizsgálatokból kapott eredmények alapján a következő megállapítások tehetők:

1. A DSC vizsgálatok eredményei alapján megállapítható a feldolgozás során elért legmagasabb anyaghőmérséklet. Ennek ismerete lényeges, mivel ez alapján a polimer termikus előéletére következtetni lehet. A különböző hőmérsékleteken feldolgozott PVC metszetein az ömlédektörés figyelhető meg, mely az extruder kapillárisa mellett fellépő nyíróerők hatására alakul ki. A dezorientáció az ömlék sugárirányú deformálódását okozza.
2. A folyásindex meghatározása során megállapítható, hogy a feldolgozási hőmérséklet a lágyított PVC folyási tulajdonságait befolyásolja, a feldolgozási hőmérséklet növelése az MFI érték növekedését okozza. A mérések során a legnagyobb változás 170 és 180 °C között következik be. A kisebb feldolgozási hőmérséklethez viszonyítva a magasabb hőmérsékleteken a folyásindex mintegy háromszorosára nő. A PVC szerkezete megváltozik, a domének részlegesen felbomlanak, a folyás a részecskefolyásból fokozatosan molekuláris folyásra változik. Ez a viszkozitás csökkenésével jár, azaz

az MFI érték jelentősen megnövekedik.

3. Bár az MFI a folyás aktiválási energiájának meghatározására nem alkalmas, az extrúziós mérések során egyértelműen kimutatható volt az aktiválási energia növekedése.
4. A különböző hőmérsékleten készült granulátumok keverékének feldolgozásakor észlelhető volt a „göcsörtösödés” jelensége, azaz a nagyobb hőmérsékleten készült granulátum szemcsék nehezen homogenizálódtak a kisebb hőmérsékleten granulált anyagban. Ez a jelenség a metszeten látványosan bemutatható.

A feldolgozási előélet reológiai tulajdonságokra gyakorolt hatásának ismerete az anyagválasztás a gyártás valamint a termék minősége szempontjából meghatározó jelentőségű. Arra ügyelni kell, hogy különböző feldolgozási előéletű anyagok még teljesen azonos összetétel mellett sem keveredjenek. A tapasztalt jelenséget újrahasznosított anyagok alkalmazásakor figyelembe kell venni és a feldolgozást erőteljes nyíró hatású eszközön végezni.

Irodalom:

- [1] Wypych, G.: PVC formulary, Second Edition, 2015, ChemTech Publishing, p. 30-35.
- [2] Hattori, T., Tanaka K.: Polymer Engineering Science 12, 1972, p.199
- [3] Saido K., Taguchi H., Yada S., Ishihara Y., et. al.: Thermal decomposition products of phthalates with poly(vinyl chloride) and their mutagenicity Macromolecular Research, 2003, 11, p. 178-182
- [4] Gaál H., Magyar E.: Lágyított PVC előéletének megítélése, Műanyag és gumi, 1999, 36, 12., p. 410-413
- [5] Ebnasajjad, S.: Melt Processible Fluoropolymers - the Definitive User's Guide and Data Book Fluoroplastics, 2nd Edition, 2015, Vol. 2. p.282-347
- [6] Georgios C. G.: Compressible viscous flow in slits with slip at wall, Rheology 38, 639-654, (1994)
- [7] Műanyag ömlédek nagysebességű áramlásának tanulmányozása, PhD értekezés, 2010, Miskolci Egyetem, p.23-27; 42-45
- [8] Marossy, K.: High speed extrusion of plasticized PVC, Current trends in PVC technology, Internat. conf., Loughborough, 1997
- [9] Bariani, P.F., Salvador M., Lucchetta G.: Development of a test method for the rheological characterization of polymers under the injection molding process conditions, Journal of Materials Processing Technology, 191, 119–122. (2007)
- [10] Covas, J.A., Maia J. M.: Rheological measurements along an extruder with an on-line capillary rheometer, Polymer Testing, 2000 19, p. 165–176.
- [11] Marossy, K.: Extrudált kemény PVC előéletének meghatározása DSC módszerrel, Műanyag és Gumi (1997), 12., p.34

Digimat AM modul vizsgálata FFF additív eljárás esetén

Balogh Bence¹, Dr. Kovács Péter Zoltán², Dr. Szávai Szabolcs³.

¹PhD hallgató, balogh.bence.cc@gmail.com

²Egyetemi Docens, metkpz@uni-miskolc.hu

³Egyetemi Docens, szavai.szabolcs@uni-miskolc.hu

Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai és Gép- és Terméktervezési Intézet,
H-3515 Miskolc - Egyetemváros

Összefoglaló:

A negyedik ipari forradalom rengeteg új technológiának adott lendítő erőt, hogy kinője magát általánosan használt ipari alkalmazássá, illetve, hogy általános társadalmi felhasználási rétegekben is megjelenjen. Az ilyen technológiák egyike az additív gyártástechnológia, melynek során térbeli tárgyakat készítenek újabb és újabb rétegek hozzáadásával. A cikkben az additív eljárás, mint gyártási technológia kerül elemzésre anyagszerkezeti szempontból. A tanulmány keretében hangsúlyt fektetünk a polimerekből létrehozott próbatestek különböző nyomtatási paramétereire. A kutatásunk célja, a nyomtatott darabok vetemedésének, zsugorodásának szoftveres vizsgálata, eredmények összehasonlítása, továbbá a nyomtatási paraméterek hatásának vizsgálata a termék jellemzőire.

