

CC-ITES

Competences Center for Interfaces – Tribocorrosion and Electrochemical Systems

www.cc-ites.ugal.ro

RAPORT ȘTIINȚIFIC INTERMEDIAR

Perioada: 01/01/2016 – 30/09/2016

Titlul proiectului:

Noi funcționalizări hibride (anorganic – organic) a suprafețelor biomaterialelor (metale, aliaje) cu molecule bioactive prin tehnici electrochimice.

Acronim:

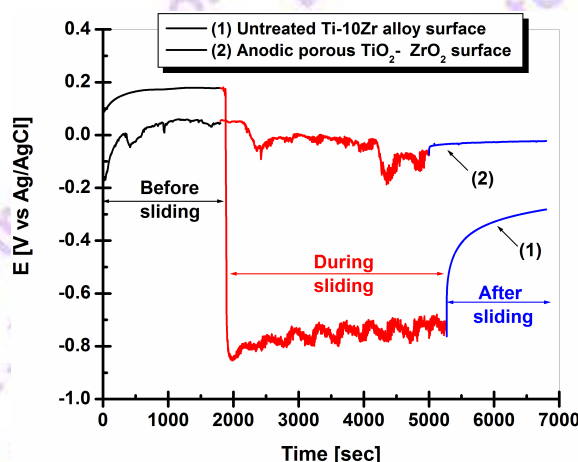
HyBioElect

Contract: 10 / 30-08-2013

Cod proiect: PN-II-ID-PCE-2012-4-0370

Site web: <http://www.hybioelect.ugal.ro>

Director proiect:

Prof. dr. chi. Lidia BENEĂ

2016

REZUMATUL ETAPEI

În această etapă s-au continuat obiectivele și activitățile din etapele precedente pentru actualizarea cunoștințelor și datelor experimentale în domeniu și s-au realizat în întregime obiectivele și activitățile aferente etapei anului 2016. Astfel s-au achiziționat micile echipamente necesare proiectului. Au fost realizate și organizate întâlniri de lucru la care au participat membrii echipei de cercetare. Au fost realizate mobilitățile și participările la conferințele internaționale și naționale prevăzute. Două participări la conferințe internaționale au fost mai importante și deosebite astfel:

(1) Participarea a 3 membri ai echipei proiectului (Benea Lidia, Danaïla Eliza și Dumitrașcu Valentin) și prezentarea orală a 5 lucrări la **11th Internatinal Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials – NANOSMAT 2016, 6 – 9 Septembrie 2016, Aveiro, Portugalia.**

<http://www.nanosmat-conference.com/default.asp>

(conform diseminărilor prezentate la obiectiv 10).

(2) Participarea a 2 membri ai echipei proiectului (Benea Lidia, Danaïla Eliza) și prezentarea a 7 lucrări (3 orale și 4 postere) cu realizări în domeniul Materialelor Nanostructurate cu Rezistență Crescută la Coroziune, la **The European Corrosion Congress – EUROCORR 2016, Advanced in linking scienceto engineering**, Le Corum - Montpellier Conference Centre, 11 – 15 Septembrie 2016, Montpellier, Franța. În cadrul acestui mare Congres European au fost prezentate 3 Lecturi plenare, 17 Lecturi Keynote, 540 de prezentări orale și 142 de prezentări poster. Numărul de țări participante a fost de 55 și nu număr de 1040 de participanți (1110 cu expozanți). Țara noastră a fost slab reprezentată prin 7 participanți dintre care au prezentat lucrări doar delegația proiectului nostru și un reprezentant al CERTICON din București.

<http://eurocorr.org/eurocorr2016.html>

(conform diseminărilor prezentate la obiectiv 10).

Au fost obținute rezultate experimentale privind: oxidarea controlată a aliajelor de titan, electrodepunerea chitosanului (CS) și hidroxiapatitei pe filmele poroase de oxid de titan sau mixte oxid de titan - oxid de zirconiu; elaborarea modelelor de funcționalizare prin metode electrochimice precum și realizarea de protocoale experimentale cu parametrii definiți; caracterizarea morfologică și structurală a suprafețelor obținute și evaluarea biocompatibilității straturilor hibride compozite prin testarea rezistenței la coroziune în fluide biologice specifice.

Rezultatele obținute în cadrul etapei proiectului și o parte din rezultatele etapelor anterioare au fost publicate în **5 articole ISI (Thomson Web of Science)**, toate în domeniul **roșu** sau **galben** (după AISL sau FI) cumulând un **factor de impact (F.I.) egal cu 14,459**.

O realizare deosebită este articolul referitor la cinetica electro-codepunerii nanoparticulelor disperse în matrice metalică, care se remarcă fiind publicat în **Journal of The Electrochemical Society**, 2016, DOI: [10.1149/2.0591613jes](https://doi.org/10.1149/2.0591613jes); <http://jes.ecsdl.org/content/163/13/D655.full>. Acest jurnal internațional este clasificat în **TOP 1** Reviste în domeniul **Materials Science, Coatings & Films** (după AISL), având **factorul de impact 3.014**. Articolul nu este încă vizibil în Web of Science (la data predării proiectului), fiind publicat în luna septembrie.

DOI: [10.1149/2.0591613jes](https://doi.org/10.1149/2.0591613jes)

<http://jes.ecsdl.org/content/163/13/D655.full>

<http://uefiscdi.gov.ro/articole/4515/Premierea-rezultatelor-cercetarii--articole--Competitie-2016.html>

http://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PNCIDI%20III/P1_Resurse%20Umane/PRECISI_2016/PRECISI_lista%20Top%201_2016.pdf

O altă parte din rezultate sunt publicate sau sunt acceptate spre publicare în volumele conferințelor care vor fi ISI Proceedings Volume (4 la SGEM 2016 și 3 la RoTrib 2016), sau au fost prezentate la Conferințe.

Cei 4 doctoranzi sub coordonarea directorului de proiect (prof univ dr Lidia Benea) în domeniul Ingineria Materialelor au beneficiat de un cadru propice pentru aprofundarea cunoștințelor teoretice și practice privind implementarea obiectivelor și activităților unui proiect de cercetare complex.

I. OBIECTIVELE ETAPEI: 01/01/2016 - 30/09/2016

I. Obiectivele prevăzute în Planul de realizare al proiectului pentru etapa intermediară IV (01/01/2016 – 30/09/2016) au fost realizate în proporție de 100 %, conform descrierii următoare.

Obiectivul 1 - Managerierea cu succes a proiectului

Managementul proiectului corespunzător etapei intermediare IV (01/01/2016 – 30/09/2016), a fost asigurat prin realizarea următoarelor activități:

S-au planificat activitățile membrilor echipei.

S-au planificat reuniunile echipei.

S-au planificat și coordonat activitățile experimentale și au fost elaborat protocoale experimentale pe etape și activități de obținere a suprafețelor funcționale și de caracterizare a lor (confidențiale pentru membrii echipei).

S-a realizat gestionarea tehnică, contractuală, financiară și administrativă aferentă perioadei de raportare.

S-a realizat gestionarea cunoștințelor și managementul de diseminare a rezultatelor (publicații și participări conferințe).

Rezultatul acestui obiectiv pentru etapa intermediară IV (01/01/2016 – 30/09/2016) a proiectului conform planului de realizare a proiectului îl reprezintă asigurarea unui management de calitate al proiectului, fiind realizate toate activitățile menționate. Rezultatele acestor activități sunt confidențiale pentru membrii echipei și au constatat în: planificarea activităților membrilor echipei, planificarea reuniunilor echipei, planificarea și coordonarea activităților experimentale, de mobilități și diseminare precum și elaborarea de protocoale experimentale pe etape și activități de obținere a suprafețelor funcționale și de caracterizare a lor.

Prin buna manageriere a activităților proiectului, ca și a etapei 2016 s-a reușit publicarea a 5 articole ISI cu un factor **de impact cumulat (F.I.) de 14,459**. Toate articolele ISI publicate sunt clasificate pe domenii în roșu și galben (după AISL sau IF), din care un articol este în **TOP 1 Articole după AISL**, respectiv **Journal of The Electrochemical Society**, care este **Top 1 la domeniul: Materials Science, Coatings and Films, ISSN: 0013-4651**.

<http://uefiscdi.gov.ro/articole/4515/Premierea-rezultatelor-cercetarii-articole-Competitie-2016.html>

http://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PNCIDI%20III/P1_Resurse%20Umane/PRECISI_2016/PRECISI_lista%20Top%201_2016.pdf

Obiectivul 2 - Cercetări experimentale privind mecanismul și cinetica de obținere a suprafețelor biofuncționale hibride cu molecule bioactive de chitosan (CH) și molecule bioactive de hidroxiapatita (HA)

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

2.1. Experimentări in- situ și ex- situ pentru mecanismul și cinetica de creștere a straturilor de oxid nanoporoase (anodizare) pe diferite materiale suport (oțel inoxidabil, titan, aliaje de Ti) și a electro-co-depunerii moleculelor bioactive de HA în matrice metalică.

2.2. Experimentări in- situ și ex- situ pentru mecanismul și cinetica de obținere a noilor suprafețe biofuncționale hibride cu molecule bioactive de chitosan (CS) precum și a noilor suprafețe biofuncționale hibride cu molecule bioactive de hidroxiapatita (HA).

2.3. Corelarea parametrilor de operare cu cinetica și mecanismul de obținere a suprafețelor biofuncționale hibride testate cu molecule bioactive de chitosan (CH) și molecule bioactive de hidroxiapatita (HA).

Rezultatele acestui obiectiv sunt confidențiale pentru membrii echipei și au fost concretizate prin

elaborarea unui raport experimental, interpretarea datelor experimentale și elaborarea protocoalelor experimentale su parametrii definiți pentru obținerea de filme poroase subțiri peste care sa se electrodepună hidroxiapatita sau chitosan polimeric, rezultând suprafețe funcționale bioactive.

Obiectivul 3 - Obținerea de noi suprafețe funcționale hibride prin tehnici electrochimice de anodizare și depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) precum și a suprafețelor funcționale hibride prin tehnici electrochimice de electro-co-depunere de molecule bioactive de hidroxiapatita (HA).

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

- 3.1. Optimizarea parametrilor de anodizare și de electro-co-depunere a particolelor disperse în matrice metalică.
- 3.2. Optimizarea parametrilor de electrodepunere de molecule bioactive de chitosan (CS) și a moleculelor bioactive de hidroxiapatita (HA).
- 3.3. Obținerea suprafețelor cu filme subțiri nanoporoase.
- 3.4. Obținerea filmelor compozite în matrice metalică cu faze disperse pe materialele suport.
- 3.5. Obținerea suprafețelor biofuncționalizate cu molecule bioactive de chitosan (CS) și hidroxiapatită (HA), pe materialele suport la parametri optimi pentru realizarea testelor specifice în mediile de lucru (coroziune, tribocoroziune).
- 3.6. Studii privind efectul sinergic al moleculelor de CS și HA pe substratul metalic al noilor suprafețe hibride.
- 3.7. Studii experimentale a proceselor care au loc la interfața suprafețelor biofuncționale cu CS și HA / mediile de lucru.

Rezultatele acestui obiectiv sunt confidentiale pentru membrii echipei și au fost materializate prin: elaborarea unui protocol de solubilizare a hidroxiapatitei și chitosanului și stabilizarea lor în vederea electrodepunerii în filmele subțiri de TiO_2 create pe suprafața aliajelor de titan prin anodizare. S-au stabilit parametrii optimi de electrodepunere și tratamentele necesare suprafețelor pentru uscarea și stabilizarea filmelor hibride obținute.

