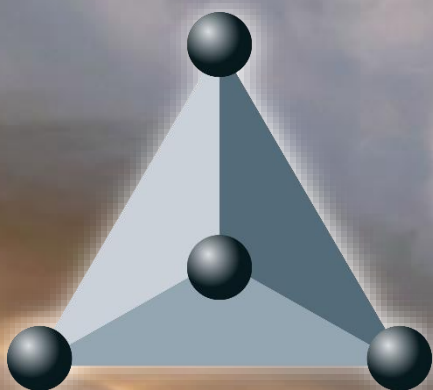


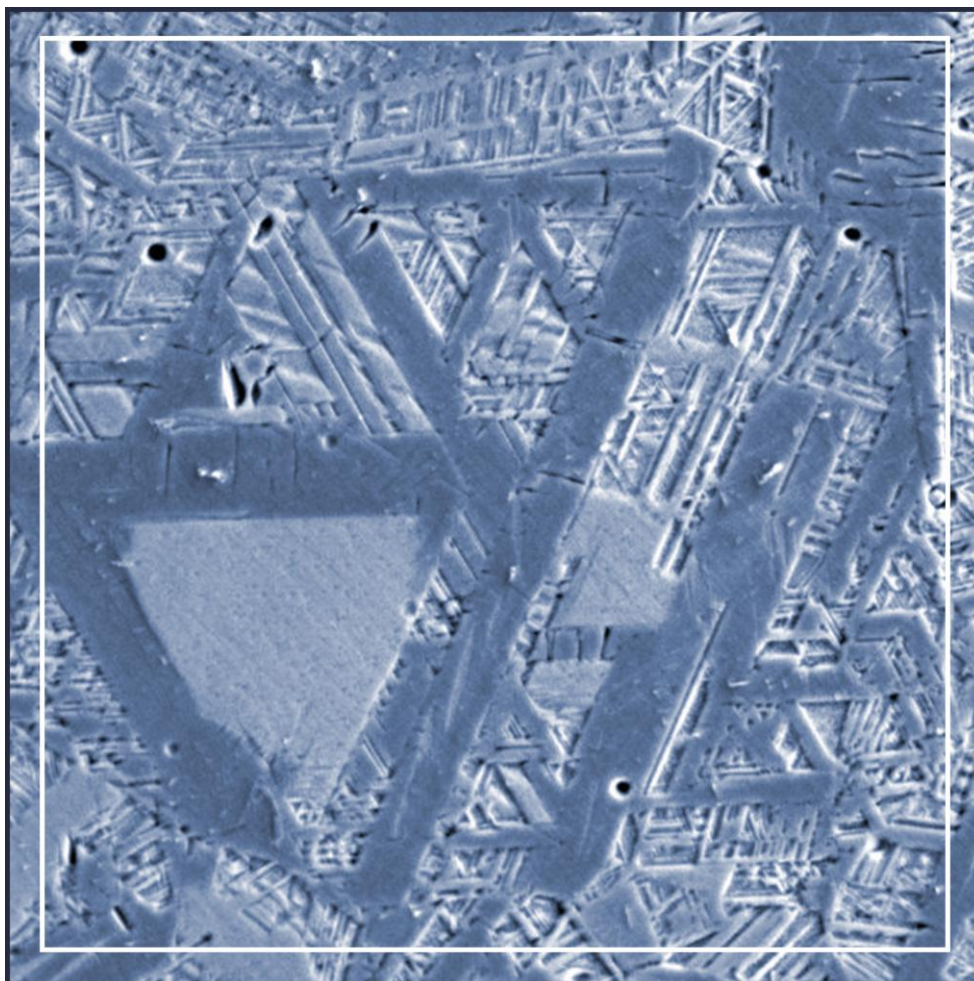


XV.

Országos Anyagtudományi Konferencia
2025. október 12-14.

ABSZTRAKTOK

Fotópályázat nyertes képe



„Csodálatos ikerk”

A felvételt készítette Dr. Nagy Erzsébet

Immár hagyomány, hogy a soros rendezvényünk szervezésének kezdetekor Fotópályázatot hirdetünk a konferencia kiadványainak arculatát meghatározó digitális felvétel beküldésére.

A XV. Anyagtudományi Konferencia fotópályázatának nyertes fotóját Nagy Erzsébet a HUN-REN ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem munkatársa készítette. A képen termomechanikusan kezelt TWIP/TRIP FeMnCr acél "in-situ" röntgendiffrakciós vizsgálata során szobahőmérséklet és 350°C tartományon végzett hevítés-hűtési ciklust követően kialakult ikerkristályok láthatók. A felvétel egy Zeiss EVO MA 10 típusú elektronmikroszkóppal készült

Tartalomjegyzék

Plenáris előadások.....	9
<i>Bárczy Tamás</i>	
Szemelvények az Admatis úripari anyagfejlesztéseiből	10
<i>Imre Sándor</i>	
Navigare necesse est - bevezetés a kvantuminformatikába	11
<i>Szilágyi Imre Miklós</i>	
Az atomi rétegleválasztás alkalmazása a nanotechnológiában	12
Szóbeli előadások	13
<i>Beke Dezső</i>	
Mit tanulhatunk a szerkezetátalakulások zajos jellegéből?	14
<i>Kaptay György^{1,2}</i>	
A komponens-szabály, a reakció-szabály és a fázis-szabály	15
<i>Réti Tamás, Réger Mihály, Horváth Richárd</i>	
Poliéder-szubgráfokat tartalmazó kémiai vegyületek szerkezeti jellemzése	16
<i>Dankházi Zoltán¹, Csanádi Tamás²</i>	
Ultramagas hőmérsékletű kerámia szemcsék mechanikai tulajdonságainak orientáció függése.....	17
<i>Mészáros István Attila, Kemény Dávid Miklós</i>	
2209 duplex korrózióálló acél spinodális bomlási folyamata	18
<i>Nagy Attila Gábor¹, Gémes György András²</i>	
Matematikai módszerek akusztikus emisszió (AE) elemzésében: lokalizáció, hullámforma-elemzés és zajszűrés	19
<i>Hernádi Klára, és még sokan mások</i>	
Kalandozások a szén körül	20
<i>Weltsch Zoltán</i>	
A ragasztás technológiája a jövő anyagtudományában	21
<i>Windisch Márk^{1,2}, Heczel Anita¹, Juhász Gergely^{1,3,4}, Hareancz Ferenc^{1,3,4}, Nagy Péter², Gubicza Jenő², Dankházi Zoltán², Vida Ádám¹</i>	
EBSZ szerepe a lézeres felrakó hegesztéssel épített nagyentrópiás ötvözetek vizsgálatában	22
<i>Czagány Máté¹, Mészáros Gábor², Baumli Péter¹</i>	
A kémiai maratás szerepe a Ni-B bevonatok szuperkapacitív viselkedésében.....	23
<i>Braun Gábor</i>	
„Mindent megteszek, hogy én legyek az első...” avagy iparjogvédelem az anyagtudomány területén	24

Gráczer Kitti¹, Bánhidi Olivér², Muránszky Gábor¹, Viskolcz Béla¹

A mérési paraméterek hatása a mérendő elemek emittált fényintenzitására induktív csatolt plazma (ICP) atomemissziós spektrometriás (AES) meghatározások során..... 25

Csörgő Zsombor László, Gál Viktor

A hidrogén hatásának vizsgálata csővezeték-alapanyagok anyagmodelljére végelelemes modellezéssel 26

Czók Csilla, Komán Szabolcs, Alpár Tibor

Összehasonlító vizsgálat a faiparban használt termékek káros anyag kibocsátására 27

Herceg Zoltán, Herceg Liubov

Műtermékek helyett nagyfelbontás: lonsugaras minta-előkészítés elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz .. 28

Béres Gábor J¹, Borbély Richárd^{1,2}, Tóth-Nagy Bendegúz Viktor¹, Keresztes Róbert²

A képlékenységtani anizotrópia hatása lemezanyagok alakítási határdiagramjára – elméleti megfontolások29

Dessie Jemal Ebrahim¹, Rónai László², Lukács Zsolt¹

Visszarugózási anyagparaméterek fizikai mérése AutoForm anyagmodellekhez 31

S. Tóth László

Kristályplaszticitási alapokra épített új analitikus alakítási keményedési függvény nagy pontosságú illesztéssel 32

Huri Dávid, Mankovits Tamás

Hiperelasztikus anyagmodellek illesztése nyomó igénybevételnek kitett elasztomer termékekre 33

Koroknai László^{1,2}, Kuzsella László²

A hengerelt acéllemezek anizotrópia változásai 34

Kondás Béla¹, Kovács Péter Zoltán², Bubonyi Tamás¹, File Máté³, Nemes Dániel³, Mertinger Valéria¹

Alakítási öregedési jegyek komplex vizsgálata korszerű technológiával gyártott hidegképlékeny acélokon . 35

Palkovics Miklós¹, S. Tóth László^{1,2}

Egy új mechanikai analízis a csőhúzásra..... 36

Benke Márton¹, Mikó Tamás¹, Koncz-Horváth Dániel¹, Varga Dorottya²

Furatszerelt forraszkötések gyorsított fárasztóvizsgálata 37

Baumli Péter

Határfelületi jelenségek elektród/elektrolit határfelületen 38

Takáts Viktor, Fodor Tamás, Vékony Vilmos, Molnár Sándor, Halász Zoltán, Csík Attila, Hakl József, Rajta István, Vad Kálmán

Felületmódosítás ionnyalábbal és elektronnyalábbal 39

Szlancsik Attila¹, Bobor Kristóf^{1,2}, Jónás Szabolcs³, Varga Dorottya¹

Indukciós edzés hatásának vizsgálata roncsolásmentes, roncsolásos és végelelemes módszerekkel..... 40

Veres Zsolt^{1,2}, Kócsák Éva^{1,2}, Rónaföldi Arnold², Roósz András^{1,2}

Irányítottan kristályosított Al12.6Si és Al18Si minták szövetszerkezetének összehasonlítása 41

Gáspár Marcell¹, Kovács Judit¹, Raghawendra P. S. Sisodia¹, Meilinger Ákos¹

A fizikai szimulációval előállított hőhatásövezet szövetszerkezete és szívóssága szerkezeti acélok hegesztésekor 42

Nyeste Viktor^{1,2}, Kazup Ágota², Mende-Tokár Mónika², Molnár Dániel³, Mertinger Valéria²

Lokális utántömörítés hatása nyomásosan öntött alumínium ötvözet mikroszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira 43

Simon Berkesi Dániel¹, Nánai Lilla¹, Szabó Szilvia², Hassan Ouachtak³, Amame Jada⁴, A. Ait Addi³, Hernádi Klára¹

Ezüst alapú fotokatalizátor nanokompozit rögzítése hordozóra gyógyszeripari szennyvíz tisztítás céljából .. 44

Mertinger Valéria¹, Kárpáti Viktor¹, Ungár Tamás², Nagy Erzsébet¹, Koncz-Horváth Dániel¹

Szupravezetés skálázása új koncepciójú lemezes kompozitban 45

Jiri Nohava¹, Mohammad Arab Pour Yazdi¹, Pavel Sedmak¹, Issa Thévenaz¹, Pavel Rohan², Petr Hausild³

Recent applications of nanoindentation and tribology for modern material 46

Kemény Alexandra^{1,2}, Orbulov Imre Norbert^{1,2}

A töltőanyag rendezettségének hatása a kompozit alumíniumhabok tulajdonságaira..... 47

Balogh Fanni^{1,2}, Toldy Andrea^{1,2}, Szabó Gábor^{1,2}

Multifunkcionális PCL-réteg alkalmazása intelligens kompozit szerkezetekben 48

Marton Gergő Zsolt^{1,2}, Szabó Gábor^{1,2}

Szénszál-erősítésű kompozitok károsodásainak elemzése 49

Bubonyi Tamás¹, Barkóczy Péter¹, Kemény Alexandra², Gácsi Zoltán¹

Különböző arányban kevert bimodális kompozit fémhab alakváltozás hatására kialakuló szerkezetének vizsgálata 50

Nánai Lilla¹, Baradács Eszter², Erdélyi Zoltán², Kaptay György^{1,3}, Hernádi Klára¹

Függőlegesen rendezett szén nanocsövek szintézise vezető szubsztráton: az eljárás fejlesztése, rétegépítési technikák és szintézis paraméterek hatása..... 51

Gillemot Ferenc, Cinger Dávid, Szenthe Ildikó, Berzy Lajos

CIRCLE project: reaktor plattírozás vizsgáltjának fejlesztése 52

Szenthe Ildikó, Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Csikós Kristóf Andor, Berzy Lajos, Horváth Márta, Gillemot Ferenc

Kisméretű próbatestek anyagvizsgáló tapasztalatai 53

Gál Viktor¹, Bíró Gyöngyvér¹, Lovas László², Sóki Péter¹

A hidrogén okozta elridegedés elemzése P355NH acélon üreges próbatestes szakítóvizsgálattal 54

Nagy Nóra¹, Ahmad Yasser Dakhel², Lukács János³

Hidrogén-földgáz közeget szállító vezetékszakaszok integritásának értékelése..... 55

Berzy Lajos, Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Csikós Kristóf, Szenthe Ildikó

Alumíniumötvözetek sugárzás okozta öregedésének vizsgálata kutatóreaktorok szerkezeti integritásának értékeléséhez (Magic-RR projekt)..... 56

Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Csikós Kristóf Andor, Berzy Lajos, Szenthe Ildikó, Gillemot Ferenc, Horváth Márta

Ni-Mn hatás nagy neutronfluencia mellett reaktortartály acélokban 57

Varga Dorottya¹, Bobor Kristóf^{1,2}, Szlancsik Attila¹

Forrasanyagból készült miniatürizált próbatestek vizsgálata..... 58

Rövid szóbeli előadások poszterrel 59

Svéda Mária, Sycheva Anna, Karacs Gábor, Kaptay György

Al-Fe-Ti-Ni-Co típusú nagy entrópiájú ötvözetek mikroszerkezeti változásai (SO-01)..... 60

Biró Nóra, Gyarmati Gábor, Molnár Dániel, Fegyverneki György

AlSi10Mg0,5Ti0,1 ötvözet vizsgálata termikus analízis segítségével, különböző Fe, Mn és Sr tartalom esetén (SO-02)..... 61

Borbély Richárd^{1,2}, Kecskés Bertalan³, Keresztes Róbert Zs.^{2,4}, Béres Gábor J.¹

Nagyszilárdságú acélok alakítási határértékének vizsgálata (SO-03) 62

Csikós Kristóf Andor, Gillemot Ferenc, Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Horváth Lászlóné Márta, Szenthe Ildikó, Berzy Lajos

Hegesztett kötés termikus öregedése VVER-440 primerköri csővezeték szakaszán (SO-04)..... 63

Mihályi Domonkos, Garab József, Alpár Tibor

Faanyag alapú nyomtatóanyag fejlesztése és tulajdonságainak vizsgálata additív gyártástechnológiákhoz (SO-05)..... 64

Hargitai Balázs, Cinger Dávid, Berzy Lajos, Csikós Kristóf Andor, Horváth Márta

Mini szakító próbatestek fejlesztése a nukleáris ipar számára (SO-06) 65

Hlavács Adrienn, Czagány Máté, Garami Attila, Barkóczy Péter

Spektrális alapú vizsgálatok alma, burgonya és répa rothadási folyamatának korai felismerésére (SO-07) . 66

Hompoth Szabolcs¹, Czagány Máté¹, Bozzay Péter², Baumli Péter¹

Hordozó orientációjának hatása a Ni-P bevonatok tulajdonságára (SO-08) 67

Katona Bálint, Bődök Károly

A sub-size technika mint a maradék élettartam meghatározásának modern eszköze (SO-09) 68

Kárpáti Viktor¹, Kaptay György¹, Adonyi János², Barna Dániel³, Szabó Gábor⁴, Végh Ádám¹, Koncz-Horváth Dániel¹, Nagy Erzsébet¹, Mertinger Valéria¹

Nem konvencionális lemezes szerkezetek előállítása hengerléssel (SO-10) 69

Kölös Martin L.^{1,2}, Kalácska Gábor^{2,3}, Béres Gábor J.¹

A halmazmőltő vizsgálatban rejlő potenciál vizsgálata vékonylemezek anyagjellemzése céljából (SO-11) .. 70

Nagy Erzsébet¹, Daróczi Lajos², Asmaa A. Azim^{2,3}, Tóth László Z.², Mertinger Valéria⁴, Beke Dezső²

Akusztikus emissziós mérések FeMn(Cr) TWIP acél képlékeny alakítása során (SO-12)..... 71

Nagy Tibor Mihály, Gácsi Zoltán

A hegesztett kötések varrathatárainak objektív és reprodukálható kijelölése radiográfiai képelemzés során (SO-13)..... 72

Éva Kócsák¹, András Roósz², Arnold Rónaföldi², Zsolt Veres¹

Al-Si ötvözet eutektikumának és primer szilíciumának komplex minősítése (SO-14)..... 73

Nagyné Fekete Mónika

Acél felületén kialakított bevonatrendszer vizsgálata (SO-15) 74

Novotny Tamás, Perez-Feró Erzsébet

Cirkóniumburkolat hidrogénleadása (SO-16) 75

Sepsi Máté¹, S. Tóth László^{1,2}, Szűcs Máté¹, Kárpáti Viktor¹, Sziklai Benedek¹, Mertinger Valéria¹

FALEP* eljárás adta új dimenzió a képlékenyalakításban (SO-17)..... 76

Sziklai Benedek¹, Sepsi Máté¹, S. Tóth László^{1,2}, Kárpáti Viktor¹, Mertinger Valéria¹

FALEP eljárással alakított lemezes kompozitok vizsgálata (SO-18)..... 77

Végh Ádám¹, Kaptay György^{1,2}

Elektrokémiai diagramok binér rendszerek galvanosztatisztikus leválasztása esetén (SO-19) 78

Poszter előadások 79

A hidrogén hatása a földgázszállító rendszerekben alkalmazott acélcsövek integritására (P-01) 80

Berczeli Miklós¹, Tajti Ferenc¹, Pécsi-Kovács Péter¹, Körömi Benjamin Márk¹, Weltsch Zoltán²

Ragasztott kötések fejlesztése felületkezelési eljárásokkal (P-02) 81

Bódi Virág Luca, Jakab Sándor Kálmán, Lendvai László

Fröccsöntéssel történő többszöri újrahasznosítás hatása a politejsav tulajdonságaira (P-03) 82

Szoboszlai András¹, Bou Akl Mouawad², Budai István²

Gélesedési folyamatok feltárása gyógyszerformula előállításához (P-04) 83

Buga-Kovács Luca¹, Szathmáry Gergely Ábel², Horváth Norbert¹

Szürke nyár fafizikai tulajdonságainak és bazídiumos gombákkal szembeni ellenálló képességének vizsgálata két termőhely viszonyában (P-05)..... 84

Forgács Zsófia

Analóg kamerán alapuló képfeldolgozó rendszer tervezése bugák detektálásához (P-06)..... 85

Gál Rajmond¹, Forgács Zsófia², Kaptay György^{1,3}

Anyag- és hőmérlegeken alapuló modelltervezés elektromos ívkemencéhez (P-07)..... 86

Jakab Sándor Kálmán, Lendvai László

Politejsav/polibutilén-adipát-ko-tereftalát/repceszalma őrleményből készült biopolimer kompozitok vizsgálata (P-08)..... 87

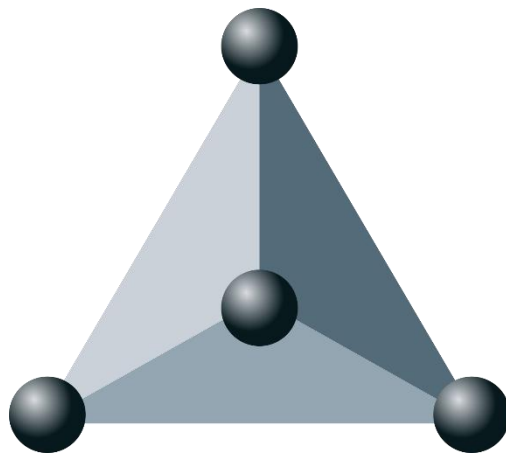
Kondás Béla, Mertinger Valéria

Próbatestszél mikrostruktúra hatása a szakítóvizsgálati eredményekre (P-09)..... 88

László Noémi, Kizsel Domokos, Bán Alex Máté

Alternatív ötvözőelemek antimon helyettesítésére ólomalapú ötvözetekben: Mechanikai tulajdonságok és mikroszerkezeti hatások (P-10)..... 89

<i>Mankovits Tamás¹, Alkentar Rashwan¹, Trisovic Natasa², Petrovic Ana², Huri Dávid¹, Manó Sándor¹</i>	
Cellás szerkezetű 3D nyomtatott titán implantátumszár vizsgálata (P-11)	90
<i>Mónus László József¹, Fábián Enikő Réka²</i>	
Kombinált erősítéses kompozitok sportíjakban (P-12).....	91
<i>Szabó Andrea, Pázmán Judit</i>	
Karbidkiválások és mechanikai jellemzők alakulása VVER-440 reaktoracél öregítése során (P-13).....	92
<i>Szabó Veronika Anna¹, Dogossy Gábor²</i>	
Vegyes műanyag hulladék éghésgátlása (P-14).....	93
<i>Veszprémi Ramóna^{1,2}, Szabó Gábor¹, Kaptay György²</i>	
Vaselektrolízis kriolitban – új perspektíva a fenntartható acéliparban (P-15).....	94
<i>Hatos István</i>	
Johnson-Cook anyagmodell paramétereinek meghatározása fém 3D nyomtatott 1.2709 acél esetén (P-16)	95
<i>Birkás Katalin, Pázmán Judit</i>	
Alumínium ötvözetek újrahasznosítási kísérletei (P-17).....	96
<i>Mészáros Henriette, Pázmán Judit, Birkás Katalin</i>	
Műanyag újragondolva – Újrahasznosított POM hatása a mechanikai tulajdonságokra (P-18)	97
<i>Kocsis Bence</i>	
3D nyomtatott vas-szilícium elektroacélok lágymágneses tulajdonságainak összehasonlítása (P-19)	98



Plenáris előadások

Bárczy Tamás

Szemelvények az Admatis úripari anyagfejlesztéseiből

Óriási lépéseket tett és tesz meg az emberiség annak érdekében, hogy meghódítsa a világűrt. Teszi ezt egyrészt azért, mert kíváncsi, szeretné tudni, hogyan keletkezett a világ, hogyan alakult ki az élet, van-e máshol élet, lesz-e hova menekülni, ha már komoly problémák lesznek a Földdel. Teszi ezt azért, mert szeretné kényelmesebbé és biztonságosabbá tenni az életét. Állandóan kommunikál, elhelyezi magát egy térképen, képeken nézi a Föld állapotát és elemzi a klímaváltozást, próbálja kitalálni mit fog tenni, ha egy aszteroida a Földbe csapódna.

Ezek a lépések óriási erőfeszítésekkel járnak, rengeteg fejlesztőmunkát igényelnek sokszor több tucat ország, több száz szervezetének, több ezer embere által.

Az előadás rá kíván világítani az úripari fejlesztések sajátosságaira, a kihívásokra, a megoldásokhoz vezető sokszor rögös útjára, fókuszálva a különböző anyagok és technológiák problémakörére.

Az előadás során bemutatásra kerül néhány olyan fejlesztés, amit az Admatis Kft. végzett el, és olyan eredményekhez vezettek, amelyek ma is a világűrben működnek. Lesz szó felületkezelésről, ragasztásról, kompozit anyagokról, holdporról, foszforeszkáló festékről. Ezek mindegyike már régóta létezik a Földön, számos alkalmazásuk széles körben elterjedt, de mégis, ahhoz, hogy az űrbe mehessenek, még végig kell menniük további fejlesztéseken, pontosításon, teszt sorozaton.

Bemutatásra kerül néhány olyan fejlesztési igény az emberiség részéről, ami előttünk áll, és talán éppen Magyarországról fog kikerülni a megoldás. Ez sikerülhet, ha tisztában vagyunk az igényekkel, a képességeinkkel, a lehetőségeinkkel, összefogunk és keményen dolgozunk. És felvesszük a harcot a H₂ ellen.

Imre Sándor

Navigare necesse est - bevezetés a kvantuminformatikába

Richard P. Feynmann Nobel-díjas fizikus 1985-ös felvetése óta – a miszerint itt az idő, hogy az elemi részecskéket kézbe vegyék a mérnökök és informatikát építsenek rájuk – eltelt 40 esztendőben jelentős változáson ment keresztül a szakterület. A kezdeti tapogatózásokat aktív kísérletező, fejlesztő munka követte, mely mára elért a termékesítésig is. Ugyanakkor jól érzékelhető, hogy sokféle megoldás verseng egymással és még időbe telik, amíg a jól skálázódó, megbízható rendszerek létrejönnek és elterjednek, az ehhez elengedhetetlen szabványosításról nem is beszélve.

Az előadás áttekinti – mérnöki megközelítésben – a kvantummechanika szabályait, az ezekből fakadó kihívásokat és lehetőségeket. Jelenleg két nagy irányban zajlik a szakterület fejlődése: kvantumszámítógépek nagy számításigényű feladatok hatékony elvégzésére és kvantum kommunikáció a kvantumszámítógépek támadásainak kivédésére is alkalmas tokosítási protokollokkal. A jövő természetesen a klasszikus minta analógiájára a kvantum hálózatokkal összekötött kvantumszámítógépek világa. Mindkét nagy területről átfogó képet kaphatunk az előadás során, illetve szó lesz az európai kvantum törekvésekről és K+F programokról is.

Szilágyi Imre Miklós

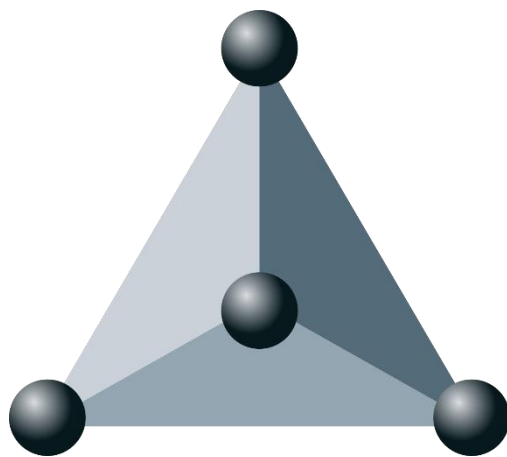
Az atomi rétegleválasztás alkalmazása a nanotechnológiában

Az előadásban az atomi rétegleválasztás (ALD) története, jellemzői és lehetőségei kerülnek bemutatásra. Az ALD egy gázfázisból történő vékonyréteg-leválasztási módszer, amely lehetővé teszi egyenletes, konformális bevonatok leválasztását akár erősen strukturált és porózus hordozókon is, megnyitva ezzel az utat újszerű nanoanyagok szintéziséhez. Számos saját példán keresztül kerül bemutatásra, hogyan lehet ALD-vel különböző nanoszerkezeteket előállítani.

Mag/héj WO_3/TiO_2 , ZnO/TiO_2 és TiO_2/ZnO nanoszálak és TiO_2 nanocsövek ALD-vel és elektrosztatikus szálhúzással történő szintézisét végeztük el. Szol-gél és ALD alkalmazásával PMMA/TiO_2 , $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$,

SiO_2/ZnO , $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mag/héj nanorészecskék készültek. ALD-vel bionanokompozitokat állítottunk elő, pl. TiO_2 bevonatú lótuszleveleket vagy Al_2O_3 bevonatú madártollakat. Szén nanoanyag (pl. C_{60} , grafén-oxid, szén aerogél, szén nanögömb) alapú nanokompozitokat is készítettünk ALD-vel. Polimer (Kapton)/oxid membránok is a kutatás részét képezték.

Az alkalmazások több területet is érintettek: fotokatalízis, gázérzékelés, részecske-érzékelés, fotonikus kristályok, nanofolyadékok. Az előadásban az ALD-filmek előnyeit és hátrányait is bemutatjuk a különböző alkalmazásokban.



Szóbeli előadások

Beke Dezső

Mit tanulhatunk a szerkezetátalakulások zajos jellegéből?

Az anyagtudományban ismert szerkezetátalakulások (martenzitenzites átalakulás fázishatárok mozgásával, ikresedés ikerhatárok mozgásával, diszlokáció hálózatok átalakulása plasztikus deformáció során, Lüders sávok képződése és haladása, Portevin-LeChatelier effektus, átmágneseződés, stb) során a folyamat többnyire diszkrét, azaz megindul-megáll, jellegű. Ezen folyamatok során vagy a mágnesezettség (pl. a Barkhausen-effektusban) vagy a lokális deformáció ugrásszerű változása mágneses, illetve akusztikus jeleket eredményez, és u.n. „zaj-lavinákat” (recsegő zajok) figyelhetünk meg. Ezeknek egy jellegzetes tulajdonsága, hogy önhasonlóak, azaz hatványfüggvény viselkedést mutatnak: csak a hatványfüggvény rendelkezik azzal a tulajdonsággal, hogy pl. az időskálát megnyújtva a mért jel (feszültség) sorozat hasonló: $U \propto (t)^\alpha$ és $U \propto (at)^\alpha \propto t^\alpha$. A statisztikus fizikában ezeket a jelenségeket „lassan vezérelt kritikusságnak” nevezik, és hatványfüggvényekkel írják le (a ridegen tört felület morfológiája is ilyen: fraktál-szerű). Fontos anyagtudományi kérdés vajon a hatvány kitevők változnak-e, ha pl. az adott folyamat mechanizmusa változik? A válasz az, hogy sajnos gyengén. Például a lavina területet és az amplitúdót összekapcsoló hatványkitevő

csupán 1.5 és 2 között változhat attól függően, hogy a mozgó határfelület a mozgását akadályozó pontokkal milyen kölcsönhatásban van. Ugyanakkor a jelsorozatok (lavinák) területe, vagy energiája igen széles, gyakran négy-öt nagyságrenddel változhatnak, és ha ezeket „hitelesítjük” azaz megállapítjuk, hogy pl. a határfelület mekkora lépésekkel való eltolódáshoz tartoznak, akkor mikroszerkezeti információt kaphatunk. Például ferromágneses alakemlékező egykristályban egyetlen ikerhatár eltolódásakor mért mágneses jelekből megállapítható volt, hogy a legkisebb jelek szub-nanométeres eltolódásokhoz tartoznak, azaz az ikerhatár eltolódása az azon lévő könyökök szakaszos mozgásából tevődik össze. Újabban kiderült, hogy lehet beszélni szelíd (mild) és vad (wild) jelekről. Szelíd jelek esetén nincs hatványfüggvény viselkedés (Gauss-eloszlás van): ilyenek például az egyedi diszlokációk csúszása során emittált jelek, míg a diszlokáció hálózatokon kollektív diszlokáció mozgás már recsegő zaj jellegű. Másik fontos információ lehet a zaj aktivitás: pl. nukleáció során ez tipikusan nagyobb, mint a határfelület szakaszos mozgásához tartozó aktivitás. Az aktivitás irányfüggő is lehet (pl. függ a martenzites átalakulás irányától).

Kaptay György^{1,2}

A komponens-szabály, a reakció-szabály és a fázis-szabály

A komponens-szabály szerint a fázisegyensúlyok számítása során a figyelembe veendő komponensek számának maximuma a figyelembe vett elemek száma.