Kulcsszavak:

additív gyártás, gyártástechnológia, polimer, FDM, vizsgálat

1. Bevezetés

A műszaki iparban a 3D nyomtatás egyik leggyakoribb alkalmazási területe a prototípus készítés. Vizualizációs vagy kommunikációs modellek

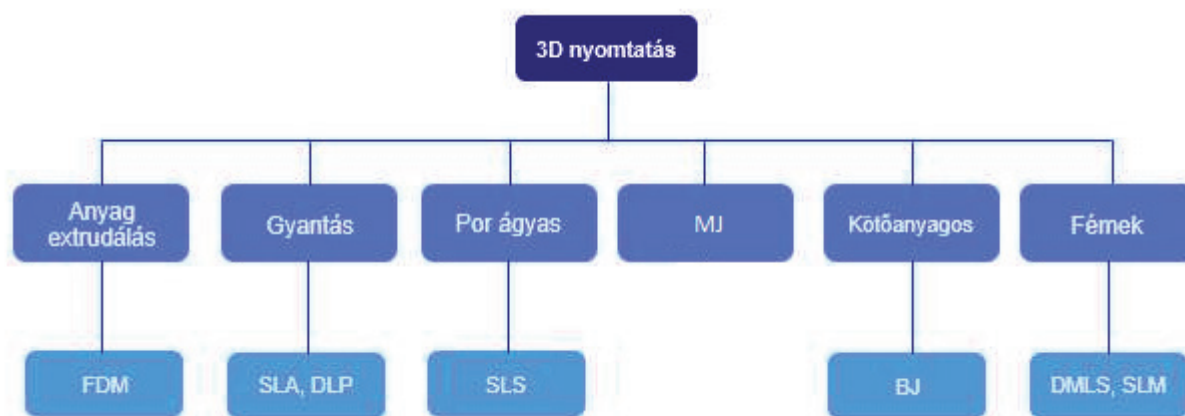
segítségével, lényegesen egyszerűbb és látványosabb egy, akár bonyolult terméket bemutatni. Ellenőrizni lehet vele a szerelhetőséget, nyomtatott alkatrészek esetén megfigyelhetők az esetleges illesztési hibák, illetve a szerelhetőség korlátai. A technológia egyre inkább teret hódít a szerszámkészítésnél és az öntészetben is. Alkalmas továbbá kisszámú sorozatgyártásra. Kedvező tulajdonságainak köszönhetően használják az elektronikai, illetve az űriparban is.

2. Additív gyártástechnológia típusok

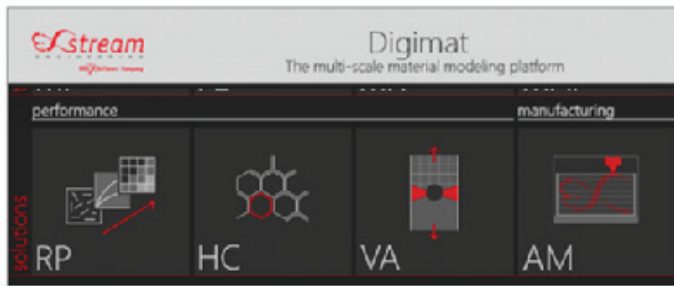
A 3D nyomtatási technológiák a használt anyag, és annak felhasználása szerint különböző csoportokra oszthatók. A technológiák csoportosítását az 1. ábra szemlélteti. Mivel a cikk célja polimer anyagú nyomtatott próbatestek vizsgálata, ezért a továbbiakban a polimer anyagot használó 3D nyomtatókkal történtek a további kutatások.

3. ABS vetemedés modellezése

A Digimat-AM a Digimat szoftvercsomag legújabb, 2017-ben kiadott modulja, egy folyamatszimulációs szoftver, amely polimerek és kompozit [3-6] anyagok additív gyártásának szimulálására szolgál [7].



1. ábra. 3D nyomtatók csoportosítása [1-2]



2. ábra. Digimat AM szoftvercsomag moduljai

Lehetővé teszi a mérnökök számára a nyomtatott darab vetemedésének, a hőmérséklet viszonyoknak és a maradó feszültségeknek a vizsgálatát a nyomtatási paraméterek és az anyagválasztás függvényében. A Digimat AM szimulációk segítségével a nyomtatási beállítások optimalizálhatók, még a fizikai nyomtatás előtt, például a megfelelő vetemedés kompenzáció azonosításával. A szoftver egyszerű és hatékony munkafolyamatot biztosít, a nyomtatási projekt definiálásától kezdve, a különböző gyártási paraméterek beállításával, a szimuláció beállításával és az eredmények kiértékelésével (2. ábra).

A Digimat-AM egy négy lépcsős irányított munkafolyamatot vezet be a polimerek és a kompozitok additív gyártási folyamatának előrejelzésére és optimalizálására.

Meghatározás: Első lépésként kiválasztható a nyomtatási eljárás, a nyomtató és meghatározható a gyártandó alkatrész leírása. Ez utóbbit a darab geometriája és annak anyaga határozza meg.

Gyártás: Ez a lépés lehetővé teszi az alkatrész gyártásának leírását. Itt különböző féle paraméterek megadására van lehetőség, mint például a pozicionálás, FFF és FDM típusú nyomtatás esetén a nyomtató fej útvonala, a gyártási lépések sorrendje és egyéb, a gyártás típusától függő folyamatparaméterek. Ennek a résznek a végére, az alkatrész gyártása teljes mértékben létrejön, és készen áll a szimulációra.

Szimuláció: Ez a harmadik lépés, amely lefordítja a meghatározást és a gyártást egy tényleges Végeselem szimuláció során. Itt elkészíthető a geometria hálója, illetve különböző megoldási módszerek vá-

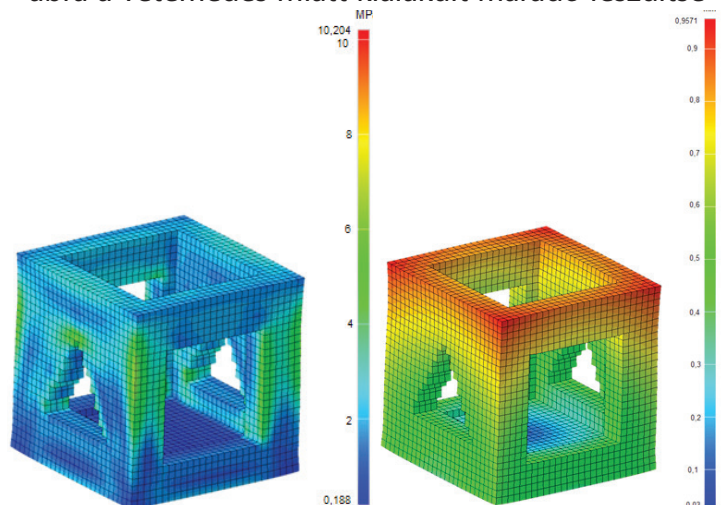
laszthatók. A szimulációs modell elkészítése után, a szimuláció futtatható és nyomon követhető a befejezéséig.