În cadrul obiectivului 10 - Activități suport pentru diseminarea rezultatelor, în sumarul activității privind raportarea intermediară a proiectului sunt descrise realizările științifice aferente acestei etape (01/01/2016 – 30/09/2016). Câteva rezultate obținute privind realizarea acestor noi suprafețe funcționale hibride prin tehnici electrochimice de anodizare și electrodepunere sunt sintetizate în cadrul obiectivului cu numărul 10 - Activități suport pentru diseminarea rezultatelor, activitatea Raportarea intermediară a proiectului.

Obiectivul 4 - Investigatii a proprietăților de suprafață structurale și mecanice prin tehnici avansate a noilor suprafețe anodizate și biofuncționale hibride cu molecule bioactive de chitosan (CH) precum și a noilor suprafețe electro-co-depuse cu fază dispersă de molecule bioactive de hidroxiapatita (HA) în matrice metalică.

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

- 4.1. Caracterizarea suprafețelor cu filme subțiri nanoporoase și a suprafețelor electro-co-depuse cu fază dispersă de HA în matrice metalice.
- 4.2. Caracterizarea filmului complex pasiv de pe noile suprafețe funcționalizate hibride cu CS precum și a filmului complex pasiv de pe noile suprafețe funcționalizate hibride cu HA.
- 4.3. Caracterizarea suprafețelor funcționalizate cu CS și HA a biomaterialelor (grosime, compoziția suprafeței).
- 4.4. Caracterizarea aderenței, a rugozității și a microdurității (AFM, nanoidentare) a noilor biosuprafețe hibride cu molecule bioactive de chitosan (CS) și cu molecule bioactive de hidroxiapatita (HA).
- 4.5. Investigarea morfologiilor suprafețelor și compoziționale, caracterizarea structurală a noilor suprafețe biofuncționalizate hibride cu CS și HA (SEM, XRD, X-Ray, XPS, microtopografie de rezoluție ridicată).

Rezultatele acestui obiectiv sunt confidentiale pentru membrii echipei și au fost concretizate prin

elaborarea unui raport al rezultatelor experimentale de caracterizare a proprietăților de suprafață structurale și mecanice a suprafețelor anodizate și a suprafețelor funcționale cu TiO_2 prin tehnici avansate. S-au făcut investigații ale morfologiei suprafețelor, ale grosimilor de strat și structurale prin difracții de raze X. O parte din rezultate sunt în curs de editare pentru redactarea unui articol. O altă parte din rezultate s-au utilizat în diseminarea prin prezentări la conferințe științifice internaționale.

Obiectivul 5 - Investigații experimentale a proprietăților de rezistență la coroziune a noilor suprafețe anodizate și biofuncționale hibride cu molecule bioactive de chitosan (CS) și nano bio particulele de oxid de titan (TiO_2) precum și a noilor suprafețe electro-co-depuse cu fază dispersă de HA în matrice metalică.

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

- 5.1. Experimentări de comportare la coroziune în diferite medii specifice și soluții ce simulează fluidele din corpul uman (SBF) prin metode electrochimice în curent continuu: E(t), LP, PD, Rp a suprafețelor anodizate și a suprafețelor biofuncționalizate cu CS și HA.
- 5.2. Experimentări de comportare la coroziune în diferite medii specifice și soluții ce simulează fluidele din corpul uman (SBF) prin metode electrochimice în curent alternativ: E(t), LP, PD, Rp a suprafețelor anodizate și a suprafețelor biofuncționalizate cu CS, TiO_2 și HA.
- 5.3. Studiul modificărilor de suprafață ale probelor supuse testelor de coroziune.
- 5.4. Analiza, prelucrarea și interpretarea datelor experimentale de comportare la coroziune a suprafețelor anodizate și a suprafețelor biofuncționalizate cu CH, TiO_2 și HA.

Rezultatele acestui obiectiv sunt confidențiale pentru membrii echipei și au fost concretizate prin elaborarea unui raport al rezultatelor experimentale de comportare a suprafețelor biofuncționale hibride, in - vitro în medii specifice fiziologice. O parte din rezultate au fost publicate în articolul intitulat **Nucleation and Growth Mechanism of Ni/TiO_2 Nanoparticles Electro-Codeposition**. Articolul este publicat deja în **Journal of The Electrochemical Society**, 2016, Volume: 163, Issue: 13, pp. D655-D662, ISSN: 0013-4651. Jurnalul este **Top 1** în domeniul **Materials Science, Coatings & Films**, având **factorul de impact 3.014**. Articolul nu este încă vizibil în Web of Science (la data predării proiectului), fiind publicat în luna septembrie.

[DOI: 10.1149/2.0591613jes](https://doi.org/10.1149/2.0591613jes)

<http://jes.ecsdl.org/content/163/13/D655.full>

<http://uefiscdi.gov.ro/articole/4515/Premierea-rezultatelor-cercetarii-articole-Competitie-2016.html>

http://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PNCIDI%20III/P1_Resurse%20Umane/PRECISI_2016/PRECISI_lista%20Top%201_2016.pdf

Obiectivul 6 - Investigații experimentale a proprietăților de tribocoroziune a noilor suprafețe anodizate și funcționalizate hibride cu molecule bioactive de chitosan (CS), nano bio particulele de oxid de titan (TiO_2) prin metoda unidirecțională de contact cu alunecare (pin on disc) sau prin metoda bidirecțională de contact cu frecare (fretting -corrosion).

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

- 6.1. Monitorizarea și evaluarea in situ a parametrilor electrochimici în timpul testelor de tribocoroziune: OCP, EIS.
- 6.2. Monitorizarea și evaluarea in situ a parametrilor mecanici: forța normală, forța tangențială și coeficientul de frecare.
- 6.3. Evaluarea urmelor de uzură ex-situ.
- 6.4. Evaluarea calitativă a urmelor de uzură prin microscopie electronică SEM-EDX.
- 6.5. Evaluarea cantitativă a urmelor de uzură prin ultrahigh microtopografie. Calcularea volumului și masei pierdute în urmele de uzură.
- 6.6. Analiza, prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale de comportare la tribocoroziune a

suprafețelor anodizate și funcționalizate cu CS și TiO₂ prin metoda unidirecțională de contact cu alunecare (pin on disc) sau prin metoda bidirecțională de contact cu frecare (fretting - corrosion).

6.7. Corelarea rezultatelor experimentale.

Rezultatele acestui obiectiv sunt confidențiale pentru membrii echipei și au fost concretizate prin elaborarea unui raport privind rezultatele științifice și interpretarea diagramelor cu corelarea rezultatelor experimentale a suprafețelor funcționale. O parte din rezultate diseminate se regăsesc în lucrarea: **Bio and nanomaterials in tribocorrosion systems**. Lucrarea cu ID: 112, a fost prezentată la Conferința internațională **RoTrib 2016** și va fi publicată în volumul Conferinței **Materials Science and Engineering (MSE)**, ISSN: 1757-899X. Proceedings of the 13th International Conference on Tribology - ROTRIB'16, 22-24 September, 2016, Natural Sciences Museum Complex Galati, Romania. Această lucrare a fost evaluată și acceptată spre publicare în revista indexată ISI Citation Index – Science (CPCI-S), Thomson Reuters, Web of Science, fiind editată de IOP (UK) cotate ca ISI Proceeding Volume (Book Series: IOP Conference Series).

Obiectivul 7 - Investigații experimentale a proprietăților de tribocoroziune a noilor suprafețe electro-co-depuse cu faze disperse de UHMWPE și HA în diferite matrici metalice prin metoda unidirecțională de contact cu alunecare (pin on disc) sau prin metoda bidirecțională de contact cu frecare (fretting - corrosion).

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

7.1. Monitorizarea și evaluarea in situ a parametrilor electrochimici în timpul testelor de tribocoroziune: OCP, EIS.

7.2. Monitorizarea și evaluarea in situ a parametrilor mecanici: forța normală, forța tangențială și coeficientul de frecare.

7.3. Evaluarea urmelor de uzură ex-situ.

7.4. Evaluarea calitativă a urmelor de uzură prin microscopie electronica SEM-EDX.

7.5. Evaluarea cantitativă a urmelor de uzură prin ultrahigh microtopografie. Calcularea volumului și masei pierdute în urmele de uzură.

7.6. Analiza, prelucrarea și interpretarea rezultatelor experimentale de comportare la tribocoroziune a suprafețelor electro-co-depuse cu faze disperse de UHMWPE și HA în diferite matrici metalice prin metoda unidirecțională de contact cu alunecare (pin on disc) sau prin metoda bidirecțională de contact cu frecare (fretting - corrosion).

7.7. Corelarea rezultatelor experimentale.

Rezultatele acestui obiectiv sunt confidențiale pentru membrii echipei și au fost materializate prin elaborarea unui raport privind rezultatele științifice și interpretarea diagramelor cu corelarea rezultatelor experimentale privind parametrii de obținere cu proprietățile suprafețelor funcționale. O parte din rezultate au fost diseminate prin lucrarea: **Hybrid Composite Layers Obtained by Electro-codeposition: Challenges – Results and Future Applications**. Lucrarea a fost prezentată la 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference **SGEM 2016**, și este publicată în Conference Proceedings, Book 6 – **Nano, Bio and Green – Technologies for a Sustainable Future**, Vol. 1– **Micro and Nano Technologies, Advances in Biotechnology**, pp. 151-158, ISBN 978-619-7105-68-1 / ISSN 1314-2704.

DOI: [10.5593/SGEM2016/B61/S24.020](https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B61/S24.020)

<http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article7674>

Această lucrare este în curs de indexare în ISI Web of Science, nefiind vizibilă până la data 29-09-2016.

Obiectivul 8 - Corelarea parametrilor de operare cu proprietățile suprafețelor funcționalizate obținute.

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

8.1. Corelarea parametrilor de operare cu proprietățile morfologice, structurale, compoziționale, rezistență la

coroziune și uzură și mecanice a suprafețelor biofuncționalizate hibride anorganice-organice cu CS, TiO₂ și HA a biomaterialelor testate.

Rezultatele acestui obiectiv sunt confidențiale pentru membrii echipei și au fost concretizate prin elaborarea unui raport privind rezultatele științifice, interpretarea diagramelor, corelarea parametrilor cu proprietățile suprafețelor funcționale. O parte din rezultatele obținute se regăsesc în publicațiile ISI și prezentările la conferințe conform obiectivului 10.

Obiectivul 9 - Mobilități

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

9.1. Mobilități interne.

9.2. Mobilități externe pentru activitatea complementară experimentală, planul detaliat de activitate experimentală periodică, reuniuni tehnice și științifice (în limita fondurilor disponibile).