A reakció-szabály szerint egy kémiai reakció-egyenletben maximum annyi reagens és reakciótermék vehető figyelembe, mint az elemek száma + 1. Innen az is következik, hogy egy reakcióegyenletben maximum annyi reagens vehető figyelembe, ahány elemet ezek a reagensek tartalmaznak.

A fázis-szabály klasszikus megfogalmazása szerint egy rendszerben maximum annyi fázis tarthat egymással egyensúlyt, amennyi a komponensek száma + 2. Ennek kiterjesztése: a szabadsági fokok száma = a komponensek száma + 2 – a fázisok száma, ahol a szabadsági

fok klasszikus definíciója: azon állapothatározók száma, melyek véges értéktartományban szabadon változtathatóak meg anélkül, hogy a rendszerben az egyensúlyi fázisok száma és minősége * megváltozna. Bemutatom, hogy ez a definíció nem elégséges, és kiegészítendő a következőkkel: * = , illetve a fázisarányok értéke. Bemutatom, hogy a fázisszabályban szereplő 2-es érték általánosan egyenlő a nem koncentráció jellegű, független állapotváltozók számával, levonva ebből a közöttük lévő, rájuk kényszerített esetleges matematikai kapcsolatokat. Bemutatom, hogy összesen 7 ilyen mennyiség létezik, aminek hatása van a fázisegyensúlyokra és példákat hozok ezekre.

¹ Miskolci Egyetem, Miskolc

² HUN-REN-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Miskolc

Réti Tamás, Réger Mihály, Horváth Richárd

Poliéder-szubgráfokat tartalmazó kémiai vegyületek szerkezeti jellemzése

Az anyagtudomány egy különleges kutatási tématerülete a szerves és szervetlen molekulák szerkezetének topológiai jellemzése. Napjainkban ezt a kutatási területet, amelynek módszerei alapvetően gráfelméleti módszerek alkalmazásán alapulnak, a nemzetközi szakirodalomban „mathematical chemistry” néven szokás emlegetni.

Az elmúlt évtizedekben a témakörben folytatott kutatások döntően a karbon-bázisú vegyületek topológiai szerkezetének vizsgálatára irányultak, különös tekintettel az ilyen típusú molekulát kvantitatív strukturális jellemzésére, osztályozására. A vizsgálatok középpontjában elsődlegesen olyan eljárások kifejlesztése állt, amelyek segítségével a molekulaszerkezet ismeretében előre becsülhetők (predikálhatók) a vizsgált vegyületek fizikai és kémiai tulajdonságai. E módszerek legfőbb alkalmazási területévé a gyógyszer-kutatás vált, nevezetesen olyan új eljárások kifejlesztése, amelyek lehetőséget kínáltak a nagyszámú szerkezeti

kombinációkból kiválasztani azon vegyületeket, amelyekből a kívánt gyógyhatás nagy valószínűséggel garantálható.

A karbon-tartalmú vegyületek jellegzetessége, hogy ezekben karbonnak 4 a vegyértéke. Az újabb kutatások az igazolták, hogy léteznek olyan vegyületek is, amelyekben a karbon vegyértéke 4-nél nagyobb. A 4-nél nagyobb vegyérték egyébként előfordul a bört tartalmazó vegyületekben is. Ezek gráfjaiban a maximális fokszám 5-nél nagyobb is lehet.

Jelen előadásban olyan vegyületek topológiai szerkezetét vizsgáljuk, amelyek poliéderekkel reprezentált szubgráfokat (főként tetraédereket, hexaédereket valamint ikozaédereket) tartalmaznak. Példákat ismertetünk olyan vegyületekre, amelyeknek gráfjaiban ikozaéder-szubgráfok fordulnak elő, következésképpen ezek fokszáma 5-nél nagyobb.

Dankházi Zoltán¹, Csanádi Tamás²

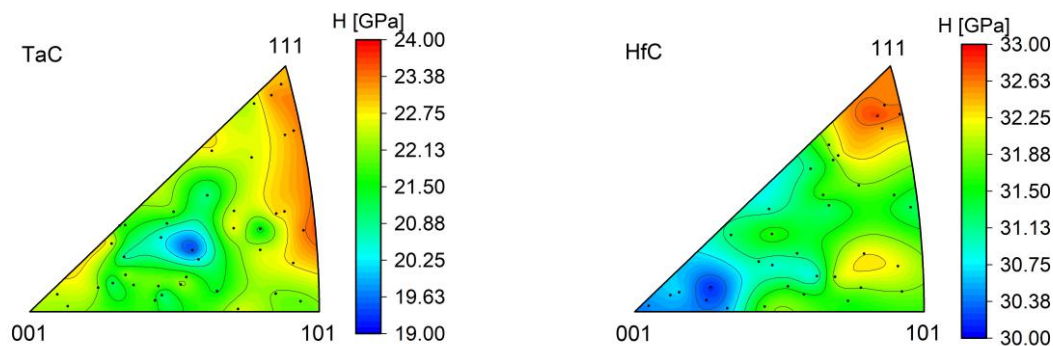
Ultramagas hőmérsékletű kerámia szemcsék mechanikai tulajdonságainak orientáció függése

Amerikai és kínai fejlesztők hangsebesség feletti repülést ígérnek a 2030-as évekre, de más, extrém körülmények között működő eszközök is megkövetelhetik rendkívül magas hőmérsékleten stabil anyagok használatát. Az elmúlt fél évszázadban ~15 ultramagas hőmérsékletű kerámia (UHTC) állt rendelkezésre. Ezt a csoportot az utóbbi években felfedezett nagy entrópiás kerámiákkal (HEC) további több ezer, négy vagy több átmenetifém- és bór- vagy széntartalmú, hexagonális vagy köbös szerkezetű új anyagcsoporttal bővíthet. A kihívás olyan stabil szerkezetek felkutatása, amelyek az UHTC-re jellemző extrém magas olvadásponttal (>3000 °C), nagy keménységgel (>20 GPa) és szilárdsággal (>500 MPa), valamint 1500 °C felett is kiváló oxidációs ellenállással rendelkeznek.

Célunk: olyan automatizált mikro/nanomechanikai tulajdonság térképezés kifejlesztése, ami hatékonyan teszi lehetővé az UHTC szemcséiben a nanokeménység és indentációs modulusz orientációfüggésének mérését. A deformálhatóság alapvető jelentőséggel bír a nagy kompozíciós térrel rendelkező HEC anyagok azon szerkezeteinek megtalálásában, amelyek nagyobb mértékű makroszkopikus

képlékeny deformációval bírnak, mint a hagyományos alapvetően rideg UHTC-k. Ennek kifejlesztését jól ismert UHTC-ken, kevésbé rideg TaC-on és ridegebb HfC-on végezzük.

Első eredményeink: Egyfázisú, nagy relatív sűrűségű (~99%), hasonló szemcseméretű és véletlenszerű orientációjú TaC és HfC kerámiákon visszaszórt elektrondiffrakcióval (EBSD) meghatároztuk az egyes szemcsék orientációját, majd nanoindentációval mértük a nanokeménységet (H) és az indentációs moduluszt (M) a 150-200 nm mélységtartományban. (Az izotróp anyagok esetében érvényes egyenlet itt nem érvényes, ezért használjuk M -et.) Az indentációs nyomokból csak a szemcsehatároktól és más hibáktól (pl. pórusoktól) legalább egy indentációs átmérő távolságra lévőket értékeltük ki úgy, hogy az azonos orientációjú szemcsékre átlagoltunk, orientációnként legalább két indentációs mérés eredményére. A 30-40 db elemzett szemcse vizsgálatával kimutattuk H és M orientáció-függését és azok eltérését különösen a nanokeménység esetén, ahogy azt az 1. ábra mutatja.



1. ábra – TaC és HfC kerámián mért nanokeménység orientációfüggése inverz pólusábrán

¹ Eötvös Loránd Tudományegyetem Anyagfizikai Tanszék, Budapest

² Institute of Materials Research, Slovak Academy of Sciences, Kassa, Szlovákia

Mészáros István Attila, Kemény Dávid Miklós

2209 duplex korrózióálló acél spinodális bomlási folyamata

A nagy króm tartalmú ötvözetekben hőbevitel hatására végbemehet a spinodális bomlás nevű fázisátalakulási folyamat, aminek során néhány tíz nanométer méretű, egymástól koherens fázishatárral elválasztott atomi klaszterek jönnek létre. A korrózióálló acélok esetén a spinodális bomlás hozzávetőleg a 250-500 °C hőmérséklet tartományban történik, aminek során a δ -ferrit vasban gazdag α és krómban gazdag α_1 fázissá alakul. Általánosan elfogadott, hogy e folyamat a leggyorsabb 475 °C hőmérsékleten, ami megfelel az izotermikus átalakulási diagram (TTT) orrpontjának. Az említett fázisátalakulás hatására az acél rideggé válik és korrózióállósága romlik. Ezért e leromlási folyamat az ipari gyakorlatban „475 °C-os ridegedés” néven ismert, ami az emelt hőmérsékleten üzemelő ipari berendezések esetén problémát okozhat.

Vizsgálataink során 2209 típusú duplex korrózióálló acél mintákat vizsgáltunk. Az ötvözet Böhler G 22 9 3 NL (ER 2209) 1,2 mm átmérőjű huzal formájában állt rendelkezésre. A vizsgálatokhoz a hegesztő hozaganyagból 10 cm hosszúságú mintákat vágunk, illetve tömbi mintát állítottunk belőle elő (WAAM) Wire Arc Additive Manufacturing additív technológiával. Az additív gyártás YASKAWA AR1440/YRC1000 ívhegesztő robot berendezéssel történt, 135 – MAG (Metal Active Gas) hegesztési eljárással. A hegesztési paraméterek a következők voltak: 8,3 m/perc huzalelőtolás; 22,9 V feszültség; M12-Arc-2,5 védőgáz 18 liter/perc áramlási sebességgel, a robot hegesztőpisztolyának haladási sebessége 30 cm/perc volt. A hegesztett tömör építmény

3 rétegből és mindegyik réteg külön-külön 4 sorból állt.

Az előkészített mintákat izotermikus hőkezelésnek vettünk alá, aminek paraméterei az alábbiak voltak:

- A huzal minták esetén: a hőkezelési hőmérséklet 475, illetve 525 °C, a hőkezelések időtartama 3, 6, 12, 36, 60, 175, 343 és 675 óra voltak.
- A WAAM technológiával gyártott minta esetén: a hőkezelési hőmérséklet 475 °C, a hőkezelési időtartamok: 1, 3, 72, 168 és 168 óra voltak.

A mintákon mágneses, termofeszültség (TEP), Vickers keménység és mikroszerkezeti vizsgálatokat végeztünk. A mágneses tulajdonságok méréséhez AC magnetométert és DC koercimétert használtunk.

Várakozásainknak és elméleti megfontolásainknak megfelelően a vizsgált duplex korrózióálló acélban a spinodális bomlás egyaránt a koercitív tér, a veszteségi tényező és a Seebeck együttható jelentős növekedését eredményezte, ugyanakkor a keménység értéke lényegében nem változott és a minták szövetszerkezetében változást nem mutattunk ki.

Eredményeink lehetőséget adnak a spinodális bomlási folyamat roncsolásmentes vizsgálatára és a leromlási folyamat monitorozására.

Nagy Attila Gábor¹, Gémes György András²

Matematikai módszerek akusztikus emisszió (AE) elemzésében: lokalizáció, hullámforma-elemzés és zajszűrés

Az akusztikus emisszió (AE) források lokalizációja és hullámformájának elemzése matematikai modelleken alapul. **Lokalizációhoz** (1D, 2D, 3D) az érzékelőkhöz érkező jelek **időkülönbségét (TDoA)** használjuk, mely hiperbolikus/hiperboloid egyenletek megoldását igényli (pl. nemlineáris optimalizálás). **Hullámforma-elemzésnél** az **FFT** spektrális jellemzőket, a **wavelet-**

transzformáció pedig idő-frekvencia viselkedést tár fel (pl. diszperzió, átmeneti események). **Zajszűréshez FIR/IIR, adaptív szűrők** vagy **wavelet-küszöbölés** alkalmazható, amelyek a jel-zaj arányt javítják. Ezek a módszerek lehetővé teszik repedések pontos térbeli azonosítását és fizikai jellemzését szerkezeti monitorozásban.

¹ HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

² Tam-Cert Kft., Budapest

Hernádi Klára, és még sokan mások

Kalandozások a szén körül

A szénelapú anyagokat – melyek már az őskor óta fontos szerepet töltenek be az emberiség életében – a tudomány és a technológia számos területén használják. Néhány triviális példa: a faszén, mint hőforrás és adszorbens, a természetes grafitpor a ceruzákban, színnanyag a fekete tintában. A 20. század jelentős áttörést hozott a szén új formáinak felfedezésében és alkalmazásában. Nem lehet megítélni, hogy a szén melyik formája rendelkezik a legnagyobb technológiai jelentőséggel, de érdemes lehet egy előadásban összefoglalni a szénszálak és a szén nanocsövek közötti hasonlóságokat és eltéréseket.

A szénszálakat különböző prekursorokból, különböző eljárásokkal állítják elő, és ennek következtében különböző (nano)szerkezetűek. Mind a prekursor, mind az előállítási módszer befolyásolja valamelyest a végleges szerkezetet; viszont a hőkezelés hőmérséklete döntő fontosságú a szerkezet és ezáltal a tulajdonságok szabályozásában. Napjainkban a szénszálakat széles körben használják (erősített műanyagokban és más kompozitokban), a teljes felsorolás jelen keretek között nem lehetséges.

Rendkívüli fizikai, kémiai, termikus és elektromos tulajdonságaik miatt az elmúlt három évtizedben a szén nanocsövek (CNT) a tudományos közösség érdeklődésének töretlenül a középpontjában álltak. A CNT-k családján belül a függőlegesen rendezett szén nanocsövek („CNT erdők”) fontos szerepet játszhatnak elektromos és mechanikai

fejlesztésekben, illetve kompozitok adalékanyagaként.

Jelenlegi tudásunk szerint a CNT-erdők előállításának egyetlen módja a katalitikus kémiai gőzfázisú leválasztás (CCVD). A szintézis első fontos lépése egy vékony katalizátorréteg kialakítása egy megfelelő hordozón, amelyet előzetesen szigetelőréteggel vonunk be. A CCVD-szintézis kezdetén a vékony réteget hőkezeléssel és redukív atmoszférával nanoméretű katalizátor-részecskékké alakítjuk át. Ezek aztán szén nanocsövek növekedését indítják el megfelelő szénforrás jelenlétében, amelyek egy kritikus hosszúság elérése után rendezett szerkezetet alkotnak. A CCVD során számos paraméter (reakcióidő, reakcióhőmérséklet, gáz stb.) befolyásolja a növekedést, így az előállítandó CNT-erdők tulajdonságai szabályozhatók. A hordozóréteg szerepét, a katalizátorréteg átalakulását hidrogéngáz jelenlétében és a szén nanocsövek növekedési mechanizmusát termodinamikai megfontolásokkal igazoltuk.

A mikrométeres szénszálak technológiai alkalmazhatóságához képest a nanométeres átmérőjű szén nanocsövek alkalmazása számos kihívást jelent mind a kutatók, mind a mérnökök számára. Az atomi szinttől a végtermékig számos lépés van, beleértve a több nagyságrendet átívelő rendszerek tervezését és optimalizálását, ami a fejlesztés minden szintjén rendszeres kutatói visszacsatolást igényel.

Köszönetnyilvánítás: A szerző(k) hálásak az NKFIH pénzügyi támogatásáért (SNN 143949 és 2021-1.2.6-TÉT-IPARI-MA-2022-00003).

Weltsch Zoltán

A ragasztás technológiája a jövő anyagtudományában

A ragasztástechnológia az elmúlt évtizedekben az ipari kötéstechnika egyik legdinamikusabban fejlődő területévé vált. Míg korábban a ragasztott kötések elsősorban másodlagos vagy nem szerkezeti funkciókat töltöttek be, napjainkban egyre gyakrabban alkalmazzák őket teherhordó, sőt biztonságkritikus kötések kialakítására is. E fejlődés hátterében a ragasztóanyagok tulajdonságainak jelentős javulása, az alapanyagokhoz illesztett felületkezelési eljárások fejlődése, valamint a kötések megbízhatóságát alátámasztó vizsgálati módszerek előretörése áll.

Az előadás áttekinti a ragasztás technológia fejlődésének legfontosabb mérföldköveit, különös tekintettel az anyagtudományi megközelítésre: felülettudományban és kötésmechanikában elért eredményekre. Kiemelésre kerülnek azok az új alkalmazási területek – például a járműipar, repülőgépgyártás, elektronikai szerelés és energiatárolás –, ahol a ragasztás ma már nemcsak alternatíva, hanem elsődleges megoldás.

A jövő ragasztástechnológiájának kulcskérdései közé tartozik a kötések prediktív modellezése, a körforgásos gazdaságba illeszkedő, visszabontható vagy újrahasznosítható rendszerek fejlesztése, valamint a környezetbarát, biológiai úton lebomló ragasztók térnyerése. Ezen túlmenően

a többanyagú rendszerek (pl. fém-polimer, kompozit-fém) megbízható kötésének biztosítása, valamint az in-situ kötésszabályozás és -diagnosztika iránti igény is meghatározza a kutatás-fejlesztés irányait.

Az elmúlt 15 évben végzett ragasztástechnológiai kutatásaink eredménye egyértelműen igazolja, hogy a felületi módosítások kulcsszerepet játszanak a kötési teljesítmény növelésében. Sikert értünk a teljes spektrumban befolyásolni a határfelületi tulajdonságokat: korábban nem ragasztható felületeket tettünk ragaszthatóvá, vagy épp fordítva – célzottan akadályoztuk meg a kötés kialakulását bizonyos alkalmazásokban. A felület hidrofób állapotból hidrofil állapotba történő módosítását többféle eljárással valósítottuk meg, mindezt kontrollált és reprodukálható módon. Ennek érdekében saját fejlesztésű, nagy energiájú felületkezelő berendezést is létrehoztunk, amely lehetővé teszi a különféle anyagpárok felületének testreszabott előkészítését. Ezek az eredmények jelentősen hozzájárulnak a megbízható és tartós ragasztott kötések ipari alkalmazásához.

Az előadás célja, hogy bemutassa a ragasztás technológiájának interdiszciplináris szerepét a jövő anyagtudományi és mérnöki kihívásainak megoldásában, valamint párbeszédet kezdeményezzen a terület további kutatási és ipari lehetőségeiről.

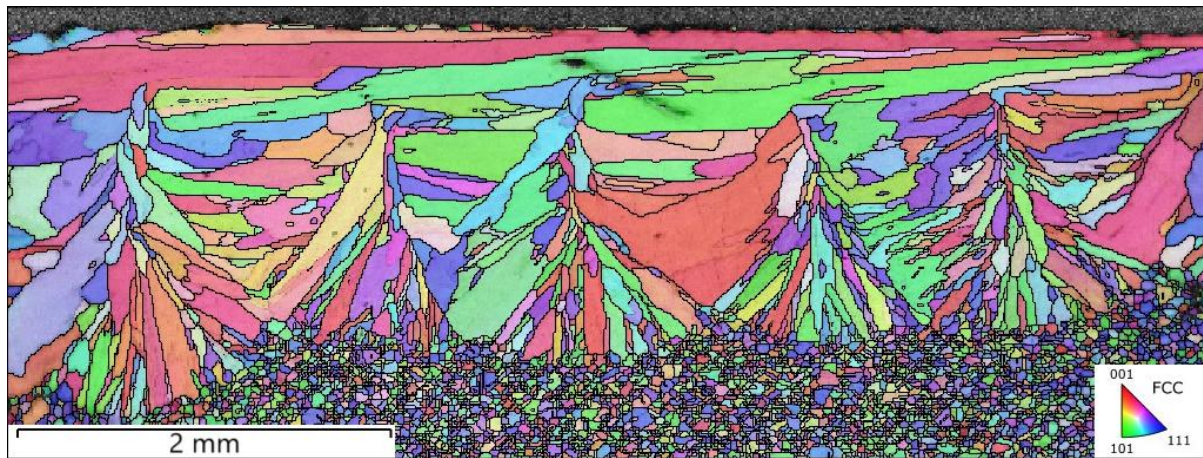
**Windisch Márk^{1,2}, Heczel Anita¹, Juhász Gergely^{1,3,4}, Hareancz Ferenc^{1,3,4},
Nagy Péter², Gubicza Jenő², Dankházi Zoltán², Vida Ádám¹**

EBSD szerepe a lézeres felrakó hegesztéssel épített nagyentrópiás ötvözetek vizsgálatában

A visszaszórt elektrondiffrakciós (Electron Backscatter Diffraction, EBSD) mérési módszer az anyagtudomány egyik korszerű méréstechnikája. Az említett technika röntgendiffrakciós mérésekkel kiegészítve széles spektrumú információt szolgáltat kristályos állapotban lévő szilárdtestek anyagszerkezetéről. Az EBSD segítségével meghatározhatjuk mikro- és nanoszemcsés anyagok szemcseméretét és kristályorientációját. A kisszögű szemcsehatárok és kristályorientációs viszonyok szemcsén belüli vizsgálata lehetővé teszi, hogy további információt kapjunk a külső

fizikai hatások által kiváltott anyagszerkezeti változásokról.

Az előadás első részében röviden bemutatom az EBSD mérési elvét, majd konkrét példákon keresztül ismertetem a méréstechnika által kinyerhető eredmények főbb típusait. A bemutatott vizsgálatok lézeres felrakó hegesztéssel előállított CoCrFeNi és CrFeNiNbMo nagyentrópiás ötvözetek (High-Entropy Alloys, HEA) rétegeire fókuszálnak. Külön kitérve a felrakott rétegekben megjelenő többfázisú rendszerek vizsgálatára, belső feszültségek kvalitatív és kvantitatív jellemzésére.



1. ábra. Lézeres felrakó hegesztéssel 316 L lemezre felépített CoCrFeNi nagyentrópiás ötvözetű rétegek keresztmetszetének kristályorientációs térképe.

¹ Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Budapest

² Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Anyagfizikai Tanszék, Budapest

³ Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Kecskemét

⁴ Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest

Czagány Máté¹, Mészáros Gábor², Baumli Péter¹

A kémiai maratás szerepe a Ni-B bevonatok szuperkapacitív viselkedésében

A kémiai redukciós Ni-B bevonatok kiváló mechanikai- és korrózióállósági tulajdonságaiknak köszönhetően több különböző ipari területen is előszeretettel alkalmazottak [1]. A bennük rejlő lehetőség azonban egyelőre nem teljesen feltárt: megfelelő elektrolittal kombinálva szuperkapacitív tulajdonságokat mutatnak, ezáltal elektrokémiai energia tárolására is alkalmasak lehetnek. A szuperkondenzátorok nagy teljesítményleadó képességüknek, jó energiatároló kapacitásuknak, gyors töltési/kisütési idejüknek, illetve hosszú élettartamuknak köszönhetően hidat képeznek a hagyományos kondenzátorok és az akkumulátorok között [2].

A Ni-B bevonatok elektrokémiai tulajdonságait jelentősen befolyásolja a felületi morfológia, bevonatszerkezet és összetétel [3]. Kutatásunk

célja a Ni-B bevonatok szuperkapacitív teljesítményének növelése tömény salétromsavas maratással kialakítható porózus szerkezet révén. A szuperkondenzátor elektród kialakításához rézlemez felületén hoztunk létre kapacitív Ni-B bevonatot. Vizsgáltuk a maratás hatását a bevonat összetételére, mikroszerkezeti változásaira, illetve az elektrokémiai viselkedésre vonatkozóan. A maratási idő optimalizálásával 157 mF/cm² fajlagos kapacitásérték volt elérhető (0,5 A/g mellett). Az elektród élettartamának vizsgálata 5000 cikluson keresztüli CV (ciklikus voltammetria) méréssel történt, melynek során 78%-os kapacitásnövekedés volt mérhető, köszönhetően a felületen kialakuló elektrokémiai aktív hálózathoz [4].

Irodalom

- [1] Q. Barati, S.M.M. Hadavi, Electroless Ni-B and composite coatings: A critical review on formation mechanism, properties, applications and future trends, Surf. Interfaces 21 (2020) 100702.
- [2] Z. Lu, X. Ren, Pseudocapacitive Storage in High-Performance Flexible Batteries and Supercapacitors, Batteries 11 (2025) 63.
- [3] M. Czagany, S. Hompoth, M. Windisch, P. Baumli, Investigation of the Supercapacitive Behavior of Electroless Ni-B Coatings, Metals 13 (2023) 1233.
- [4] M. Czagany, G. Meszaros, D. Koncz-Horvath, A. Hlavacs, M. Windisch, B. Hwang, P. Baumli, Effect of Chemical Etching on the Supercapacitive Performance of Electroless Ni-B Coatings, Materials 18 (2025) 3544.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² HUN-REN Természettudományi Kutatóközpont, Budapest

Braun Gábor

„Mindent megteszek, hogy én legyek az első...” avagy iparjogvédelem az anyagtudomány területén

„Minden nagy találmány, minden nagy mű annak az eredménye, hogy a gondolatok és a tettek felszabadulnak a rutin zsarnoksága alól.”
(Arthur Koestler)

Minden alkotó elme számára fontos, hogy az általa kialakított megoldás ismertté váljon és hogy a megoldás az alkotó számára anyagi, illetve erkölcsi előnyökkel járjon. Ahhoz, hogy meg tudjuk védeni szellemi tulajdonunkat, minél előbb meg kell próbálni oltalom alá helyezni azt. Az oltalom alá helyezés egyik legfontosabb momentuma az elsőbbség megszerzése.

Az előadás a szellemi tulajdon védelmének lehetőségeit kívánja bemutatni koncentrálni a műszaki megoldások védelmére kifejezetten az anyagtudomány területén. Az előadás során

bemutatásra kerül az iparjogvédelem jelentősége, az oltalomszerzés lehetőségei, folyamata, lehetséges eredménye. Továbbá az előadás ismerteti az eljárás megkezdése előtt, illetve az eljárás során a bejelentők által elkövetett vagy elkövethető, az eljárás pozitív eredményét befolyásoló hibalehetőségeket.

Szerb Antal szerint “Egy találmány születésének pillanata sohasem véletlen; az emberek mindig csak azt találják fel, amire szükségük van, és azt mindig fel is találják.” Ezért összefoglalásként elmondható, hogy az iparjogvédelmi oltalom megszerezhetősége az alkotói felismerést követően egyből eldől. A műszaki felismerést követő első lépés meghatározó a sikeres oltalomszerzés folyamatában.

Gráczer Kitti¹, Bánhidi Olivér², Muránszky Gábor¹, Viskolcz Béla¹

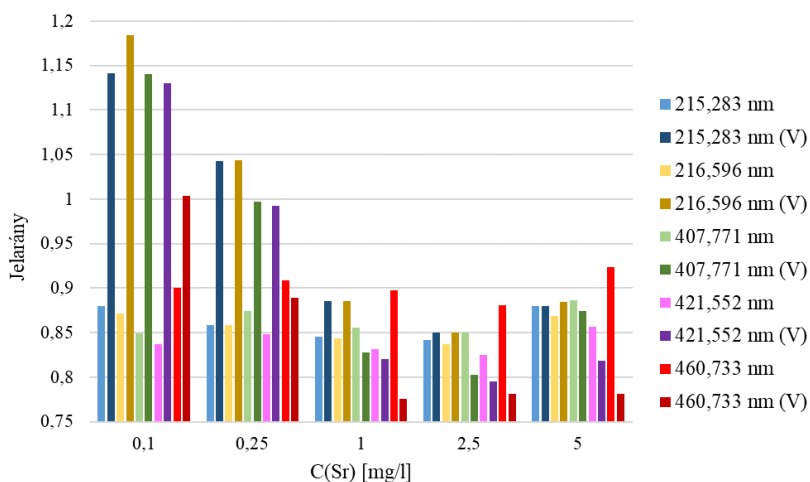
A mérési paraméterek hatása a mérendő elemek emittált fényintenzitására induktív csatolt plazma (ICP) atomemissziós spektrometriás (AES) meghatározások során

Eddigi munkám során kifejlesztettem egy alacsony stroncium tartalom meghatározására alkalmas módszert, Varian 720 ES típusjelű, axiális plazmafigyelésű, szimultán, multielemes induktív csatolt plazma spektrométeren történő alkalmazásra. A vizsgálandó mintáim biológiai minták voltak, amelyeket egy SrCl₂-os állatkísérletet folytató partner bocsájtotta rendelkezésemre. A módszer kidolgozása során számos olyan hatást tapasztaltam, melyek befolyásolhatják az analitikai jelet, pl. ionvonalak gerjesztésének hatékonysága bizonyos mátrixban nő, ez így van stroncium esetében, ha cézium a kísérőelem.

Kutatásaim során megvizsgáltam az alkálifémek közül négy elem (lítium, nátrium, kálium és cézium), kis koncentrációban jelenlévő

stroncium (0,1 mg/l, 0,25 mg/l, 1 mg/l, 2,5 mg/l és 5 mg/l) emittált jelére kifejtett hatását tanulmányoztam négy különböző mátrix-koncentrációban (0,01 mol/l, 0,05 mol/l, 0,1 mol/l és 0,25 mol/l). Az oldatokat megmértem a Varian 720 ES axiális plazmafigyelésű ICP-vel, illetve a Thermo iCAP PRO X sorozatú axiális és radiális plazmafigyelésű ICP-vel.

A Varian ICP által mért eredményeket a Thermo ICP eredményeivel együtt elemeztem, ennél a berendezésnél 1050 W teljesítményt alkalmaztam, V-vájtú porlasztóval és Sturman Masters típusú ködkamrával oldottam meg a mintabevitelt. A Thermo ICP esetében a mintabevitel üveg koncentrikus porlasztóval és üveg ciklon ködkamrával történt. A teljesítmény 1150 W volt és axiális illetve radiális plazmafigyelést is alkalmaztam..



1. ábra – 0,01 mol/l kálium mátrix jelenlétében mért különböző koncentrációjú stroncium jelaránya

¹ Miskolci Egyetem, Miskolc

² Metalcontrol Kft., Miskolc

Csörgő Zsombor László, Gál Viktor

A hidrogén hatásának vizsgálata csővezeték-alapanyagok anyagmodelljére végeselemes modellezéssel

Napjainkban a hidrogén, mint energiahordozó egyre nagyobb teret nyer, azonban az acélokra gyakorolt elridegítő hatása miatt kulcsfontosságú hatásának mélyreható megértése. Jelen kutatásunk során a Bay Zoltán Kutatóközpont és a Magyar Földgáztároló ZRt. együttműködésében olyan kísérleti-szimulációs keretrendszer került kialakításra, amely lehetővé teszi üzemeltetési körülmények végeselemes modellezését. Az AKVAMARIN Plusz projekt keretében feszültségkorróziós és kifáradási vizsgálatokra alkalmas numerikus módszer fejlesztését kezdtük meg, párhuzamosan egy üreges próbatestes szakítóvizsgáló berendezés tervezésével, amely belső, nagynyomású gáznemű hidrogénnel töltött minták vizsgálatát teszi lehetővé.