Eredmények: Ez a lépés biztosítja a szimulációs eredmények feldolgozásához szükséges funkciókat, például az elmozdulás és a feszültség térbeli vizualizációját, a vetemedés elemzését, a vetemedett alak ábrázolását, illetve a szimuláció eredményeinek az exportálását [8].

4. Eredmények összehasonlítása

A szimuláció végeztével megtekinthetjük az eredményeket. A vetemedés mértéke mm-es színskálával segítségével vizsgálható összesítve vagy külön bontva az XYZ tengelyek valamelyikére. A belső feszültségek hasonló módon MPa-os színskálán figyelhető meg a modellen.

A 4. ábra (jobb) mutatja a szemléletesség érdekében tízszeres nagyításban a kocka vetemedését. A vetemedés maximális értéke 0,9571 mm volt. A legnagyobb mértékű elmozdulás a kocka sarkainál jelentkezett. A keletkező feszültségek nagymértékben befolyásolják a vetemedés kialakulását. A bal oldali ábra a vetemedés miatt kialakult maradó feszültsé-



4. ábra. Teszt kocka vetemedési eredménye (jobb)
Teszt kocka feszültségei (bal)

get szemlélteti. Látható, hogy a feszültség az éles sarkok mentén mutat csúcserőket, az oldalsó élek mentén ennek nagysága megközelítőleg 7 MPa. A maradó feszültségek nem jelzik előre a kocka károsodását.

A Digimat AM által számított eredmények jó egyezést mutatnak a valóságban kinyomtatott kocka vetemedésével. Az alsó szintekben bekövetkező változásokat karima hozzáadásával lehet csökkenteni, vagy megszüntetni, mivel azzal növelhető az alap



3. ábra. Digimat-AM szimuláció főbb lépései

felülete és jobban eloszlanak a terhelések. Az élekben fellépő deformáció mértéke csökkenthető, ha a nyitott részek alátámasztást kapnak, illetve, ha az egész nyomtató kap egy burkolatot, ahol közel állandó hőmérséklet tartható.

A kutatásomat folytatva, további anyagokat teszteltek, mechanikai vizsgálatokat végzek az anyagtulajdonságok és nyomtatási paraméterek vizsgálatára és további optimalizálására.

4. Összegzés

A cikk bemutatott egy olyan valóságos problémát, melyet a Digimat szoftvercsalád AM moduljának segítségével előre meg lehet határozni bizonyos szintig, így nem kell tapasztalat alapján információkat gyűjteni a kalibrálást és a végeredményt tekintve. Természetesen más anyagok is hajlamosak vetemedésre, de az ABS egy széleskörűen alkalmazott polimer hobby és ipari tekintetben is ezért reprezentatív példának találtuk a cikk szempontjából. A végeredményeket befolyásolja az alkalmazott nyomtató típusa, a zárt vagy nyitott nyomtatási tér és a felhasznált anyag márkája (elkészítési módja) is. Bemutattunk egy olyan szoftveres vizsgálatot, ami segítséget nyújthat a jövőben a műanyag alkatrész tervezése során.

Irodalmi hivatkozások

- [1] All 10 Types of 3D Printing Technology in 2018 <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology>
- [2] The 9 Different Types of 3D Printers <https://3dinsider.com/3d-printer-types/>
- [3] Simplify 3D hivatalos oldala - <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>
- [4] Hobbyking hivatalos oldala - ABS https://hobbyking.com/en_us/pla-3d-printer-filament-white.html
- [5] PLA Filament: Best 1.75 MM, 3MM Strands for Easy and Flexible 3D Printing <https://www.allthat3d.com/pla-filament/>
- [6] Resinex hivatalos oldala ABS <http://www.resinex.hu/poiimertipusok/abs.html>
- [7] Digimat 2017.1 Delivers the First Simulation Chain for Additive Manufacturing of Polymers http://files.mscsoftware.com/cdn/farfuture/7gsRcns7onX10l-F1j1p_ABCcy71xlDmMSEkywN10y4/mtime:1489183476/sites/default/files/digimat-2017.1.pdf
- [8] Digimat User Guide



tripladuplav.hu

VELÜNK HÁROMSZOR JOBBAN JÁR

- ✓ Domain név regisztráció
- ✓ Tárhely szolgáltatás
- ✓ Internetes alkalmazás fejlesztés
- ✓ Honlap készítés
- ✓ On-line marketing
- ✓ IT biztonság
- ✓ Kreatív design

www.tripladuplav.hu webstúdió

3D nyomtatott COVID-19 vírus maszkok gyártásának optimalizálása

Balogh Bence

Miskolci Egyetem, Anyagszerkezetek és Anyagtechnológiai Intézet, PhD hallgató,
metben@uni-miskolc.hu

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, Tudományos munkatárs,
bence.balogh@bayzoltan.hu

Összefoglaló

Az általános és orvosi 3D nyomtatás fejlődése az elmúlt tíz évben felülmúlta a képzeletet és rengeteg problémára nyújtott olyan megoldást, amik korábban nem léteztek. Kezdetben korlátozott gyakorlati értékkel bírt a 3D nyomtatás, de ahogy fejlődött a technika és nőtt a felhasználóik tábora úgy nyert befogadást különböző területeken és iparágakban, mint például gépipar, autóipar, katonai termelés és az egészségügy. Ez a sokszínűség lenyűgöző, de közös erőfeszítések szükségesek kollektív igények kielégítésének érdekében. Ezért ebben a kialakult COVID-19 (koronavírus) helyzetben, a 3D nyomtatás lelkes rajongóinak, a hobbistáknak és a különböző professzionális additív gyártással foglalkozó gyáraknak és laboroknak is össze kellett fogni, hogy megoldást találjanak az egyéni védőfelszerelések kritikus hiányára, globális szinten. Ennek a cikknek az a célja, hogy bemutassa a legjobban sikerült hiánypótló maszk tervekhez, amiket 3D nyomtatás segítségével el lehet készíteni, illetve rálátást adjon ezek elkészítésére és a paraméterek beállítására pár példán keresztül [1], [6-10].