9.3. Mobilități externe pentru diseminarea rezultatelor. Conferințe. Congrese.

Rezultatele acestui obiectiv sunt concretizate astfel:

Pentru activitatea de mobilitate internă și externă au beneficiat tinerii cercetători dr. ing. Eliza DĂNĂILĂ (angajată pe proiect pe poziția de cercetare post doctorală), și Valentin Dumitrașcu (angajat pe proiect pe poziția de student doctorand - timp parțial). Aceștia au participat cu interes la lucrările prezentate în diferitele secțiuni din cadrul conferințelor internaționale și naționale din anul 2016. Pentru aceste conferințe au fost plătite taxe de participare precum și diurna și cazarea aferente deplasărilor conform raportării financiare. În cadrul acestor conferințe membrii echipei și directorul de proiect au prezentat lucrări orale sau postere cu câteva rezultate obținute în cadrul acestei etape a proiectului de cercetare sau rezultate adiacente domeniului de cercetare al proiectului care s-au interconectat. Participarea acestor tineri cercetători din cadrul echipei, cât și a directorului de proiect la diferitele lucrări prezentate în cadrul acestor conferințe internaționale și naționale a condus la consolidarea noțiunilor științifice în domeniul temei de cercetare, iar temele de interes au vizat printre altele *Surface Engineering, Nanomaterials, Biomaterials, Advanced Materials and Coatings, Corrosion, Tribology, Tribochemistry, Biotribology*, domenii de interes din cadrul proiectului sau complementare prezentului proiect de cercetare.

O participare deosebită a fost prezentarea a trei lucrări orale și patru postere de către directorul de proiect Lidia Benea și tânărul cercetător Eliza Dănăilă cu realizări în domeniul Materialelor Nanostructurate cu Rezistență Crescută la Coroziune, la **The European Corrosion Congress – Advanced in linking science to engineering** (EUROCORR 2016), care a avut loc în perioada 11 – 15 Septembrie 2016 la Montpellier, Franța, Le Corum - Montpellier Conference Centre. În cadrul acestui mare congres european au fost prezentate 3 Lecturi plenare, 17 Lecturi Keynote, 540 de prezentări orale și 142 de prezentări poster. Numărul de țări participante a fost de 55 și nu număr de 1040 de participanți (1110 cu expozanți). Țara noastră a fost slab reprezentată prin 7 participanți dintre care au prezentat lucrări doar delegația proiectului nostru și un reprezentant al CERTICON din București. <http://eurocorr.org/eurocorr2016.html>

Doctorandul Valentin Dumitrașcu a participat la Bruker Metrology Workshop **“Atomic Force Microscopy for Materials and Life Science”** organizat de Universitatea Politehnică București on 26 January 2016.

În ceea ce privește mobilitățile externe efectuate în scopul activității complementare experimentale a fost desfășurată o deplasăre externă scurtă, efectuată de către directorul de proiect prof. univ. dr. Lidia BENEA, și de tânărul cercetător dr. ing. Eliza DĂNĂILĂ (angajată pe proiect pe poziția de cercetare post doctorală) în perioada 17 aprilie – 24 aprilie, 2016 la Ecole Centrale Paris, Franța. În cadrul deplasărilor externe efectuate în scopul activității complementare experimentale au fost derulate experimentări de caracterizare morfologică și structurală cu ajutorul microscopului electronic cu baleiaj (SEM-EDX), au fost determinate rugozitățile (prin ultra-high microtopografie optică) și microduritățile probelor elaborate în cadrul Centrului de Competențe Interfețe – Tribocoroziune și Sisteme Electrochimice (CC-ITES).

Toate mobilitățile s-au finalizat cu rapoarte de activitate de mobilitate internă sau externă cu datele experimentale ale activității complementare desfășurate sau prezentările realizate la sesiunile conferințelor. Confidențiale pentru membrii echipei.

Obiectivul 10 - Activități suport pentru diseminarea rezultatelor

Activități planificate pentru realizarea obiectivului:

- 10.1. Publicații comune.
- 10.2. Participări la conferințe.
- 10.3. Identificarea și atribuirea de drept de autor cu privire la rezultatele cercetării.
- 10.4. Rapoarte finale PostDoc.
- 10.5. Pagină web interactivă.
- 10.6. Raportarea finală a proiectului.

Rezultatele obținute se concretizează astfel:

10.1. Articole publicate.

Rezultate: 10.1.1. Publicații în reviste internaționale indexate ISI – 5 articole.

Factor Impact Cumulat = 14,459

1. Lidia BENEĂ, Jean-Pierre CELIS.

Effect of Nano-TiC Dispersed Particles and Electro-Codeposition Parameters on Morphology and Structure of Hybrid Ni/TiC Nanocomposite Layers.

Materials, 2016, Volume: 9, Issue: 4, Article Number: 269, Pages: 1-17, ISSN: 1996-1944

Accession Number: WOS: 000375158900055

DOI: [10.3390/ma9040269](https://doi.org/10.3390/ma9040269)

<http://www.mdpi.com/1996-1944/9/4/269>

http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=Y2hWG28djFI5iVECLI3&page=1&doc=1

Impact factor (2015): 2.728

2. Alina Crina CIUBOTARIU, Lidia BENEĂ, Pierre PONTIAUX.

Corrosion resistance of zinc–resin hybrid coatings obtained by electro-codeposition.

Arabian Journal of Chemistry, 2016, In Press, Corrected Proof, ISSN: 1878-5352.

DOI: [10.1016/j.arabjc.2016.07.002](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.07.002)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535216301009>

Impact factor (2015): 3.613

3. Lidia BENEĂ, Nadège CARON, Olivier RAQUET.

Tribological behavior of a Ni matrix hybrid nanocomposite reinforced by titanium carbide nanoparticles during electro-codeposition.

RSC Advances, 2016, Volume: 6, Issue: 64, Pages: 59775-59783, ISSN: 2046-2069.

Accession Number: WOS:000379350100111

DOI: [10.1039/C6RA03605H](https://doi.org/10.1039/C6RA03605H)

<http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ra/c6ra03605h#!divAbstract>

http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=Y2QRKeeQ2dZjhWJMSkP&page=1&doc=1

Impact factor (2015): 3.289

4. Eliza DANAILA, Lidia BENEĂ, Nadège CARON, Olivier RAQUET.

Titanium Carbide Nanoparticles Reinforcing Nickel Matrix for Improving Nanohardness and Fretting Wear Properties in Wet Conditions.

Metals and Materials International, 2016, Volume 22, Issue 5, Pages: 924-934, ISSN: 1598-9623.

Accession Number: WOS:000381929100023

DOI: [10.1007/s12540-016-6090-x](https://doi.org/10.1007/s12540-016-6090-x)

<http://link.springer.com/article/10.1007/s12540-016-6090-x?view=classic>

http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=Y1YGnXHUIkPuLofzNGu&page=1&doc=1

Impact factor (2015): 1.815

5. Lidia BENEĂ, Eliza DANAILA.

Nucleation and Growth Mechanism of Ni/TiO₂ Nanoparticles Electro-Codeposition.

Journal of The Electrochemical Society, 2016, Volume: 163, Issue: 13, D655-D662, ISSN: 0013-4651.

DOI: [10.1149/2.0591613jes](https://doi.org/10.1149/2.0591613jes)

<http://jes.ecsdl.org/content/163/13/D655.full>

Impact factor (2015): 3.014

Jurnalul este **Top 1** în domeniul **Materials Science, Coatings & Films**, având **factorul de impact (F.I.) = 3.014**.

<http://uefiscdi.gov.ro/articole/4515/Premierea-rezultatelor-cercetarii--articole--Competitie-2016.html>

http://uefiscdi.gov.ro/userfiles/file/PNCID%20III/P1_Resurse%20Umane/PRECISI_2016/PRECISI_lista%20Top%20_2016.pdf

10.1.2. Publicații sau articole evaluate și acceptate spre publicare în reviste indexate care conțin Proceeding Volume Conferințe indexate ISI – 7 articole.

Un număr de 4 articole publicate.

Un număr de 3 articole evaluate și acceptate spre publicare.

1. L. BENEĂ, V.M. DUMITRASCU

Hybrid Composite Layers Obtained by Electro-codeposition: Challenges – Results and Future Applications.

16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Conference Proceedings, Book 6 – *Nano, Bio and Green – Technologies for a Sustainable Future*, Vol. 1– *Micro and Nano Technologies, Advances in Biotechnology*, pp. 151-158, ISBN 978-619-7105-68-1 / ISSN 1314-2704.

DOI: [10.5593/SGEM2016/B61/S24.020](https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B61/S24.020)

<http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article7674>

Această lucrare încă nu a apărut online în ISI Web of Science până la data 27-09-2016.

2. M. LAURENTIU, L. BENEĂ, V. DUMITRASCU

Behavior of Naval Steel with Polymer Protective Coatings in Sea Water.

16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Conference Proceedings, Book 6 – *Nano, Bio and Green – Technologies for a Sustainable Future*, Vol. 2 – *Green Buildings Technologies and Materials, Green Design and Sustainable Architecture*, pp. 49-56, ISBN 978-619-7105-69-8 / ISSN 1314-2704.

DOI: [10.5593/SGEM2016/B62/S26.007](https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B62/S26.007)

<http://sgem.org/sgemlib/spip.php?article7989>

Această lucrare încă nu a apărut online în ISI Web of Science până la data 27-09-2016.

3. D. PIRVU-NEAGU, L. BENEĂ, V.M. DUMITRASCU, L. MARDARE.

Some Corrosion Problems in Municipal Waste Water Collection System of Galati.

16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Conference Proceedings, Book 5 – *Ecology, Economics, Education and Legislation*, Vol. 2 – *Ecology and Environmental Protection*, pp. 743-750, ISBN 978-619-7105-66-7 / ISSN 1314-2704.

DOI: [10.5593/SGEM2016/B52/S20.096](https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B52/S20.096)

<http://www.sgem.org/sgemlib/spip.php?article7559>

Această lucrare încă nu a apărut online în ISI Web of Science până la data 27-09-2016.

4. V. M. DUMITRASCU, L. BENEĂ, L. MARDARE.

Influence of Anodizing Voltage on the Morphology and Corrosion Resistance of 1050 Aluminum Alloy.

16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Conference Proceedings, Book 6 – *Nano, Bio and Green – Technologies for a Sustainable Future*, Vol. 1 – *Micro and Nano Technologies, Advances in Biotechnology*, pp. 167-174, ISBN 978-619-7105-68-1 / ISSN 1314-2704.

DOI: [10.5593/SGEM2016/B61/S24.022](https://doi.org/10.5593/SGEM2016/B61/S24.022)

<http://www.sgem.org/SGEMLIB/spip.php?article7680>

Această lucrare încă nu a apărut online în ISI Web of Science până la data 27-09-2016.

5. Lidia BENEĂ.

Bio and nanomaterials in tribocorrosion systems.

Paper ID: 112.

Materials Science and Engineering (MSE), ISSN: 1757-899X.

Proceedings of the 13th International Conference on Tribology - ROTRIB'16, 22-24 September, 2016, Natural Sciences Museum Complex Galati, Romania.

Această lucrare a fost evaluată și acceptată spre publicare în reviste indexate care conțin Proceeding Volume Conferințe indexate în baze de date internaționale: Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S), Thomson Reuters, Web of Science, Scopus, Compendex etc.

IOP Conference Series (UK).

www.rotrib16.ugal.ro/

6. Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ, Pierre PONTIAUX, Jean-Pierre CELIS.

Improving tribocorrosion behaviour by electro-codeposition of TiC nanodispersed particles with nickel as hybrid layers for energy applications.

Paper ID: 113.

Materials Science and Engineering (MSE), ISSN: 1757-899X.

Proceedings of the 13th International Conference on Tribology - ROTRIB'16, 22-24 September, 2016, Natural Sciences Museum Complex Galati, Romania.