A kutatás egyik központi célja egy olyan anyagmodell-meghatározási módszertan kidolgozása, amely hitelesen leképezi az acélok viselkedésének hidrogén hatására bekövetkező változását. A módszertan kidolgozásához először tömör próbatesteken határoztuk meg a jellemző anyagtulajdonságokat és a kiinduló

folyásgörbét, majd párhuzamosan végeztük el a belső nyomással nem terhelt próbatestek fizikai méréseit és hoztuk létre az ezeket leképező numerikus szimulációkat. Mivel az üreges minták belső keresztmetszetének fizikai mérése nehézségekbe ütközik, a kapott szakítóvizsgálati adatokat végeselemes elemzéssel egészítettük ki: vizsgáltuk a szakadási geometriát és a kialakuló keresztmetszetet, és ezek alapján vizsgáltuk az alapanyagra jellemző folyásgörbe felvételének lehetőségeit üreges próbatesttel.

A módszert először inert gázzal, majd nagynyomású hidrogénnel töltött próbatesteken alkalmaztuk, és meghatároztuk a végeselemes modellhez szükséges, hidrogénes anyagra vonatkozó folyásgörbéket. A kidolgozott eljárás lehetővé teszi, hogy a hidrogén hatására módosuló anyagviselkedést modellező összefüggéseket a csővezetékek üzemeltetési körülményeinek modellezésére felhasználjuk és megalapozza a további kutatásainkat, melynek célja a hidrogén okozta károsodási folyamatok modellezése.

Czók Csilla, Komán Szabolcs, Alpár Tibor

Összehasonlító vizsgálat a faiparban használt termékek káros anyag kibocsátására

Jelen kutatás során formaldehid koncentráció meghatározást végeztem farostlemez, forgácslap, valamint LVL (Laminated Veneer Lumber – rétegelt furnérfa) és LSL (Laminated Strand Lumber – rétegelt szálaforgács tartó) összehasonlítása céljából. A farostlemez apróra őrölt farostokból készült anyag, amelyet – formaldehidet tartalmazó – ragasztóanyaggal kevernek össze, majd nagy nyomáson és hőmérsékleten préselik lapokká. A forgácslapot vagy más néven forgácslemez faforgácsból, szintén formaldehidet tartalmazó ragasztóval kevernek össze, amit aztán összepréselnek lemezekké. Az LVL egyfajta műszaki faanyag, amit azonos irányban orientált rétegelt furnérból készítenek. Nagy szilárdságú, tartós anyag, gyakran használják áthidalókhoz, gerendákhoz. Az LSL ugyancsak tartószerkezeti termék, amelyet egy irányban orientált hosszú szálforgácsokból, ún. strandekből állítanak elő. Az LSL-t főként fenyőfélékből, nyárfából vagy egyéb gyorsnövésű fafajokból készítik.

A formaldehid a természetben előforduló anyag, így a jelen lehet kis mennyiségben a faanyagban is, mivel a fa sejtszerkezetében lejátszódó biokémiai folyamatok során is képződhet. Azonban a számos esetben a formaldehid jelenléte nem a természetes eredetű, hanem ipari feldolgozás során kerül a faalapú termékekbe. A faalapú kompozit anyagok (pl. forgácslap, MDF, rétegelt lemez)

gyártása során formaldehid-alapú ragasztóanyagokat használnak kötőanyagként. Ilyenek például: karbamid-formaldehid (UF), melamin-formaldehid (MF), fenol-formaldehid (PF). Ezek az ragasztóanyagok erős, tartós kötések hoznak létre a fa részecskéi között, és hozzájárulnak a termék mechanikai szilárdságához, vízállóságához és élettartamához. A faalapú kompozitok gyártásánál olyan szintetikus ragasztókat használnak fel, amelyek számos előnyt kínálnak, mint a nagy reakcióképesség vagy a költséghatékonyság.[1] A formaldehid illékony szerves vegyület (VOC), és egészségügyi kockázatot jelenthet, mivel irritálhatja a légutakat és hosszú távon rákkeltő hatású lehet. Ezért egyre szigorodó kibocsátási határértékek jelennek meg, amely fontos hajtóereje a kutatás-fejlesztésnek, hogy a használati követelmények megtartása mellett alternatív, kisebb környezeti hatású anyagokat fejlesszenek ki. Ez a beszámoló két piacon is elérhető terméket és két kísérleti termék esetében vizsgálja a formaldehid kibocsátás mértékét. A két piacon is elérhető termékekben mért formaldehid tartalom nagyobb koncentrációs értéket mutatott a két kísérleti termékekben fellelhető értékekhez viszonyítva. A piaci lemezek MUF ragasztóanyaggal, míg a kísérleti kompozit gerendák PF ill. EPI ragasztóanyaggal készültek.

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

[1] K.M. Faridul Hasan (2024) Strategies for Mitigating Formaldehyde Emissions from Engineered Wood Products

Herceg Zoltán, Herceg Liubov

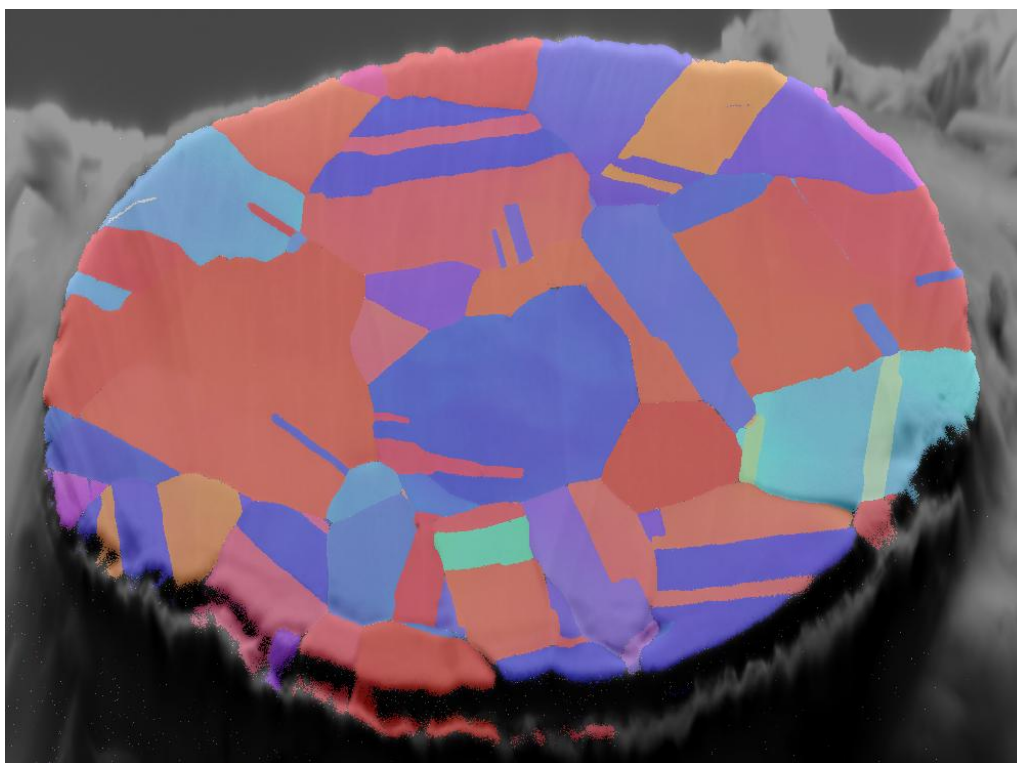
Műtermékek helyett nagyfelbontás: Ionsugaras minta-előkészítés elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz

Az elektronmikroszkópia aktuális minta-előkészítési kihívásai újabb és újabb megoldások keresésére ösztönzik az akadémia és az ipari kutatóit egyaránt. Az ionsugaras minta-előkészítés egy olyan sokoldalú módszer, amely hatékony, biztonságos és gyors megoldást kínál számos esetben, amikor egyéb előkészítési módok elbuknak, vagy nem bizonyulnak elegendőnek. A legtöbb mintát pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) vizsgáltuk, de egy kis kitekintésre is sort kerítettünk az előadás során a transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) minta-előkészítés világába.

Az előadás célja bemutatni az ionsugaras minta-előkészítésben lehetőségeit, és azt, hogy

azok milyen széles skálán mozognak. Olyan megoldások és fejlesztések bemutatását céloztuk meg, melyek a legegyszerűbb mintáktól a komplexebb, összetettebb problémákig egy univerzális és sokoldalú megoldást kínálnak.

A mérési eredmények azt mutatják, hogy a legfrissebb fejlesztések lehetővé teszik olyan minták szélesnyalábos ionsugaras (broad ion beam, BIB) minta-előkészítését, amelyek korábban csak más módszerekkel, például fókuszált ion nyalábbal (focused ion beam, FIB) tűntek lehetségesnek. Az összes mintát a Technoorg Linda által fejlesztett és gyártott ionsugaras minta-előkészítő berendezésekkel preparáltuk.



1. ábra – EBSD orientációs térkép egy 20 mikron vastag réz huzal keresztmetszetén
Minta előkészítés: SEMPREP SMART, Technoorg Linda
EBSD: Apreo ChemiSEM, ThermoFisher Scientific

**Béres Gábor¹, Borbély Richárd^{1,2}, Tóth-Nagy Bendegúz Viktor¹,
Keresztes Róbert²**

A képlékenységtani anizotrópia hatása lemezanyagok alakítási határdiagramjára – elméleti megfontolások

Barlat és Lian 1989-ben publikálta eredményeit [1] Lemezanyagok képlékeny viselkedése és alakíthatósága* címmel, az anizotróp lemezek mechanikai viselkedésnek leírása, modellezése érdekében. A cikk, amely valójában két cikként került nyomtatásba (Part I a folyási- és anyagtörvénnyel, és Part II az alakíthatósággal kapcsolatosan), mérföldkőnek tekinthető a lemezalakításban mivel olyan megközelítésben írta le az anizotróp lemezanyagok folyási- és anyagtörvényét, hogy azzal egyrésztől áttörte a (napjainkban is még népszerű) Hill-féle folyási- és anyagtörvények 'anomáliáját' [2], továbbá a gyakorlat számára is egy egészen megfogható folyási feltétel definíciót szolgáltatott, széles körben elérhető anyagjellemzési módszertan (főként szakítóvizsgálatok) felhasználásával. Ennek köszönhetően a Part I-ben olvasható megfogalmazások ma is számos (tan)könyv anyagát képezik, illetve a kereskedelmi forgalomban kapható vége-selemes programok is sok esetben alkalmazzák ezt az elméletet lemezalakítási folyamatok szimulációjához (pl. SimuFact Forming®, AutoForm®). A cikk második, a képlékenységtani anizotrópia hatását az alakíthatóságra nézve elemző része viszont, érdekes módon jóval kisebb figyelmet kapott az elmúlt évtizedekben (annak ellenére, hogy más kutatók is, pl. Swift [3] még korábban, de Levy és Tyne [4], vagy Abspoel és szerzőtársai [5] napjainkban) rendre figyelembe vették a képlékenységtani

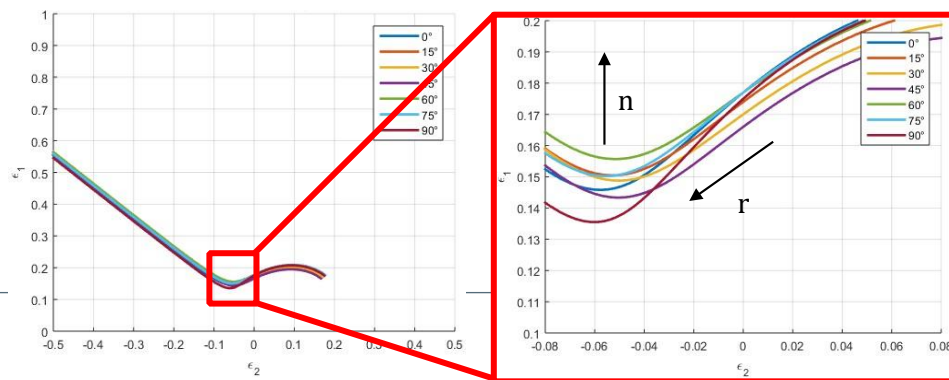
anizotrópiát (az r -értéket) a tönkremeneteli számításaikban.

Kutatásunkban így erre a kérdésre összpontosítottunk, azaz a vékony lemezek egyik jellemző tulajdonságának, az r -értéknek az alakíthatóságra gyakorolt hatására. Az alakíthatóságot az alakítási határdiagrammal (FLC-vel) fejeztük ki, amelyet különböző elméleti modellekkel számoltunk egy átlagosan kis r -értékkel rendelkező és egy átlagosan nagy r -értékkel rendelkező acél lemezanyag mechanikai tulajdonságait felhasználva. A számításokhoz szükséges mechanikai tulajdonságokat, táblalemezből 15°-onként kimunkált szabványos próbatestek szakításával határoztuk meg. Eredményeinkből az látható, hogy kis r -érték n -érték (utóbbi az ún. keményedési kitevő) párosításánál (tipikusan ilyenek a nagyszilárdságú járműipari karosszéria lemezek) az r -értéknek nincs gyakorlati befolyásoló hatása az FLC-k helyzetére. Ugyanakkor, a nagyobb r -érték (amellyel a mélyhúzóható acéllemezek rendelkeznek) az FLCket lefelé tolja el, de ennek mértéke az n -értéktől is függ, így valójában e két (vagy több) anyagjellemző interakciójának eredménye, hogy mekkora mértékű befolyással bír a képlékenységtani anizotrópia a vékony lemezek alakíthatóságára.

- [1]. F. Barlat, J. Lian: Plastic Behavior and Stretchability of Sheet Metals. Part I: A Yield
- [2]. Function for Orthotropic Sheets Under Plane Stress Condition, Int. J. of Plasticity, vol. 5. (1989)
- [3]. F. Barlat, J. Lian: Plastic Behavior and Stretchability of Sheet Metals. Part II: Effect of Yield Surface Shape on Sheet Forming Limit, Int. J. of Plasticity, vol. 5. (1989)
- [4]. H.W. Swift: Plastic Instability under Plane Stress, J. of Mechanics and Physics of Solids, vol. 1. (1952)
- [5]. B.S. Levy, C.J. Van Tyne: An approach to predicting the forming limit stress components from mechanical properties, J. of Materials Processing Technology 229 (2016)
- [6]. M. Abspoel, M.E. Scholting, J.M.M. Droog: A new method for predicting Forming
- [7]. Limit Curves from mechanical properties, J. of Materials Processing Technology 213 (2013)

¹Neumann János Egyetem, GAMF Kar, Kecskemét

²Műszaki Tudományi Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő



1. ábra – A keményedési kitevő (n) és a képlékenységtani anizotrópia (r) együttes hatása DC04 hidegen hengerelt acéllemez alakítási határdiagramjának helyzetére, alakjára

Dessie Jemal Ebrahim¹, Rónai László², Lukács Zsolt¹

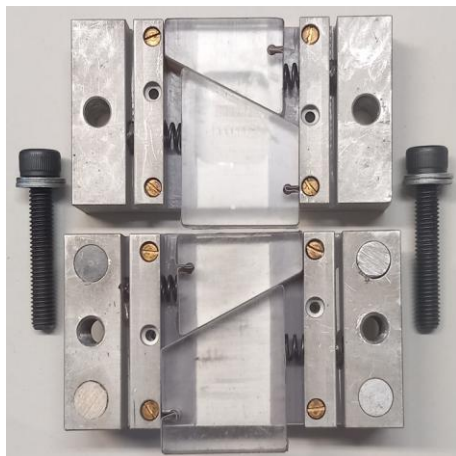
Visszarugózási anyagparaméterek fizikai mérése AutoForm anyagmodellekhez

Az autóiipari lemezalkatrészek szerszámnyitást követő visszarugózása jól ismert jelensége a szerszámtervezés kihívásainak. A visszarugózás minél pontosabb matematikai modellezése elengedhetetlen a szerszámfelületek geometriai kompenzációjának meghatározásához. A kutatási terület viszonylag jól kidolgozott a járatos autóiipari lemezanyagok területén. De a különböző fejlesztések eredményeként előállított új anyagminőségek és ezek alakításához szükséges technológiai megoldások miatt a területre fókuszált célorientált modellező szoftverek anyagmodelljeihez szükséges anyagparaméterek meghatározása folyamatos kutatást igényel. Ezen paraméterek meghatározásához ciklikus egytengelyű húzó-nyomó vizsgálatokat kell elvégezni az adott anyagminőségeken.

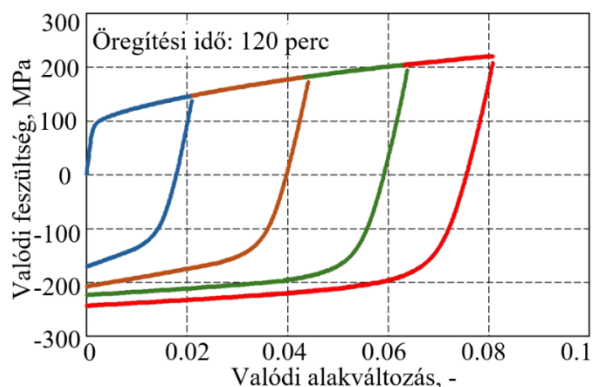
A mérés egyik legnagyobb kihívása, hogy a lemezpróbatestek zömítése során elkerüljük a próbatest kihajlását. Ezért célkitűzésként fogalmaztuk meg, hogy az anyagparaméterek fizikai méréséhez, az irodalomkutatásra

alapozva, olyan mérőkészüléket tervezzünk, amelyek lehetőséget biztosít a mérés során a próbatest folyamatos megtámasztására úgy, hogy közben a próbatest hosszváltozását folyamatosan követi és az alakváltozás mérését optikai elven teszi lehetővé. Továbbá a mérőkészülék a mérési eredményekre gyakorolt hatása elhanyagolható, vagy tervezett megismételhető módon kompenzálható legyen.

Előadásunkban bemutatjuk vékonylemezek ciklikus húzó-nyomó egytengelyű vizsgálataihoz újonnan fejlesztett kihajlást gátló mérőkészüléket (1. ábra). A készülék segítségével különböző amplitúdójú alakváltozási hiszteréziseket állítunk elő (2. ábra). Az alakváltozási hiszterézisek kiértékelésével meghatározzuk AA6068 nagyszilárdságú alumínium-ötvözet ún. W-temper alakítása során, hogyan befolyásolja a természetes öregedési folyamat az alakítás követő visszarugózás modellezéséhez használt anyagparamétereket és ezzel a visszarugózott geometriát.



1. ábra – Mérőkészülék szétszerelt állapotában



2. ábra – Alakváltozási hiszterézisek 120 perc természetes öregítés után

¹ Miskolci Egyetem Anyagszerkezzettani és Anyagtechnológiai Intézet, Miskolc

² Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronika Intézet, Miskolc

S. Tóth László

Kristályplaszticitási alapokra épített új analitikus alakítási keményedési függvény nagy pontosságú illesztéssel

Az alakítási keményedés fontos jelenség, ami lényegesen megnövelheti az anyag szilárdságát. A mért kísérleti görbéket praktikus analitikus függvényekkel leírni, amire sokféle függvény létezik. Valamennyi megközelítés tartalmaz néhány paramétert, amit a kísérleti görbékhez való illesztéssel lehet meghatározni. Az ismert függvények matematikai jellegűek, kevés fizikai tartalommal, mondhatjuk, fenomenologikus megközelítések. Ebben az előadásban egy kristályfizikai alapokra helyezett új analitikus

függvény kerül bemutatásra, ami csak három paramétert tartalmaz. Egy egyszerű illesztési eljárás segítségével a három paraméter gyorsan meghatározható. Az új függvény rendkívül pontosan illeszkedik a mért alakítási keményedési görbékre. Ugyanakkor a kapott paraméterek felhasználhatóak a kristályplaszticitási modellezésekben is, mint első közelítés, meggyorsítva így az alakítási keményedés polikristályos modellezését.

Huri Dávid, Mankovits Tamás

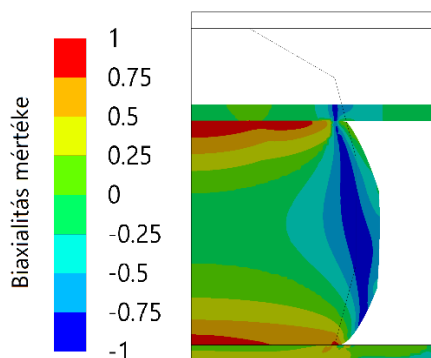
Hiperelasztikus anyagmodellek illesztése nyomó igénybevételnek kitett elasztomer termékekre

A hiperelasztikus anyagmodellek illesztéséhez szükséges feszültség-alakváltozás karakterisztika meghatározására a legelterjedtebb anyagvizsgálati eljárások az egytengelyű húzó és nyomó, a kéttengelyű húzó, a tiszta nyírás, valamint a térfogati vizsgálat. Mivel a hiperelasztikus anyagmodellek a deformációs energia alapján definiáltak, a pontos paraméter kalibráláshoz két, de lehetőség szerint három terhelési esetre mért karakterisztika használata javasolt. Azon anyagmodellek, melyek deviátoros deformációs energiája csak a jobboldali Cauchy-Green alakváltozási tenzor első skalár invariánsának függvénye, egy terhelési esetre is kalibrálhatóak. Ilyen anyagmodellek a Neo-Hooke, a Gent, az Arruda-Boyce és a Yeoh. A Mooney-Rivlin anyagmodell is kalibrálható egytengelyű vizsgálati adatsorral, azonban más terhelési esetre már kis alakváltozás esetén is instabillá válhat, ezért a Drucker-féle stabilitást fontos minden esetben megvizsgálni.

A biaxialitás mértékének kiértékelése lehet az egyik módja az elasztomer termékek működés alatti feszültségi állapotának vizsgálatára. A főfeszültségek közül a nullához legközelebbit figyelmen kívül hagyva a biaxialitás mértékének meghatározására a kisebb és a nagyobb főfeszültségek aránya használható.

Ebből adódóan az egytengelyű feszültségi állapot helyeit nulla értékkel, a tiszta nyírót mínusz eggyel, a speciális kéttengelyűt (a két főfeszültség azonos) pedig eggyel jelzi a biaxialitási mérték. Az 1. ábra egy nyomó terhelésnek kitett gumiütköző biaxialitás mértékének színsávós megjelenítését mutatja, mely alapján a feszültségi állapot helyenként jelentősen változik. A gumiütköző belsejének jelentős részén a feszültségi állapot közel egytengelyű, azonban a nyomólapok közelében kéttengelyű a csúszásmentes kapcsolat hatására, míg a külső átmérő közelében nyíró feszültségi állapot is előfordul.

Vizsgálataink során a nyomó igénybevételnek kitett gumi és TPU alapanyagú ütközők működés alatti karakterisztikáját határoztuk meg végeselemes analízis segítségével. Az anyagmodellek illesztéséhez a biaxialitás mértéke alapján meghatározott fő anyagvizsgálati eljárással (egytengelyű nyomó) felvett feszültség-fajlagos nyúlás karakterisztikát használtuk. Az eredmények alapján a Yeoh anyagmodellel futtatott numerikus vizsgálatok mindkét anyag esetén 7 [%] alatti átlagos relatív hibával képesek becsülni a termékekre laboratóriumi vizsgálatokkal meghatározott nyomó terhelés alatti működési karakterisztikákat.



1 ábra – Egy gumiütköző 2D-s tengelyszimmetrikus modelljének deformációs állapota 30%-os összenyomódás esetén, a biaxialitás mértékének színsávós megjelenítésével

Koroknai László^{1,2}, Kuzsella László²

A hengerelt acéllemezek anizotrópia változásai

Kutatásom középpontjában hidegen és melegen hengerelt acéllemezek anizotróp tulajdonságainak vizsgálata áll, különös tekintettel arra, hogyan változik ez az anizotrópia az anyag vastagságának függvényében. A vizsgálatokhoz akusztikus emissziós (AE) módszert alkalmazok, amely egy rendkívül érzékeny, valós idejű, roncsolásmentes anyagvizsgálati technika. Ez a módszer lehetővé teszi a különböző mikroszerkezeti jelenségek – mint például mikrorepedések kialakulása, diszlokációk mozgása, illetve egyéb belső szerkezeti átrendeződések – detektálását, még azok kezdeti stádiumában is. Az AE-jelek elemzése révén részletes képet kaphatok az acéllemezek deformációs viselkedéséről, valamint arról, hogy az anyag belső szerkezete miként reagál a mechanikai terhelésre különböző vastagságok esetén.

Cél(ok): A mérések során elsősorban arra keresem a választ, hogy milyen különbségek figyelhetők meg a hidegen és melegen hengerelt acéllemezek akusztikus emissziós

vizsgálati eredményeiben, különös tekintettel az AE-jelek terjedési sebességére és annak változásaira. Emellett azt is vizsgálom, hogy az anyag vastagsága milyen mértékben befolyásolja a detektált jelek karakterisztikáit, például azok amplitúdóját, frekvenciaspektrumát és időbeli lefolyását. Annak érdekében, hogy a lehető legnagyobb pontossággal és reprodukálhatósággal tudjam rögzíteni az AE-jelenségeket, saját fejlesztésű mérőberendezést alkalmazok, melyet folyamatosan továbbfejlesztek és optimalizálok. A rendszer érzékenységeinek növelése, valamint a zavarjelek kiszűrése jelentősen hozzájárul a kapott adatok megbízhatóságához. A célom, hogy a különböző hengerlési eljárásokból eredő szerkezeti különbségeket és azok hatását az anyag akusztikus viselkedésére részletesen feltérképezsem, valamint, hogy pontosabb képet adjak a vastagsági változások hatásáról az anyag belső deformációs folyamataira.

¹ Dunaújvárosi Egyetem, Dunaújváros

² Miskolci Egyetem, Miskolc

**Kondás Béla¹, Kovács Péter Zoltán², Bubonyi Tamás¹, File Máté³,
Nemes Dániel³, Mertinger Valéria¹**

Alakítási öregedési jegyek komplex vizsgálata korszerű technológiával gyártott hidegképlékeny acélokon

Az acélművekből kikerülő ötvöztelen lágyacél lemezek alakíthatósága bizonyos idő elteltével leromlik az öregedési jelenség következtében. A feldolgozó cégek számára ez különös jelentőséggel bírhat, ugyanis a gépbeállítási paraméterek megválasztásánál nem csak a különböző beszerzési források anyagai között lehet tulajdonságbeli különbség, hanem ugyanazon gyártó különböző korú anyagai között is. A gyakorlati felhasználás szempontjából a mechanikai mérőszámok változása megnövelheti a repedések kialakulásának kockázatát a lemezek alakításakor. Érthető tehát az ipari szereplők azon igénye, hogy az alapanyagok tulajdonságainak időben beálló változását még a károsodás bekövetkezése előtt megbízható módszerrel állapíthassák meg. Mivel az eddigi

szakirodalmi kutatások az öregedés természetét mesterségesen öregített normál szakítóvizsgálatok alapján tanulmányozták ezért kutatásunk céljává egy olyan komplex vizsgálat vált, ami széles spektrumú képet nyújt a mai kor technológiájával gyártott lágyacéloknak öregedésének természetéről és dinamikájáról. Kutatásunk során 6 féle vizsgálati eljárás keretében 680 vizsgálatot hajtottunk végre. A nagy számú vizsgálatok pontosan megmutatták, hogy a lágyacéloknak öregedése nem egy bizonyos időponthoz köthetően megy végbe, hanem elhúzódóan melynek dinamikája ráadásul változó is. Ráadásul a változásokat a vizsgálati módszerek nem egyforma érzékenységgel mutatják ki!

¹ Miskolci Egyetem; Anyag- és Vegyészmérnöki Kar; Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² Miskolci Egyetem; Gépészmérnöki és Informatikai Kar; Anyagszerkezet-tani- és Anyagtechnológiai Intézet, Miskolc

³ Debreceni Egyetem; Műszaki Kar; Gépészmérnöki Tanszék, Debrecen

Palkovics Miklós¹, S. Tóth László^{1,2}

Egy új mechanikai analízis a csőhúzásra

A csőgyártás egy speciális területe a hideg képlékeny alakító csőhúzási eljárás. A pontos geometriai alakú és méretű, valamint nagy felületi tisztaságú csövek egyik fő gyártási eljárása. Csőhúzást alkalmaznak adott keresztmetszet csökkentésére az átmérő és a falvastagság csökkentése révén, valamint a cső anyagtulajdonságainak javítására. Az acélok képlékeny alakító eljárásainak folyamán fontos a bekövetkező alakváltozások ismerete. Egyrészt a húzhatósági feltétel teljesülésének ellenőrzése miatt, azaz a kihúzott szálban a húzófeszültség soha nem haladhatja meg a vonatkozó alakítási szilárdság értékét, másrészt egy végeselemes szimulációban is meg kell adni az alakítási szilárdság görbét, melyet a program a szimulációban felhasznál. A hagyományos szakítóvizsgálattal meghatározható paraméterek nagyon szűk alakváltozási intervallumban használhatóak (φ : max. 0,25 acélokban) és mivel az alakítástechnológia egyik legfontosabb paramétere az alakítási szilárdság a deformáció függvényében, ezért a végeselemes szimulációhoz az alakítási szilárdságot vagy angolul „flow stress” függvénnyel adtuk meg, amely így sokkal nagyobb alakváltozási

tartományon képes leírni az alakváltozás és a feszültség közötti összefüggést.

A kutatási munka egyik legfontosabb eredménye, hogy a csőhúzás során a fő deformáció egy nyírási sík mentén történik, ahol a teljes alakváltozási folyamat és a feszültségállapot leírható egyetlen nyírással egy nyírási sík mentén. A hipotézisünk bizonyítására az alakváltozási folyamat egy új analitikus modelljét állítottuk fel. A kísérleti adatok validálásához egy tengelyszimmetrikus rögzített dugóval ellátott cső hideghúzását végeselemes módszerrel szimuláltuk különböző súrlódási tényezők mellett. A numerikus elemzés eredményeket szolgáltatott a húzási erőkre, valamint az egyes súrlódási tényezőkhez tartozó deformációs gradiens tenzor komponenseire, melyekből meghatároztuk a sebesség gradiens tenzor komponenseit, így ábrázolhatóvá vált a deformációs és a sebesség mező is. A kapott analitikus húzóerőket összehasonlítottuk a Geleji-féle húzóerő formulával és a végeselem szimulációból nyert eredményekkel is. Az új analitikus egyenlet egy jóval egyszerűbb formulával jobban korrelál a végeselem számítás eredményeivel, mint a Geleji formula.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² LEM3, Lorraine University, Metz, France

Benke Márton¹, Mikó Tamás¹, Koncz-Horváth Dániel¹, Varga Dorottya²

Furatszerelt forraszkötések gyorsított fárasztóvizsgálata

A napjainkban alkalmazásban lévő, nagyobb méretű elektronikai alkatrészek alkalmazása a furatszerelt (THT, Through Hole Technology) forraszkötések váratlanul rövid élettartamát eredményezi a ciklikus hősokkamrás teszteken. jelen kutatásban az ilyen tönkremeneteli mechanizmus azonosítása, illetve főbb jellemzőinek feltárása a cél egy általunk kifejlesztett gyors, egyszerűsített fárasztóvizsgálati koncepció segítségével. A vizsgálatokat közvetlenül gyártásban lévő, SN100CV forrasztótvözetből készült furatszerelt forraszkötéseken alkalmazzuk különböző elmozdulások mellett, különböző hőmérsékleteken. Kimutattuk, hogy a túl korai - akár néhány ciklus alatt bekövetkező -

tönkremenetel típusa kiciklusú fáradás; a gyors/lassú repedésterjedés közti átmenethez tartozó ciklusszám a ráadott elmozdulás függvényében követi a Manson-Coffin kapcsolatot; továbbá a külső elmozdulásnak jelentős hatása van a repedés terjedés sebességére. Ezen túl, kisebb elmozdulások esetében a hőmérsékletnek jelentős hatása van a gyors/lassú repedésterjedés átmenetét jellemző ciklusszáma. A kidolgozott módszer alkalmas arra, hogy alapvető jellemzőket szolgáltatson furatszerelt forraszkötések fáradással szembeni viselkedéséről mindössze órákon belül.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² Robert Bosch Kft.