Kulcsszavak

3D nyomtatás, COVID-19, additív gyártás, gyártás optimalizálás

1. Copper3D arcmaszk

A 3D nyomtatóanyagokat gyártó Copper3D létrehozott egy nyílt forráskódú n95 típusú maszkot (1. ábra), aminek az STL fájltát közzétette online, így kinyomtatható és felhasználható a COVID-19-es vírus ellen. A „Hack The Pandemic” elnevezésű indítványozás globális mértékű és az tűzte ki célul, hogy mozgósítson minden gyártót, labort, céged, személyt, szolgáltatást, aki rendelkezik 3D nyomtatóval, hogy készítsenek ilyen és ehhez hasonló maszkokat, mivel a klasszikus maszkok hiánya jelentős terhet okoz a kórházak és egészségügyi szakemberek számára. Vannak, akik számára nehéz

megbizonyosodni a „NanoHack” elnevezésű maszk hasznosságáról és valódi védelméről, azonban a vállalat állítása szerint több tudós támogatta a projektet és komoly kutatások előzték meg a közzétételt, majd szabadalmi bejelentést is nyújtottak be rá. A Copper3D új szereplő az orvostudomány területén, de már így is különböző érdekes termékekkel rendelkezik, beleértve a réz nanorészecskékre épülő antibakteriális anyagokat, amik arra utalnak, hogy hatékony megoldásokkal rendelkezhetnek.

Jelenleg igazán felkapott téma a 3D nyomtatott maszkot használata és hogy milyen védelmet képesek szolgáltatni. Az N95-ös maszkot úgy tervezték, hogy légzésvédelmet nyújtson a viselője számára és 95%-os szűrési hatékonysággal védekezzen a levegőben terjedő részecskékkal szemben a megfelelő szűrő alkalmazása esetén. Így egy nyomtatott maszk lehetővé teszi a szennyeződés kockázatának csökkentését és hatékonyabb, mint az eldobható maszkok (amik jelen helyzetben is készlethiányosak), hiszen a műanyag könnyebben tisztítható. A 3D nyomtatás segíthet ebben a helyzetben, azonban fokozott figyelmet kell fordítani ezek használatára, hiszen egy krízis helyzetben születtek a tervek és a gyártásuk sem szabványos felügyelet mellett megy végbe. Mindenki más és más típusú nyomtatón is elkészítheti változatos anyagokból, amik bevizsgálás nélkül baktérium gyűjtő göcöket is létrehozhatnak bizonyos nyomtatási hibák által vagy



1. ábra. Copper3D N95 maszk [4]

nyomtatási rétegek között, így ajánlott a fokozott odafigyelés és a gyakori tisztítás. Viszont ebben a sürgősségi helyzetben, ezen kockázatok tudatában is egy élhető alternatíva a maszk hiány pótlására [2-4], [6-10].

1.1. Prusa Research arcpajzs

A hagyományos maszk tervek mellett helyett kapott az úgynevezett „arc pajzs” is, amik érdemes kombinálva viselni szájmazskkal a kiterjesztett védelem érdekében. Ezen a területen a cseh „Prusa Research” cég állt elő a leghamarabb egy innovatív ötlettel, amivel gyorsan lehet 3D nyomtatni arc pajzs befogó elemet. A weboldalukon megosztották a kutatási út néhány részletét, ami a következő:

„A kutatásunkban olyan védőfelszerelést szerettünk volna létrehozni, amelyet biztonságosan tudunk gyártani, így az orvosi szakemberek számára szóló arcvédőkre koncentráltunk. A médiából értesültünk, hogy az orvosoknak nagy szükségük van valamilyen arc védelemre a fogyó maszkok mellett. Igaz az interneten már voltak kezdeti prototípusok arc pajzs tervek, így ezt vettük kiindulási pontnak, és



2. ábra. Arcpajzsok gyártása a Prusa nyomtató farmon

próbáltunk úgy alakítani, hogy könnyebb és gyorsabb legyen a 3D nyomtatás érdekében. Ne legyen szükség alátámasztásokra és minél többet lehessen elhelyezni egy nyomtatási felületen. Tehát azonnal elkezdtünk dolgozni rajta, mert úgy gondoltuk, hogy fontos védelmet szolgáltatni azok számára, akik a mi egészségünkért, életünkért küzdenek nap mint nap. A létrehozott pajzsok megvédik a szemünket és az arcunkat a betegek köhögésétől és tüsszentésétől. Három nap alatt több tucat prototípuson mentünk át és kétszer voltunk validáltatni a terveinket a Cseh Egészségügyi Minisztériumban. A 3D nyomtató farmunknak köszönhetően, ami talán a legnagyobbak mondható a világon több mint 500 nyomtató egységgel, képesek voltunk 800 darab arcpajzsot nyomtatni egyetlen nap alatt (2.

ábra). Még ilyen mértékű gyártás mellett sem volt teljes kapacitásában erre a projektre fordítva a farm, megközelítőleg a gépek ötöde dolgozott ezen. A szűk keresztmetszetet a lézervágó gépünk jelentette, amivel a pajzsokat készítettük a 3D nyomtatott befogó elemekhez. Amennyiben ez a metszet kikerülne a képből, akkor 4000 darab is gyártható lenne egy napon belül. Egy ilyen védőfelszerelés elkészítéséhez szükséges anyag kevesebb mint 1 USD. Kezdetben 10.000 db-ot adományoztunk a Cseh Egészségügyi Minisztérium számára. Így megbizonyosodtunk róla, hogy ez a terv biztonságosan nyomtatható otthoni körülmények között is, azok számára, akik szeretnének segíteni a kisebb helyi közösségeiken. [5]”