Această lucrare a fost evaluată și acceptată spre publicare în reviste indexate care conțin Proceeding Volume Conferințe indexate în baze de date internaționale: Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S), Thomson Reuters, Web of Science, Scopus, Compendex etc.

IOP Conference Series (UK).

www.rotrib16.ugal.ro/

7. Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ, Pierre PONTIAUX.

Porous TiO₂-ZrO₂ thin film formed by electrochemical technique to improve the biocompatibility of titanium alloy in physiological environment.

Paper ID: 114.

Materials Science and Engineering (MSE), ISSN: 1757-899X.

Proceedings of the 13th International Conference on Tribology - ROTRIB'16, 22-24 September, 2016, Natural Sciences Museum Complex Galati, Romania.

Această lucrare a fost evaluată și acceptată spre publicare în reviste indexate care conțin Proceeding Volume Conferințe indexate în baze de date internaționale: Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S), Thomson Reuters, Web of Science, Scopus, Compendex etc.

IOP Conference Series (UK).

www.rotrib16.ugal.ro/

10.2. Participări la conferințe.

10.2.1. Participări la 6 conferințe internaționale**TOTAL 25 lucrări din care: 19 - prezentări orale și 6 - postere**

Două (2) lucrări la: **6th Virtual Nanotechnology Poster Conference – Nanoposter 2016**, 11 – 17 Aprilie 2016.

<http://www.nanopaprika.eu/group/nanoposter>

1. Lidia BENEĂ, Pierre PONTIAUX, Nadège CARON, Olivier RAQUET

Effects of nano-WC content on morphology, hardness and tribocorrosion properties of Ni/nano-WC nanostructured hybrid coatings.

Poster ID: P16-03.

Poster presentation.

<http://www.nanopaprika.eu/group/nanoposter/page/p16-03>

2. Lidia BENEĂ, Valentin Marian DUMITRAȘCU, Pierre PONTIAUX.

Improving the Surface Properties of Ti-10Zr Biomedical Alloy by Controlled Electrochemical Oxidation to form a Thin Nanoporous Oxide Film.

Poster ID: P16-04.

Poster presentation.

<http://www.nanopaprika.eu/group/nanoposter/page/p16-04>

Patru (4) lucrări prezentate la: **7th edition of International Conference on Material Science & Engineering - UgalMat 2016**, 19 - 21 Mai 2016, organized by Department of Material Science and Engineering, Faculty of Engineering, "Dunarea de Jos" University of Galați, Romania.

<http://www.ugalmat.ugal.ro/>

1. Laurențiu MARDARE, Lidia BENEĂ.

The corrosion behavior of naval steel covered with polymeric paints in seawater.

Oral presentation.

Section I: Advanced Materials and Technologies (TMA 2016).

<http://www.ugalmat.ugal.ro/Poster/FINAL%20PROGRAMME%20UgalMat2016.pdf>

2. Valentin Marian DUMITRAȘCU, Lidia BENEĂ.

Enhancing corrosion properties of aluminium anodic formed oxide layer by sealing process.

Oral presentation.

Section I: Advanced Materials and Technologies (TMA 2016).

<http://www.ugalmat.ugal.ro/Poster/FINAL%20PROGRAMME%20UgalMat2016.pdf>

3. Lidia BENEĂ.

Electrochemical techniques applied to surface modifications of materials to improve the properties for industrial and medical applications.

Oral presentation.

Section III: UGALMat Nano6.

<http://www.ugalmat.ugal.ro/Poster/FINAL%20PROGRAMME%20UgalMat2016.pdf>

4. Eliza DĂNĂILĂ, Lidia BENEĂ.

Tribocorrosion issues in industrial and biomedical applications of materials.

Oral presentation.

Section III: UGALMat Nano6.

<http://www.ugalmat.ugal.ro/Poster/FINAL%20PROGRAMME%20UgalMat2016.pdf>

Patru (4) lucrări prezentate la: **16th edition of the SGEM International GeoConferences**, 28 Iunie - 7 Iulie, 2016, Albena Resort, Bulgaria.

<http://www.sgem.org/>

1. Lidia BENEĂ, Valentin DUMITRAȘCU.

Hybrid composite layers obtained by electro-codeposition: challenges – results and future applications.

Oral presentation.

Section: Micro and Nano Technologies.

<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-programme2016>

2. Valentin Marian DUMITRAȘCU, Lidia BENEĂ, Laurențiu MARDARE.

Influence of anodizing voltage on the morphology and corrosion resistance of 1050 aluminum alloy.

Oral presentation.

Section: Micro and Nano Technologies.

<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-programme2016>

3. Laurențiu MARDARE, Lidia BENEĂ, Valentin Marian DUMITRAȘCU.

Behavior of naval steel with polymer protective coatings in sea water

Oral presentation.

Section: Green Buildings Technologies and Materials

<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-programme2016>

4. Doinița PÎRVU NEAGU, Lidia BENEĂ, Valentin Marian DUMITRAȘCU, Laurențiu MARDARE

Some corrosion problems in municipal waste water collection system of Galati

Oral presentation.

Section: Ecology and Environmental Protection

<http://www.sgem.org/index.php/sgem-deadline/sgem-programme2016>

Cinci (5) lucrări prezentate la: **11th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials – NANOSMAT 2016**, 6 – 9 Septembrie 2016, Aveiro, Portugalia.

<http://www.nanosmat-conference.com/default.asp>

1. Eliza DĂNĂILĂ, Lidia BENEĂ.

In-vitro tribocorrosion performances of nanoporous TiO₂ film formed on Ti-6Al-4V alloy.

Oral presentation.

Session: Beyond NANO, NANO-175.

[http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20\(FINAL\).pdf](http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20(FINAL).pdf)

2. Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ.

Electro-codeposition of nano TiC particles into nickel matrix to improve the surface properties of nanocomposite coatings.

Oral presentation.

Session: NanoParticles 1, NANO-36.

[http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20\(FINAL\).pdf](http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20(FINAL).pdf)

3. Valentin Marian DUMITRAȘCU, Lidia BENEĂ.

Characterization of porous aluminum oxide film obtained by hard anodization.

Oral presentation.

Session: NanoEngineering, NANO-3.

[http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20\(FINAL\).pdf](http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20(FINAL).pdf)

4. Laurențiu MARDARE, Lidia BENEĂ.

Effect of ZnO nanoparticles on different polymer coatings for marine corrosion.

Oral presentation.

Session: NanoEngineering, NANO-37.[http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20\(FINAL\).pdf](http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20(FINAL).pdf)**5. Doinița PÎRVU-NEAGU, Lidia BENEĂ, Doru MATEI, Eliza DĂNĂILĂ.****Improving the corrosion resistance of materials used in waste water collection systems, by nanocomposite coatings.**

Oral presentation.

Session: NanoEngineering, NANO-38.[http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20\(FINAL\).pdf](http://www.nanosmat.co.uk/Downloads/Programme%20NANOSMAT%202016%20(FINAL).pdf)

Șapte (7) lucrări prezentate la: **The European Corrosion Congress – EUROCORR 2016, Advanced in linking scienceto engineering**, Le Corum - Montpellier Conference Centre, 11 – 15 Septembrie 2016, Montpellier, Franța.

<http://eurocorr.org/eurocorr2016.html>**1. Valentin Marian DUMITRAȘCU, Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ.****Controlled oxide film formation to improve the corrosion resistance of aluminum alloy.**

Oral presentation.

Session: Corrosion Control in Aerospace, O-64297, pg. 28 - Scientific Programme.http://eurocorr.org/eurocorr_media/EUROCRR+2016+Scientific+Programme.pdf**2. Lidia BENEĂ, Nadege CARON, Olivier RAQUET.****Electrochemistry investigation of the mechanism of TiO₂ nanoparticles electro-codeposition into Ni matrix to form nanocomposite layers.**

Poster presentation.

Session: Metallic Coatings, P-67967, pg. 43 - Scientific Programme.http://eurocorr.org/eurocorr_media/EUROCRR+2016+Scientific+Programme.pdf**3. Valentin DUMITRAȘCU, Lidia BENEĂ.****Influence of Cl⁻ ions on the corrosion behavior of anodized aluminum alloy.**

Poster presentation.

Session: Corrosion Control in Aerospace, P-64257, pg. 51 – Scientific Programme.http://eurocorr.org/eurocorr_media/EUROCRR+2016+Scientific+Programme.pdf**4. Doinița PÎRVU-NEAGU, Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ.****Anticorrosion protection possibilities in waste waters collecting and conveying systems.**

Poster presentation.

Session: Corrosion & Corrosion Protection of Drinking Water Systems, P-65282, pg. 53 – Scientific Programme.http://eurocorr.org/eurocorr_media/EUROCRR+2016+Scientific+Programme.pdf**5. Laurențiu MARDARE, Lidia BENEĂ.****The behavior of galvanized steel used in specific marine environment.**

Poster presentation.

Session: Marine Corrosion, P-65727, pg. 54 – Scientific Programme.http://eurocorr.org/eurocorr_media/EUROCRR+2016+Scientific+Programme.pdf**6. Laurențiu MARDARE, Lidia BENEĂ.****Influence of polymer coatings against marine corrosion.**

Oral presentation.

Session: Marine Corrosion, O-65837, pg. 77 – Scientific Programme.http://eurocorr.org/eurocorr_media/EUROCRR+2016+Scientific+Programme.pdf

7. Lidia BENEĂ, Valentin DUMITRAȘCU, Doinița PÎRVU-NEAGU.

Environmentally friendly inhibitors from vegetable extracts to protect carbon steel corrosion in acidic environment.

Oral presentation.

Session: Corrosion and Scale Inhibition, O-67852, pg. 79 – Scientific Programme.

http://eurocorr.org/eurocorr_media/EUROCORN+2016+Scientific+Programme.pdf

Trei (3) lucrări prezentate la: **The 13th International Conference on Tribology – ROTRIB'16**, 22 – 24 Septembrie 2016, Complexul Muzeal de Științele Naturii "Răsvan Angheluță" Galați, România.

<http://www.rotrib16.ugal.ro/index.php/rotrib/rotrib2016>

1. Lidia BENEĂ.

Bio and nanomaterials in tribocorrosion systems.

Oral presentation.

Session: Tribochemistry and tribocorrosion (TT), TT 2.

<http://www.rotrib16.ugal.ro/index.php/rotrib/rotrib2016/schedConf/program>

2. Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ, Pierre PONTIAUX.

Porous TiO₂-ZrO₂ thin film formed by electrochemical technique to improve the biocompatibility of titanium alloy in physiological environment.

Session: Tribochemistry and tribocorrosion (TT), TT 3.

<http://www.rotrib16.ugal.ro/index.php/rotrib/rotrib2016/schedConf/program>

3. Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ, Pierre PONTIAUX, Jean-Pierre CELIS.

Improving tribocorrosion behaviour by electro-codeposition of TiC nano-dispersed particles with nickel as hybrid layers for energy applications.

Session: Tribochemistry and tribocorrosion (TT), TT 4.

<http://www.rotrib16.ugal.ro/index.php/rotrib/rotrib2016/schedConf/program>

10.2.2. Participări la 2 conferințe naționale

TOTAL 14 Lucrări din care: 1 - Invited Lecture și 13 - prezentări orale

Cinci (5) lucrări prezentate la: **Scientific Conference organized by the Doctoral Schools of "Dunărea de Jos" University of Galați (CSSD-UDJG 2016)**, Fourth Edition of Scientific Conference of Doctoral Schools from UDJ Galați, 2 - 3 Iunie 2016, Galați, România.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/>

1. Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ.