Baumli Péter

Határfelületi jelenségek elektród/elektrolit határfelületen

Az elektrokémiai folyamatok és vizsgálatok szempontjából elengedhetetlen az elektród/elektrolit határfelületen lejátszódó jelenségek ismerete. Az elektród/elektrolit határfelületen az elektrokémiai reakciók töltésátadási, tömegtranszporti és fázisátalakulási folyamatokat foglalnak magukban. A reakciókinetika és a hatékonyság szempontjából meghatározó szerepet játszanak a határfelületi tulajdonságok, különösen a nedvesítési viszonyok, amelyek

befolyásolják az ionok elektródhoz jutását, a kettősréteg-szerkezet kialakulását és a teljes elektrokémiai rendszer működését. A nem megfelelő nedvesítés gátolhatja az aktív felület kihasználását, míg az optimális nedvesítési karakter javíthatja az elektrokémiai reakciók sebességét és stabilitását. Ezen tényezők pontos ismerete alapvető a megbízható mérési eredmények és a nagy teljesítményű elektrokémiai rendszerek tervezése szempontjából.

Takáts Viktor, Fodor Tamás, Vékony Vilmos, Molnár Sándor, Halász Zoltán,
Csík Attila, Hakl József, Rajta István, Vad Kálmán

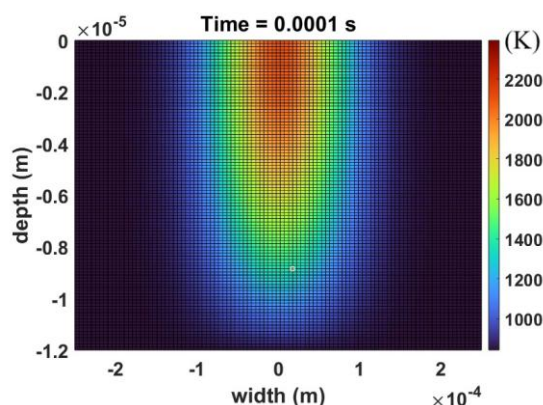
Felületmódosítás ionnyalábbal és elektronnyalábbal

Felületek mechanikai és kémiai ellenállóképessége fontos követelmény ipari alkalmazásokban, mely megköveteli az alkatrészek felületi tulajdonságainak alakítását a felmerült igényeknek megfelelően. Kutatócsoportunk a nukleáris fizikai kutatásokban ismert és használt berendezéseket alkalmazza a felületi tulajdonságok módosítására, iongyorsítót és elektrongyorsítót. A felületmódosítás során végbemenő folyamatokat tömegspektrometriával, elektronspektroszkópiával és ionspektroszkópiával tanulmányozzuk, de alkalmazunk optikai és elektronmikroszkópos felületvizsgálatokat, ill. a felületek szerkezetének meghatározására Röntgen-diffrakciós berendezést is. Kutatómunkánk célja ion és elektron besugárással módosított üveg- és fémfelületek előállítása.

Eredmények: 1.) Vaslemezek felületén borid réteg kialakítása felületi mechanikai és kémiai ellenállóképesség növelés céljából, az ólommentes forrasztási technológia követelményének megfelelően. A felületi boridálás legismertebb módja a kémiai

boridálás, amikor a bór atomok termikus diffúzióval jutnak a vasba. Az eljárás magas hőmérsékletet igényel. A folyamat végén két vasborid fázis (Fe_2B , FeB) alakul ki a minta felületén, mechanikai feszültséget előidézve a felületi rétegben. Ezen probléma elkerülésére javasoltuk a bór ionok implantálását a felületi rétegbe. Kutatási programunkban implantálással előállított vasborid felületi rétegben kialakult kémiai kötésállapotok mélyégi eloszlását vizsgáltuk [1, 2].

2.) Nanokompozit vas réteg kialakítása üvegfelületen. Célunk az üveg felületi tulajdonságainak a módosítása nagy teljesítményű elektronsugaras gerjesztéssel létrehozott felületi vas nanokompozit réteggel. Vizsgáltuk a kémiai kötészváltozásokat a vas/üveg határrétegben és az elektronnyalábbal előidézett felületi morfológiai változásokat. Az elektronnyaláb a nagy energiasűrűség miatt egyrészt megolvasztja az üveget, másrészt a nyaláb elektronjai beépülnek az üvegbe töltésfelszaporodást előidézve. Magyarozatot adtunk a kísérletileg megfigyelt jelenségekre.



1. ábra A hőmérséklet keresztmetszeti eloszlása az üveg felületét ért 60 keV energiájú, 1 mA áramerősségű, 42 μs ideig tartó elektronnyaláb besugárzás után 100 μs idő múlva. Az elektronnyaláb átmérője 250 μm volt.

- [1] V. Takáts et al., Surf. & Coat. Technol. 509 (2025) 132162. ([doi:10.1016/j.surfcoat.2025.132162](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2025.132162))
[2] Z.T. Gaál et al., Vacuum 238 (2025) 114310. (<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2025.114310>)

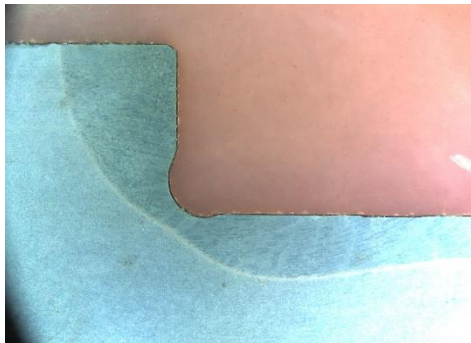
Szlancsik Attila¹, Bobor Kristóf^{1,2}, Jónás Szabolcs³, Varga Dorottya¹

Indukciós edzés hatásának vizsgálata roncsolásmentes, roncsolásos és végeselemes módszerekkel

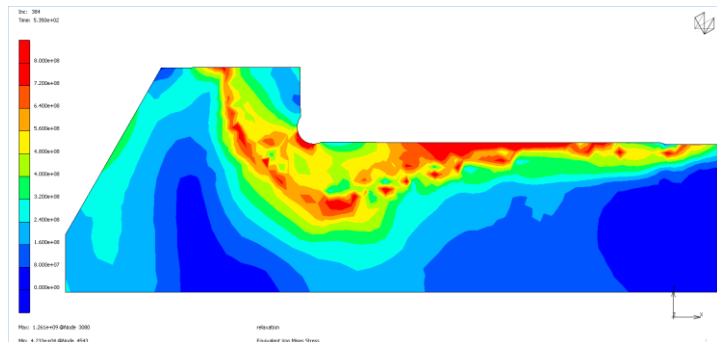
A vasúti közlekedésben az alkatrészek legnagyobb részének a tönkremenetelét a kifáradás okozza. Annak érdekében, hogy az anyag minél ellenállóbb legyen a kifáradással szemben többféle technikát és alkalmazni szoktak. Ilyen például a tengelyek esetén alkalmazott görgőzés, mellyel nyomófeszültséget lehet bevinni a felületi rétegbe, vagy az indukciós edzés is, amellyel egy jól meghatározott felületi rétegben meg lehet változtatni az anyag szövetszerkezetét.

Jelen kutatás során egy olyan vasúti fékalkatrész indukciós edzésének hatását vizsgáltuk meg, amely két helyen is meg volt edzve. Erre azért volt szükség, mert ezeken a felületeken koptató igénybevételnek van kitéve a darab, ezáltal itt szükséges a megfelelő felületi keménység. Azonban hajlító igénybevétele is van az alkatrésznek, ami kritikussá teszi az edzés hatására kialakuló maradó feszültségek eloszlását.

Annak érdekében, hogy pontosan meg tudjuk határozni, hogy az indukciós edzés hatására milyen maradó feszültségek fognak ébredni a darabban, többféle vizsgálatot is elvégeztünk. Megvizsgáltuk először röntgen diffraktométerrel, amellyel roncsolásmentesen meg lehetett határozni a felületi rétegben ébredő maradófeszültségeket akár komponensek szerint. Ezt követően keresztmetszeti csiszolatokat készítettünk és metallográfiai majd keménységméréseket végeztünk a próbatesteken (1. ábra). Ezeket az eredményeket pedig arra használtuk fel, hogy egy komplex, minden részletében a hőkezelést lekövető végeselemes szimulációt validálni tudjunk vele. A végeselemes szimuláció segítségével pedig, különböző hőkezelési típusokat vizsgáltunk, hogy meghatározzuk azt a hőkezelési típust, amelynek a legkedvezőbb a maradó feszültség eloszlása (2. ábra).



1. ábra – A próbatest maradtott fémmikroszkópi képe



2. ábra – Az egyenértékű feszültség eloszlása a hőkezelés után

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Budapest

² Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Tudástechnológiai Intézet, Jászberény

³ Knorr-Bremse Rail Systems Budapest, Budapest

Veres Zsolt^{1,2}, Kócsák Éva^{1,2}, Rónaföldi Arnold², Roósz András^{1,2}

Irányítottan kristályosított Al_{12.6}Si és Al₁₈Si minták szövetszerkezetének összehasonlítása

Az Al-Si ötvözetek mechanikai tulajdonságaiban és a mérnöki szerkezetekben történő felhasználásukban fontos szerepet játszik az ötvözetek mikroszerkezete, amelyre a szokásos kristályosítási paraméterek mellett jelentős hatással vannak az olvadáskor történő áramlások is. Ilyen áramlások természetes úton is kialakulhatnak a kristályosodás során, de mi magunk is előidézhajjuk őket.

Az ESA MICAST program keretén belül végeztünk ún. mirror kísérleteket, amelyek az ISS-en mikrogravitációs körülmények között végzett kísérletek földi körülmények között megismételt párjai. A két kísérletsorozat közben alkalmazott kristályosítási paraméterek hasonlóak voltak. Végeztünk olyan kísérleteket, amelyek során 10 mT

erősségű forgó mágneses térrel (RMF) olvadáskor áramlást hoztunk létre, illetve olyat is, amely során a mágneses keverést nem alkalmaztuk.

A kialakult szerkezet minősítésére kidolgoztunk egy komplex minősítési módszert. Fénymikroszkóp és képelemző szoftver segítségével vizsgáltuk az eutektikus Si lemezek méretét, méret szerinti eloszlását és a lemezek közötti távolságot.

A várákosoknak megfelelően a mágneses keverés finomabb eutektikus és primer szilíciumot eredményezett. Azt tapasztaltuk továbbá, hogy a primer szilícium jelenléte hatással volt az eutektikum szerkezetét.

Acknowledgement

The authors are grateful to the Hungarian National Research, Development, and Innovation Office for the assistance with the title 'Formation of as-solidified structure and macro segregation during unidirectional solidification under controlled flow conditions' with the number ANN 130946, and to the European Space Agency under the MICAST/HUNGARY ESA PRODEX (No 4000131880/NL/SH) projects.

The authors are grateful to the Hungarian National Research, Development, and Innovation Office for the assistance with the title 'Formation of as-solidified structure and macrosegregation during directional solidification of Al-Si eutectic alloy under controlled convection conditions' with the number 2023-1.2.4-TÉT-2023-00043.

¹ Miskolci Egyetem, Fém-tani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² HUN-REN TKI ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Miskolc

Gáspár Marcell¹, Kovács Judit¹, Raghawendra P. S. Sisodia¹, Meilinger Ákos¹

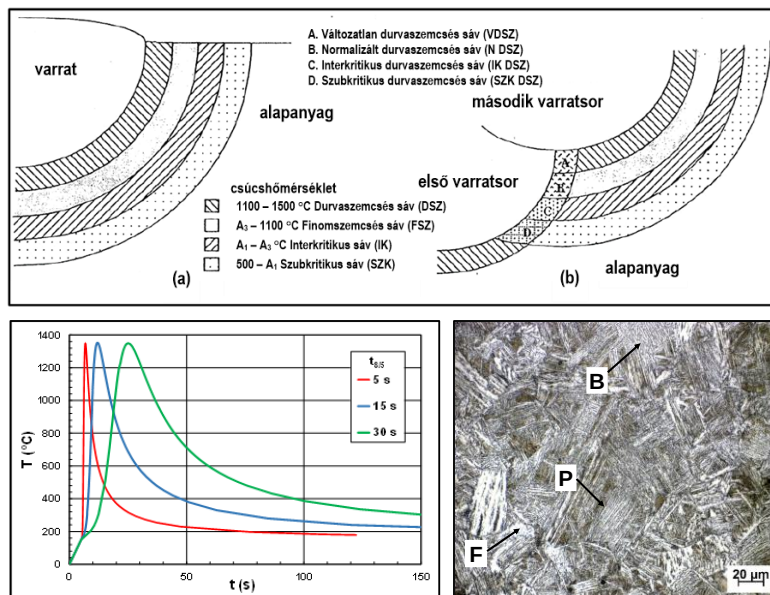
A fizikai szimulációval előállított hőhatásövezet szövetszerkezete és szívóssága szerkezeti acélok hegesztésekor

Szerkezeti acélok ömlesztő hegesztésekor a hőhatásövezetben jelentős szövetszerkezeti változások mennek végbe, amelyek eredményeként az alapanyag szilárdsági és szívóssági jellemzői megváltoznak. A hőhatásövezet szívósság szempontjából kritikus része a durvaszemcsés és az interkritikus sáv, amelyekben acélkategóriától függően jelentős szívósságcsökkenés megy végbe. Ráadásul többrétegű varratfelépítés esetén a többszöri hőciklus eredményeként lokális rideg zónák alakulhatnak ki.

A fizikai szimulációs kísérletek célja az S355J2+N, P355NH, X52, L485MB, S500ML, S960QL, S960M, S1100M és S1300QL anyagminőségek kritikus hőhatásövezeti sávjainak előállítása a Rykalin modell segítségével a huzalelektrodás védőgázos ívhegesztésre jellemző $t_{8/5} = 5-30$ s hűlési idő tartományban. A vizsgálatok kiterjednek az egyszeres, a kétszeres és a felrakóhegesztésnél előforduló háromszoros hőciklusok hatásának vizsgálatára. Az előállított hőhatásövezeti

sávok tulajdonságait mikroszkóppal, keménységvizsgálattal és műszerezett ütővizsgálattal elemezzük.

A nagyszilárdságú acélok esetén a durvaszemcsés sávban nagyrészt martenzites szövetszerkezet figyelhető meg, amely a kisebb szilárdsági kategóriáknál csak a rövidebb hűlési idők esetén alakul ki. Az interkritikus sávban a hűlési idők függvényében egyes acéloknál martenzit-ausztenit szigetek is megfigyelhetők, amely a kis ütmunka értékekben is megmutatkozik. Az alapanyaghoz képest a keménységváltozás mértéke a rövid hűlési időt jelentő 5 s esetén acélkategóriától függően akár a +154%-ot is elérheti, ami fokozott hidegrepedési hajlamra utal. A legkedvezőbb hőhatásövezeti tulajdonságok a kis karbontartalmú termomechanikusan kezelt acéloknál figyelhetők meg a tús ferrites szövetszerkezetnek köszönhetően.



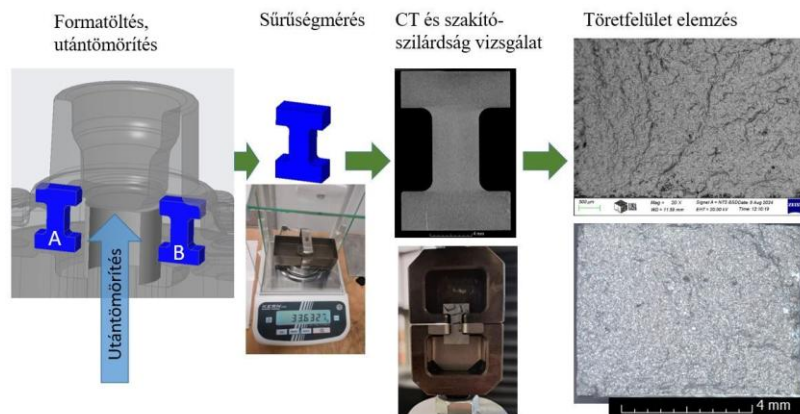
1. ábra – A hőhatásövezet felépítése egyrétegű és többrétegű varratfelépítés esetén

**Nyeste Viktor^{1,2}, Kazup Ágota², Mende-Tokár Mónika², Molnár Dániel³,
Mertinger Valéria²**

Lokális utántömörítés hatása nyomásosan öntött alumínium ötvözet mikroszerkezetére és mechanikai tulajdonságaira

A jelenlegi gazdasági versenyhelyzet megköveteli az autóiipari résztvevőktől, így a nyomásos öntödéktől is, hogy egyre komplexebb öntvény geometriák készüljenek az egyes funkciók integrálása, és a súlycsökkentés céljából. A bonyolult és egyre növekvő méretű öntvényekben a jelentősen eltérő falvastagságok jelentős különbségeket eredményeznek a kristályosodási folyamatokban, növelve a szivódási porozitások kialakulását. Ennek megelőzésére az egyik leghatékonyabban alkalmazható eljárás a helyi utántömörítés alkalmazása. Annak ellenére, hogy az utántömörítés technológiai ablaka a néhány másodperces skálán mozog az utántömörítés paramétereinek hatással vannak a kialakult szövetszerkezetre és a mechanikai tulajdonságokra és a modern szerkezetvizsgálati eszközökkel ennek az oka tudományosan igényességgel megadható.

A kutatás során ipari környezetben történtek kísérletek egy saját mérőrendszer segítségével az utántömörítő csap sebességének és indítási (késleltetési) idejének módosításával autóiipari alkatrész gyártása során. A vizsgálatok során kapcsolatot állapítottunk meg az utántömörítési paraméterek, a kialakult szöveti jellemzők és a mechanikai tulajdonságok között. A vizsgálatok során, computer tomográfiát, pásztázó elektronmikroszkópiát, képelemzést, sűrűségvizsgálatot, szakítóvizsgálatot és keménységmérést alkalmazunk az utántömörítő csap közvetlen környezetéből kivett próbatesteken. A rendkívül gyors kristályosodási folyamatok követésére pedig végeselemes szimulációt.



¹ Hanon Systems Hungary Kft, Székesfehérvár

² Miskolci Egyetem, Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

³ Miskolci Egyetem, Fémelőállítási és Öntészeti Intézet, Miskolc

**Simon Berkesi Dániel¹, Nánai Lilla¹, Szabó Szilvia², Hassan Ouachtak³,
Amane Jada⁴, A. Ait Addi³, Hernádi Klára¹**

Ezüst alapú fotokatalizátor nanokompozit rögzítése hordozóra gyógyszeripari szennyvíz tisztítás céljából

A fotokatalizátorok stabilis, újrafelhasználható hordozókra történő immobilizálása kulcsfontosságú a szennyvízkezelési technológiák fejlesztése szempontjából, különösen a gyógyszeripari szennyeződések kezelésében [1]. Ebben a tanulmányban egy új nanokompozit alapú fotokatalitikus rendszert fejlesztünk ki és értékelünk, ahol ezüst-foszfát nanokorong és vas-oxid nanorészecskéket [2, 3] integráltunk szén nanocsövekkel /cellulózzsal rugalmas kerámiapapírra. A kerámiapapír hordozó biztosítja a mechanikai stabilitást, az újrafelhasználhatóságot és a hatékony fotokatalizátor immobilizálást, megelőzve a részecskék lemosódását és a másodlagos szennyeződést. Az immobilizált nanokompozit fotokatalitikus hatékonyságát látható fény besugárzása mellett vizsgáltuk a gyógyszeripari szennyezőanyagok lebontására. A hagyományos szuszpenzió

alapú fotokatalizátorokhoz képest ez az immobilizált rendszer lehetővé teszi a folyamatos működést kísérleti léptékű alkalmazásokban, minimális katalizátor kimosódással. A kerámiapapír hordozóanyagként való használata növeli a tartósságot, míg a további optimalizálás érdekében alternatív hordozókat, köztük polimer membránokat és szálal anyagokat vizsgálnak. Ezek az eredmények rávilágítanak az immobilizált fotokatalitikus nanokompozitokban rejlő lehetőségekre a fenntartható gyógyszeripari szennyvízkezelésben. A jövőbeni munka a hordozóanyag tulajdonságainak optimalizálására, a fotokatalizátor tapadásának javítására és a rendszer teljesítményének értékelésére fog összpontosítani.

Hivatkozások:

- [1] *Interaction between amino-functionalized inorganic nanoshells and acid-autocatalytic reactions*, E. Lantos, N.P. Das, D.S. Berkesi, D. Dobó, A. Kukovecz, D. Horváth, A. Tóth, Physical Chemistry Chemical Physics, **20**, 13365-13369, 2018
- [2] *Rapid Synthesis Method of Ag₃PO₄ as Reusable Photocatalytically Active Semiconductor*, Z.R. Tóth, D. Debreczeni, T. Gyulavári, I. Székely, M. Todea, G. Kovács, M. Focsan, K. Magyari, L. Baia, Z. Pap, K. Hernadi, Nanomaterials, **131**, N° 89, 2023
- [3] *Z-Scheme g-C₃N₄/Fe₃O₄/Ag₃PO₄ @Sep magnetic nanocomposites as heterojunction photocatalysts for green malachite degradation and dynamic molecular studies*, R. Haounati, H. Ighnih, H. Ouachtak, R.E. Malekshah, N. Hafid, A. Jada, A. Ait Addi, Colloids, and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects, **671**, N° 131509, 2023

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² Kis Analitika Kft, Sajóbábony

³ Physical Chemistry and Environment Team, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

⁴ Institute of Materials Science of Mulhouse (IS2M), Haute Alsace University, Mulhouse, France

Mertinger Valéria¹, Kárpáti Viktor¹, Ungár Tamás², Nagy Erzsébet¹,
Koncz-Horváth Dániel¹

Szupravezetés skálázása új koncepciójú lemezes kompozitban

Az Európai Nukleáris Kutatási Szervezet (CERN), a Wigner Kutatóközpont és a Miskolci Egyetem egy közös kutatási tevékenységének célja egy újgenerációs szeptum mágnes, szupravezető, lemezes kompozit alkatrészének előállítása. NbTi//Cu rétegrendű szupravezető

lemezes kompozitot hengerléssel állítottuk elő. A NbTi rétegek szupravezető tulajdonságának biztosítására ún. fluxus megkötő objektumokat kell létrehozni. Az előadás ezen objektumok létrehozásáról szól.

¹ Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² ELTE, Anyagfizikai Tanszék, Budapest

Jiri Nohava¹, Mohammad Arab Pour Yazdi¹, Pavel Sedmak¹, Issa Thévenaz¹,
Pavel Rohan², Petr Hausild³

Recent applications of nanoindentation and tribology for modern material

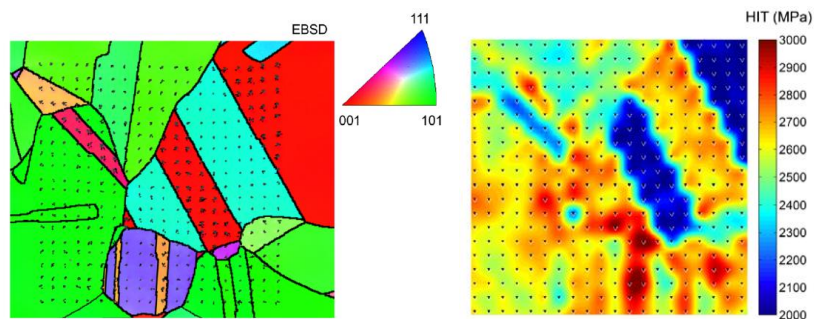
Nanoindentation and tribological techniques are well-established methods for assessing the mechanical properties and wear resistance of surfaces. However, the increasing complexity of modern materials often necessitates adaptations in testing methods or conditions to obtain the most meaningful insights. These adaptations may include faster testing protocols and integration of advanced options such as electrical resistance monitoring or high-temperature measurements. While the core measurement procedures remain standard, the application of specialized configurations requires careful attention but can yield novel information about material behavior.

Aims: This presentation demonstrates how nanoindentation can be utilized to investigate plasticity at elevated temperatures and to map the hardness and elastic modulus of steels with varying crystallographic orientations. Two materials were studied: Fe₃Si and AISI 304 stainless steel. Nanoindentation of Fe₃Si at 250 °C revealed serrated flow behavior, whereas mapping of AISI 304 steel indicated a correlation between hardness and crystallographic orientation, as confirmed by

electron backscatter diffraction (EBSD) analysis.

Additionally, electrical resistance measurements were employed during compression tests of gold-coated polymeric particles. A flat punch cylindrical indenter enabled simultaneous determination of the particles' compressive properties and the evolution of contact resistance during deformation. Similar method can be used for compression testing of powders used for additive manufacturing.

Finally, tribological testing was conducted on Inconel-based high-temperature alloys reinforced with B₄C particles. These tests assessed the effects of temperature and B₄C particle size on the wear resistance of protective layers deposited via plasma transferred arc (PTA) deposition. Comparative measurements at room temperature, 600 °C, and 800 °C showed that layers containing B₄C particles with an average diameter of 67 µm exhibited approximately three times lower wear than those with 168 µm particles. This improvement is likely due to enhanced integration of the smaller B₄C particles into the Inconel matrix, as confirmed by elemental analysis near the particle-matrix interface.



1. picture EBSD image of A304 steel (left) and corresponding mapping of hardness (right), showing lower hardness for grains with (001) orientation.

¹ Anton Paar TriTec, Switzerland

² Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, Czech Republic

³ Czech Technical University in Prague, Faculty of Nuclear Sciences and Physical engineering, Czech Republic

Kemény Alexandra^{1,2}, Orbulov Imre Norbert^{1,2}

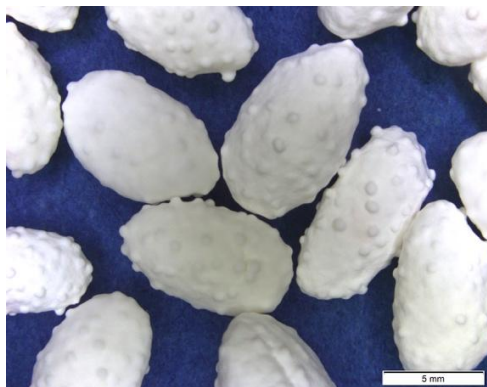
A töltőanyag rendezettségének hatása a kompozit alumíniumhabok tulajdonságaira

A fémhabok számos előnyös tulajdonsága, mint például a mátrixanyaghoz képesti kis relatív sűrűségük és nagy fajlagos energiaelnyelő képességük mellett néhány fejlesztésre szoruló, jelenleg a széleskörű elterjedés akadályaként megnevezhető hátránnyal is rendelkeznek. Az egyik ilyen, hogy a tulajdonságaik viszonylag nagy szórást mutatnak, hiszen a cellák elrendeződése véletlenszerű, így nem határozható meg előre, hogy például nyomó terhelés hatására melyik lokális régióban keletkezik a legnagyobb feszültség, tehát milyen útvonalon fog megindulni a tönkremenetel.

A kutatásunk célja, ennek kiküszöbölésére egy viszonylag egyszerű módszerrel, rendezett töltőanyagváz létrehozása elsősorban alumínium-oxid gömbhéjak és vízüveg segítségével. Az így kialakított vázat az olvadt ötvözetlen alumínium infiltrálása előtt

rögzítjük a helyén, majd kisnyomásos kézi infiltrálással előállítjuk a habszerkezetet. Az egyes töltőanyag rétegeket a kristálytanból ismert ABABAB és ABCABC szorosan rakott rendben rögzítjük egymáshoz.

A makro- és mikroszerkezeti tulajdonságokat optikai mikroszkópos felvételek segítségével elemezzük, a mechanikai tulajdonságokat pedig kvázi-statisztikus zömítővizsgálatokkal határozzuk meg. Az eredményekből, a véletlenszerű elrendeződésű szorosan rakott töltőanyagú alumíniumhabokhoz képesti kisebb szórást várunk, és a rendezési módszer sikeressége esetén ellipszoid héjakkal (1. ábra) töltött, rendezett kompozit alumíniumhabokat hozunk létre, amellyel irányfüggő [1], egymástól irányonként jelentősen eltérő tulajdonságokkal rendelkező habokat gyártunk.



1. ábra – Kerámia ellipszoid héjak

Hivatkozások:

- [1] Nian G, Shan Y, Xu Q, Qu S. Effects of hollow particle shape and distribution on the elastic properties of syntactic foams: 3D computational modeling. *Comput Mater Sci* 2014;95:106–12.
<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.07.012>.

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest

² MTA-BME Lendület Nagyteljesítményű Kompozit Fémhabok Kutatócsoport, Budapest

Balogh Fanni^{1 2}, Toldy Andrea^{1 2}, Szabéni Gábor^{1 2}

Multifunkcionális PCL-réteg alkalmazása intelligens kompozit szerkezetekben

Az intelligens kompozit szerkezetek olyan fejlett anyagrendszerek, amelyek képesek a szerkezeti integritás fenntartása mellett külső ingerekre reagálni, illetve önérzékelő, alkalmazkodó tulajdonságokat megvalósítani. Ezek a rendszerek kulcsszerepet játszanak a jövő szerkezeti alkalmazásaiban, különösen a repülőgépipar, autóipar és védelmi ipar területén, ahol a beépített funkciók – például érzékelés, hőállóság vagy elektromos vezetőképesség – a biztonság és hatékonyság szempontjából kritikusak lehetnek [1,2].

A rétegek közötti anyagok alkalmazása egy hatékony mód a kompozit szerkezetek tönkremeneteli viselkedésének célzott befolyásolására. A poli(ε-kaprolakton) (PCL) alkalmazása rétegek közötti anyagként különösen ígéretes a delamináció és repedésterjedés szabályozásában. Az elmúlt években több kutatás is megerősítette, hogy a PCL réteg beépítése hozzájárulhat a kompozit

szerkezetek tönkremeneteli folyamatainak kontrollált irányításához [3,4].

A jelen kutatás célja a koncepció továbbfejlesztése a multifunkcionális tulajdonságok irányába. A PCL rétegbe történő célzott adalékolás lehetőséget nyújt olyan kompozit szerkezetek kialakítására, amelyek egyszerre rendelkeznek tervezhető tönkremeneteli karakterisztikával és további, funkcionális előnyökkel is, például javított hőállósággal vagy elektromos válasz-képességgel.

A kutatás jelenlegi fázisában különféle funkcionális adalékanyagokkal módosított PCL minták előállítása és vizsgálata történt meg, a kompozit szerkezetbe történő beépítést megelőzően. A termográfiai, reológiai és morfológiai mérések célja a módosított PCL viselkedésének megértése, és annak értékelése, hogy ezek az anyagok milyen mértékben járulhatnak hozzá a végső kompozit multifunkcionalitásához.