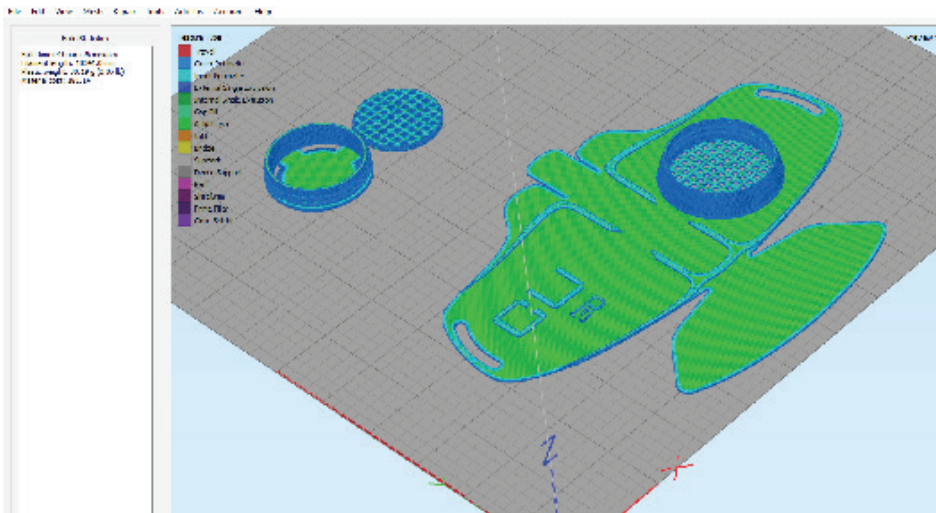
2. Nyomtatáshoz alkalmazott szoftver

A CAD szoftverekben elkészített modellek után meg kell tervezni magát a nyomtatást is egy erre alkalmas programban, aminek a végkimenetele egy a gép számára értelmezhető g-kód sorozat. Több ilyen szoftver is létezik, ami alkalmas a feladatra, vannak amik ingyenesek és nyílt forráskóddal rendelkeznek és vannak kereskedelmi forgalomban kapható szoftverek is. A teljesség igénye nélkül például a következő programok, amik a legismertebbek: Cura, Simplify3D, Slic3r, OctoPrint, Prusa Slicer, IdeaMaker és a Repetier.

Több éves hobbi szintű 3D nyomtatási múltam alatt több 3D nyomtatót is építettem és tartok karban jelenleg is. Több kisebb projektet valósítottam már meg sikeresen és mindig keresem a további kihívásokat. A fentebb megismert probléma alapján úgy gondoltam, hogy saját kutatásom alapján én is szeretnék kísérletezni ezen a téren és valamilyen módon hozzájárulni a jelenleg kialakult helyzet átvészelésére. Úgy tapasztaltam, hogy a maszkok gyártása nagy hangsúlyt kap most és szükség van minden hobbi és professzionális additív gyártástechnológiában jártas emebrre. Kezdetben a Cura, majd későbbiekben a Simplify3D szoftver használtam, így ezen keresztül fogom bemutatni az általam tesztelt és kipróbált, a maszkok nyomtatásához szükséges tervezési paramétereket.

2.1. N95-ös maszk nyomtatási paraméterei

A krízishelyzetre való tekintettel, nagyon fontos, hogy rövid időn belül sok, de kielégítő minőségű arcmaszkot tudjunk létrehozni. Amennyiben az N95-ös maszkra, a lehető legjobb felbontási beállításokat alkalmazom (3. ábra), ami azt jelenti, hogy



3. ábra. Legjobb felbontás nyomtatási előnézete

a standard 0.4 mm átmérőjű fűvókán, 25%-os kitöltési szintet, 0,1mm-es rétegvastagságot, 6-6 alsó és felső réteget, 4 körvonalat alkalmazunk rácsos kitöltési mintával, 210 °C fűvóka és 60°C asztal hőmérséklet mellett, dinamikus hűtéssel, ami 1-7. rétegig 0-90% hűtési teljesítmény növekedéssel jár és 70mm/s általános nyomtatási sebességet veszünk alapul, akkor a program előzetes kalkulációja alapján 4 óra 25 perc lenne a teljes nyomtatási idő, ami nem felel meg a valós nyomtatási időnek, mert nem veszi alapul a valós gyorsulási és lassulási mozgásokat és a súrlódásokat, így ez a művelet, akár 6 óra is lehet egy darab modell elkészítésére. A modell így ~30g alapanyagot venne igénybe, aminek az alapanyagköltsége (elhanyagolva minden más felmerülő költséget) ~200 Ft körül alakul. Ezekkel a beállításokkal kiváló felületi minőség érhető el és a két menetes alkatrész könnyen összeszerelhető, a tűrések megfelelőek. Azonban ezen a módon a produktivitás szintje igazán alacsony, ha minden automatikusan működne, nem lenne szükség hűlési időre, a kész darab eltávolítására, akkor egy nap alatt 4db gyártását lehetne megvalósítani (a kutatási számításokhoz jelenleg nem vesszük figyelembe, hogy akár több azonos modell is elérhető ugyanazon a nyomtatási tárgyasztalon).

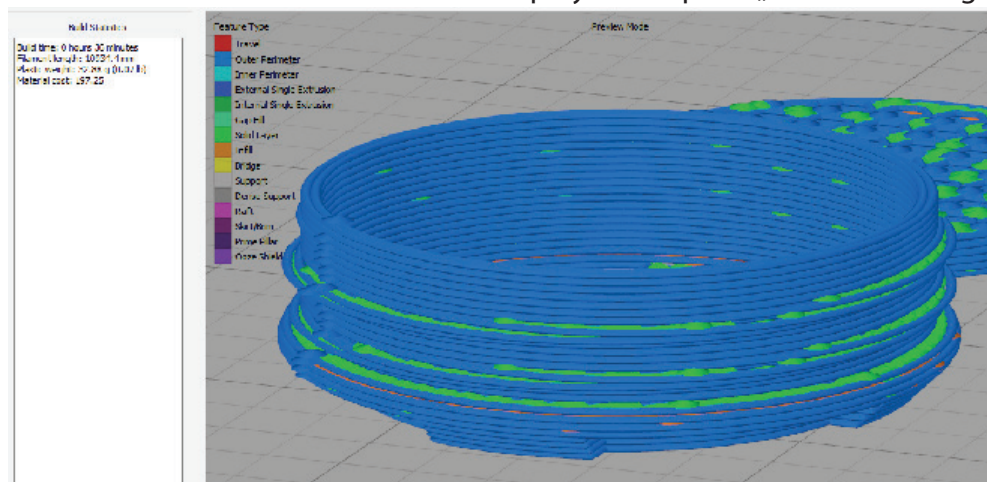
A 0.4-es fűvóka másik végét vizsgálva, azonos sebesség és hőmérsékleti paraméterek mellett, de 0.3mm-es rétegvastagság és 3-3-3-as TBO mellett (Top layer, Bottom layer, Outline – Felső-, Alsó rétegek,

Körvonal) a modell felépítésének a kalkulált ideje 1 óra 36 percre csökken, ami valós időben megközelítőleg két és fél óra. Ezen paraméterek mellett, nem jelentkezik a kitöltési tényező a teljes felületen, csak a szűrő elemnél, mert az alsó és felső 3 réteg lefedi a teljes modell vastagságát a többi részen. A felületi minőség elfogadható, azonban a nyomtatott menetek tűrése romlik és nehezebb az összeszerelés.