Electrochemical techniques applied to nanostructuring of surfaces and to materials, coatings or films characterization.

Invited Lecture.

Section 3: Functional Materials & Nanotechnologies, I.L. 3.3, pg. 23 – Book of Abstract.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts>

2. Laurențiu MARDARE, Lidia BENEĂ.

The corrosion behavior of naval steel covered with polymeric paints in marine environments.

Oral presentation.

Section 3: Functional Materials & Nanotechnologies, O.P. 3.4, pg. 44 – Book of Abstract.

<http://www.cssd-udjg.ugal.ro/index.php/abstracts>

3. Valentin-Marian DUMITRAȘCU, Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ.

Nanoporous alumina film anodic formed on aluminium alloy to enhance the anticorrosion properties in specific environments.

Oral presentation.

Section 3: Functional Materials & Nanotechnologies, O.P. 3.5, pg. 45 – Book of Abstract.

<http://www.cssd-udig.ugal.ro/index.php/abstracts>

Această lucrare a primit premiul II la Secțiunea 3 – Materiale Funcționale și Nanotehnologii.

4. Doinița PÎRVU-NEAGU, Lidia BENEĂ, Eliza DĂNĂILĂ.

Corrosion degradation of materials used in municipal waste water transportation and collection systems.

Oral presentation.

Section 3: Functional Materials & Nanotechnologies, O.P. 3.6, pg. 46 – Book of Abstract.

<http://www.cssd-udig.ugal.ro/index.php/abstracts>

5. Doru MATEI, Lidia BENEĂ.

Electrochemical studies of zinc electrodeposition on mild steel.

Oral presentation.

Section 3: Functional Materials & Nanotechnologies, O.P. 3.7, pg. 47 – Book of Abstract.

<http://www.cssd-udig.ugal.ro/index.php/abstracts>

Nouă (9) lucrări prezentate la: Sesiunea Națională de Comunicări Științifice Studentești Anghel Saligny, Ediția a VIII-a, 18 - 19 Mai 2016, Facultatea de Inginerie, Universitatea "Dunărea de Jos", din Galați, România.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/index.html

1. Studenți: **Alin Catalin CRETU, Marius DIMA**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, drd. ing. Laurențiu MARDARE.

Comportarea la coroziune a aliajelor de cupru în medii specifice construcțiilor navale (Cu și Cu-Ni).

Oral presentation.

Secțiunea 1: Tehnologii moderne în construcții de mașini și ingineria sudării.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

Această lucrare a primit o mențiune la Secțiunea 1: Tehnologii moderne în construcții de mașini și ingineria sudării.

2. Studente: **Petruta Violeta PRODAN, Ionica ANTON**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, drd. ing. Valentin DUMITRAȘCU.

Coroziunea aliajelor de aluminiu (3003 și 5754) pentru aplicații în industria auto (NaCl și antigel).

Oral presentation.

Secțiunea 1: Tehnologii moderne în construcții de mașini și ingineria sudării.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

3. Studenți: **Georgian MANOLE, Alin GOSAV**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, dr. ing. Eliza DANAILA.

Evaluarea comportării la coroziune a oțelurilor speciale pentru industria de automobile.

Oral presentation.

Secțiunea 3: Mașini termice și automobile.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

4. Studenta: **Camelia STAICU**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, drd. ing. Valentin DUMITRAȘCU.

Coroziunea aliajelor de aluminiu (3003 și 1050) pentru aplicații în industria navală (influența vitezei).

Oral presentation.

Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

Această lucrare a primit Premiul I la Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

5. Studenți: **Adrian TANASE, Marius STOIAN**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, drd. ing. Valentin DUMITRAȘCU.

Coroziunea influențată microbiologic (MIC) - impact asupra mediului și securității muncii.

Oral presentation.

Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

Această lucrare a primit Premiul AGIR la Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

6. Studente: **Andreea Madalina MUNTEANU, Sara HONDRILĂ**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, dr. ing. Eliza DĂNĂILĂ.

Evaluarea comportării la coroziune a cuprului și aliajelor de cupru (Cu, alama) în medii apoase. Influența vitezei.

Oral presentation.

Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

Această lucrare a primit o mențiune la Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

7. Studenți: **Andreea PANAITE, Antonel URECHE**, Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, drd. ing. Laurențiu MARDARE.

Inhibitori de coroziune ecologici din extracte vegetale pentru diferite materiale utilizate în medii acide (oțeluri, cupru).

Oral presentation.

Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

Această lucrare a primit premiul II la Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

8. Studenți: **Ionel FROMEA, Florin PRICOPI**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, dr. ing. Eliza DĂNĂILĂ.

Recuperarea metalelor grele (zincul) din apele industriale uzate prin electroliză.

Oral presentation.

Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

Această lucrare a primit premiul I la Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

9. Studenți: **George ENEA, Catalin MATEI**; Coordonatori științifici: **prof. dr. chim. Lidia BENEĂ**, drd. ing. Laurențiu MARDARE.

Comportarea electrochimică a oțelurilor inoxidabile în sucurile comerciale.

Oral presentation.

Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

http://www.ing.ugal.ro/Resurse/MENUS/Studenti/Sesiuni/Sesiune_ASaligny/2016/program_final_2016.pdf

Această lucrare a primit premiul I la Secțiunea 8: Energie. Mediu. Securitate.

Rezultate: 10.3. Identificarea și atribuirea de drept de autor cu privire la rezultatele cercetării.

Rezultatul acestui obiectiv este confidențial pentru membrii echipei și a fost materializat prin scrierea unei propuneri de invenții, înregistrată la OSIM cu numărul **A / 00501 din 13-07-2016**, având titlul: **Suprafețe funcționale Co/nano-ZrO₂ obținute prin electrodepunere.**

Propunerea de invenție este evaluată, cu taxele achitate fiind în curs de publicare.

Rezultate: 10.4. Raporte intermediare PostDoc.

Rezultatul acestui obiectiv este confidențial pentru membrii echipei și a fost concretizat într-un raport științific de cercetare privind activitatea cercetătorului postdoctoral, Dr. Eliza Dănăilă, activitate aferentă proiectului de cercetare.

Rezultate: 10.5. Pagină web interactivă.

Rezultatul acestui obiectiv îl reprezintă realizarea unei pagini web publice a proiectului care se poate accesa la următoarele adrese web:

Pe site-ul **Centrului de Cercetare (Competențe): Interfețe – Tribocoroziiune și Sisteme Electrochimice (CC-ITES)**

<http://www.cc-ites.ugal.ro/>

<http://www.cc-ites.ugal.ro/proiecte.htm>

http://www.cc-ites.ugal.ro/in_derulare.htm

Pe site-ul facultății de **Inginerie**:

<http://www.ing.ugal.ro/>

Pe site-ul **Universității Dunărea de Jos din Galați**.

<http://www.hybioelect.ugal.ro>

**11. Rezultate alte activități:
1 Teză de Licență finalizată.**

O (1) Lucrări de licență finalizată:

1. Studentă: Georgeta Ramona TODERAȘCU.

Titlul lucrării de licență:

Materiale avansate și acoperiri de protecție pentru mediul coroziv marin: Creșterea rezistenței la coroziune prin modificarea suprafețelor.

Conducător științific: Prof. univ. dr. Lidia BENEĂ.

Sesiunea iulie 2016,.

Domeniul: Ingineria Mediului.

Specializarea: Ingineria și Protecția Mediului în Industrie.

II. DESCRIEREA REALIZĂRILOR ȘTIINȚIFICE OBȚINUTE

Obținerea suprafețelor funcționale hibride prin tehnici electrochimice de anodizare urmată de electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) precum și hidroxiapatită (HA) – cinetica și parametrii de obținere

Biomaterialele revoluționează multe aspecte ale asistenței medicale de prevenire și terapeutice. Acestea joacă deja un rol important în dezvoltarea de noi dispozitive medicale, proteze, refacerea țesuturilor și tehnologii de înlocuire, sisteme de livrare a medicamentelor și tehnici de diagnosticare.

În ultimii ani s-a observat un ritm accelerat al cercetărilor în dezvoltarea biomaterialelor și caracterizării lor. Această mișcare a fost motivată de cererea în continuă creștere pentru implanturi biomedicale datorată îmbătrânirii populației la nivel mondial, persoanele în vârstă care suferă de diferite tipuri de artrita (osteoartrita, artrita reumatoidă) și traumatisme articulare. În afară de persoanele bolnave, persoanele tinere și dinamice, cum ar fi sportivii, au nevoie adeseori de înlocuiri osoase datorate fracturii sau deformațiilor excesive. Și nu în ultimul rând, nevoia de biomateriale a fost resimțită acut după războaiele mondiale, iar în contextul recent al terorismului global, acest domeniu presupune o mult mai mare însemnătate.

În această etapă au fost stabiliți parametrii optimi pentru obținerea suprafețelor biofuncționale hibride cu molecule bioactive de chitosan (CS) și molecule bioactive de hidroxiapatita (HA) prin tehnici electrochimice de electro-co-depunere pe straturi de oxid nanoporoase obținute prin anodizarea aliajelor de titan.

Odată cu introducerea titanului comercial pur (cp) pentru realizarea de plăci osoase și șuruburi în 1965, acest material a înregistrat o cerere crescută pentru utilizarea în implanturile medicinale. Titanul cp are o rezistență ridicată la coroziune, o biocompatibilitate remarcabilă și, în plus, nu provoacă reacții alergice. O cauză care determină aceste avantaje ar putea fi stratul de oxid care are rol de protecție și care se formează spontan pe suprafața implantului, atâta timp cât oxigenul este prezent. Acest strat de oxid posedă un nivel scăzut de conductivitate electronică iar grosimea acestuia a fost evaluată ca fiind de aproximativ 4-6 nm. Totodată, acest strat natural de oxid pentru titan și aliajele sale acționează ca un film electrochimic pasiv și inhibă ioni negativi să invadeze matricea de titan sau a aliajelor sale și, în acest fel împiedică eliberarea de ioni sau dizolvarea titanului sau a elementelor aliate în fluidele corpului. În această etapă fost selectat ca material suport aliajul Ti-6Al-4V deoarece se cunoaște faptul că acesta are aplicații majore în domeniul medical precum: dentar, ortopedic, cardiovascular, dispozitive de implantare cardiovasculare, organe artificiale externe, senzori biomedicali și biosenzori, bioelectrozi - stimulare electrică și dispozitive de diagnosticare. Totuși această rezistență ridicată la coroziune a titanului și a aliajelor sale poate fi puternic diminuată prin deteriorarea filmului pasiv atunci când pe probă este încărcată o tensiune de încovoiere, chiar dacă proba în sine nu se deteriorează. În plus, elementele de aliere ale titanului precum Al provoacă o neurotoxicitate puternică, cauzând în mod inevitabil îmbolnăvirea oaselor și tulburări neurologice și de asemenea V este considerat a fi un element esențial în organism dar care în cantități excesive este toxic, devenind un element citotoxic puternic. Un alt motiv pentru care tratamentele de modificare a suprafeței aliajului Ti-6Al-4V sunt necesare este faptul că utilizarea acestor materiale în implanturi de articulații este limitată de către coeficientul lor mare de frecare și de rezistență la uzură slabă. De aceea este periculos ca aliajul Ti-6Al-4V destinat implanturilor biomedicale să rămână în corpul uman pentru o lungă perioadă de timp. Deci, modificarea suprafeței acestui aliaj este un lucru promițător care vizează extinderea domeniului de aplicabilitate.