- [1] **Hansen S. F., Paulsen F., Trier X.** (2022). Smart materials and safe and sustainable-by-design – A feasibility and policy analysis. In M.-V. Florin (Ed.), Ensuring the environmental sustainability of emerging technologies. Lausanne: EPFL International Risk Governance Center. <https://doi.org/10.5075/epfl-irgc-298445>
- [2] **Balcerak-Woźniak A., Dzwonkowska-Zarzycka M., Kabatc-Borcz J.** (2024). A comprehensive review of stimuli-responsive smart polymer materials—Recent advances and future perspectives. Materials, 17(17), 4255. <https://doi.org/10.3390/ma17174255>
- [3] **Marton G. Zs., Szabéni G.**: Influencing the damage process and failure behaviour of polymer composites - A short review. Express Polymer Letters, 19, 140-160 (2025) <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2025.11>
- [4] **Szabéni G., Marton G. Zs., Romhányi G.**: Damage localization in designed failure composites. in 'ECCM21 – 21st European Conference on Composite Materials Nantes, Franciaország. 2024.07.02-2024.07.05., 156-160 (2024)

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék, Budapest

² MTA-BME Lendület Fenntartható Polimerek Kutatócsoport, Budapest

Marton Gergő Zsolt^{1,2}, Szebényi Gábor^{1,2}

Szénszál-erősítésű kompozitok károsodásainak elemzése

Napjainkban egyre elterjedtebbek a szálerősített polimer kompozitok, amelyek népszerűségüket főként kiváló tömegre vonatkoztatott, fajlagos mechanikai jellemzőiknek, illetve tervezhetően irányfüggő tulajdonságaiknak köszönhetik. A polimer kompozit alkatrészek a hétköznapi tömegtermékek mellett növekvő népszerűségnek örvendenek a jelentős igénybevételnek kitett, biztonságilag kritikus mérnöki szerkezetekben is. Utóbbi alkalmazási területeken azonban kimondottan előnytelennek tekinthetők a kompozitok rendkívül komplex károsodási és tönkremeneteli folyamatai. A polimer kompozitok tönkremenetele többnyire számos, párhuzamosan működő, különböző forrásból származó – az alapanyagban jelenlévő, gyártás során kialakuló, illetve üzem közben keletkező – és eltérő módú – mátrixrepedés, szál-mátrix elválás, rétegelválás, szálszakadás stb. – károsodási mechanizmus és ezek kölcsönhatásainak eredményeként következik be. Problémát jelent, hogy a károsodások rendkívül nehezen detektálhatók, a tönkremenetel pedig gyakran véletlenszerű pozícióban, egyszerre akár több keresztmetszetben, különösebb előjelek nélkül jelentkezik.

A szálerősített polimer kompozitok megbízhatóságának és teljesítményének további fokozásához elengedhetetlen a megfelelő állapotfelügyelet biztosítása, amely magában foglalja többek között a károsodások kimutatását, a károsodási mechanizmusok azonosítását és elemzését, továbbá a szerkezet maradó mechanikai jellemzőinek meghatározását.

Jelen kutatásunk célja a szénszállal erősített, epoxi mátrixú polimer kompozitok károsodási és tönkremeneteli mechanizmusainak vizsgálata és elemzése, illetve különböző, roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek – akusztikus emisszió, ultrahangos anyagvizsgálat, infravörös termográfia, illetve digitális képkorrelációval végzett, teljes mezős nyúlásmérés – kombinálásával egy, a megfogalmazott elvárásoknak megfelelő állapotfelügyeleti rendszer kifejlesztése és validálása. Ennek érdekében speciális, egy-egy előre definiált tönkremeneteli módot előidéző vizsgálatokat végeztünk, továbbá különböző mesterséges károsodásokat tartalmazó próbatesteket vizsgáltunk, majd elemeztük a károsodási mechanizmusokat és a tönkremenetelt.

¹ BME Polimertechnika Tanszék, Budapest

² MTA-BME Lendület Fenntartható Polimerek Kutatócsoport, Budapest

Bubonyi Tamás¹, Barkóczy Péter¹, Kemény Alexandra², Gácsi Zoltán¹

Különböző arányban kevert bimodális kompozit fémhab alakváltozás hatására kialakuló szerkezetének vizsgálata

A kompozit fémhabok (CMF-ek) vizsgálata számítógépes tomográfia (CT) segítségével új lehetőségeket nyit meg a kutatók előtt. A röntgensugarak segítségével az anyag belső szerkezetéből kaphatunk információkat, anélkül, hogy bármiféle fizikai roncsolás torzítaná a kialakított habszerkezetet. A vizsgáló technika nagy előnye, hogy nagy felbontású vetületi képek sorozatát készíti el a mintáról, amelyből később számítógépi rekonstrukció segítségével lehet a teljes digitális háromdimenziós szerkezetet előállítani. Első körben a teljes belső szerkezet feltérképezhető a vizsgálat segítségével, így információnk lesz a habot alkotó belső szerkezetről, a pórusok méretéről, alakjáról, illetve a helyéről. Modern képelemző eljárások segítségével további hasznos információkat lehet meghatározni a szerkezetről, amelyben már akár számszerű (kvantitatív) adatokat is merhetünk meg az erősítő fázis térbeli eloszlásáról, miszerint található-e bármilyen szabályozott rendeződés vagy csoportosulás a szerkezetben. Az így kapott szerkezeti

jellemzők kulcsfontosságú információkat hordoznak a további vizsgálati lehetőségek szempontjából, hiszen a csoportosult pórusok mechanikai viselkedése eltérő lehet a szerkezet többi részéhez képest. A CT vizsgálat eredményei azonban gyakran „csak” bemenő paraméterként szolgálnak valamilyen mechanikai viselkedést szimuláló szoftver számára. A kereskedelmi forgalomban elérhető képfeldolgozó, képelemző eljárások továbbá sokszor limitált funkcionalitással rendelkeznek, így a megfelelő minősítésekhez szükséges a képi információk kinyerése és feldolgozása, amely így új kihívásokat állít fel. A kutatásom célja egy olyan eljárás kidolgozása, amely kihasználja a CT vizsgálatokban rejlő számtalan lehetőséget (térbeli elrendeződés, szerkezet kvantitatív jellemzése). A zömítés hatására bekövetkező tönkremenetel korai szakaszában keresem a kapcsolatot az alakváltozás és a töltőanyag (bimodális méreteloszlású kerámia gömbhéj) térbeli rendeződése között.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² MTA-BME Lendület Kompozit Fémhabok Kutatócsoport, Budapest

Nánai Lilla¹, Baradács Eszter², Erdélyi Zoltán², Kaptay György^{1,3},
Hernádi Klára¹

Függőlegesen rendezett szén nanocsövek szintézise vezető szubsztráton: az eljárás fejlesztése, rétegépítési technikák és szintézis paraméterek hatása

A szén nanocsövek (CNT) kivételes elektromos- és hővezető, valamint mechanikai tulajdonságaiknak köszönhetően meghatározó szerepet töltenek be az anyagtudomány és a nanotechnológia területén. A függőlegesen rendezett szén nanocsövek (VACNT) a rendezett struktúrájuk következtében potenciális felhasználási lehetőséget ígérnek különféle technológiai alkalmazásokban, többek között mikro- és optoelektronikai eszközök, szenzorok komponenseiként, illetve új kompozitok fejlesztésében. Ezen struktúrák előállítása jelenleg kizárólag katalitikus kémiai gőzfázisú leválasztással (CCVD) lehetséges.

Kutatásunk célja a VACNT-k előállítása során alkalmazott előkészítési és rétegépítési módszerek, valamint a szintézis körülmények hatásának vizsgálata vezető szubsztrátokon (alumíniummal dópolt cink-oxid (AZO) és titán). A katalizátorrétegek kialakítása egyrészt impregnációs technikákkal (manuális spray coating és dip coating) valósult meg, változó koncentrációjú és összetételű vas- és kobalt-nitrát prekursorok abszolút etanolos oldatát alkalmazva. A titán szubsztrát esetében vizsgáltuk a felületi natív oxidréteg szén nanocsövek szerkezetére

gyakorolt hatását. Ezen felül titán szubsztráton atomi rétegleválasztással (ALD) különféle egyéb fém-oxid hordozórégeket alakítottunk ki 10 nm vastagságban, amelyekre magnetronos porlasztással 2, 5 és 10 nm vastagságú, változó összetételű Fe-Co katalizátorrétegeket építettünk. A hordozó- és katalizátorrétegek, valamint a szintézisparaméterek (hőmérséklet, idő, alkalmazott gázok áramlási sebessége *stb.*) változtatásának hatását vizsgáltuk a VACNT-k struktúrájára és rendezettségére. Az AZO szubsztráttal folytatott kísérleti eredményeket lépésről lépésre kidolgozott elméleti megfontolásokkal támasztottuk alá. Különös figyelmet fordítottunk a szénforrás disszociációját, valamint a kétfémes katalizátor részecskében vagy azok között végbemenő széndiffúziót magában foglaló növekedési mechanizmusra, amelyből elméleti modell készült a katalizátorréteg szintézis közbeni átalakulásaira. Az előállított minták jellemzése korszerű anyag- és szerkezetvizsgáló módszerekkel történt: pásztázó- és transzmissziós elektronmikroszkópia (SEM, TEM), ellipszometria és Raman-spektroszkópia.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc-Egyetemváros

² Debreceni Egyetem, Fizikai Intézet, Debrecen

³ HUN-REN-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Miskolc-Egyetemváros

Gillemot Ferenc, Cinger Dávid, Szenthe Ildikó, Berzy Lajos

CIRCLE project: reaktor plattírozás vizsgáltának fejlesztése

Bevezetés: Az energetikai nukleáris reaktorok tartályai sugárzás álló közepes szilárdságú alacsonyab ötvözött acélbók készülnek, és a korrózió elkerülésére a hűtőközeggel érintkező felületekre ausztenites acél réteget visznek fel hegesztéssel. Az Európai reaktoroknál többnyire 2-3 vékony (≤ 3 mm) réteget készítenek szallagelektrodás fedőpor alatti hegesztéssel. A szallagelektrodás hegesztés előnye a kis beolvadás, így az átmeneti (kevert) zóna igen keskeny.

A tartályok üzemi élettartam számításainál szigorú követelmények vannak: többek között fel kell tételezni egy hipotetikus hibát a tartály anyagában, és ez a hiba nem okozhat ridegtörést a legsúlyosabb feltételezhető feszültségállapotok esetén sem, figyelembe véve az érvényes licenc végig a szerkezeti anyagok öregedését. Ez a feltételezett hiba a falvastagság 10-25% nak megfelelő mélységű és legalább kétszer ilyen hosszú. Ha a hiba a plattírozás alatt marad a számítások kb. kétszer olyan hosszú élettartamot adnak, mintha a plattíruás is átreped.

A kutatás fő célkitűzései: ismeretek gyűjtése a plattírozás anyagtulajdonságairól (beleértve az eddigi ismeretek összegyűjtését és átfogó tanulmány készítését) és hiányzó adatok kísérleti pótlása, reaktor plattírozás adatbázis kifejlesztése, a plattírozás mechanikai és mikroszerkezeti vizsgálatainak a fejlesztése, és együttműködés szervezése az európai kutatóhelyek és felhasználók között. Három fő kutatási irányt tűztünk ki:

- hegesztett plattírozás öregedések a vizsgálata (a fő öregítő hatások: sugárkárosodás, termikus öregedés és a ciklikus hőfeszültségek),
- kis próbatestek fejlesztése a plattírozás öregedésének a vizsgálatára (EUROFLAT szakító és SPT)
- kisciklusú fáradt repedések terjedése az alapanyagból a plattírozásba és a plattírozásban előreperesztett kisméretű hárompont hajlító próbatestek használatával

A mechanikai vizsgálatokat kiegészítik mikroszerkezeti vizsgálatok (metallográfia, SEM, APT, PAS) és a kisciklusú fáradt repedés terjedésének a modellezése.

A kutatás adatai és résztvevői:

- résztvevők: 11 partner (7 kutatóhely, két egyetem, két ipari partner) hét országból
- tervezett költség: 900kEuro EU támogatás, 900k Euro a résztvevők hozzájárulása
- a kutatás időtartama: 42 hónap
- a kutatáshoz kiválasztott vizsgálati minták eredeti ipari gyártású anyagok, részben már üzemelt berendezésekből vett öregített anyagok, részben kutatóreaktorban már besugárzott és besugárzandó próbatestek
- A kutatási program kidolgozója és tervezett vezetője: HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

Szenthe Ildikó, Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Csikós Kristóf Andor,
Berzy Lajos, Horváth Márta, Gillemot Ferenc

Kisméretű próbatestek anyagvizsgálatai tapasztalatai

A roncsolásos vizsgálati módszerekkel végzett mechanikai vizsgálatok egyik lehetséges fejlődési iránya a kispróbatestes vizsgálati technikák fejlesztése. A kisméretű próbatestek használata számos területen indokolt. A fissionális energiatudományi reaktorok eredeti anyagaiból egyre kevesebb áll rendelkezésre. Gyakran a már felaktiválódott élettartam figyelő próbatest láncok tartalmának már vizsgált, maradék anyagát felhasználva kell további vizsgálatokkal a meghosszabbított üzemidőnek megfelelő élettartamra vonatkozó következtetéseket levonni.

A fúziós kutatásokhoz szükséges, bármilyen szempontból új anyagok (gyártás, homogenitás, összetétel, tisztaság...) öregedésének vizsgálata során a fejlesztés alatt álló, kísérleti stádiumú anyagokból sokszor limitált mennyiség áll rendelkezésre, ezért is indokolt a kispróbatestes technikák használata. A fúziós erőművekben a későbbiek során beépített anyagok vizsgálatára tervezett

kísérleti reaktorok esetén már a tervezésükkor kisméretű próbatestek besugárzását tervezik.

Ezek teszik szükségessé a kisméretű, akár már aktív anyagból készülő próbatestek megmunkálási-, és mérési technikájának kutatását és fejlesztését.

A kisméretű próbatestek azonban még inaktív állapotban is nehezen megmunkálhatók a magas tűrési, geometriai, felületi stb. követelmények miatt. A mechanikai vizsgálatokhoz szükséges vizsgálni a mérési berendezés alkalmasságát, a korábban a standard próbatestek méréséhez szükséges szabványok alkalmazhatóságát stb. Mindezen kérdések megoldása már aktív anyagokon további feladatot jelent.

A HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont az elmúlt években több, a kispróbatestes technikákkal foglalkozó nemzetközi projektben vett részt. Ezeknek a projekteknek a tapasztalait, következtetéseit szeretném bemutatni.

Gál Viktor¹, Bíró Gyöngyvér¹, Lovas László², Sóki Péter¹

A hidrogén okozta elridegedés elemzése P355NH acélon üreges próbatestes szakítóvizsgálattal

Az elmúlt években a hidrogén előtérbe kerülése, mint energiahordozó, jelentős mértékben indukálta az anyagtudományi kutatások és az anyagvizsgálati módszerek fejlődését. A hidrogén-földgáz keverékek szállítása a meglévő infrastruktúrában gazdasági- és környezetvédelmi szempontból is ígéretes, ugyanakkor kihívást jelent az acélokra gyakorolt elridegedést okozó hatása miatt. A jelenség mélyrehatóbb megismerése érdekében a Magyar Földgáztároló Zrt. és a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., elindította az AKVAMARIN Plusz projektet, melynek egy olyan berendezés kialakítása a fő célkitűzése, amely a hagyományos szakítóvizsgálatok mellett feszültségkorróziós és kifáradási vizsgálatok elvégzésére is lehetőséget biztosít nagynyomású hidrogénkörnyezetben.

Az üreges próbatestes vizsgálat alkalmazása a hidrogén okozta elridegedés elemzésére nem új keletű; T. Ogata már a 2000-es évek elején is foglalkozott ezzel a módszerrel, és az eljárásra vonatkozóan nemzetközi szabvány is készült. A meglévő szabvány bár részletesen ajánlásokat ad a próbatest geometriájáról, a gázellátó rendszer kialakítására vonatkozó pontos műszaki előírásokat nem tartalmazza. Cikkünk elején ezért ismertetjük azokat a megoldásokat, amelyek biztosítják, hogy a kialakított gázellátó rendszer, valamint a vele végzett vizsgálatok maradéktalanul megfeleljenek napjaink vonatkozó biztonsági előírásainak.

Ahhoz, hogy megfelelő képet kapjunk a hidrogén okozta elridegedésről egy vizsgálatsorozatot hajtottunk végre, melynek első lépéseként tömör próbatesteken végeztünk szakítóvizsgálatokat, hogy meghatározhassuk a P355NH anyag alapvető mechanikai jellemzőit (szakítószilárdság, folyáshatár, folyásgörbe, százalékos szakadási nyúlás, százalékos keresztmetszet csökkenés). Ezt követően ugyanezeket a paramétereket határoztuk meg a gáznyomás nélküli, üreges próbatesteken, hogy képet kapjunk az eltérő próbatestgeometria okozta esetleges eltérésekről. Az utolsó fázisban hidrogénnel töltött üreges próbatesteken végeztünk vizsgálatokat; referenciaértékként inert gázzal (argonnal) töltött próbatestek vizsgálati eredményeit használtuk fel.

A hidrogén elridegedésének számszerűsítéséhez elsősorban a szakadási keresztmetszetek és a százalékos szakadási nyúlások közötti eltéréseket használtuk fel, emellett elemeztük a teljes szakítódiagramok közötti különbségeket is. Az így kapott eredmények lehetővé teszik a hidrogénnel töltött P355NH acél megbízhatóságának és élettartam-előrejelzésének pontosabb megítélését. A vizsgálatok során kapott eddigi eredmények megfelelő alapot szolgáltatnak a projekt további feladataihoz, melyek célja a törésmechanikai és fáradásos repedésterjedési tulajdonságok hidrogén hatására bekövetkező változásának elemzése.

¹ Bay Zoltán Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Miskolc

² Magyar Földgáztároló Zrt., Budapest

Nagy Nóra¹, Ahmad Yasser Dakhel², Lukács János³

Hidrogén-földgáz közeget szállító vezetékszakaszok integritásának értékelése

A hidrogén energiahordozóként való alkalmazása elősegítheti a jelenleg fosszilis tüzelőanyagoktól erősen függő energiaszektorok dekarbonizációját. Energiahordozóként való felhasználásának egyik kulcskérdése a szállításhoz kapcsolódó infrastruktúra, amely jelenleg is napjaink kutatásainak egyik fő területe. Bár a hidrogén meglévő földgáz-infrastruktúrába való bekeverése számos előnnyel jár, vannak ismeretlen tényezők, amelyek azzal kapcsolatosak, hogy a meglévő földgázvezeték-infrastruktúra mennyire üzemelne biztonságosan a hidrogén szállítása esetén. A biztonságos üzemeltetés szempontjából elengedhetetlenek mind a már meglévő vezetékek, mind az új vezetékek vizsgálatai.

A hidrogén-bekeveréssel kapcsolatos biztonsági kérdések közé tartozik a csővezeték-rendszer integritásának csökkenése. Régóta ismert tény, hogy a gáznemű hidrogén jelentős hatással van a csővezeték acélok mechanikai tulajdonságaira, de továbbra is kérdésként merül fel, hogy miként vegyük figyelembe a hidrogénnel szembeni érzékenységet az integritásuk értékelésekor. A hidrogén okozta elridegedés

jelenségéhez kapcsolódóan a mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatás kvázistatikus és dinamikus lehet. Az időbeli jellege miatt az anyagok érzékenységet gyakran kvázistatikus körülmények között vizsgálják és számszerűsítik egy hidrogénes működési környezetre vonatkoztatva. A komplex terhelési feltételeket alkalmazó teljes méretű vezetékszakaszokon végzett vizsgálatok (full-scale tests) megbízható lehetőséget jelentenek a különböző vezetékszakaszok integritásának vizsgálatára.

Kutatásaink során különböző időtartamú hidrogénes kitettséggű csővezeték-szakaszokon végeztünk full-scale teszteket, összetett terhelési feltételekkel, és összehasonlítottuk a vezeték-szakaszokon végzett korábbi vizsgálatok adataival. Jelen cikkben bemutatjuk a csővezeték-szakaszok teljes méretű vizsgálata során elvégzett fárasztó és repesztő vizsgálatokat, a mechanikai és szerkezeti vizsgálatokat és azok eredményeit. Az expozíciós idők leteltével a hidrogénnek kitett csővezeték szakaszokon ismét repesztővizsgálatok végeztünk. A komplex terhelés utáni repesztővizsgálatok során a biztonsági tényező értékeit határozzuk meg.

Berzy Lajos, Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Csikós Kristóf, Szenthe Ildikó

Alumíniumötvözetek sugárzás okozta öregedésének vizsgálata kutatóreaktorok szerkezeti integritásának értékeléséhez (Magic-RR projekt)

Ez a kutatási projekt a Research on Materials Ageing and Structural Integrity of Research Reactors (MAGIC-RR) nemzetközi együttműködés keretében megvalósuló WP3 munkacsomagra fog épülni, amely a kutatóreaktorok öregedéskezelésére és szerkezeti integritására összpontosít. A WP3 célja a különböző reaktorokban alkalmazott öregedésmenedzsment-módszerek felmérése, valamint olyan kulcsfontosságú tényezők azonosítása lesz, amelyek a szerkezeti elemek hosszú távú működését korlátozhatják. Kiemelt figyelem irányul majd az alumíniumban végbemenő szilícium-felhalmozódásra – amely a transzmutáció következményeként jelentkezik –, mivel ez ridegedéshez vezethet, és meghatározó hatással van az anyag mechanikai viselkedésére.

A kutatás középpontjában a kutatóreaktorok reaktortartályaiban és egyéb alumíniumötvözetből készült szerkezeti elemeiben bekövetkező mikroszerkezeti változások és azok mechanikai következményeinek vizsgálata áll majd. Mivel ezek az alkatrészek jellemzően alacsonyabb üzemi hőmérsékleten és nyomáson működnek, de folyamatos neutron- és gammasugárzásnak, korrózióknak és vibrációs hatásoknak vannak kitéve, az öregedési folyamatok komplex módon jelentkeznek. A tervezett kutatás során

különös figyelmet kap a neutronsugárzás széles energiaspektrumának hatása, amelynek következtében az alumínium transzmutáció révén szilíciummá alakul át, szilícium-alapú kiválások (magnézium-szilicid kiválások) eredményezve. Ez a folyamat a szívósság jelentős csökkenéséhez vezethet. A magnézium fokozatos eltűnése a mátrixból tovább gyengíti az anyagszerkezetet, míg a gyors neutronok által indukált diszlokációs szerkezet változása hosszú távon szintén hátrányosan befolyásolhatja a szilárdságot.

Mivel számos európai kutatóreaktor már meghaladta eredetileg tervezett üzemidejét, sürgető szükség lesz olyan öregedéskezelési stratégiák kidolgozására, amelyek kiterjednek minden alumíniumötvözetből készült alkatrészre és kísérleti eszközre. A projekt során a mechanikai állapotértékelés alapját szakítóvizsgálatok, törésmechanikai elemzések és Charpy-féle ütővizsgálatok fogják képezni, amelyeket mikroszerkezeti módszerek (például metallográfia, SEM, SANS, APT, PAS) fognak kiegészíteni. A vizsgálati eredmények várhatóan tudományos alapot adnak majd az alumíniumötvözetek öregedési mechanizmusainak pontosabb megértéséhez és a szerkezeti integritás hosszú távú fenntartásához a kutatóreaktorok környezetében – összhangban a MAGIC RR WP3 célkitűzéseivel.

Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Csikós Kristóf Andor, Berzy Lajos,
Szenthe Ildikó, Gillemot Ferenc, Horváth Márta

Ni-Mn hatás nagy neutronfluencia mellett reaktortartály acélokban

Bevezetés: Az alábbi összefoglaló a reaktor tartály acélokban megfigyelt nikkel-mangán (Ni-Mn) szinergikus hatásra összpontosít, a mestergörbe referencia hőmérséklet (T_0), és a kis szögű neutronszórás (SANS) eredményei alapján. Az elemzések a STRUMAT-LTO projekt LYRA-10 kísérletsorozatára épülnek.

Fő célkitűzések: A neutron sugárzás hatására bekövetkező ridegedés kritikus tényező a reaktortartály hosszú távú működésének (LTO) értékelésekor. A ridegedés mértéke nagymértékben függ az acél kémiai összetételétől, különösen a Cu-P és Ni-Mn tartalmától. A projekt legfőbb célkitűzései:

- miniatürizált próbatesteken végzett mechanikai, valamint
- mikroszerkezeti vizsgálatokkal megismerni alacsony réz és foszfor tartalmú reaktor tartályacélok hosszú távú üzemelése során fellépő együttes Ni-Mn hatást.

A vizsgált anyagok (VVER-1000 típusú és nyugati modellacélok, valamint VVER-1000 hegesztett varratok) törési tulajdonságait a Master Curve módszerrel kerültek meghatározásra, amely a T_0 referencia hőmérséklet alapján írja le a rideg-képlékeny átmenetet.

Eredmények:

- **A T_0 referencia hőmérséklet eltolódása** a besugárzás után összefüggést mutatott a Ni és Mn tartalommal. A T_0 értékének eltolódása annál nagyobb, minél magasabb volt a Ni+Mn kombinált tömeg%-a.
- **A Ni és Mn kombinált tartalma 2,1–2,9% felett** jelentős szinergikus ridegedést idéz elő.
- Szisztematikus statisztikai elemzése szerint a **legnagyobb T_0 eltolódás** azoknál az acéloknál figyelhető meg, amelyekben **Ni $\geq 1,3\%$ és Mn $\geq 0,8\%$** .
- A SANS mérések kimutatták, hogy a sugárzás után **Ni-Mn-Si alapú nanoklaszterek** jelennek meg az acélokban, amelyek hozzájárulnak a ridegedéshez.
- A klaszterek számkoncentrációja (N) és átmérője (D) között erős kapcsolat van a **keménység és T_0 eltolódásával** – azaz a mechanikai tulajdonságok romlása korrelál a klaszterek térfogati frakciójával és méretével.

A VVER-1000 reaktortartály anyagok LTO értékelésénél külön ETC (embrittlement trend curve) fejlesztése szükséges nagy neutronfluencia mellett a **magas Ni-Mn tartalmú acélokra**, amely a T_0 és mikrostruktúra-alapú jellemzőkön alapul.

Varga Dorottya¹, Bobor Kristóf^{1,2}, Szlancsik Attila¹

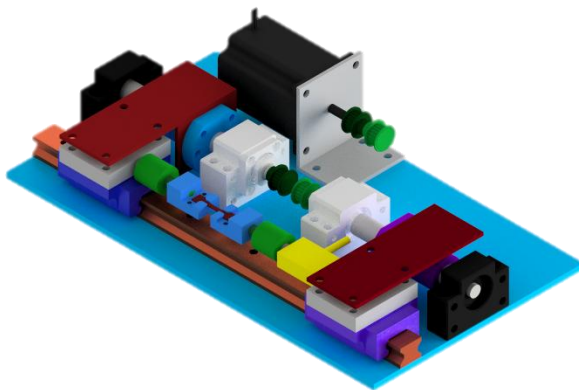
Forraszanyagból készült miniatürizált próbatestek vizsgálata

Az iparban az anyag pontos ismerete elengedhetetlen a tervezéshez és fejlesztéshez, amely ma már szabványos mérésekkel meghatározható. A probléma ott jelentkezik, hogy a gyakorlatban nem mindig lehetséges szabványos méretű minták előállítása, vagy éppen az alkatrész mérete olyan kicsi, hogy a szabványos mérésekkel meghatározható mérőszámok nem adnak pontos eredményeket. Bár a szakirodalom elkezdett foglalkozni ezzel a kérdéssel, még nem születtek átfogó eredmények, amelyek lehetővé tennék annak ipari gyakorlatba való átültetését.

Jelen kutatás célja egy olyan mérőrendszer fejlesztése, amely alkalmas miniatürizált próbatestek vizsgálatára, akár úgy is, hogy közben mikroszkóp alá is behelyezhető legyen. A tervezés során figyelembe kell venni, hogy az egytengelyűség biztosítása kiemelkedően fontos a mérettartomány miatt, illetve olyan erőmérő rendszerrel kell rendelkezni, amelynek a felbontóképessége megfelelően

nagy. A kialakítás egy másik fontos szempontja, hogy az *in-situ* vizsgálatok esetén a próbatest nem mozdulhat el nagymértékben egyik irányban sem, mert nagy nagyítások esetén nem lehetne nyomon követni a próbatest ugyanazon pontjának alakváltozását mikroszkóp alatt. Ezen kívül, a miniatürizált próbatestnek a geometriáját és gyártástechnológiáját is szükséges fejleszteni, hogy a mérésekből a megfelelő eredményeket kaphassuk meg. Első lépésként szakító próbatesteket készítettünk, majd hárompontos hajlító próbatesteket is.

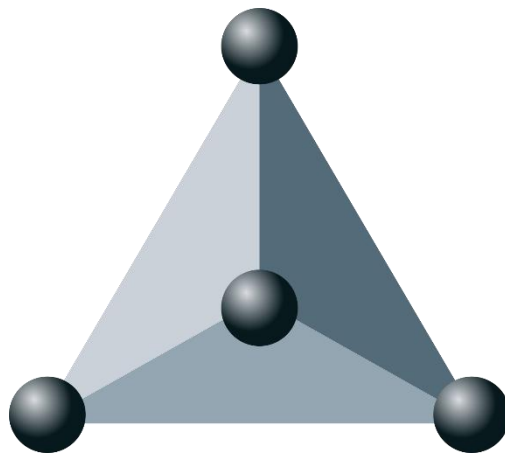
A megtervezett szakítógépet (1. ábra) legyártottuk és összeszereltük. A vezérléséhez Arduino Uno-t használtunk, amely vezérelte a mozgatót, és regisztrálta az erő értékeket. Az elmozdulás eredményeit a léptető motor elfordulásából számítottuk ki, így megkaptuk az erő – elmozdulás diagrammokat. A próbatesteket öntéssel állítottuk elő, egy speciális öntőszerszámban, úgy hogy utólagos megmunkálást már nem igényeltek.



1. ábra – A megtervezett szakítógép 3D modellje

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest

² Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Jászberényi Campus, Tudástechnológiai Intézet, Jászberény



Rövid szóbeli előadások poszterrel

Svéda Mária, Sycheva Anna, Karacs Gábor, Kaptay György

Al-Fe-Ti-Ni-Co típusú nagy entrópiájú ötvözetek mikroszerkezeti változásai (SO-01)

A hagyományos ötvözetektől eltérően a nagy entrópiájú ötvözetek öt vagy több elemet tartalmaznak egyenlő vagy közel egyenlő atomi arányban, 5 és 35 tömegszázalék közötti elemkoncentrációval. Ezek az ötvözetek számos egyedi tulajdonsággal rendelkeznek. Különösen a mechanikai viselkedésben mutatnak kiváló tulajdonságokat, mint például a nagy szilárdság, keménység, kopásállóság és magas hőmérséklet állóság. Jelenleg a nagy entrópiájú ötvözetek új kutatások kiemelkedő témája.