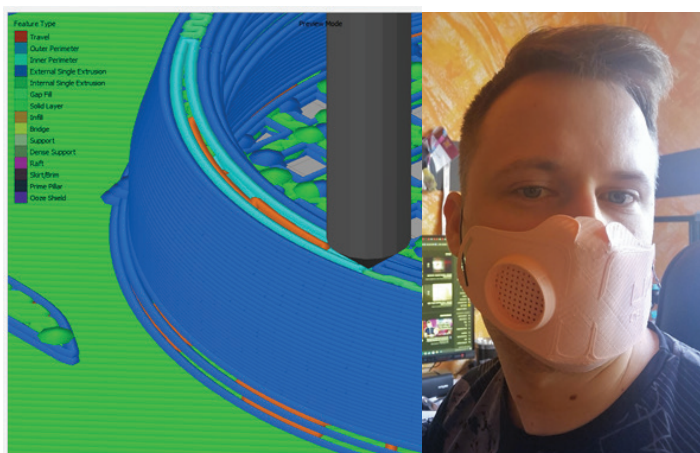
Következő lépésben a 0.4-es fűvókát 0.6-osra cseréljük, ahol csak az extrém végletet vizsgál-

juk, majd levonjuk a következtetéseket. 1-1-1 TBO is elég a 0.6-os fűvóka mellett, hogy kellő merevséget érzünk el. Így a teljes nyomtatási idő 36 percre csökken, ami valós idő szerint már csak 1 óra. Viszont az időért cserébe jelentősen romlott a felületi minőség és a menet már használhatatlanná válik ebben a formában (4. ábra).

Tehát a menetes részek használhatóságának az érdekében, azokon a részeken szükséges egy finomabb felbontás alkalmazása. A korábbi tapasztalatokat felhasználva, megtartjuk a 0.6-os fűvókát, mert a menetes részen kívül kielégítő minőség érhető el vele gyors idő alatt. A modell három elemből áll, a maszk, a szűrőbetét pozícionáló és a szűrőfedélből. Ezeket érdemes külön folyamatként kezelni, hogy ne különböző beállításokat lehessen rájuk alkalmazni egy nyomtatáson belül. Így a két kisebb alkatrész és a maszk szétválasztása már egy lehetőség a változó vezérlésre, azonban a maszkhoz tartozó menetes rész még mindig nincs elkülönítve. Ennek érdekében a Simplify3D beépített „Variable Settings

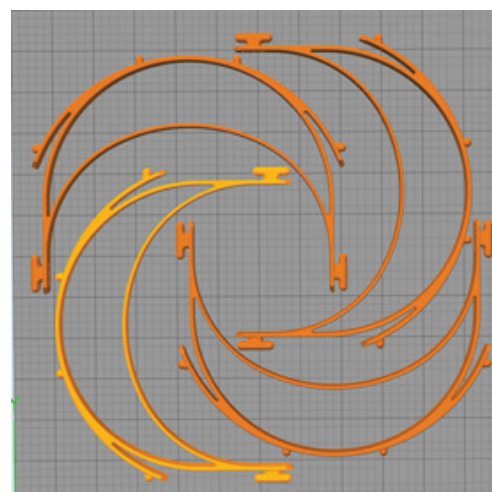


4. ábra. 0.6-os fűvóka, hibás menet



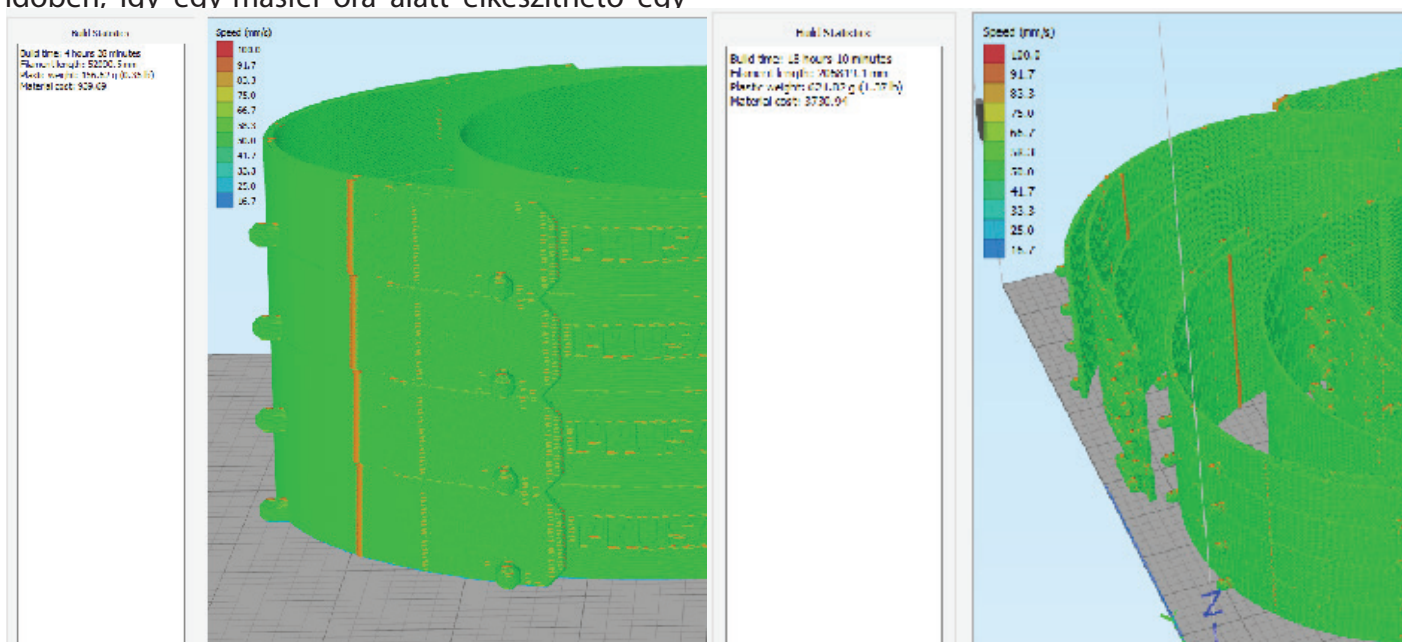
5. ábra. Kombinált beállítások (bal), elkészült prototípus a beállításokkal (jobb)