Hidroxiapatita (HA), $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ cu structura cristalină reprezentată în figura 1, este materialul ceramic primar folosit la acoperirea dispozitivelor implantabile atât dentare cât și ortopedice. Scopul principal al aplicării de acoperiri cu HA pe metale sau aliaje metalice, a fost acela de a menține proprietățile mecanice ale substratului metalic și a obține avantaje în privința biocompatibilității acoperirii și în același timp a similarității chimice cu osul. Tot aceasta este materialul de interes particular pentru implanturi de țesut dur în

chirurgia orală și plastică sau pentru utilizare ca umplutură sub formă de pudră, pentru umplerea spațiilor libere (spre exemplu în timpul restabilirii fracturilor osoase complicate cu pierdere considerabilă de material osos sau în caz de spații libere mari rezultate în urma extirpării unor tumori la pacienții tineri, etc.). Hidroxiapatita (HA) posedă proprietăți similare cu fazele minerale sau anorganice ale sistemului osos și a fost dovedit faptul că induce proprietăți bune osteoconductive. Această bioreactivitate rezultă din eliberarea de ioni fiziologici de Ca^{2+} și fosfat HPO_4^- , care sunt preluați în metabolismul mineral natural, ajungând în circulație sub formă de depozite și totodată în procesele regulate de reconstrucție osoasă. Acest proces are la bază capacitatea de descompunere lentă a hidroxiapatitei. Legătura dintre implantul acoperit cu hidroxiapatită și os se realizează ca urmare a structurii analoge a cristalelor de hidroxiapatită ale implantului cu cele ale țesutului osos. Fibrele colagene din os pătrund între cristalele de hidroxiapatită ale implantului și se mineralizează, realizând o legătură chimică. Interfața os-implant este în acest caz o interfață difuză, realizându-se procesul de osteointegrare.

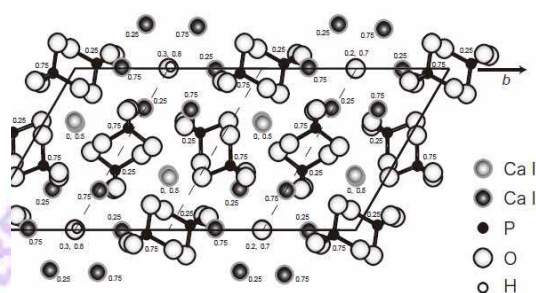


Fig. 1. Structura cristalină a hidroxiapatitei

Chitosanul (CH) este un polimer unic prin caracterul său cationic și proprietățile sale de formare a hidrogelurilor și filmelor biocompatibile și biodegradabile având un mare potențial în domeniul biomedical. Structura moleculară a chitosanului este reprezentată în figura 2. Folosirea chitosanului pentru aplicații biomedicale se datorează următoarelor proprietăți: reacții minime de respingere, condiții ușoare de prelucrare, proprietăți mecanice / biodegradare controlabile, disponibilitatea unor grupări laterale pentru atașarea altor molecule, bioadeziune, acțiune hemostatică și acțiune antibacteriană și antifungică. În domeniul medical, chitosanul a fost dezvoltat nu numai pentru obținerea de piele artificială, suturi chirurgicale absorbabile, sisteme de livrare a medicamentelor sau ca agent cicatrizant, dar, de asemenea, pentru dezvoltarea de materiale noi fiziologice datorită proprietăților sale antitumorale, antimicrobiene, hipocolesterolemizante și consolidării sistemului imunitar.

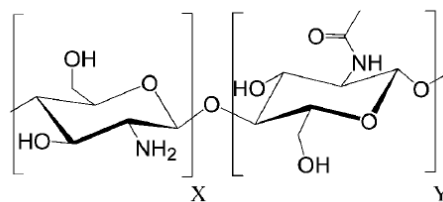


Fig. 2. Structura moleculară a chitosanului

În literatura de specialitate există o serie de metode raportate pentru a modifica suprafețele titanului și a aliajelor sale în scopul proiectării de implanturi biomedicale, care să formeze interfețe biologic adezive între substratul osos și implant. Dintre metodele raportate în numeroasele studii de specialitate pot fi menționate următoarele: oxidare termică, pulverizare cu plasmă, metoda sol-gel, depunere biomimetică, oxidare anodică, depunere prin electroforeză și depunere electrochimică.

Pentru a îmbunătăți rezistența la coroziune și tribocoroziune și a induce biofuncționalizarea aliajului Ti-6Al-4V în această etapă a proiectului au fost aplicate două tehnici electrochimice de modificare a suprafeței și anume: oxidarea anodică urmată de electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) precum și hidroxiapatita (HA).

Oxidarea anodică include reacții ale electrozilor în combinație cu un câmp electric (condus de metal) și difuzia ionilor de oxigen, care duc astfel la formarea unui strat de oxid pe suprafața anodului. În acest proces pot fi utilizați diverși electroliți precum soluții bazate pe Ca-P, și acizi în diferite diluții (H_2SO_4 , H_3PO_4 , CH_3COOH). Principalul avantaj al titanului anodizat îl reprezintă îmbunătățirea proprietăților de aderență și fixare, care sunt foarte relevante în domeniul biomedical. Această metodă poate fi, de asemenea, utilizată pentru a crește grosimea oxidului nativ de pe suprafața titanului și a aliajelor sale, fapt ce duce la creșterea protecției la coroziune, scade eliberarea de ioni și obținerea de acoperiri poroase adecvate pentru aplicații sub condiții de presiune la contact. În figura 3 este prezentat schematic celula electrochimică utilizată la formarea stratului nanoporos de TiO_2 și respectiv morfologia de suprafață și grosimea stratului crescut anodic.

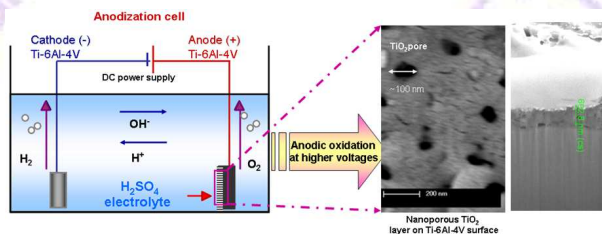


Fig. 3. Prezentarea schematică a celulei electrochimice utilizată la formarea stratului nanoporos de TiO_2

Înainte de începerea procesului de oxidare anodică controlată au fost stabiliți parametrii optimi de lucru precum: stabilirea electrolitului și a vitezei de rotație a acestuia, timpul de operare și tensiunea aplicată. În etapa următoare a fost preparat electrolitul, materialul suport pe care a avut loc formarea stratului nanoporos de TiO_2 , după care s-a pregătit celula electrochimică, cu contactele și electrozii acesteia.

În ultimii ani au fost derulate multe eforturi în elaborarea de metode de procesare pentru a depune hidroxiapatită sau chitosan pe suprafețele metalice din Ti, care să dezvolte o rezistență de legătură mai bună, formabilitate ușoară, densitate specifică adecvată și o excelentă rezistență la coroziune în fluidele din organismul uman. Cercetările elaborate în această etapă și-au concentrat atenția pe introducerea de straturi intermediare, ca filme nanoporoase de TiO_2 controlate anodic, între acoperirile bioactive de hidroxiapatită sau chitosan și substratul de metal.

Electrodepunerea este un alt proces de acoperire care oferă o serie de avantaje, cum ar fi disponibilitatea și costul scăzut al echipamentelor, simplitatea procesului, controlul rigid al grosimii acoperirilor, obținerea de forme complexe și temperatura scăzută din timpul procesului. Parametrii importanți ai procesului de electrodepunere includ compoziția băii, pH-ul, temperatura, valoarea supratensiunii (polarizația electrolitică), tipul de aditivi, etc, în timp ce caracteristicile importante microstructurale ale substratului sunt granulația, textura cristalografică, dislocațiile, densitatea și tensiunile interne.

Pentru a preveni reacțiile adverse ale țesuturilor rezultate din înlocuirea țesutului dur, este de preferat un material bioinert, care este stabil în corpul uman și care este imun la interacțiunea cu fluidele corporale și țesuturile înconjurătoare. Materialele bioactive, precum hidroxiapatita și chitosanul sunt tot mai utilizate ca înlocuitori de țesut dur, datorită capacității lor de a induce regenerarea osoasă și creșterea în oase la interfața țesut - implant, fără existența stratului intermediar de țesut fibros, pe suprafața dispozitivelor implantabile după implantare.

Electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CS) precum și hidroxiapatită (HA), efectuată în această etapă, au fost derulate pe straturile nanoporoase de TiO_2 obținute prin tratamentul de oxidare anodică. În figura 4 este prezentat schematic celula electrochimică utilizată la obținerea suprafețelor funcționale hibride prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CS) precum și hidroxiapatită (HA).

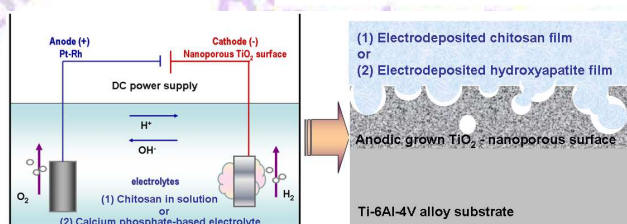


Fig. 4. Prezentarea schematică a procesului de obținere a suprafețelor funcționale hibride prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CS) precum și hidroxiapatită (HA)

Electro-co-depunerile de molecule bioactive de chitosan (CS) precum și hidroxiapatită (HA) s-au obținut la temperatura camerei, folosind o sursă de alimentare cu curent continuu, în electroliți diferiți a căror compoziție și pH sunt confidențiale pentru membrii echipei.

Investigații a proprietăților de suprafață structurale și mecanice prin tehnici avansate a suprafețelor funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) precum și hidroxiapatită (HA)

Prin procesul de oxidare anodică, metalul care este supus tratării este acoperit cu un film poros dincolo de care ionii de oxigen difuzează și oxidează substratul crescând astfel grosimea filmului. Acest tratament își propune să dezvolte pe suprafețele materialelor un film care este dur (să reziste la uzura abrazivă), stabil din punct de vedere chimic (să reziste la coroziune), care scade eliberarea de ioni și crește proprietățile de aderență și fixare.

Filmul nanoporos de TiO_2 obținut în această etapă, prin oxidare anodică a substratului de Ti-6Al-4V, prezintă o morfologie nanoporoasă, cu o dimensiune medie a porilor de TiO_2 estimată la aproximativ 100 nm, așa cum se observă în figura 5. De asemenea din figura 5 se mai poate observa că porii formați anodic sunt uniform distribuiți pe întreaga suprafață analizată.

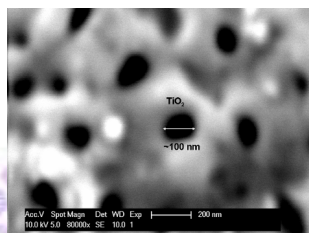


Fig. 5. Morfologia SEM a filmului de TiO_2 format prin oxidare anodică pe aliajului Ti-6Al-4V

În figura 6 (a) și (b) sunt reprezentate comparativ morfologia suprafețelor obținute în urma tratamentului de oxidare anodică (Fig. 6 a) și a suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA) pe suportul nanoporos (Fig. 6 b), destinate proiectării de implanturi biomedicale, care să formeze interfețe biologic adevize între substratul osos și implant.