Az $\text{AlCo}_{1-x}\text{FeNiTiMo}_x$ ($x = 0; 0,1; 0,25$ és $1,0$) nagy entrópiájú ötvözetek előállítása elemi porok golyós malomba történő őrlésével valósult meg.

Az őrlött porok mikroszerkezetét és fázisátalakulását röntgendiffrakcióval (XRD),

pásztázó elektronmikroszkópiával (SEM), transzmissziós elektronmikroszkópiával (TEM) vizsgáltuk.

Az Al-Co-Fe-Ni-Ti alapötvözet mellett a kobalt részleges molibdénnel történő helyettesítésének hatását figyeltük meg, 80 órás őrlési idő alatt. Az empirikus szabályok alapján a Co részleges Mo-val történő helyettesítése miatt térben középpontos szilárd oldat és intermetallikus fázis prognosztizálható. 35 órás őrlés után két térben középpontos fázis, egy felületen középpont fázis és két L_{21} intermetallikus fázis keletkezett a Mo-tartalom miatt.

Biró Nóra, Gyarmati Gábor, Molnár Dániel, Fegyverneki György

AlSi10Mg0,5Ti0,1 ötvözet vizsgálata termikus analízis segítségével, különböző Fe, Mn és Sr tartalom esetén (SO-02)

A kutatómunkánk során az AlSi10Mg0,5Ti0,1 ötvözetet vizsgáltuk termikus analízis (TA) segítségével, különböző vas (Fe), mangán (Mn) és stroncium (Sr) tartalmak esetén. A kísérletek elvégzéséhez a két termoelemes TA módszert alkalmaztuk, továbbá érempróbákat öntöttünk optikai emissziós spektroszkópiával (OES) történő kémiai összetétel meghatározásra. A kísérletsorozatot három egységre bonthatjuk, amely során az AlSi10Mg0,5Ti0,1 ötvözet tekinthető az alapötvözetnek. A kísérletek során 0,12% Fe és 0,06 % Si tartalmú kohófémet ötvöztünk Fe, Mn, Mg, Ti és Sr tartalmú ötvözőkkel, előötvözőkkel. A kísérletek során az egyes ötvözetekre vonatkozóan termodinamikai számításokat végeztünk a Thermo-Calc szoftver segítségével az ötvözetek kristályosodása során képződő fázisok előrejelzése és kristályosodási hőmérsékleteinek megbecslése érdekében.

Célok: Az első kísérletsorozatban a vastartalom (0,12-0,45% Fe) változásának hatását vizsgáltuk, állandó 0,4% Mn tartalom mellett. A vizsgálatok célja a vastartalmú intermetallikus vegyület fázisok detektálása volt TA segítségével az AlSi10Mg0,5Mn0,4Ti0,1 ötvözet esetében. A második kísérletsorozat során a mangántartalom változásának hatását vizsgáltuk állandó 0,45% Fe tartalom mellett, három különböző mangántartalom esetén. A harmadik kísérletsorozat a stronciumtartalom vastartalmú intermetallikus vegyületfázisokra hatását kutatja, különböző mangántartalmak esetén. A szakirodalom kutatás alapján a

stronciumtartalom is befolyásolja a vastartalmú intermetallikus vegyület fázisok kristályosodási folyamatát.

Eredmények: A Thermo-Calc számítások alapján elmondható, hogy a különböző mérési sorozatokban különböző fázis átalakulások és különböző vastartalmú intermetallikus vegyület fázisok kristályosodása megy végbe. Jelentős eltérések láthatók az egyensúlyi és nem egyensúlyi (Scheil-Gulliver modell szerinti) állapotra vonatkozó eredmények között. A szakirodalom alapján a szoftveres termodinamikai számítások jelenleg nem képesek teljes pontossággal előre jelezni, hogy mely vastartalmú intermetallikus vegyületfázis kristályosodik egy adott alumínium ötvözet dermedése során. Ennek egyik oka, hogy a szoftverek nem veszik figyelembe a vegyületfázisok csíráképződésének eltérő energiaigényét. Emiatt mindenképpen szükséges az egyes vegyületfázisok stabilitását befolyásoló tényezők kísérleti úton történő vizsgálata. A lehülési görbék és az első derivált görbék elemzése alapján számíthatunk különféle és eltérő mennyiségű vastartalmú intermetallikus vegyületfázisok jelenlétére a minták szövetszerkezetében. Az elemzés során tapasztaltak alapján a kutatást a minták szövetszerkezet elemzésével kell folytatni, mivel a szerkezetben azonosítható fázisok alátámaszthatják, hogy a vastartalmú intermetallikus vegyületfázisok kristályosodása valóban kimutatható a derivált görbéken jelentkező csúcsok segítségével.

Borbély Richárd^{1,2}, Kecskés Bertalan³, Keresztes Róbert Zs.^{2,4}, Béres Gábor J.¹

Nagyszilárdságú acélok alakítási határértékének vizsgálata (SO-03)

A modern járműiparban egyre növekvő igény mutatkozik a tömegcsökkentés és az ütközésbiztonság egyidejű megvalósítására, amelyre hatékony megoldást jelentenek a nagyszilárdságú, kétfázisú acéllemezek. A fejlett, nagy szilárdságú anyagok alkalmazásához azonban elengedhetetlen az alakíthatóság megbízható előrejelzése, amelyhez az alakítási határ diagramok pontos meghatározása kulcsfontosságú. A kutatás során kétfázisú acélokból (DP800, DP1500), különböző hídszélességű próbadarabokon végeztünk Nakajima vizsgálatokat, az alakítási határgörbe meghatározásának érdekében. Az eredményül kapott kísérleti alakítási határgörbék, elméleti modellek segítségével

meghatározott alakítási határgörbékkel hasonlítottuk össze. A felhasznált modellekben szereplő anyagparamétereket szabványos szakítóvizsgálatok eredményeiből határoztuk meg. Az összehasonlítás célja az volt, hogy feltárjam a kísérleti és elméleti módszerek közötti egyezőségeket és különbségeket, valamint, hogy értékeljem a különböző megközelítések pontosságát, illetve az azok közötti különbségeket. Az eredmények hozzájárulhatnak a nagyszilárdságú acéllemezek pontosabb modellezéséhez, ami elősegíti az ipari alakíthatósági folyamatok optimalizálását, és ezáltal a hatékonyabb és fenntarthatóbb járműgyártást.

¹ Mechanikai- és Lézersugaras Technológiák Kutatócsoport, Neumann János Egyetem, Kecskemét

² Műszaki Tudományok Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Gödöllő

³ HILTI Szerszám Kft, Kecskemét

⁴ Műszaki Intézet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Gödöllő

Csikós Kristóf Andor, Gillemot Ferenc, Cinger Dávid, Hargitai Balázs, Horváth Lászlóné Márta, Szenthe Ildikó, Berzy Lajos

Hegesztett kötés termikus öregedése VVER-440 primerköri csővezeték szakaszán (SO-04)

Nyomottvizes VVER atomreaktoroknál a nem cserélhető primerköri csővezetékek állapota kritikus hatással van a biztonságos üzemeltetésre. A tervezett üzemidő alatt, az idő előre haladtával minden hűtőközeggel érintkező szerkezeti anyag **termikusan öregszik**, a más károsító hatások mellett (ciklikus hőterhelések, rugalmas alakváltozás, kémiai hatás). Ez a hegesztett kötés és a hőérintett zóna (HAZ – Heat Affected Zone) szerkezetének és tulajdonságainak hőhatásra történő megváltozását jelenti.

A már üzemből kivont, és szétszerelt VVER-440/V230 típusú, bohunicei atomreaktor primerköri csővezetékének egy kivágott szakasza. Az alapanyag 08Ch18N12T ausztenites korrózióálló acél. A vizsgált szakasz egy **hármass T-elágazás (triple T-junction)** részét képezte. Az adott csőszakasz 28 évet üzemelt 294°C primerköri vízhőfokon. A projekt során vizsgáltuk, hogy a fő keringtető vezeték (MCP) és az adott. hegesztett kötések területén:

- tartja-e magát a kötés a gyártáskori kiindulási értékekhez, követelményekhez
- mennyi az eltérés a mechanikai értékekben
- milyen mikroszerkezeti változások történtek az eltelt üzemidő után

További feladatként a **hegesztett kötésből származó próbatesten** a 28 év tényleges üzemidőt reprezentáló, valamint **gyorsított termikus öregítéssel 60 év** ekvivalens üzemidőnek megfelelően öregített állapotok összehasonlítását is elvégeztük a szabványban foglalt adatokkal. A vizsgálataink elsősorban a **mechanikai tulajdonságok degradációjára**

fókuszáltak, következtetéseinket a **mikroszerkezeti változások bemutatásával is alátámasztjuk.**

A vizsgálatok a DELISA-LTO elnevezésű, Európai Unió által támogatott kutatási projekt keretében történtek, amelyben a HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont aktív partnerként vesz részt. Ismeretes a **hegesztési technológia** és a **hozaganyag (elektróda) összetétele**, (weld metal – WM). A kivágott hegesztett **kötés** az alábbi **mechanikai és mikroszerkezeti vizsgálatokat** végeztük el:

- **Szakítóvizsgálat:** EUFLAT típusú kis méretű próbatesten
- **Charpy ütővizsgálat:** szabványos 5x10x55 mm-es, V-bemetszéssel ellátott mintákon
- **Keményiségmérés:** külön-külön az alapfém (Base Metal, BM), a hőérintett zóna (Heat Affected Zone, HAZ) és a varratfém (Weld Metal, WM)
- **Metallográfiai elemzés:** optikai mikroszkópos vizsgálat beágyazott és polírozott mintákon, valamint pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) mikroszerkezeti elemzés

Konklúzió: A vizsgálatok sikeresen lezajlottak, az adatkértékelés során reprodukálható és valid eredmények születtek. A kötés mechanikai tulajdonságaiban kimutatható romlás, a metallográfiai elemzések alapján pedig a mikroszerkezetben is változás figyelhető meg.

Mihályi Domonkos, Garab József, Alpár Tibor

Faanyag alapú nyomtatóanyag fejlesztése és tulajdonságainak vizsgálata additív gyártástechnológiákhoz (SO-05)

Additív gyártástechnológia alkalmazása során a faanyag és a biológiailag lebomló polimerek kombinálásával a bio-alapú filamentek fenntartható alternatívát kívánnak nyújtani a hagyományos polimeralapú anyagokhoz képest. A desktop 3D nyomtatásban az egyik legelterjedtebb anyag a PLA, így emiatt, illetve a korábbi mért eredményekkel való összehasonlíthatóság miatt a PLA a fejlesztett nyomtatóanyag alappolimerje. Erősítő anyagnak az ipari célra leggyakrabban használt faanyagot, a lucfenyőt (*Picea abies* [L.] Karst.) alkalmaztuk.

A faanyagot egy darálóval finommá daráltuk, majd rázógép segítségével négy frakcióra osztályoztuk szét: < 50 μm , 50-100 μm , 100-160 μm , 160-200 μm). A nyomtatóanyag készítéséhez egy desktop extrudert alkalmaztunk, a nyomtatáshoz egy Creality Ender 3 S1 típusú 3D nyomtatót, a vizsgálatokhoz egy Instron 5566 anyagvizsgáló gépet. A nyomtatóanyag gyártásánál igen fontos, hogy állandó sebességgel történjen a felcsévézés, hiszen csak így érhetünk egy maximális 0,05 mm változékonyságot az

átmérőben, amellyel a termék még nyomtatható. Ezért építettünk egy egyedi felcsévéző szerkezetet, amely léptetőmotorral rendelkezik.

A 10% faanyagot tartalmazó elkészült keverék sűrűsége 1,12 g/cm³, és 50 μm méret alatti faforgácsot tartalmaz. A keverékből készült minták szakítószilárdságának átlaga 21,22 MPa, ami enyhén elmarad a kereskedelmi forgalomban kapható faanyag alapú filamentekből készült minták szakítószilárdságának értékétől. Ez magyarázható az eltérő keverési aránnyal, illetve az erősítő faanyag fafájával. Összehasonlítva egy további vizsgálatunk eredményeivel, ahol a kompozitot egy ipari 12 fűtőzónás ikercsigás extruderrel készítettük, elmondható, hogy a 3D nyomtatott próbatestek szakítószilárdság eredményei feleakkorák, mint a 30%-os PLA+mikroforgács keverékből készült próbatestek eredményei. Azonban a mikroforgács dominans keményfa faanyagot tartalmazott.



1. ábra – 3D nyomtatás folyamata saját fejlesztésű fa-polimer kompaunddal

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Hargitai Balázs, Cinger Dávid, Berzy Lajos, Csikós Kristóf Andor,
Horváth Márta

Mini szakító próbatestek fejlesztése a nukleáris ipar számára (SO-06)

A nukleáris iparban – különösen a fúziós reaktorok szerkezeti anyagainak és a besugárzott anyagok vizsgálata során – egyre nagyobb szükség van olyan vizsgálati módszerekre, amelyek kis anyagmennyiség mellett is megbízható adatokat szolgáltatnak. A kis méretű szakító próbatestek fejlesztése és szabványosítása ezért kiemelt jelentőségű. Az EUROfusion szervezésében létrejött kis próbatestek vizsgálatával foglalkozó munkacsoport, célja a különböző geometriájú mini szakító próbatestek összehasonlítása, valamint kritikus paraméterek (pl. méretarány, anyagszerkezet) hatásának elemzése. Céljai közt van még egy új, az ASTM E8/E8M szabványhoz kapcsolható melléklet kidolgozása, amely a kis méretű fém próbatestek húzóvizsgálatára vonatkozó követelményeket határozza meg. Ennek kapcsán a résztvevő intézetek különböző geometriájú mini próbatesteket vizsgáltak meg, kétféle lapos geometriájú szakítópróbatestet (EUFLAT, SSJ3), mini hengeres szakító próbatestet (SCK-CEN) típusúakat, szobahőmérsékleten, illetve 330 °C-on és 550 °C-on.

A vizsgálatok során referenciaanyagként az EUROFER97 csökkentett aktiválódású ferrites-martenzites acél (RAFM) acél szolgált mint referenciaminta, amely a DEMO fúziós reaktorok egyik elsődleges szerkezeti anyaga. A próbatesteket saját fejlesztésű, önbeálló befogókkal rögzítettük, az elhajlások minimalizálása érdekében, hogy a próbatestekben vizsgálat közben csak

unaxiális feszültség jöjjön létre. A kis próbatestek mérete miatt a mérés technikai kihívások – például a hajlítónyomaték ébredése vagy az apró alakváltozások nyomon követése – komoly mérés technikai tervezést igényeltek. A vizsgálatokhoz lézeres nyúlásmérőt használtunk.

Az eredmények azt mutatják, hogy bár az azonos geometriájú próbatestek eredményei kis szórással rendelkeznek, a különböző geometriák között jelentős eltérések tapasztalhatók mind a szakítószilárdság, folyáshatár, nyúlás, mind a keresztmetszetcsökkenés tekintetében. A hengeres próbatestek például rendszerint magasabb értékeket mutattak, míg az EUFLAT geometria alacsonyabb szilárdságot mutat. Magas hőmérsékleten (550 °C) ezek az eltérések csökkentek.

A projektek egyik legfontosabb tanulsága, hogy a mini szakító próbatestek megbízható alkalmazásához szükség van a gyártási és mérési protokollok pontosítására, az inhomogenitások kiszűrésére (pl. keménységvizsgálattal), valamint a statisztikai megalapozottság érdekében a tesztszám növelésére. Az eredmények alapjául szolgálhatnak a szabványosítási törekvésekhez, és hozzájárulnak a nukleáris anyagvizsgálatok hatékonyságának és biztonságának növeléséhez, különös tekintettel a jövőbeni besugárzott mintákon végzendő mérésekre.

Hlavács Adrienn, Czagány Máté, Garami Attila, Barkóczy Péter

Spektrális alapú vizsgálatok alma, burgonya és répa rothadási folyamatának korai felismerésére (SO-07)

Az élelmiszeriparban a tárolási és forgalmazási veszteségek csökkentésének egyik kulcsa a minőségromlás korai detektálása. A hagyományos vizuális ellenőrzési módszerek korlátozottan alkalmasak a kezdeti rothadási folyamatok felismerésére, mivel azok a kezdeti stádiumban gyakran nem mutatnak szabad szemmel észlelhető elváltozást. Ennek kiküszöbölésére egyre nagyobb figyelem irányul a hiperspektrális képalkotás alkalmazására, amely lehetőséget nyújt a látható és közeli infravörös tartomány spektrális információinak felhasználására a termények belső és külső állapotának vizsgálatában. Munkánk során alma, burgonya és répa minták rothadási folyamatát vizsgáltuk laboratóriumi körülmények között, futószalagos mozgatással modellezve az ipari mintakezelést. A méréseket hiperspektrális kamerával végeztük, amely a 400–1000 nm

közötti spektrális tartományban rögzített adatokat. Az adatok feldolgozásához saját fejlesztésű szoftvert alkalmaztunk, a spektrális különbségek kiértékelését determinisztikus, matematikai alapú módszerekkel végeztük. Eredményeink igazolják, hogy a hiperspektrális képalkotás képes a rothadási folyamatok korai szakaszainak detektálására, még olyan esetekben is, amikor a minták szabad szemmel épnek tűntek. A módszer különösen ígéretesnek bizonyult futószalagos környezetben. Az eredmények alátámasztják, hogy a hiperspektrális technológia – megfelelő adatfeldolgozó szoftverrel kombinálva – hatékonyan támogatja a gyakorlati élelmiszer-minőségbiztosítást, hozzájárulva a veszteségek csökkentéséhez és a fogyasztói biztonság növeléséhez.

Hompoth Szabolcs¹, Czagány Máté¹, Bozzay Péter², Baumli Péter¹

Hordozó orientációjának hatása a Ni-P bevonatok tulajdonságára (SO-08)

A szuperkondenzátorok a korszerű energiatárolási technológiák ígéretes képviselői, melyek nagy teljesítménysűrűséget, hosszú élettartamot és gyors töltési/kisütési ciklusokat kínálnak. Ezen tulajdonságok különösen alkalmassá teszik őket a következő generációs, fenntartható és hatékony energiarendszerek integrációjára. Jelen kutatás célja kémiai redukciós úton előállított nikkel-foszfor (Ni-P) alapú elektródok kapacitás-teljesítményének optimalizálása volt 1 M KOH vizes elektrolitban. A rendszertervezés alapját az a felismerés adta, hogy a szuperkondenzátor működésében döntő szerepet játszik a bevonat felső 1–2 atomi rétege, így az előállítás reprodukálhatósága és stabilitása kulcsfontosságú. A vizsgálathoz használt redukciós fürdő térfogata 500 ml volt, hogy az oldatdinamika és a keverési egyenletesség javításával minimalizáljuk a bevonatképzési

hibákat. A minták pozicionálására 3D nyomtatással készült szubsztráttartót alkalmaztunk, amely biztosította az állandó merülési mélységet és orientációt a folyadékáramláshoz viszonyítva. A fürdő paramétereit Pitot-csőves és IV-alapú mérésekkel kalibráltuk, a bevonatok fajlagos kapacitását potenciosztáttal mértük. A kísérletek során 40 perces leválasztási időt és pH = 6,2 értéket alkalmazva egyértelműen kimutathatóvá vált, hogy a minta orientációja szignifikáns hatással van a fajlagos kapacitásra. A beavatkozások eredményeképp csökkent a bevonat tömegének és az elektrokémiai teljesítménynek a szórása, ezáltal stabilabb és reprodukálhatóbb rendszert sikerült kialakítani a Ni-P alapú szuperkondenzátorok fejlesztésében.

¹ Miskolci Egyetem, Anyag és Vegyészmérnöki Kar, Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Miskolc

Katona Bálint, Bödök Károly

A sub-size technika mint a maradék élettartam meghatározásának modern eszköze (SO-09)

A globalizált, és egyre inkább globalizálódó világgazdaságban igen markánsan jelenik meg tulajdonosi igényként, sőt követelményként a már működő berendezések üzemidejének meghosszabbítása. Ez leginkább érinti a vegyipar és az energetika teljes spektrumát, különösen a nyomástartó edényeket és csővezetékeket és minden olyan berendezést, amelyeknél nem az elhasználódás jól észlelhető formái korlátozzák az adott berendezés, szerkezet vagy szerkezeti elem további felhasználhatóságát.

Egy berendezés tervezett élettartamán túli üzemelésének feltétele – hasonlóan a létesítéshez – a szerkezeti anyag megfelelő szívóssága és szilárdsága, mivel csak ezzel garantálható a biztonságos üzemelés. Ezen tulajdonságokat roncsolásmentes vizsgálatokkal nem lehet teljes alapossággal meghatározni, mivel a mikro/sub-mikro szinten végbemenő változásokat nem, vagy csak részben képesek detektálni. A maradék élettartam meghatározásához így olyan modern vizsgálati eljárás alkalmazására van szükség, amely az adott berendezés szerkezeti anyagának aktuális állapotáról ad számszerű információt. Ezek az – aktuális – anyagjellemzők csak közvetlen, roncsolásos vizsgálatokkal határozhatók meg, amelyhez értelemszerűen a berendezésből ki kell

kimunkálni egy adott anyagtérfogatot, amelyen a szükséges vizsgálatok elvégezhetők. Tekintettel arra, hogy az elsődleges cél a maradék élettartam meghatározása, a kimunkálás nem veszélyeztetheti a szerkezet integritását és nem csökkentheti észlelhető mértékben magát a maradék élettartamot. E két feltételt figyelembe véve olyan vizsgálati eljárásra van szükség, amelynek minimális az anyagigénye.

Az általunk kifejlesztett mintavevő készülék kisméretű ($D=\varnothing 25$ mm, $H_{\max}=3$ mm), gömbsüveg alakú mintát vesz ki az adott berendezésből, ami – előzetes végeselemes szimulációval bizonyítottan – garantáltan nem befolyásolja az adott szerkezet üzembiztonságát. A kivett mintából (1. ábra) kimunkálásra kerülő próbatestek nem szorítkoznak a szakítóvizsgálatra, ezen kívül analitikai, mikroszerkezeti, finomszerkezeti és egyéb vizsgálatok egész sora alapján áll össze az az összkép, amire alapozva az adott szerkezet aktuális állapotáról felelősen nyilatkozni lehet. Az egész sub-size technika nagy előnye, hogy számszerűsíthető eredményekkel szolgál, ami jó műszaki becsléssel teszi lehetővé az adott szerkezet maradék élettartamának meghatározását.



1. ábra – Sub-size mintavételi hely (bal), valamint a kivett minta és próbatestek (jobb)

**Kárpáti Viktor¹, Kaptay György¹, Adonyi János², Barna Dániel³, Szabó Gábor⁴,
Végh Ádám¹, Koncz-Horváth Dániel¹, Nagy Erzsébet¹, Mertinger Valéria¹**

Nem konvencionális lemezes szerkezetek előállítása hengerléssel (SO-10)

Előadásunkban két gyakorlati példán keresztül bemutatunk nem konvencionális réteges szerkezetek előállítását és az ezekhez kapcsolódó tudományos és technológiai kihívásokat.

A CERN, a Wigner Fizikai Kutatóközpont és a Miskolci Egyetem 2019-ben közös projektet indított egy új típusú szeptum mágnes (SuShi – Superconducting Shield) fejlesztésére. A kulcselem egy NbTi/Nb/Cu réteges szupravezető lemezes kompozit, melynek költségcsökkentett, Nb réteg mentes változatát sikerült előállítanunk laboratóriumi, majd félüzemi méretben. A NbTi/Cu multirétegű

szupravezető kompozitot a CERN megvásárolta, és a Paul Scherrer Intézet érdeklődését is felkeltette.

Párhuzamosan egy új kutatási irányunk a hidrogéntárolás anyagtudományi kérdéseire fókuszál. A nagy entrópiájú ötvözetek (HEA-k) ígéretesek e területen, de ipari alkalmazásukat a magas előállítási költség korlátozza. Az előállítási költség csökkentésére réteges szerkezetű anyagokat fejlesztünk, amelyekben a drága Cantor-ötvözetet (CoCrFeMnNi) olcsó, alacsony karbontartalmú acéllal kötőhengereljük, megtartva az előírt falvastagságot.

¹ Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc Egyetemváros,

² West University, Trollhatten, Svédország

³ Wigner Fizikai Kutatóközpont, Nagyenergiás Fizikai Osztály, Budapest, Csillebérc

⁴ Miskolci Egyetem, Fémelőállítási és Öntészeti Intézet, Miskolc Egyetemváros

Kölös Martin L.^{1,2}, Kalácska Gábor^{2,3}, Béres Gábor J.¹

A halmazmórtó vizsgálatban rejlő potenciál vizsgálata vékonylemezek anyagjellemzése céljából (SO-11)

A korszerű ipari fejlődés eredményeként napjainkban számos szektorban megfigyelhető a technológiai eljárások és felhasznált anyagok rohamos fejlődése. Ennek egyik jelentős következménye a lemezanyagok széles körű alkalmazása, amely számos előnyös tulajdonságukra vezethető vissza. Ide sorolható többek között a tömeggyártásra való alkalmasság, a kis fajlagos tömeg, a kedvező mechanikai jellemzők, valamint a kiváló megmunkálhatóság. A lemezalkatrészek gyártástechnológiai folyamatának pontos megtervezéséhez elengedhetetlen az adott anyagra jellemző folyásgörbe ismerete, amely az anyag egytengelyű mechanikai igénybevételre adott válaszát írja le, és alapvető bemeneti paraméterként szolgál a numerikus szimulációk és gyártási folyamatmodellezések során.

Célkitűzés: Kutatómunkám során igyekszem vizsgálni a módszerben rejlő potenciált,

feltárni az irodalmakban található ellentmondásokat, feltárni, valamint vizsgálni a folyamatot nagyban befolyásoló fizikai törvényszerűségeket, jelenségeket. Célom elérése érdekében különböző magasság-átmérő aránnyal rendelkező hengeres vékonylemezpróbatestek halmazmórtását valósítom meg.

Eredmények: A szakirodalom számos, a vizsgálat végrehajtásával kapcsolatos pontban tartalmaz ellentmondásokat, legyen az a próbatestek geometriája, kialakítása, a halmaz pozícionálása vagy a kenési forma megválasztása. Eredményeim azt mutatják, hogy a módszer jó alternatívát biztosít a nyalakváltozási tartományban történő folyásgörbék meghatározására lemezanyagok esetén, ugyanakkor azon jelenségek korrekciója, mint a súrlódási körülmény vagy a karcsúsági viszony (esetemben magasság-átmérő viszony) kulcsfontosságúnak bizonyul.

¹ Mechanikai- és Lézersugaras Technológiák Kutatócsoport, Neumann János Egyetem, Kecskemét

² Műszaki Tudományok Doktori Iskola, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Gödöllő

³ Műszaki Intézet, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Gödöllő

Nagy Erzsébet¹, Daróczi Lajos², Asmaa A. Azim^{2,3}, Tóth László Z.²,
Mertinger Valéria⁴, Beke Dezső²

Akusztikus emissziós mérések FeMn(Cr) TWIP acél képlékeny alakítása során (SO-12)

Az ikerhatármozgás, valamint a feszültség indukált martenzites átalakulások meghatározó szerepet játszanak a nagy mangántartalmú acélok képlékenyalakítása során. Amint azt már korábban megmutattuk [1] a Fe17.7wt%Mn 2.26wt%Cr összetételű anyag gyors hűtése során keletkező fázisok (kb. 85% ε martenzit és 15% ausztenit) különböző feszültség indukálta átalakulást mutatnak 150°C feletti, illetve ez alatti deformációs hőmérsékletek esetében. Alacsonyabb hőmérsékleteken végzett deformáció során a ferromágneses tulajdonságokat mutató α martenzit keletkezése is kimutatható, míg magasabb hőmérsékleteken csak az ausztenit és az ε martenzit van jelen. Mivel mind az ikerhatárok, mind az említett átalakulásokhoz tartozó fázishatárok mozgása szakaszos

jellegű, így a deformáció során jelentős akusztikus aktivitásra számíthatunk. A szakítóvizsgálatokkal párhuzamosan akusztikus emissziós méréseket végeztünk a 25-250 °C hőmérséklettartományban. A 150 °C alatti hőmérsékleteknél az akusztikus aktivitás maximuma a képlékeny alakváltozás kezdetén figyelhető meg, míg 150 °C fölött alacsonyabb szintű, a teljes deformációs tartományban nagyjából egyenletes zajaktivitás észlelhető. Megvizsgáltuk a kumulatív zajenergia viselkedését a különböző deformációs hőmérsékleteken. A zajparaméterek (amplitúdó, energia stb.) statisztikus analízise során megmutattuk, hogy ezek statisztikai eloszlása hatványfüggvényekkel jellemezhető. Meghatároztuk az eloszlás-sűrűségfüggvények exponenseinek hőmérsékletfüggését is.

[1] A Talgotra et al. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 426, 012046

¹ HUN-REN ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem, Miskolc

² Szilárdtest Fizikai Tanszék, Fizika Intézet, Debreceni Egyetem, Debrecen

³ Physics Department, Faculty of Science Ain Shams University, Abbassia, Cairo 11566, Egypt.

⁴ Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem, Miskolc

Nagy Tibor Mihály, Gácsi Zoltán

A hegesztett kötések varrathatárainak objektív és reprodukálható kijelölése radiográfiai képelemzés során (SO-13)

A hegesztett kötések minőségellenőrzése során különösen fontos a radiográfiai felvételek objektív kiértékelési módszereinek fejlesztése. A kutatás célja az ipari gyakorlatban használatos, illetve a szakirodalomban részletesen ismertetett képfeldolgozási eljárások elemzése és továbbfejlesztése.

A radiográfiai felvételek elemzése során a vizsgálati terület kijelölése és meghatározása kulcsfontosságú. Különösen jelentős olyan hibák értékelése esetén, amelyek a határfelületi zónában találhatók meg. A kutatás során összehasonlítottuk az alkalmazható algoritmusokat, azok hatását a kiértékelhetőségre különös tekintettel a határfelületi hibákra.

Az értékelési terület kijelölése esetén a fő nehézséget a varrat geometriai tulajdonságai

jelentik hiszen csövek vizsgálata esetén a vetületi kép egy görbült felület. A vetületi kép alakjának kialakulásában fő szerepe a vizsgálati elrendezésnek és az alkalmazott technológiának van. Ezen információkat a radiográfiai felvételek azonosítóinak feldolgozásából származtathatóak. Fontos kiemelni, hogy a felvételek kiértékelése során ezen adatinformációk kinyerése is automatizáltan történik majd, kizárva a kézi adatbevitelt.

Mivel a vizsgálati protokollok egységes tanúsításának és minősítésének hiánya megnehezíti az eljárások értékelését és az eredmények összehasonlítását. Ezért az előadásban egy egyezményes minősítési és tanúsítási rendszer kidolgozásának fontos első lépéseit mutatjuk be.

Éva Kócsák¹, András Roósz², Arnold Rónaföldi², Zsolt Veres¹

Al-Si ötvözet eutektikumának és primer szilíciumának komplex minősítése (SO-14)

A jelenlegi kutatás a hipereutektikus Al-Si ötvözetek szerkezeti vizsgálatára irányult. Számszerűsíthető jellemzőket hoztunk létre az eutektikus szerkezet finomságára, valamint a primer szilíciumra vonatkozóan. A lemezes szerkezetű Al-Si eutektikum osztályozása kihívást jelent szabálytalansága miatt. A képelemzési módszerrel meglehetősen sok

információt nyerhetünk, de a feldolgozásukat bonyolítja, hogy egy 2 * 2 mm-es képen akár 300 000 lamellát is mérhetünk. A primer Si jellemzőinek megértése kulcsfontosságú a megszilárdulási körülmények ezen ötvözetek mikroszerkezetére gyakorolt hatásának előrejelzéséhez.