Wizard” (Változó beállítások varázsló) menüpontot hívjuk elő, ahol a modellt 1.85 mm magasságban elmetsszük és két alfolymatra bontjuk. Nullától 1.85 mm magasságig 0.4 mm-es rétegvastagságot és 1-2-1 TBO-t alkalmazunk 17%-os rácsos kitöltés és 215 °C hőmérséklet mellett, hogy az alsó rétegek egy szinte tükörsima felületet adjanak. 1.85 mm-től a modell teljes magasságáig pedig, 0.2-es rétegvastagságot és 1-1-2 TBO-t alkalmazunk és kikapcsoljuk a retraction (visszahúzás) beállításokat, hogy ne képződjön varrat a meneten belül, mivel 0.6-os fúvókánál a képződő varrat jelentős geometriai akadályt tud képezni egy menetszálon (5. ábra bal). Az elkülönített alkatrészekben 0.25 mm-es rétegvastagságot és 1-1-1-es TBO-t alkalmazunk. Szekvenciális nyomtatási móddal a relatív nyomtatási idő 1 óra és a 0.6-os fúvóka miatt kevesebb az eltérés a valós időben, így egy-egy másfél óra alatt elkészíthető egy



6. ábra. 300x300-as területen horizontális elrendezés

modell, ami kielégítő tulajdonságokkal rendelkezik. A maszkot elkészítés után, hővel formára kell hajtogatni a különböző emberi fejtípusokhoz, kényelmi preferenciákhoz. A belső felület tükörsima, így könnyen tisztítható és tisztán tartható, a szűrő betéttel kombinálva csökkenthető a kibocsátott cseppek és baktériumok terjedésének az esélye. Mivel a belső felületen egy olyan sima síkot kapunk, ahol nem áll fent a rétegek közötti „árok” így nem keletkezik baktériumgyűjtő rész a kész modellen, így a PLA is megfelelő polimer lehet az ilyen típusú maszkot gyártására., azonban a szűrőnél fokozottan ügyelni kell a tisztántartásra. Az N95-ös modell bármilyen polimerből elkészíthető, azonban az anyagot árát és a nyomtathatóságot figyelembe véve, a PLA megfelelő választásnak bizonyul (5. ábra jobb) [6-10].



7. ábra. Halmozásos elrendezés (4db -bal, 16db -jobb)

2.2. Arcpajzs befogó termelékenység növelése

Esetemben a vizsgált nyomtatási terület a Creality CR10-S típusú nyomtató esetében 300x300 mm. A Prusa féle arc pajzs elemből erre a területre négy darabot lehet elhelyezni, ahogy a 6. ábra is mutatja. Az előző típusú maszk nyomtatásánál használt 0,6 mm-es fűvókát megtartva, azonban az extrúziós szélességet növelve, ennek a modellnek az esetében 0,72 mm-es fektetett anyagszélességet tudunk elérni. A rétegvastagság 0,25 mm, a TBO pedig 2-1-1. A modellek kitöltése rács mintával történik 25%-ban. A hőmérséklet ebben az esetben 215/60 °C fűvóka/tárgyasztal tekintetében, dinamikus hűtés mellett. A nyomtatási sebesség pedig 60 mm/s. A megadott paraméterek mellett a relatív nyomtatási idő 5 óra 13 perc, és 155g anyag szükséges 4 ilyen elem elkészítéséhez, ami anyagköltségben 1000 Ft körül alakul. Beláthatjuk, hogy a 6. ábra szerinti elrendezésben a nyomtatófejnek szinte be kell járnia a teljes nyomtatási területet, ami jelentősen növeli az idő tényezőt. Érdemes a horizontális elrendezés helyett vertikális irányban úgynevezett „stacking” (halmozásos) módszerrel elhelyezni a modelljeinket.

Minden beállítás megtartása mellett, ilyen módon 4 óra 28 percre csökken a kalkulált nyomtatási idő, amivel így az egy darabra eső idő szinte egy órára csökken (7. ábra bal). Kombinálva a horizontális és vertikális elrendezéseket, 16 darab modell (7. ábra jobb) is elhelyezhető a használt nyomtatási platformon, amivel egy 18 órás megszakítás nélküli folyamat hozható létre, ilyen módon nem keletkezik

holtidő, ahol el kell távolítani a kész modelleket, illetve egyéb utómunkákat kéne végrehajtani. Tehát megállapítható, hogy ilyen eljárással növelhető a termelékenység. A kész termék PLA-ból nem olyan rugalmas és fokozott igénybevétel mellett, akár el is törhet. A durva rétegvastagság alkalmazása miatt, maradnak olyan részek a modellen, ami potenciális baktérium gyűjtő pont lehet, főleg a homlokon való elhelyezésből kiindulva. A könnyű nyomtathatóságot szemelőtt tartva, érdekesebb lehet a PLA helyett a PETG használata, ami kellő rugalmasságot biztosítana a modell számára. Az ABS és egyéb műszakibb polimerek sokkal érzékenyebbek vetemedésre vagy sebességre. Amennyiben felületnövelő módszereket kell alkalmazni a vetemedés elkerülésének az érdekében, az szintén egy idő növelő tényező.