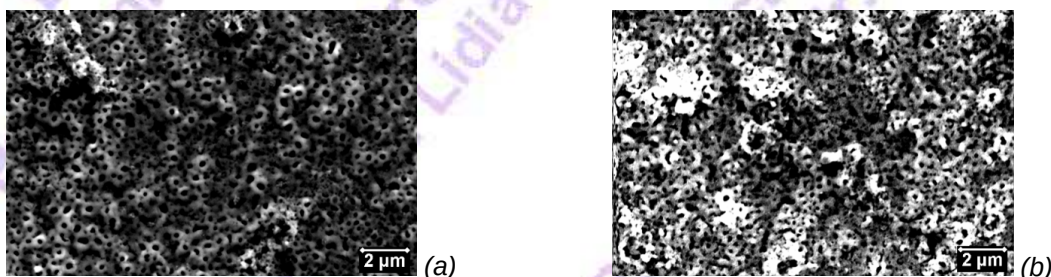


Fig. 6. Morfologia straturilor obținute în urma: (a) tratamentului de oxidare anodică și (b) suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatita (HA) pe suportul nanoporos

Din figura 6 se poate observa că pe suprafața de oxid obținută în urma oxidării anodice (a), sunt ancorate în și între pori, depozite cristaline (b) obținute ulterior electrodepunerii de hidroxiapatită din electrolit. Acest mod de inserție aduce o contribuție la îmbunătățirea proprietății de aderență.

De asemenea, în figura 6 se mai relevă faptul că în urma tratamentului de electrodepunere a

hidroxiapatitei dimensiunea porilor corespunzătorii suprafeței oxidate anodic a devenit ușor mai mică. În același timp, suprafața acoperită cu hidroxiapatită relevă faptul că menține morfologia inițială a suprafețelor oxidate anodic, într-o foarte mare măsură, ca urmare a formării unui strat extrem de subțire de HA.

În figura 7 (a) și (b) sunt reprezentate comparativ morfologia suprafețelor obținute în urma tratamentului de oxidare anodică (Fig. 7 a) și a suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos (Fig. 7 b).

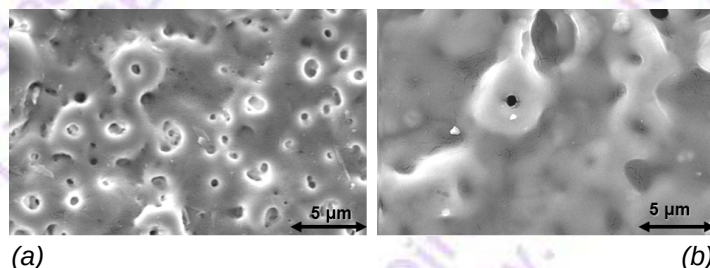


Fig. 7. Morfologia straturilor obținute în urma: (a) tratamentului de oxidare anodică și (b) suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos

Prin compararea Fig. 7 (a) cu Fig. 7 (b) se poate observa clar că filmul de chitosan electrodepus pe suportul nanoporos menține morfologia inițială a suprafețelor oxidate anodic, într-o foarte mare măsură, și acoperă uniform toată suprafața analizată. Și în acest caz, electrodepunerea filmului de chitosan reduce ușor dimensiunea porilor datorită depunerii acestuia nu numai între pori dar și în interiorul acestora.

În figura 8 sunt redată spectrele EDX precum și compoziția elementară corespunzătoare filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică (Fig. 8a), suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatita (HA) pe suportul nanoporos (Fig. 8b) și suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos (Fig. 8c).

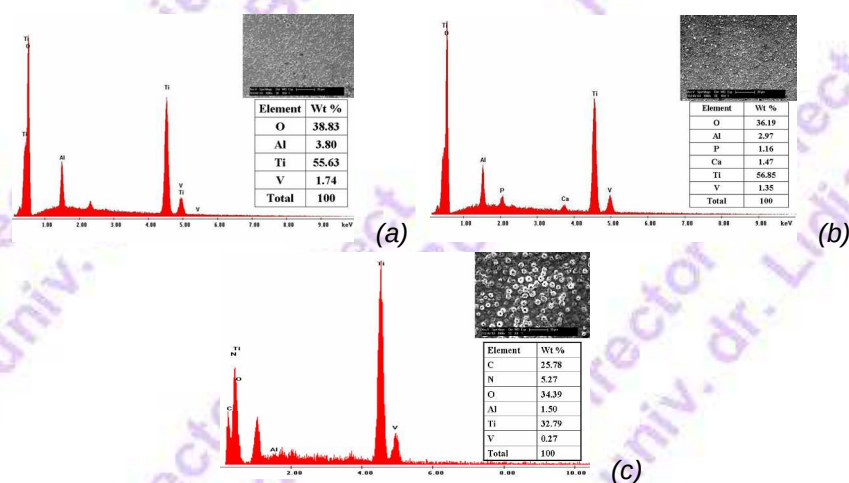


Fig. 8. Spectre EDX corespunzătoare: (a) filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică, (b) suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatita (HA) pe suportul nanoporos și (c) suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos

La analiza spectrului EDX din figura 8 (b), se poate observa clar că pe lângă elementele corespunzătoare filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică, și-au făcut simțită prezența elementele P și Ca. Se cunoaște faptul că, calciul, fosforul și oxigenul sunt constituenții necesari ai hidroxiapatitei. Prin urmare, prezența acestor trei elemente (Ca, P, O) în spectrul EDX de față, sugerează că hidroxiapatita a fost depusă cu succes pe filmului nanoporos de TiO_2 prin procesul de electrodepunere din electrolit.

La analiza spectrului EDX din figura 8 (c), se poate observa clar că pe lângă elementele corespunzătoare filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică, și-au făcut simțită prezența elementele C și N. Se cunoaște faptul că, carbonul și azotul sunt constituenții necesari ai chitosanului. Prin urmare, prezența acestor două elemente (C, N) în spectrul EDX de față, sugerează că chitosanul a fost electrodepus cu succes pe filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică.

Difracția de radiații X (XRD) este o metodă de analiză a structurii cristaline, texturii și mărimii cristalitelor a unui material. Pentru a confirma electrodepunerea molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos, au fost efectuate analize XRD.

Figura 9 este reprezentativă difractogramelor XRD corespunzătoare (a) filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (b) suprafeței funcționale hibride obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos.

La analiza difractogramei din figura 9 (b), se poate observa clar că pe lângă intensitatea picurilor de difracție a elementelor corespunzătoare filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică, sunt prezente și picurilor de difracție corespunzătoare chitosanului. Deci o dovadă în plus a electro-co-depunerii cu succes a moleculelor bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos a fost deasemenea observată prin analizele XRD.

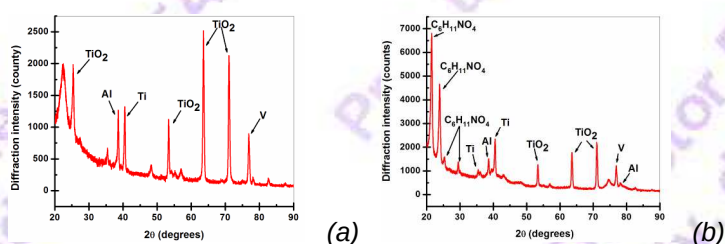


Fig. 9. Spectre XRD corespunzătoare: (a) filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (b) suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos

În figura 10 (a) și (b) sunt redată imaginile obținute cu ajutorul microscopiei electronice (SEM) în secțiune transversală corespunzătoare suprafețelor funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos la densitățile de curent de 0.3 mA/cm^2 și respectiv 0.6 mA/cm^2 .

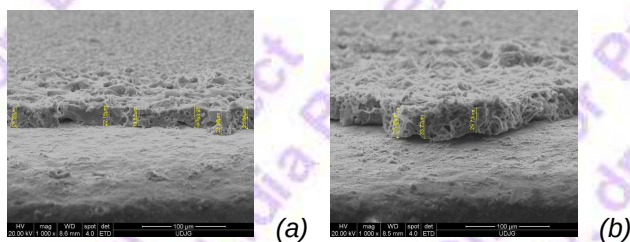


Fig. 10. Micrografii SEM în secțiune transversală a suprafețelor funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos la densitatea de curent de: (a) 0.3 mA/cm^2 și (b) 0.6 mA/cm^2

Așa cum se poate observa în figurile 10 (a) și (b), grosimea stratului hibrid obținut prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) crește odată cu creșterea densității de curent la același timp de electrodepunere de 20 de minute.

Nanoindentarea, ca tehnică de măsurare pentru determinarea proprietăților mecanice în apropiere de interfață poate furniza date importante pentru studiul proprietăților de deformare și fracturare a materialelor. În timpul unui test tipic de nanoindentare, forța și deplasarea sunt înregistrate atunci când vârful indenterului este presat în suprafața materialului testat și apoi retras. Această tehnică are capacitatea de a măsura adâncimea de penetrare și poate determina rezistența la deformare plastică sau elastică a suprafeței stratului studiat. Valorile rezultate în urma experimentelor de nanoindentare au fost următoarele: duritatea

Vickers (HV), nanoduritatea (Hv) și modulul de elasticitate (E).

Figura 11 ilustrează adâncimea de penetrare funcție de forța normală aplicată de 100 mN pentru (a) aliajul Ti-6Al-4V netratat, (b) filmul nanoporos de TiO₂ format prin oxidare anodică și (c) suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos.

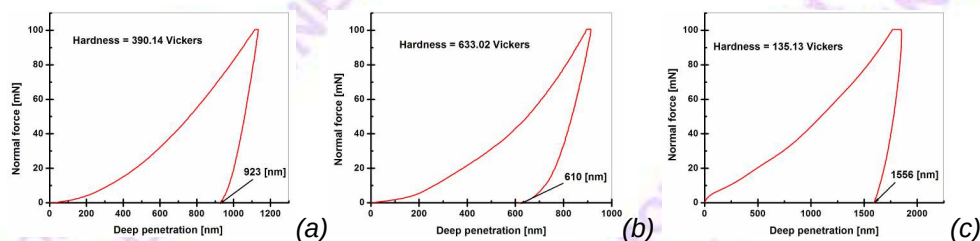


Fig. 11. Adâncimea de penetrare funcție de forța normală aplicată de 100 mN corespunzătoare: (a) aliajului Ti-6Al-4V netratat, (b) filmului nanoporos de TiO₂ format prin oxidare anodică și (c) suprafeței funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos

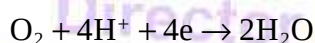
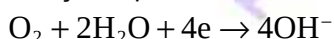
Din figura 11 se poate observa clar că valoarea adâncimii de penetrare cea mai mică corespunde filmului nanoporos de TiO₂ format prin oxidare anodică (610 nm). Prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos de TiO₂ format prin oxidare anodică, adâncimea de penetrare atinge valoarea cea mai mare și anume 1556 nm. Această diferență între valorile adâncimii de penetrare confirmă faptul că electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) pe suportul nanoporos a fost un succes. Adâncimea de penetrare a filmului de chitosan este mai mare comparativ cu cea a filmului nanoporos de TiO₂, deoarece chitosanul are niște proprietăți mecanice mai mici comparativ cu cele ale filmului nanoporos de TiO₂ format anodic. Această ultimă afirmație confirmă deasemenea și valorile durității Vickers, indicate în aceleași figuri 11 (b) și (c).