¹ Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet, Miskolc

² HUN-REN TKI, Budapest

Nagyné Fekete Mónika

Acél felületén kialakított bevonatrendszer vizsgálata (SO-15)

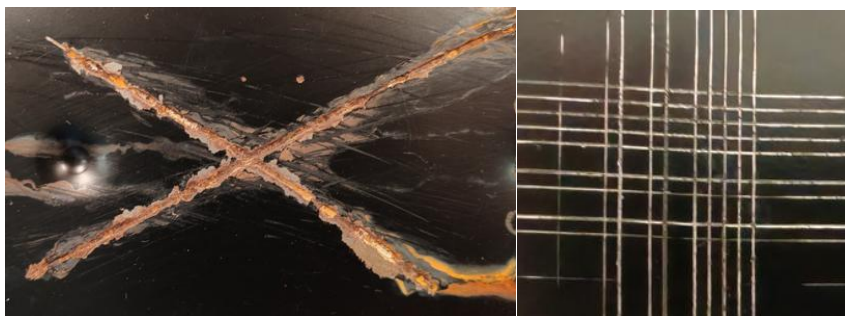
Napjainkban a fenntarthatóság egyre nagyobb hangsúlyt kap. A fenntarthatóságot több oldalról is megközelíthetjük. A keletkezett hulladék mennyiségének csökkentése, zöldenergia felhasználás és sorolhatnánk számos lehetőséget, de a zöldenergia felhasználás nem jelent energiamegtakarítást, a kevesebb hulladék mennyisége mögött nem biztos, hogy környezetbarát technológia áll.

Acél alkatrészek felületkezelése területén, főként a járműiparban a kataforetikusan festett alkatrészek előkezelése a lúgos zsírtalanítás mellett, a konverziós réteg képzése, trikationos cinkfoszfát oldattal történik. A trikationos cinkfoszfát oldat nehézfémeket tartalmaz a cink, mangán mellett a rákkeltő nikkelt is.

Elektroforetikus festés előtti felületen a konverziós réteg kiépítésére, szintén van lehetőség más típusú foszfátoszó oldattal, ami nem tartalmaz nehézfémet, erősen mérgező anyagokat. Ezzel a foszfátoszó oldattal acél felületén vasfoszfát réteg alakítható ki. Ezt a foszfátoszó oldatot, ha olyan adalékkal látjuk el, mint a magnézium-nitrát, igen jóminőségű bevonatrendszert lehet létrehozni az acél szubsztrát felületén.

Cél: Az autóiparban, a mezőgazdasági gépek és berendezések gyártásánál az alkatrészek (acél, öntöttvas, alumínium) felületén olyan bevonatrendszer kialakítása, aminek során nem alkalmazunk nehézfémeket, rákkeltő anyagokat. Mindemellett nem keletkeznek bizonyos veszélyes hulladékok, úgymint például a rákkeltő, nikkel tartalmú cinkfoszfát iszap.

Eredmények: Acéllemez, Q panel felületén vasfoszfát konverziós réteg kialakítása, különböző adalékos (molibdén, mangán, magnézium) foszfátoszószerezrel, majd KTL festékek bevonat képzése után különböző szabványok szerinti vizsgálata. A magnézium-nitrátos foszfátoszószernél, az adalék 0,525 g/l-es koncentráció mennyiségnél jó eredményt adott a mechanikai (ISO 2409 Kereszt-karc tesz, Gt0; ISO 6272 Impact teszt, 1 m-ről megfelelt; ISO1519 Hengeres tűskén történő hajlítás, 10 mm-nél megfelelt) vizsgálatoknál. A KTL festéssel kiképzett Q paneleket sós permet kamrában, 500, illetve 720 órára korróziós igénybevételnek kitéve ISO 9227 szerint, a kereszt-karc mentén az alározsdásodás mértéke nem haladta meg a 2 mm-t, a lemezeken rozsda pötty nem volt látható és élkorrózió is elhanyagolható mértékű volt.



1. ábra – Magnézium-nitrát adalékos foszfátoszószerezrel kikészített Q panel, 720 óra sós permet teszt után, illetve, kereszt-karc vizsgálatról készült felvétel

Novotny Tamás, Perez-Feró Erzsébet

Cirkóniumburkolat hidrogénleadása (SO-16)

A cirkónium alapú fűtőelemburkolatok korróziós körülmények között képesek hidrogént elnyelni, amely a reaktor üzemideje alatt vagy a kiegészített fűtőelemek hosszú távú tárolása során befolyásolhatja az anyag mechanikai tulajdonságait. A fűtőelemgyártók által előírt 400 ppm-es maximális hidrogéntartalom felett a burkolat elridegedhet. Jelen kutatás célja a hidrogén deszorpciójának tanulmányozása a száraz tárolás során előforduló hőmérsékleteken, különös tekintettel a szobahőmérsékletre és a száraz tárolás során maximálisan megengedett 410 °C-ra. Ezen felül megvizsgálni a hidrogénleadást magasabb, 600 °C-os hőmérsékleten is.

A vizsgálatok során E110 típusú cirkóniumötvözet minták kerültek hidrogénezésre, majd különböző módszerekkel értékeltük a hidrogénleadás mértékét. Szobahőmérsékleten 651 napon keresztül végzett tömegmérések alapján a

hidrogéntartalom nem változott. A 410 °C-on végzett vákuumos hőkezelések során sem történt érdemi hidrogénleadás. Ezzel szemben 600 °C-on a deszorpció mértéke jelentős volt: óránként akár 100 ppm hidrogén távozott a mintából. A mérések forró extrakciós módszerrel, ELTRA ELEMENTRAC® OH-p készülékkel történtek.

Következtetésként megállapítható, hogy a jelenlegi tárolási hőmérsékleti határérték (410 °C) biztonságosan alkalmazható, mivel a burkolatból nem történik értékelhető hidrogénleadás. Ugyanakkor 600 °C felett a burkolat hidrogéntartalma már jelentősen csökkenhet, így nem biztosított a burkolat eredeti hidrogéntartalmának megőrzése és a felszabaduló hidrogéngáz potenciális biztonsági kockázatot jelentene. Eredményeink hozzájárulhatnak a hosszú távú nukleáris hulladéktárolás hőmérsékleti biztonsági határainak pontosításához.

Sepsi Máté¹, S. Tóth László^{1,2}, Szűcs Máté¹, Kárpáti Viktor¹, Sziklai Benedek¹, Mertinger Valéria¹

FALEP* eljárás adta új dimenzió a képlékenyalakításban (SO-17)

A FALEP eljárás egy olyan intenzív képlékenyalakítási módszer (angol rövidítés: SPD), amely során az alakváltozás extrém nagy nyírás hatására történik meg szobahőmérsékleten, egy lépésben. Az alakító szerszámban tetszőleges vastagságcsökkenés érhető el a munkadarabon a mozgó szerszám által biztosított nyírás folyamatában, miközben a kényszer alatt deformálódó alapanyagra jellemzően kis terhelő erő (F) hat mind a vertikális, mind a horizontális tengely irányából. Így az eljárásnak sokkal kisebb az energiaszükséglete, mint az eddigi bármely más SPD technikáé. Az alakváltozás során az anyagban ultrafinom vagy akár nanométerű

szemcsék alakulnak ki, aminek hatására extrém szilárdság növekedés, az adott ötvözetre jellemző elméleti legnagyobb szilárdság is elérhető.

A FALEP eljárásról eddig csak három publikáció jelent meg [1-3], de bizonyosnak látszik, hogy a FALEP lesz a legfontosabb SPD eljárás, ami ipari alkalmazásra kerülhet.

Az előadás a Miskolci Egyetemen 2024-ben beüzemelt saját tervezésű és építésű mini-FALEP eszközzel végzett kutatási eredmények összefoglalása.

*Friction-Assisted Lateral Extrusion Process

Hivatkozások:

- (1) Tóth, L. S.; Sepsi, M.; Szűcs, M.; Kumaran, S. N.; Lowe, T. C. The Mechanics of the Friction-Assisted Lateral Extrusion Process. *J Mater Sci* 2024, 59 (14), 6059–6074. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-09245-1>.
- (2) Pariyar, A.; VU, V.; Kailas, S. V.; Toth, L. Room-Temperature Single-Step Production of Ultrafine-Grained Bulk Metallic Sheets from Al Powder. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 2023, 1–18. <https://doi.org/10.1115/1.4062582>.
- (3) Vu, V. Q.; Toth, L. S.; Beygelzimer, Y.; Zhao, Y. Microstructure, Texture and Mechanical Properties in Aluminum Produced by Friction-Assisted Lateral Extrusion. *Materials* 2021, 14 (9), 2465. <https://doi.org/10.3390/ma14092465>.

¹ Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc Egyetemváros

² Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3, F-57000 Metz, France

Sziklai Benedek¹, Sepsi Máté¹, S. Tóth László^{1,2}, Kárpáti Viktor¹,
Mertinger Valéria¹

FALEP eljárással alakított lemezes kompozitok vizsgálata (SO-18)

Az intenzív képlékenyalakítási eljárások (SPD) közül kiemelkedik a FALEP (Friction Assisted Lateral Extrusion Process) módszer, mellyel egy lépésben lehet korlátlanul nagy mértékű alakváltozást elérni [1]. A módszer előnyei közé tartozik, hogy nem csak tömbi anyagok alakítására alkalmas, hanem egy lépésben képesek vagyunk multiréteges kompozitot gyártani ezenkívül, a többi intenzív képlékenyalakítási eljárással szemben nem csak a magas szintű tudományban lehet

használni, hanem az ipar számára előnyös és nagyméretű anyagot is lehet vele gyártani.

Jelen kutatómunkám során az intézetünkben 2024-ben beüzemelt FALEP berendezés segítségével egy lépésben, hidegen előállítok olyan lemezes modell kompozitokat, melyek felskálázva az ipar számára is érdekesek lehetnek, majd ezeket finomszerkezetvizsgálati eszközökkel (SEM, FIBSEM) és mechanikai anyagvizsgálati módszerekkel minősítem.

- [1] N. Tamotasu, H. Masashi, I. Haruki, és T. Yasuji, „Development of Friction-Assisted Extrusion Process for Producing Thin Metal Strips”, *JSME*, o. 6, 1995.

¹ Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc Egyetemváros

² Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3, F-57000 Metz, France

Végh Ádám¹, Kaptay György^{1,2}

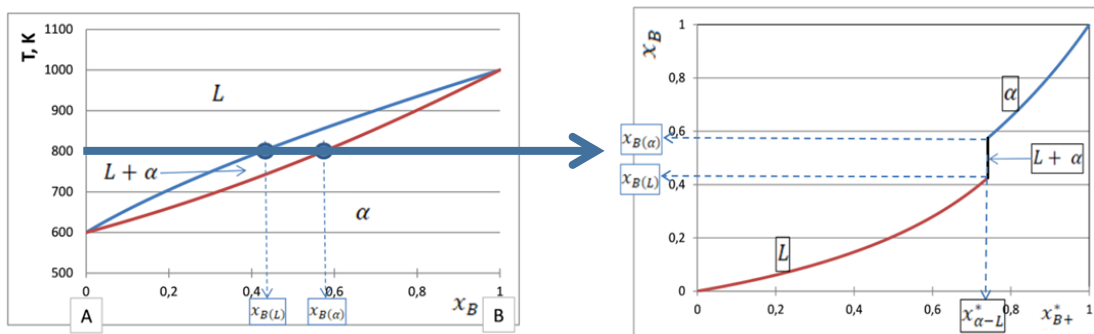
Elektrokémiai diagramok binér rendszerek galvanosztatiszikus leválasztása esetén (SO-19)

Az elektrokémiai diagramoknak (ECD = Electrochemical Diagram) binér komponensek galvanosztatiszikus elektrokémiai leválasztása esetén van jelentőségük. Az ECD diagramok állandó hőmérsékleten és nyomáson valamint kis áramsűrűség mellett (ami az egyensúlyi feltétel) megmutatják, hogy az elektrolitban lévő ionos vegyületek függvényében milyen lesz a katódon leválasztott fázisok minősége és összetétele [1]. Ezen diagramok megszerkesztése tehát hasznos eszköz az elektrokémiai szintézissel előállított anyagok tervezéshez. Ilyen pl. a Cu-Sn rendszer, amit bevonatként korrózióvédelemre, dekoratív

rétegek, vagy lítium akkumulátoroknál anódként használnak [2].

Az ECD diagramok megszerkesztéséhez három elektrokémiai szabály alkalmazása szükséges, melyek a Gibbs-féle termodinamikai egyenletekből [3] levezethetők. Ezek a szabályok nemcsak binér, hanem többkomponensű rendszerekre is érvényesek.

Az előadásom során bemutatom az ECD diagramok termodinamikai hátterét és mutatok valós fémes binér rendszerekre számolt ECD diagramokat is összevetve kísérleti adatokkal.

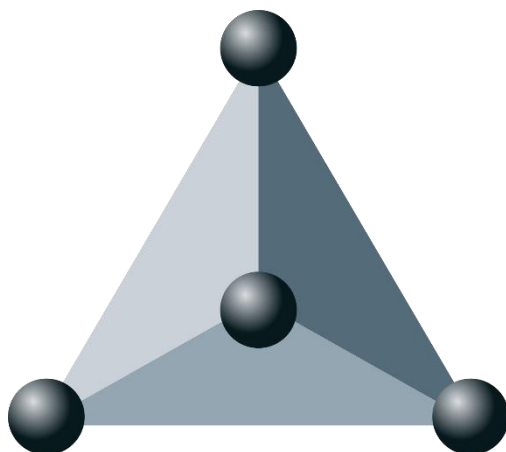


1. ábra: Egy szilárd oldatos fázisdiagram és egy hozzá tartozó elektrokémiai diagram [1]

- [1] George Kaptay: Electrochemical diagrams showing equilibrium cathodic phases and their compositions as function of electrolyte composition and type of alloy phase diagram. *Electrochimica Acta* 484 (2024): 144002.
- [2] F. C. Walsh and C. T. J. Low: A review of developments in the electrodeposition of tin-copper alloys. *Surface and Coatings Technology* 304 (2016): 246-262.
- [3] J.W. Gibbs: On equilibrium of heterogeneous substances. *Trans Connect Academy*, 3 (1875-1876) 108-248 and 3 (1877-1878) 343-524.

¹ Miskolci Egyetem, Nanotechnológiai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

² MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, 3515 Miskolc-Egyetemváros



Poszter előadások

Bedő Tibor Dániel¹, Lukács János², Szabó Gábor¹

A hidrogén hatása a földgázszállító rendszerekben alkalmazott acélcsövek integritására (P-01)

Az utóbbi évek energiapolitikai irányvonalai egyre hangsúlyosabbá teszik a hidrogén alkalmazását az energiaellátás- és energiafelhasználás terén. Különös figyelem fordul a hidrogén földgázszállító infrastruktúrában történő lehetséges szállítására és a fogyasztók által történő felhasználására, amely révén jelentős mértékben hozzájárulhat az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérsékléséhez.

Ugyanakkor a hidrogén jelenléte az acélcsövek szerkezeti integritására összetett hatással van, amely komoly kihívásokat jelent a meglévő rendszerek tartós biztonságos üzemeltetése során. A mikroötvözött acélcsövek, amelyek meghatározóak a földgázszállító hálózatokban, különösen sérülékenyek lehetnek a hidrogén által kifejtett károsító hatásokkal szemben. Jelen szakirodalmi áttekintés-, körkép célja, hogy részletesen elemezze a hidrogénnek az acélszerkezetre gyakorolt hatásait. A hidrogén

okozta ridegedés és repedésképződés jelenségeit a szakirodalomban széles körben kutatják, ezzel párhuzamosan az ipari szabványok és előírások is folyamatosan alkalmazkodnak a felmerülő kihívásokhoz. Külön hangsúlyt kell fektetünk a hegesztési technológiák vizsgálatára is, tekintettel arra, hogy a csővezetékek elemeit rendszerint hegesztéssel egyesítik, így a hegesztett kötési zónák hidrogénre való érzékenysége kiemelt figyelmet érdemel.

Az áttekintés célkitűzése, hogy bemutassa a legfrissebb kutatási eredményeket, amelyek rávilágítanak a hidrogén acélcsővezetékek integritására gyakorolt hatásaira. Továbbá olyan ajánlásokat is törekszik megfogalmazni, amelyek segíthetnek az optimális anyagválasztás és a megfelelő karbantartási stratégiák kialakításában, ezzel biztosítva a jövőbeni hidrogénszállítás hosszú távú biztonságát.

¹ Miskolci Egyetem, Fémelőállítási és Öntészeti Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

² Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet, 3515, Miskolc-Egyetemváros

**Berczeli Miklós¹, Tajti Ferenc¹, Pécsi-Kovács Péter¹, Körömi Benjamin Márk¹,
Weltsch Zoltán²**

Ragasztott kötések fejlesztése felületkezelési eljárásokkal (P-02)

A szerkezeti ragasztott kötések térhódítása az ipari gyártástechnológiákban megkérdőjelezhetetlen. A könnyűszerkezetes járműgyártás, az építőipari moduláris rendszerek, valamint az elektromos eszközök szerelése mind egyre nagyobb mértékben támaszkodnak a korszerű ragasztástechnológiákra. Ugyanakkor a ragasztott kötés minőségét alapvetően meghatározza az előkészített felület állapota. A hagyományos kémiai előkezelések (pl. savazás, foszfátózás, oldószeres zsírtalanítás, primerezés) nemcsak környezetterhelők, de gyakran munka- és technológiai biztonsági problémákat is okoznak, miközben sok esetben nehezen automatizálhatók. Kutatásunkban egy olyan alternatív, kémiai szerek nélkül alkalmazható eljárás-készletet mutatunk be, amely a ragasztott kötések szilárdságát és tartósságát nagyenergiájú felületkezelésekkel (légköri hidegplazmasugaras aktiválás és lézersugaras felületmódosítás) optimalizálja. A kiterjedt laboratóriumi kísérletek során különböző fém- és polimer alapanyagokon vizsgáltuk, hogy a felület mikro- és nanostruktúrájának, valamint energiaszintjének változása hogyan befolyásolja a ragasztott kötés nedvesíthetőségét, adhéziós jellemzőit és végső mechanikai teljesítményét. Az egyik legfontosabb eredményünk, hogy plazmasugaras kezelés során több anyagtípuson sikerült elérni a 0°-os peremszöget, amely teljes nedvesítést és optimális tapadási potenciált jelent. Különösen a polimereken mutattunk ki olyan

paraméterkombinációkat, ahol a felület hidrofilitása maximálissá vált. Míg fémek esetén mind a plazmasugaras mind a lézersugaras kezelésekkel értünk el jó nedvesítés-változtatási eredményeket. A szakítószilárdsági mérések során több mint 200–400%-os szilárdságjavulást értünk el bizonyos kombinációk esetén a kontroll, kezeletlen mintákhoz képest. Az is bizonyítást nyert, hogy a felületkezelés nemcsak az adhéziós erőt javítja, hanem módosítja a tönkremenetel típusát is – a ragasztófelületről való leválás helyett egyre gyakoribbá váltak a kohéziós vagy vegyes módú hibák, ami a kötés megbízhatóságát és tartósságát is növeli. A kutatások során az alkalmazott vizsgálati módszereket (peremszögmérés, ragasztott szakítóvizsgálatok, tönkremeneteli fotódokumentáció), a fejlesztett felületkezelési paramétereket és a technológiai optimalizálási folyamat főbb lépéseit is ismertetjük. Az eredmények ipari adaptációja számos ágazatban (autóipar, elektronikai szerelés, építőipari szerkezetek) közvetlen hasznot hozhat – legyen szó alacsony környezetterhelésű gyártásról, magasabb kötésszilárdságról vagy a kémiai anyagok kiváltásáról. Munkánk célja, hogy rámutassunk, hogy a ragasztott kötések megbízhatósága nem kizárólag technológiai kérdés, hanem mélyreható anyagtudományi összefüggések eredője – a felületi topográfia, a nedvesítési tulajdonságok és a ragasztóanyagok közötti kölcsönhatások precíz feltárása elengedhetetlen a jövő ragasztási rendszereinek tervezéséhez.

¹ Neumann János Egyetem, Kecskemét

² Széchenyi István Egyetem, Győr

Bódi Virág Luca, Jakab Sándor Kálmán, Lendvai László

Fröccsöntéssel történő többszöri újrahasznosítás hatása a politejsav tulajdonságaira (P-03)

Az elmúlt években egyre jelentősebb hangsúlyt kapnak a környezet megóvására szolgáló jogszabályok és nemzetközi irányelvek, amelyek többek közt a hagyományos petrokémiai módon előállított polimerek előállítását és felhasználását próbálják mérsékelni. Ennek köszönhetően egyre nagyobb szerepet kapnak a biopolimerek. A biopolimerek közül a legnagyobb mennyiségben alkalmazott anyag típus a politejsav (PLA), amely egy megújuló erőforrásból származó és biotikus környezetben lebontható alapanyag. Azzal a céllal, hogy a PLA előállításához szükséges energia annak hasznos élettartamát követő lebontás révén kárba ne vesszen, a lebontás mellett egyre többször felmerül az újrahasznosításának lehetősége.

Mint az a hagyományos polimerek esetében is ismert, az újrahasznosítás következtében

csökken az anyag molekulatömege, emiatt romlanak a feldolgozott anyag mechanikai tulajdonságai. A polimerek ömledékes feldolgozása során különböző eljárások esetén eltérő mértékű termikus- és nyíróigénybevételnek vannak kitéve, ami hozzájárulhat az újrahasznosítási ciklusok során bekövetkező molekulatömeg-csökkenés mértékéhez.

Kutatómunkánk során a politejsav többszöri újrahasznosítási ciklusait modelleztük fröccsöntéssel eljárás segítségével, amellyel tíz újrahasznosítási ciklust hajtottunk végre. A célunk az volt, hogy megvizsgáljuk az eredeti gyártású, valamint az egyszer, háromszor, ötször és tízszer újrahasznosított minták mechanikai és termikus tulajdonságait, valamint összefüggéseket keressünk a mechanikai tulajdonságok és a molekulatömeg változása között.

Szoboszlai András¹, Bou Akl Mouawad², Budai István²

Gélesedési folyamatok feltárása gyógyszerformula előállításához (P-04)

Egy prototípust, valamint egy új eljárást mutatunk be a metronidazol-részecskék különböző méreteit tartalmazó olvadéksuszpenzió ultrahangos habosítására szolgáló folyamatos technológia keretében. Vizsgálataink igazolták, hogy a hatóanyag részecskemérete befolyásolja a habosodás mértékét. Amennyiben a részecskeméret meghaladja a 180 mikront, megfelelő sűrűség érhető el, a készítmények látszólagos sűrűsége pedig kisebb, mint a gyomornedvé. A csapdázott gázbuborékok eloszlásának a d90/d10 arány alapján történő jellemzése lehetővé tette annak megállapítását, hogy 100 alatti érték esetén a kapszulák lebegőképességet mutatnak.

A mikro-CT vizsgálatok eredményei alapján a formulában kialakuló üregek zárt cellákból épülnek fel, amelyek száma a részecskeméret növekedésével emelkedik. A buborékok a teljes mátrixon belül homogén módon oszlanak el, méretük átlagosan 200–800 µm tartományba esik. A hatóanyag szintén egyenletes eloszlást mutat, részecskemérete a habosítás után nem tér el jelentősen a habosítás előtti állapottól. A mikro-CT felvételek megerősítik, hogy a hatóanyag nem mutat lokális feldúsulást, hanem egyenletesen diszpergálódik a mátrixban.

A buborékeloszlás vizsgálatának célja a lebegőképesség és a csapdázott buborékok

térbeli megoszlása közötti kapcsolat feltárása, továbbá a hatóanyag-részecskeméret és a buborékdistribúció közötti összefüggés tisztázása. A gázbuborékok eloszlásának elemzése mikro-CT felvételek alapján történt. A hisztogramok tanúsága szerint a kapszulákban a d10 buborékok aránya közel azonos, ugyanakkor a d50 és d90 értékek esetében eltérés mutatkozik. A sűrűségvizsgálatok igazolták, hogy az A, B és C jelű minták nem mutatnak lebegőképességet, jóllehet magas arányban tartalmaznak kis méretű buborékokat. A B mintában a nagy átmérőjű buborékok aránya megközelíti a 10%-ot. Következtetésként megállapítható, hogy önmagában a kis és/vagy nagy átmérőjű buborékok viszonylag magas aránya nem biztosítja a kapszula lebegőképességét. Ezt támasztja alá az F és G jelű minták vizsgálata, amelyekben nagyobb arányban találhatók 0,22 mm-nél kisebb átmérőjű buborékok. A lebegés alapfeltétele, hogy a készítmény sűrűsége kisebb legyen, mint a közegé, amelyben lebeg. Ehhez azonban hozzájárul az is, hogy a buborékok eloszlása homogén legyen a mátrixban; ellenkező esetben a kapszula nem rendelkezik kiegyensúlyozott tömegeloszlással. A csapdázott gázbuborékok eloszlásának d90/d10 aránnyal való jellemzése alapján kijelenthető, hogy 100 alatti érték esetén a kapszulák lebegőképességet mutatnak.

¹ Neopac Hungary Kft., Debrecen

² Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen

³ Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen

Buga-Kovács Luca¹, Szathmáry Gergely Ábel², Horváth Norbert¹

Szürke nyár fafizikai tulajdonságainak és bazídiumos gombákkal szembeni ellenálló képességének vizsgálata két termőhely viszonyában (P-05)

A szürke nyár (*Populus × canescens*) egy gyakori, gazdasági szempontból is jelentős, alföldeken gyakori fafaj, amely különböző termőhelyeken eltérő tulajdonságokat mutathat. A dolgozat célja annak vizsgálata volt, hogy e fafaj faanyaga milyen mértékben ellenálló két különböző termőhely – Császártöltés és Jánoshalma – esetében a bazídiumos farontó gombákkal szemben. A vizsgálatok során két gombafaj – a fehér korhadást okozó lepketapló (*Coriolus versicolor*) és a barna korhadást előidéző pincegomba (*Coniophora puteana*) – hatását tanulmányoztuk laboratóriumi körülmények között.

A vizsgálati próbatesteket az MSZ EN 113 szabvány szerint készítettük el, és egyensúlyi fanedvesség, sűrűség, valamint gombaállóság szempontjából elemeztük őket. Az eredmények

alapján a jánoshalmi minták magasabb sűrűséget (átlagosan 442,12 kg/m³) és nagyobb egyensúlyi nedvességtartalmat (6,06%) mutattak, mint a császártöltésiek (395,73 kg/m³, 5,20%). A gombaállósági vizsgálatok szerint a jánoshalmi minták mindkét gombafaj esetében kisebb tömegvesztést szenvedtek el, ami nagyobb ellenálló képességre utal.

A kutatás eredményei azt mutatják, hogy a termőhelyi adottságok – mint például a talajminőség és a klimatikus viszonyok – befolyásolják a szürke nyár faanyagának fizikai tulajdonságait és gombaállóságát. A jánoshalmi eredetű faanyag ebből a szempontból kedvezőbb tulajdonságokat mutatott, így előnyösebb lehet ipari felhasználás szempontjából.

Kulcsszavak: szürke nyár, gombaállóság, *Coriolus versicolor*, *Coniophora puteana*, faanyagvédelem, termőhelyi hatások

¹ Soproni Egyetem, Sopron

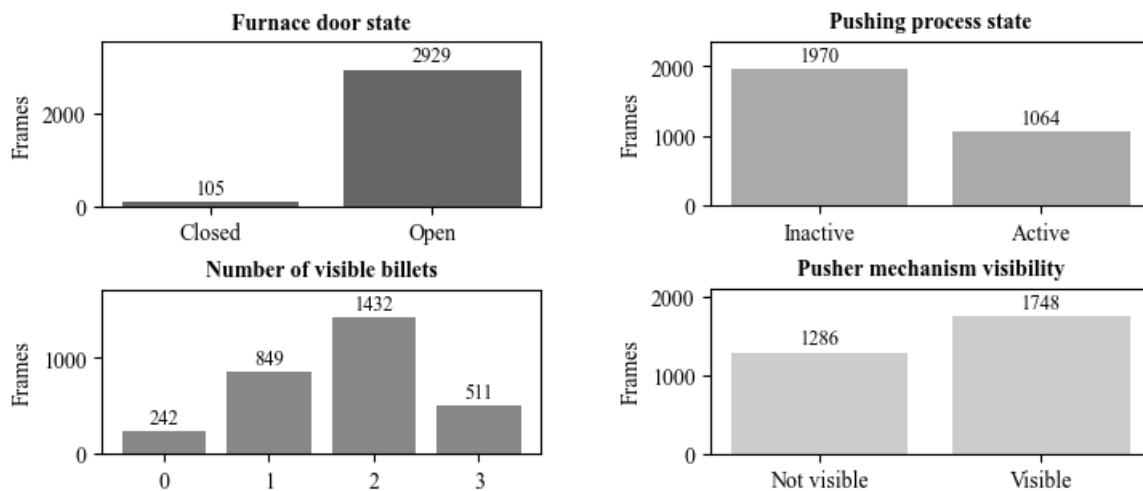
² I.G.M.-H. Kft., Budakalász

Forgács Zsófia

Analóg kamerán alapuló képfeldolgozó rendszer tervezése bugák detektálásához (P-06)

A poszter egy acélgyártási folyamatokhoz kapcsolódó, statisztikai képfeldolgozáson alapuló megközelítést mutat be, amelynek célja a felvételen látható bugák detektálása és pozícióadatainak továbbítása a központi irányítórendszer felé. Az analóg kamera jeleinek digitalizálását követően további kihívást jelent, hogy a bugák kontúrjai a zajos ipari környezet, a hőterhelés és a szennyeződések miatt csak gyenge intenzitáskülönbséggel azonosíthatók a felvételen.

A vizsgálatokhoz egy saját fejlesztésű annotációs keretrendszer készült, amely üzemi videófelvételekből kiválasztott, kézzel címkézett képi adatbázist használ. A struktúra bináris és kategorizált attribútumokat tartalmaz, lehetővé téve az algoritmusok kimeneteinek objektív összevetését a referenciával, valamint különböző teljesítménymutatók számítását.



1 ábra – Az annotációs keretrendszer attribútumai

Gál Rajmond¹, Forgács Zsófia², Kaptay György^{1,3}

Anyag- és hőmérlegeken alapuló modelltervezés elektromos ívkemencéhez (P-07)

Az elektromos ívkemence a másodlagos acélgyártás meghatározó technológiája, amelyben a folyamatok pontos ismerete alapvető feltétele a hatékony és stabil működésnek. Az üzemi működést azonban összetett hő- és anyagátadási jelenségek, valamint bonyolult metallurgiai reakciók jellemzik, amelyek rendszerszintű leírása szükséges a folyamat optimalizálásához.