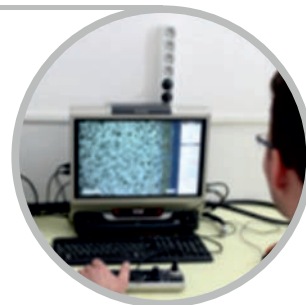
A COVID-19 vírus ideje alatt kialakult védőfelszerelések hiánya mellett, minden innovatív megoldás komoly segítséget jelenthet. Lehet, hogy a PLA-ból készült maszkok nem rendelkeznek a legmegfelelőbb tulajdonságokkal (8. ábra), azonban még így is tartósabbak, mint egy papír maszk és a barátságos nyomtatási feltételei mellett, kifejezetten gyorsan és egyszerűen lehet prototípusokat és késztermékeket gyártani egyaránt.



8. ábra. Prusa arc pajzs PLA-ból nyomtatva

Laboratóriumaink

- Lézertechnológiai Laboratórium (Budapest)
- Felületi Technológiák Kutatócsoport (Budapest)
- Lézertechnológiai Laboratórium (Eger)
- Anyagfejlesztési Laboratórium (Miskolc)
- Dióda Lézer Centrum (Kecskemét)



Kompetenciák

- Technológiafejlesztés, prototípus készítés, kis és közepes sorozat gyártás;
- Lézeres hegesztés és vágás 2D-s és 3D-s felületeken;
- Lézeres felületi felrakás huzallal, porszórással;
- Lézeres felületi kezelés, edzés, átolvasztás, strukturálás;
- Metallográfiai és optikai mikroszkópos vizsgálatok;
- Mikro-keménységmérés;
- Gyártástechnológiák fejlesztése szerkezeti és funkcionális anyagokhoz;
- Nagyhőmérsékletű kísérletek kivitelezése;
- Elektrokémiai szintézisek – nagy hőmérsékleten is;
- Ultrahangos nanorészecske-szintézis;
- Funkcionális bevonatok fejlesztése és előállítása elektrokémiai úton;
- Nano-őrlés ;
- Termodinamikai modellezések;
- Nagy fajlagos felületű anyagok fejlesztése.



Miért az IAO?

- Sok éves tapasztalat a K + F, az innováció és a tudásmenedzsment területén, kiemelten a lézeres technológiák, bevonatok és nanotechnológia vonatkozásában;
- Szoros együttműködés hazai és nemzetközi kutatócsoportokkal, egyetemekkel;
- Hatékony és gyors működés és megvalósítás.



Kiket Keresünk?

- Autóipar, repülőgépipar, vegyipar; műanyagipar; olaj,-és gázipar; orvostechnika.

Kapcsolat

Dr. Vida Ádám, Osztályvezető

Ipari Anyagtechnológiai Osztály (IAO)

Bay Zoltán Alkalmazott kutatási Közhasznú Nonprofit Kft

Cím: H-1116 Budapest, Kondorfa utca 1.

Telefon: +36-70/515-7182 ; e-mail: adam.vida@bayzoltan.hu

web: www.bayzoltan.hu





A BZN Kft. Miskolctapolcán található Mechanikai Anyagvizsgáló Laboratóriumának fő tevékenysége a különböző típusú alapanyagok, szerkezeti elemek, alkatrészek, változó környezeti körülmények közötti mechanikai – statikus vagy élettartam – tulajdonságainak vizsgálata, szakértői tevékenységek végzése. Kutatási színvonalú berendezéseinkkel számos vizsgálat végrehajtását tudjuk vállalni közvetlen ipari megrendelésre vagy partnereinkkel közösen végzett kutatás-fejlesztési projektek keretében. A szabványos vizsgálatokon kívül vállalunk speciális nem szabványos vizsgálatok megvalósítását, kifejlesztését. Laboratóriumunk vizsgálati lehetőségei, a teljesség igénye nélkül:

Anyagvizsgáló szolgáltatások

- Szakító-, nyomó-, hajlító-, torziós vizsgálatok (500 kN és 2400 Nm-ig)
- Axiális, torziós és biaxiális fárasztó vizsgálatok (LCF, HCF)
- Törésmechanikai vizsgálatok (KIC, JIC, CTOD, Kth, dadN)
- Szerkezetek terhelései és fárasztó vizsgálata
- Ütővizsgálat
- Felületi érdességmérés
- Fémek keménységmérése (HV)
- SHORE keménységmérés
- Helyszíni műszerezett keménység-mérés (Rp0.2, Rm meghatározása)
- Műanyagok és gumi DMA vizsgálata
- Hegesztéstechnológiai vizsgálatok
- SmallPunch (SP) vizsgálatok
- Orvosi implantátumok és protézisek vizsgálatai
- Vegyi összetétel meghatározása (OES, ICP, XRF, XRD)
- Metallográfiai vizsgálatok (optikai mikroszkóppal vagy szkennelési elektronmikroszkóppal)
- Szkennelési elektronmikroszkópos vizsgálatok, elemvizsgálattal
- 3D digitalizálás és méretellenőrzés
- 3D alakváltozás mérés GOM ARAMIS rendszerrel, nagy sebességű kamerával
- Maradó feszültség mérés lyukfúrásos módszerrel
- Hőkamerás vizsgálatok



Roncsolásmentes anyagvizsgálat

- Roncsolásmentes anyagvizsgáló szolgáltatások
- Ultrahangos falvastagság-mérés és hibakereső vizsgálatok
- Fázisvezérelt ultrahang vizsgálat
- Folyadékbehatolásos vizsgálat
- Mágnesezhető poros vizsgálat
- Örvényáramos vizsgálat
- Roncsolásmentes vizsgálati tervek készítése
- Vizsgálati módszerek hatékonyságának elemzése, modellezéssel
- Felületi és térfogati anyagfolytonossági hiányok keresésére módszerfejlesztés



Kapcsolat

Rózsahegyi Péter, Osztályvezető

Ipari Anyagtechnológiai Osztály

Bay Zoltán Alkalmazott kutatási Közhasznú Nonprofit Kft

Cím: H-3519 Miskolc, Iglói út 2.

Telefon: +36-30/370-0029 ; e-mail: peter.rozsahegyi@bayzoltan.hu

web: www.bayzoltan.hu