A kutatás célja egy olyan elméleti modell kidolgozása, amely a folyamat hő- és anyagmérlegének, valamint a metallurgiai reakciók dinamikájának leírására alkalmas. A modell tervezése a hőbevitel, az oxidációs és redukációs folyamatok, valamint a salakképződés kölcsönhatásainak integrációját célozza meg.

A vizsgálatok első fázisában részletes anyagmérleg készült, amely 45 kiválasztott adag üzemi adatain, laboratóriumi

vegyelemzésein és salakvizsgálatain alapult. A naiv anyagmérlegből kiindulva iteratív módosítások révén sikerült közelíteni a bevitt és kivitt komponensek egyensúlyát, figyelembe véve a szennyezőanyagok (pl. föld, saválló acél, alumínium- és rézhulladék) és a falazat beoldódásának hatását. A globális mérleg már kielégítő pontossággal zárult, ugyanakkor több elem esetében további finomhangolás vált szükségessé.

Az így kialakított keretrendszer hozzájárulhat a gyártási bizonytalanságok csökkentéséhez, a folyamat finomhangolásához, valamint megalapozhatja további kutatómunkák, például digitális iker modellek fejlesztését. A poszter az acélgyártási technológia bemutatása mellett összegzi az anyagmérleg kiértékelését szolgáló szoftver fejlesztését, továbbá megfogalmazza a későbbi modellbővítés lehetséges kutatási irányait.

¹ Miskolci Egyetem Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

² Miskolci Egyetem Automatizálási és Infokommunikációs Intézet, Miskolc

³ HUN-REN-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Miskolc

Jakab Sándor Kálmán, Lendvai László

Politejsav/polibutilén-adipát-*ko*-tereftalát/repceszalma őrleményből készült biopolimer kompozitok vizsgálata (P-08)

Napjainkban az anyagfejlesztéssel kapcsolatban az egyik legfontosabb kutatási terület a fenntartható, körforgásos gazdaság elvének eleget tevő új anyagok megalkotása, amely révén elérhető a hulladékszigetek számának és méretének csökkenése, valamint a megújuló erőforrások hatékonyabb kiaknázása. A műanyagipar – amely jelenleg erősen hagyatkozik fosszilis, nem megújuló nyersanyagokra – aktívan szerepet játszik ebben a megújuló erőforrásból származó és biológiai úton lebontható alapanyagok – az ún. biopolimerek – bevezetése révén.

Biopolimereknek azokat a műanyagokat nevezzük, amelyek természetes erőforrásokból származnak és/vagy képesek természetes úton rövid időn belül lebomlani környezetterhelés nélkül. Ezen környezetbarát anyagok egyik legjelentősebb képviselője jelenleg a politejsav (PLA), ami egy olyan polimer, amit növényi részek fermentálás útján hoznak létre. A PLA a 3D nyomtatás egyik leggyakrabban használt alapanyaga, emellett pedig a csomagolóiparban

és gyógyászati segédeszközök gyártására is használják. Mechanikai tulajdonságaiban hasonló több tömegműanyaghoz, ám azokhoz képest rendkívül rideg, dinamikus mechanikai terheléseknek kitett környezetben ritkán használható. A szívósság javítása miatt a kutatók előszeretettel társítják polibutilén-adipát-*ko*-tereftaláttal (PBAT), egy részben fosszilis erőforrásból előállított polimerrel, amely a PLA-hoz hasonlóan képes természetes úton lebomlani, éppen ezért szintén a biopolimerek közé sorolható.

Kutatásunkban PLA/PBAT keveréket azok tulajdonságainak módosítása, valamint előállítási költségeinek csökkentése céljából egy harmadik összetevővel, a hazai mezőgazdaság melléktermékeként keletkező repceszalma-őrleménnyel társítottuk különböző arányban. A szalma hozzáadásának hatását a mechanikai, fizikai, morfológiai és termikus tulajdonságok feltérképezése révén értékeltük ki.

Kondás Béla, Mertinger Valéria

Próbatestszél mikrostruktúra hatása a szakítóvizsgálati eredményekre (P-09)

A szakító próbatest előkészítő technikák mechanikai anyagtulajdonságokra gyakorolt hatása jól ismert tény. Azonban a témában született korábbi publikációk nem vették figyelembe az eredmények értékelésekor az alapanyag inhomogenitásából származó szórást. Jelen kutatásunkban a szakító

próbatesteket közel teljesen homogén alapanyagból munkáltuk ki stancolással, marással és lézervágással. A szakítóvizsgálati eredményeket az alapanyag gyártója által tanúsított mechanikai értékekkel hasonlítottuk össze.

László Noémi, Kiszél Domokos, Bán Alex Máté

Alternatív ötvözőelemek antimon helyettesítésére ólomalapú ötvözetekben: Mechanikai tulajdonságok és mikroszerkezeti hatások (P-10)

Az antimon (Sb) az egyik leggyakrabban alkalmazott ötvözőelem az ólom (Pb) alapú ötvözetekben, amelyeket széles körben alkalmaznak különféle ipari területeken, mint például a lőszergyártás, akkumulátorok gyártása – rácscok és elektródák anyagaként – nyomdaipari szedőfémek előállítása, valamint csapágyötvözetek készítése, továbbá speciális alkalmazásként sugárvédelmi célokra, és védőburkolatok anyagaként.

Az antimon már kis mennyiségben, az ólomhoz történő hozzáadásával is jelentős hatást gyakorolhat az ötvözet mechanikai tulajdonságaira, különösen a keménységre, szilárdságra és kopásállóságra. Ez elsősorban az antimon szemcseszerkezetre gyakorolt hatásával magyarázható, amellyel a kristályszerkezet stabilitása és tartóssága javítható. Emellett csökkenti a fém belső feszültségeit, ami előnyös az alakíthatóság és a hosszú távú mechanikai ellenállás szempontjából.

Az antimon jelenléte javítja az ötvözet önthetőségét és megmunkálhatóságát is, amely különösen fontos olyan alkalmazásoknál, ahol precíziós formázás vagy öntés. A lőszergyártásban például az ólom-antimon ötvözetekből készült lövedékek keménysége és alakmegőrző képessége jelentős előnyt jelent. Az akkumulátorok gyártásában az antimon a rácsszerkezet szilárdságát növeli, amely kritikus a hosszú élettartam és a mechanikai stabilitás szempontjából.

Napjainkban az antimon beszerzése jelentős kihívások elé állítja az iparágakat világszerte. A

globális ellátási lánc zavarai és a növekvő árak miatt egyre nagyobb az igény fenntartható és költséghatékony helyettesítő, az antimont kiváltó ötvözők és ötvözetek iránt. Az iparág szereplők éppen ezért innovatív megoldások kidolgozására fókuszálnak az antimon pótlására, ezzel csökkentve a piaci bizonytalanságokból adódó kockázatokat.

Jelen kutatás tárgya az antimon – mint ötvözőelem – helyettesíthetőségének tanulmányozása, továbbá a lehetséges ötvözőelemek mechanikai tulajdonságokra (pl. keménység) és mikroszerkezetre gyakorolt hatásainak vizsgálata ólomötvözetek esetén. A kutatás első lépcsőjeként a hazai és nemzetközi szakirodalmak áttekintésével feltérképezésre kerültek a mechanikai tulajdonságok javítása szempontjából legígéretesebbnek tartott ötvözőelemek, melyek beadagolásával Pb-alapú ötvözetek kerültek előállításra. A kutatás további szakaszában az ötvözet vegyi összetételét szikra-OES elemzéssel határoztuk meg, míg az optikai mikroszkópos vizsgálatokkal az ötvözőelemek mikroszerkezetre – különös tekintettel a szemcsefinomításra – gyakorolt hatását elemeztük. Az ötvözőelemek keménységnövelésben betöltött szerepét műszerezett keménységméréssel vizsgáltuk. A kutatás végső célja egy olyan ötvöző vagy ötvözőelem-kombináció meghatározása, mely megfelelő alternatívaként szolgálhat az antimon kiváltására ólomalapú ötvözetek esetén, a mechanikai tulajdonságok megtartása mellett.

Mankovits Tamás¹, Alkentar Rashwan¹, Trisovic Natasa², Petrovic Ana², Huri Dávid¹, Manó Sándor¹

Cellás szerkezetű 3D nyomtatott titán implantátumszár vizsgálata (P-11)

A jelenleg alkalmazott implantátumok helyett mára nagy elvárás a személyre szabott implantátumok alkalmazása. Fémnyomtatással előállított és orvosszakmai szempontok alapján megfelelő helyeken nyitott cellaszerkezettel kikönyített titán implantátum számos meglévő problémát (pl. implantátum csonthoz történő jobb rögzülése, a csont merevségéhez közelítő implantátum szilárdság) tud megoldani. A fejlesztés jelenleg ott tart, hogy rendelkezésre áll az a technológia, amellyel titánnymtatásra képesek vagyunk, viszont az ebből kifejlesztett cellás szerkezetek még nem jutottak el abba a fázisba, hogy humán beültetésre kerüljenek. Ennek egyik gátja ezen cellás szerkezetek mechanikai tulajdonságainak nem megfelelő ismerete és a komplex geometriából adódó végeselemes modellezési kihívások. A kutatás során célunk ennek megfelelően az orvosszakmai szempontokon alapuló cellastruktúrák részletes kidolgozása volt. A fejlesztés során figyelembe vettük az ideális állapotok elérését a cellákba történő csontbenövési lehetőséghez, amely a megfelelő rögzülést fogja elősegíteni. További cél a cellastruktúrák szerkezeti merevségének illesztése a csont

szilárdságához, amely pedig egy optimalizációs feladatra vezethető vissza.

Megoldandó kérdéskör ezáltal a kifejlesztett cellás szerkezetek megfelelő karakterizálása volt, adott terhelésre történő mechanikai viselkedésének meghatározása kísérleti és numerikus úton, valamint az alkalmazáscélú optimalizáció. A kutatásban arra vállalkoztunk, hogy a fémnyomtatással előállított nyíltcellás titánszerkezetek mechanikai tulajdonságait kísérleti úton kimérjük és arra alapozva olyan végeselemes modellek kerüljenek kifejlesztésre, amellyel ezen szerkezetek komplex viselkedését nagy pontossággal és költséghatékonyan lehet numerikus úton meghatározni. További cél az optimalizálás kérdésköre, ezért végeselemes modelleken és kereső algoritmuson alapuló módszerekkel optimalizálási eljárást dolgoztunk ki. Tekintve, hogy a csont szilárdsági tulajdonsága több mindentől (pl. nem, életkor) függ, így eredményként additív gyártással előállított titán implantátumszár került kifejlesztésre, amelynek merevsége a nyílt cellás kialakításnak köszönhetően szabályozható és figyelembe veszi a beteg csontminőségét, valamint támogatja a csontbenövést.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az NKFIH támogatásával valósult meg a Kétoldalú tudományos és technológiai (TÉT) együttműködés 2023-1.2.4-TÉT-2023-00114 számú pályázata keretében.

¹ Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

² Mechanika Tanszék, Belgrádi Egyetem Gépészmérnöki Kar, Belgrád, Szerbia

Mónus László József¹, Fábíán Enikő Réka²

Kombinált erősítéses kompozitok sportíjakban (P-12)

Manapság egyre nagyobb az igény a technikai versenysportokban a konstrukciók kialakításának és a szerkezetek anyagainak modernizálására. A modern gyári csigásíjak között a csúcskategóriások a Vulture, a Hori Zone és a PSA Xforce. Ezen íjkarokból készítettünk szakító próbatesteket. A vizsgált termékek közül a Vulture Csigás íj karból kialakított próbatest érte el a legnagyobb szakítószilárdságot 624 MPa-al., Szakadási nyúlása meghaladta a 18%-ot, PSA Xforce szakítószilárdsága 560 MPa ($A_t=13,6\%$). A Hori-Zone próbatest pedig 504 MPa szakítószilárdságot jegyzett. A párhuzamos szakasz teljes nyúlása csak =12,7% volt.

Hárompontos hajlító vizsgálatok során PSE Xforce viselte el a legnagyobb hajlító erőt a törése pillanatában ($F_{max} = 5790N$) és a Hori-Zone íj karok produkálták a legnagyobb lehajlást ($dL=10,6mm$). Sem a Vulture sem a PSA Xforce próbatestek nem érték el a 7 mm-es lehajlást.

A töretek azt mutatták, hogy mindegyik üvegszálerősítésű volt. Mechanikai igénybevételkor az üvegszálak és a mátrix között delamináció jött létre, majd a kisebb üvegszálkötegek ridegen törtek.

Kulcsszavak: Komplex üvegszál és szövet erősítésű epoxi mátrixú kompozit, Három pontos hajlítóvizsgálat, Szakítóvizsgálat.

Üresoldáskor az íjkar csigához közeli része hasad fel minden esetben. Ezen a területen köszörüléssel még alakítják is az íj kart, ezáltal a szélső szálakat elhasítják, így még gyengébbé válik a kötés. Kísérleteink során a felhasadás helyére, ahol a köszörült felület is van egy általunk kialakított prészerszámmal, meghatározott hőmérséklet és nyomás mellett, állandó mennyiségű epoxi ragasztót felhordva az érintett felületre keresztszövésű üvegszál réteget helyezünk az addig csak hosszirányú üvegszálakból álló kompozit íj kar felületére Minden 4. réteg keresztszövésű üvegszál szövet erősítést kapott. A mátrix anyag Araldite AW 106-os epoxi gyanta volt. A rétegek és a mátrix anyagot Fanuc robottal rétegeltük. Így a modern kompozit íjkar 15 réteg 500 g/m² -es hosszirányú üvegszál lemezből, valamint 5 réteg 300g/m² -es keresztszövésű üvegszál szövetből épül fel, a rétegeket epoxi gyanta mátrixanyaggal összetartva. A gyártás során a kompozit anyag a korábbi 4 óra helyett 6 órán keresztül 90°C helyett 70°C-on.

Az így gyártott minták jelentősebb lehajlást viseltek el. A szakadás környezetében képlékeny alakváltozás is megfigyelhető

¹ Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori iskola, Budapest

² Óbudai Egyetem Bánki Dónát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar, Gépészeti és technológiai Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék, Budapest

Szabó Andrea, Pázmán Judit

Karbidkiválások és mechanikai jellemzők alakulása VVER-440 reaktoracél öregítése során (P-13)

A VVER-440 típusú nyomottvizes reaktorokban alkalmazott reaktoracélok hosszú távú viselkedésének megbízható előrejelzése kulcsfontosságú az atomerőművek biztonságos és gazdaságos üzemeltetése szempontjából. A jelen tanulmány célja ezen acélok mikrostruktúrájában bekövetkező, hőhatás által indukált változások vizsgálata laboratóriumi öregítési kísérletek segítségével. A vizsgálatokat állandó, 400 °C-os hőmérsékleten végeztük, a vizsgált öregítési idő jelenleg 12000 óra.

A mikrostruktúra alakulását optikai és pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatokkal követtük nyomon, különös tekintettel a karbidfázisok kiválására és növekedésére. A karbidkiválások mennyiségi és morfológiai jellemzéséhez kvantitatív

képelemzési módszereket alkalmaztunk, lehetővé téve a térfogatarány, valamint az eloszlás értékelését. A megfigyelések alapján az öregítési idő előrehaladtával a karbidok mennyisége fokozatosan növekszik, miközben egyértelmű méretnövekedés is kimutatható, amely a diffúziós folyamatok aktív jelenlétére utal.

Eredményeink különösen relevánsak a hosszú üzemidőre tervezett vagy üzemidő-hosszabbításon átesett blokkok anyagvizsgálati stratégiáinak megalapozásához, illetve a prediktív anyagmodellezés inputadatainak pontosításához. A mikroszerkezeti öregedés részletes feltárása elengedhetetlen a reaktortartály-acélok megbízható élettartam-előrejelzéséhez.

Szabó Veronika Anna¹, Dogossy Gábor²

Vegyes műanyag hulladék égésgátlása (P-14)

A műanyag alapú termékek tömeges elterjedése az elmúlt évtizedek egyik legjelentősebb ipari és technológiai fejleménye, ugyanakkor a keletkező műanyag hulladékok kezelése komoly környezeti és társadalmi kihívást jelent. Különösen nagy problémát okoz a vegyes műanyag hulladék darálék (VMHD) újrahasznosítása, amely döntően nagy sűrűségű polietilénből (HDPE) és polipropilénből (PP) áll. E poliolefin alapú anyagok inert és nem lebontható jellege miatt a lerakás vagy az égetés jelentős környezetterhelést okoz, miközben az újrahasznosításuk számottevő lehetőséget kínál erőforrás-megtakarítás, gazdasági értékteremtés és fenntarthatóság szempontjából.

A poliolefin típusú műanyagok fokozott gyúlékonysága és intenzív égése jelentős korlátozó tényezőt jelent olyan iparágakban, mint az autóipar, az építőipar vagy az elektrotechnika, ahol szigorú tűzvédelmi követelményeknek kell megfelelni. Ennek megfelelően a kutatás célja olyan égésgátló adalékok beépítése és a szerkezeti, valamint feldolgozási paraméterek optimalizálása, amelyek révén a VMHD tűzállósága érdemben

növelhető. A vizsgálatok során különböző égésgátló rendszerek – halogénmentes, foszfortartalmú és ásványi töltőanyagokon alapuló adalékok – hatását értékelem a gyulladási viselkedésre, a lángterjedés sebességére, a füstképződésre és a maradék szilárd termékek jellemzőire. Emellett kiemelt figyelmet fordítok az adalékanyag-mennyiség és a mechanikai teljesítmény közötti egyensúly meghatározására, hiszen a túlzott adalékolás az anyag szerkezeti integritását ronthatja. Ezen túlmenően a munka környezeti és fenntarthatósági előnyeit is hangsúlyozza: a tűzbiztonság szempontjából is megfelelő újrahasznosított termékek előállításával mérsékelhető a fosszilis alapanyagok felhasználása, valamint a lerakással és égetéssel járó környezetterhelés.

Összességében a kutatás célja a vegyes műanyag hulladék égésgátlási teljesítményének növelése és ipari alkalmazhatóságának bővítése, amely hozzájárulhat a körforgásos gazdaság követelményeinek teljesítéséhez, valamint innovatív, magas hozzáadott értékű, tűzbiztonságos másodnyersanyagok elterjedéséhez.

¹ Anyagtudomány és Gépszerkezettan Tanszék, Audi Hungária Járműmérnöki Kar, Széchenyi István Egyetem, Győr

² Járműgyártás és Technológia Tanszék, Audi Hungária Járműmérnöki Kar, Széchenyi István Egyetem, Győr

Veszprémi Ramóna^{1,2}, Szabó Gábor¹, Kaptay György²

Vaselektrolízis kriolitban – új perspektíva a fenntartható acéliparban (P-15)

Az acélipar globális szén-dioxid-kibocsátásának csökkentése napjaink egyik legnagyobb ipari és tudományos kihívása. A jelenlegi dekarbonizációs stratégiák elsősorban a hidrogénalapú redukcióra és a villamosenergia-felhasználás növelésére épülnek, azonban ezek gazdasági és infrastrukturális akadályai miatt új alternatív megoldások keresése elengedhetetlen. A vaselektrolízis kriolit-alapú olvadékban ígéretes lehetőség, mivel közvetlenül teszi lehetővé a vas előállítását CO₂-kibocsátás nélkül, miközben az alumíniumiparban már ipari méretben alkalmazott kriolit (Na₃AlF₆) biztosítja a megfelelő ionvezető közeg és alacsony olvadáspontú elektrolit szerepét.

Kutatásomban a vaselektrolízis elméleti alapjait és a kriolit-FeO rendszer elektrokémiai viselkedését vizsgálom. A kísérleti tervben meghatározásra került az optimális elektrolitösszetétel, az anód és katód

kialakítása, valamint a várható áramhatékonyság és cellafeszültség. A validációs kísérlet során Na₃AlF₆-NaF-FeO összetételű olvadékból, platina anód és szénüveg katód alkalmazásával, 950 °C-on sikerült vasleválást és oxigénfejlődést kimutatni. A folyamat eredményességét kálium-jodidos oldattal végzett oxigénmennyiségmeghatározással, valamint XRD és SEM vizsgálatokkal igazoltuk.

Az első eredmények alapján a kriolitban végzett vaselektrolízis reális alternatívát jelenthet a fenntartható acélgyártásban, különösen a GreenSteel koncepcióhoz illeszkedő karbonsemleges technológiák körében. A további kutatás célja a folyamat hatásfokának növelése, az inert anódok stabilitásának vizsgálata, valamint az ipari méretű alkalmazhatóság feltételeinek feltérképezése.

¹ Miskolci Egyetem, Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, Fémelőállítási és Öntészeti Intézet, Miskolc

² Miskolci Egyetem, Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolc

Hatos István

Johnson-Cook anyagmodell paramétereinek meghatározása fém 3D nyomtatott 1.2709 acél esetén (P-16)

Az additív gyártás közismert nevén 3D nyomtatást egyre több területen alkalmazzák. A legelterjedtebb fém 3D nyomtatás a Powder Bed Fusion (PBF), az eljárás vékonyan terített fémporrétegeket olvaszt össze. Az építési folyamat porterítések és lokális olvasztások sorozata. A fém nyomtatás technológiai szempontból összetett, a felépített darabok minőségét (tulajdonságait) számos paraméter befolyásolja. A legfontosabb technológiai jellemzők: por méret és alak, rétegvastagság, lézer teljesítmény, pásztázási sebesség, munkatér hőmérséklet, védőgáz összetétel, nyomtatási elhelyezés, támaszok stb. A darabok a gyártástechnológiától függően tartalmaznak porozitást, jellemzően. A porozitás hatással van a darabok mechanikai tulajdonságaira, különösképpen azok energia elnyelő képességére.

A mérnöki tervezés ma már elengedhetetlen része a mérnöki szimuláció, ez különösen igaz akkor, ha tömegcsökkentés mellett akarunk mechanikai ellenálló képességet növelni. Fémek károsodásának virtuális leképzéséhez a Johnson-Cook képlékenységi és károsodási anyagmodell az egyik leginkább elterjedt. Nagy dinamikájú alakváltozások, mint például ütközés, lövedékbecsapódás szimulációjához

megfelelő Johnson-Cook anyagmodell szükséges. Több friss és rangos publikáció foglalkozik az additívan gyártott fémek energia elnyelő szerkezetben való alkalmazásával, többen mérésekkel alátámasztott szimulációkkal igazolják az additív fémek ilyen jellegű képességét. Azonban nem találtam olyan eredményt, amely a szimulációt nem csak egy nyomtatási anyagtulajdonságra alkalmazná, hanem foglalkozna a porozitás általános hatásával. Szükségesnek láttam létrehozni a Johnson-Cook anyagmodell egy olyan módosított formáját, amely figyelembe veszi a nyomtatott darabok porozitását. A Johnson-Cook anyagmodell több anyagállandót tartalmaz (A, B, C, n, m, D1, D2, D3, D4, D5, Gf). Munkám során 1.2709 acél esetén ezen állandókat porozitás függvényében vizsgáltam.

A paramétereket méréssel és explicit szimulációval határoztam meg, bemetszett próbatesteken végzett szakítóvizsgálatok és Charpy ütve-hajlító vizsgálatok eredményeinek felhasználásával. A próbatestek olyan nyomtatási paraméterekkel készítem, hogy azok porozitása eltérő legyen. A Johnson-Cook anyagmodell paramétereit addig optimalizáltam, amíg a szimuláció eredménye a valós viselkedést követette.

Birkás Katalin, Pázmán Judit

Alumínium ötvözetek újrahasznosítási kísérletei (P-17)

Az alumínium újrahasznosítása kulcsszerepet játszik a fenntartható anyaghasználatban és az energiaátmenet kritikus nyersanyagainak biztosításában. Kutatásunk célja új ötvözetek létrehozása volt meglévő alumíniumötvözetek – Al8006 és Al2017 – összeolvasztásával. A kísérletek során különböző hűtési eljárásokat alkalmaztunk (kemencében lassú, illetve levegőn gyors hűtés), majd a mintákon szövetszerkezet-vizsgálatot, fázisazonosítást és keménységmérést végeztünk.

Aims: A vizsgálat célja annak feltárása volt, hogy az iparban elterjedt, különböző karakterű alumíniumötvözetek összeolvasztásával milyen új fázisok és mechanikai tulajdonságok alakulnak ki, különös tekintettel az újrahasznosítási lehetőségekre és a körforgásos gazdaság elveire.

The aim of the study was to explore what new phases and mechanical properties develop when industrially common aluminum alloys of different characteristics are melted together, with particular emphasis on recycling

possibilities and the principles of the circular economy.

Results: Az „ötvözés” nem befolyásolta jelentősen az intermetallikus fázisok területhányadát vagy a nyújtottságot. Lassú hűtés során AlFeMn és Al(FeMn)Si fázisok képződtek, míg gyors hűtésnél szilíciumban gazdag fázisok domináltak, és megjelentek az AlCu fázisok is. A keménységmérések kis eltéréseket mutattak, a legnagyobb értékeket a lassú hűtésű minták esetében kaptuk. A fázisok pontos azonosítása további XRD és TEM vizsgálatokat igényel.

The alloying did not significantly affect the area fraction of intermetallic phases or the elongation. During slow cooling, AlFeMn and Al(FeMn)Si phases were formed, while under rapid cooling, Si-rich phases dominated, and AlCu phases also appeared. Hardness measurements showed small variations, with the highest values observed in the slowly cooled samples. Precise identification of the phases requires further XRD and TEM analyses.

Mészáros Henriette, Pázmán Judit, Birkás Katalin

Műanyag újragondolva – Újrahasznosított POM hatása a mechanikai tulajdonságokra (P-18)

A polioximetilén (POM) olyan hőre lágyuló műszaki műanyag, amelyet kiváló mechanikai tulajdonsága miatt széles körben alkalmaznak számos ipari területen. Azonban a műanyagok használata új kihívásokkal néz szembe napjaink világában, ahol a fenntarthatóságra törekvés alapvető igénnyé lépett elő.

Kutatásunk célja, hogy megvizsgálja, milyen mértékben befolyásolja a POM mechanikai viselkedését az újrahasznosított alapanyag hozzáadása. Vizsgálataink során különböző arányban adagolt, újrafeldolgozott POM keverékek mechanikai jellemzőit határoztuk meg, hogy értékelhessük az újrahasznosítás hatását az anyag tulajdonságaira.

A vizsgálatok során különböző arányban adagolt újrahasznosított POM alapanyagból

készült mintákat állítottunk elő fröccsöntéssel. A mechanikai tulajdonságok értékeléséhez szabványos szakító-, hajlító- és keménység (ShoreD) vizsgálatokat végeztünk. A különböző méréseket különböző idejű és hőmérsékletű, valamint xenonos „öregbítés” után is elvégeztük.

A vizsgált mechanikai tulajdonságok csökkenése az újrahasznosított POM hozzáadásával csak igen kis mértékű, és mindez igaz az „öregbítő” kezeléseket után mért értékekre is. Így az újrahasznosítás arányának növelése mellett is megtartható az anyag ipari alkalmazhatósága. Ez lehetőséget teremt a gyártási költségek csökkentésére, miközben hozzájárul a környezeti terhelés mérsékléséhez.

Kocsis Bence

3D nyomtatott vas-szilícium elektroacélok lágymágneses tulajdonságainak összehasonlítása (P-19)

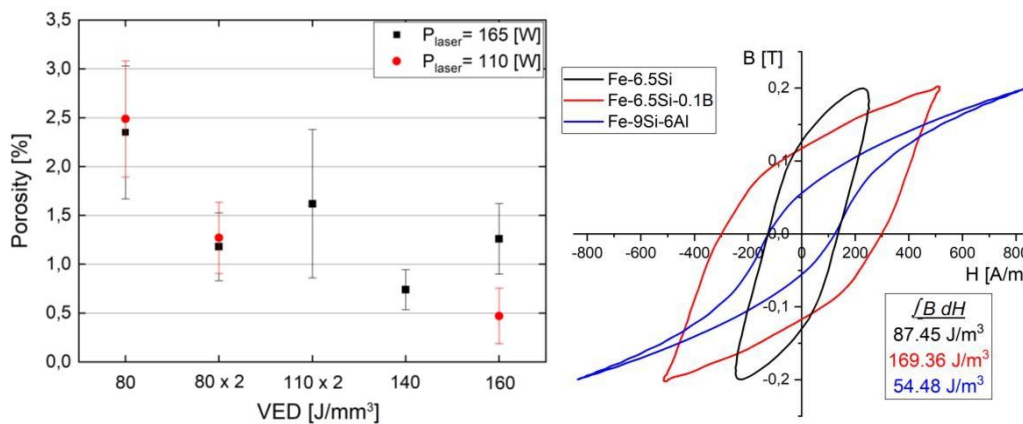
Az additív módon (AM) gyártott lágymágneses anyagok (SMM) és lágymágneses kompozitok (SMC) új lehetőséget biztosítanak a komplex geometriájú, testreszabott mágneses tulajdonságokkal rendelkező alkatrészek gyártásában.

Jelen tanulmányban lemezes és toroid alakú mintákat állítottam elő szelektív lézeres olvasztási (SLM) eljárással Fe-6.5Si, Fe-6Si-9Al (Sendust) valamint Fe-6.5Si-0.1B por alapanyagból. A vas-szilícium rendszerhez hozzáadott ötvözőelemek célja az alapanyag képlékenyítése, annak érdekében, hogy a nyomtatásból eredő belső feszültségek ne okozzanak jelentős szerkezeti hibákat. Továbbá fontos kiemelni, hogy az ötvözők hatására bekövetkező mágneses tulajdonságváltozások ne torzítsák drasztikus mértékben az alaprendszer értékeit.

Az alapanyagot és a 3D nyomtatott mintákat metallográfiai (OM, SEM), CT és mágneses mérési eljárásoknak (AC hiszterézis mérés,

VSM, LRC – komplex mágneses permeabilitásspektrum mérés) vetettem alá. A mérési sorozat célja egyfelelő a gyártási paraméterek változtatása hatására bekövetkező mikroszerkezeti változások detektálása, másfelől pedig a mágneses tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata. Ezen felül vizsgáltam a vas szilícium rendszer alumíniummal illetve bórral történő ötvöztetését is.

Kimutattam, hogy a dupla pásztázási stratégia a porozitást hatékonyan képes csökkenteni, mivel az alkatrész újraolvasztása, in-situ hőkezelése csökkenti a szerkezeti hibákat és a nagy termikus gradiensből eredő belső feszültségeket. Az ötvözők jelenléte pedig minden esetben növelte a kialakuló repedések mennyiségét, ám a Sendust esetében ez a megnövekedett érték is elfogadhatónak tekinthető, figyelembe véve a kapott mágneses tulajdonságokat.



1. ábra – Keresztmetszeti porozitásértékek Fe-6.5Si esetén (bal) és szelektív lézeres olvasztással készült vas-szilícium alapú toroid minták AC hiszterézis-görbéinek összehasonlítása (jobb).

ABSZTRAKTOK

ISBN 978-615-5270-86-4

Szerkesztette:

Szabó Péter János, Kónya Ildikó, Szakáts Gergely

XV. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonalmádi, 2025. október 12-14.

Ez a kötet az XV. Országos Anyagtudományi Konferencia munkaanyaga.

Az összefoglalók tartalmáért kizárólag a szerzők felelősek.

Minden jog fenntartva.

A kötet kizárólag elektronikus úton került kiadásra.