Investigații experimentale a proprietăților de rezistență la coroziune a suprafețelor funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) precum și hidroxiapatită (HA)

Procesul de coroziune este un proces spontan de distrugere a metalelor, în urma interacțiunilor chimice, electrochimice și biochimice cu mediul, fapt ce conduce la eliberarea ionilor metalici și a oxizilor corespunzători în mediul înconjurător, fiind cea mai nedorită reacție chimică. Acești ioni sau oxizi pot fi biologic activi și potențial cancerigeni [30]. În cazul aliajului Ti-6Al-4V, atât ionii de Al cât și cei de V sunt clasați ca fiind elemente nocive și sunt asociați cu probleme de sănătate pe termen lung, cum ar fi boala Alzheimer sau neuropatie.

Coroziunea unui aliaj este puternic influențată de formarea filmului pasiv pe suprafața aliajului și de prezența elementelor de aliere. Schimbările structurale ale filmului pasiv sau variația conductivității electrice sau ionice a filmului, modifică rezistența la coroziune. În cazul aliajului Ti-6Al-4V, oxidul de vanadiu, prezent în filmul pasiv se dizolvă conducând la generarea și difuzarea de vacanțe în stratul de oxid de pe suprafața acestui aliaj.

Oxygenul dizolvat prezent în țesuturile organismului, promovează coroziunea materialului implantat, ca urmare a două reacții catodice diferite în funcție de pH-ul mediului:



Pentru investigarea procesului de coroziune al unui material destinat implantării, există diferite tehnici de analiză precum evoluția în timp a potențialului liber (OCP), curbe de polarizare în regim potențiodinamic (PD), voltametrie ciclică (CV) sau curbe de spectroscopie de impedanță electrochimică (EIS).

Variația în timp a potențialului în circuit deschis (OCP) este o metodă electrochimică, de testare la

coroziune, care indică tendința de oxidare electrochimică a unui material într-un mediu coroziv. După o perioadă de imersare acesta se stabilizează în jurul unei valori staționare. Acest potențial poate varia cu timpul, deoarece apar modificări la suprafața electrodului (oxidare, formarea stratului pasiv sau de o imunitate). Potențialul de electrod în circuit deschis este utilizat ca un criteriu de comportare la coroziune.

Pasivarea este un proces electrochimic și/sau chimic care constă în scăderea vitezei de coroziune la valori foarte mici datorită modificării calitative a interfeței metal/agent coroziv. Această modificare se poate datora formării unei pelicule de oxid sau de sare greu solubilă sau a unui strat de oxigen chemosorbit, aderent, lipsit de discontinuități care acționează ca o barieră cinetică și care împiedică oxidarea și solvatarea ionilor formați. În stare de pasivitate metalele sunt practic imune la coroziune și, din punct de vedere electrochimic, se comportă ca metalele nobile inatacabile.

În figura 12 sunt reprezentate variația în timp pentru o perioadă de 60 minute a potențialelor libere corespunzătoare (1) aliajului Ti-6Al-4V netratat, (2) filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafeței funcționale hibride obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA) pe suportul nanoporos.

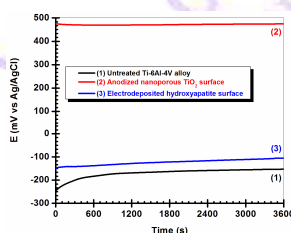


Fig. 12. Variația în timp a potențialului liber pentru: (1) aliajul Ti-6Al-4V netratat, (2) filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA)

Din figura 12 se observă că pentru suprafața netratată corespunzătoare aliajului Ti-6Al-4V, valoarea potențialului liber de la imersie a cărei valoare a fost de -246 mV versus Ag/AgCl a crescut până la finalul celor 60 de minute la valoarea de -152 mV versus Ag/AgCl. Această tendință de înnobilare a potențialului sugerează faptul că pe suprafața sa se formează un film protector de oxid.

În cazul filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică, potențialul de la imersie de +476 mV față de Ag/AgCl a evoluat până la finalul experimentului la +474 mV față de Ag/AgCl. Deoarece această diferență de potențial (imersie-final) este nesemnificativă, de doar 2 mV, se poate considera că potențialul acestei suprafețe este constant pe toată perioada celor 60 de minute, fapt ce demonstrează stabilitatea suprafeței filmului nanoporos de TiO_2 obținut experimental. Mai mult decât atât, comparând valorile de potențial dintre suprafața netratată și suprafața nanoporoasă obținută în urma procesului de oxidare anodică, este clar relevant faptul că în urma oxidării anodice, valoarea de potențial corespunzătoare acestei suprafețe este cu mult înnobilită comparativ cu suprafața netratată. Această evoluție de înnobilare a potențialului suprafeței oxidate anodic poate fi explicată prin prezența unui strat mai gros de oxid comparativ cu suprafața netratată, care acoperă complet suprafața aliajului.

Deasemenea, din aceeași figură 12 se observă faptul că pentru suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA), valoarea potențialului de la imersie a cărei valoare a fost de -152 mV versus Ag/AgCl a crescut până la finalul celor 60 de minute la valoarea de -105 mV versus Ag/AgCl. Și în acest caz, înnobilarea potențialului sugerează faptul că pe suprafața sa se formează un film protector pasiv. Valoarea de potențial corespunzătoare acestei suprafețe este situată între valorile de potențial ale suprafeței netratate și cea oxidată anodic. Această ultimă observație subliniază faptul că rolul hidroxiapatitei nu este acela de a crește rezistența la coroziune, ci de a îmbunătăți capacitatea de osteointegrare.

Pentru evaluarea cineticii proceselor de coroziune, pentru materialul studiat au fost înregistrate, deasemenea, curbe de polarizare în regim potențiodinamic (PD). Diagramele $i = f(E)$ (curbe intensitate-potențial) trasate într-un domeniu larg de potențial, de la potențial catodic la potențial anodic, cu o viteză de baleiaj constantă ne permit să facem câteva previziuni asupra materialului și a mediului de testare.

Pe baza acestor curbe se poate determina viteza de coroziune a aliajului Ti-6Al-4V având cele trei tipuri de suprafețe ce trebuiesc studiate. De obicei starea pasivă este cea care se urmărește în protecția

anticorozivă. Cu cât starea pasivă se întinde pe un domeniu de potențial mai mare și cu atât curentul de pasivare are valoarea mai mică, atunci metalul sau aliajul prezintă, în acel mediu și în acele condiții de lucru în care s-a înregistrat curba potențiodinamică, rezistența cea mai ridicată la coroziune.

În Fig. 13 sunt prezentate comparativ curbele de polarizare în regim potențiodinamic corespunzătoare: (1) aliajului Ti-6Al-4V netratat, (2) filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafeței funcționale hibride obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA) pe suportul nanoporos. Pentru trasarea curbelor de polarizare în regim potențiodinamic, tensiunea aplicată la bornele circuitului a variat între potențialul maxim negativ de -1.5 V și potențialul maxim pozitiv de +3.5 V. Variația potențialului între valorile extreme impuse a fost făcută pentru viteza de baleiere egală cu 1 mV/sec.

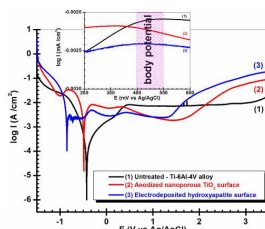


Fig. 13. Curbele de polarizare în regim potențiodinamic pentru: (1) aliajul Ti-6Al-4V netratat, (2) filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA)

Din figura 13 se poate observa că filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA) relevă densități de curent în domeniul pasiv mai mici comparativ cu suprafața aliajul Ti-6Al-4V netratat. De asemenea se poate sublinia faptul că densitatea de curent în domeniul potențialului organismului (400 – 500 mV) ia valori mai mici pentru cele două suprafețe tratate în comparație cu suprafața aliajul Ti-6Al-4V netratat. Prin urmare, rezistența la coroziune a aliajului Ti-6Al-4V poate fi îmbunătățită prin creșterea anodică controlată a filmului nanoporos de TiO_2 și depunerea electrochimică a moleculelor bioactive de hidroxiapatită pe suprafața nanoporoasă.

Metoda spectroscopiei de impedanță electrochimică (EIS) este o metodă de studiu în curent alternativ a proceselor de electrod. Metoda de impedanță electrochimică, comparativ cu metoda de polarizare în regim potențiodinamic care determină o modificare a suprafeței electrodului prin impunerea unor valori de potențial, păstrează starea de echilibru la interfața solid-soluție, aplicând un semnal sinusoidal cu valoare mică (5-10 mV, pentru a obține un răspuns linear) și a se observa modul în care electrodul revine la starea staționară și de asemenea prin balierea frecvențelor într-un domeniu larg (10^5 și 10^{-2} Hz). Din acest motiv, această metodă este de preferat pentru a studia cinetica electrochimică a interfețelor supuse coroziunii și în plus oferă cele mai multe informații asupra proceselor ce decurg iar datele rezultate sunt mai realiste. Datele curbelor de spectroscopie de impedanță electrochimică efectuate la potențialul de coroziune sunt procesate de obicei sub forma diagramelor în reprezentări Nyquist (componenta imaginară a impedanței în funcție de componenta reală) pentru a deduce rezistența la polarizare din diametrele semicercurilor obținute prin simulare cu diverse modele de circuit echivalent. Dacă valoarea rezistenței de polarizare este mare, atunci viteza de coroziune este mică.

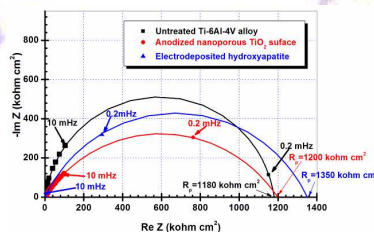


Fig. 14. Reprezentări Nyquist a diagramelor EIS pentru: (1) aliajul Ti-6Al-4V netratat, (2) filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA)

Din figura 14 este evidențiat faptul că electrodul din Ti-6Al-4V cu suprafața netratată prezintă o rezistență de polarizare obținută prin simulare de $R_p = 1180 \text{ K}\Omega \cdot \text{cm}^2$, în timp ce pentru filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită, valoarea rezistență de polarizare crește atingând valorile de $R_p = 1220 \text{ K}\Omega \cdot \text{cm}^2$, respectiv $R_p = 1350 \text{ K}\Omega \cdot \text{cm}^2$. Prin urmare, și aceste măsurători EIS confirmă faptul că rezistența la coroziune a aliajului Ti-6Al-4V poate fi îmbunătățită prin creșterea anodică controlată a filmului nanoporos de TiO_2 și depunerea electrochimică a moleculelor bioactive de hidroxiapatită pe suprafața nanoporoasă.

Investigații experimentale a proprietăților de tribocoroziune a suprafețelor funcționale hibride obținute prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de chitosan (CH) precum și hidroxiapatită (HA) prin metoda bidirecțională de contact cu frecare (fretting -corrosion)

În domeniul biomedical, aplicațiile tribocoroziunii pot fi studiate în două direcții majore, și anume, intervenții chirurgicale ortopedice și stomatologie. Aspectele tribologice ale articulațiilor corpului, în special de șold și genunchi sunt explorate de către mulți cercetători, deoarece se dorește îmbunătățirea duratei de viață a acestor articulații, și, de asemenea se dorește ajutarea pacienților pentru a evita o intervenție chirurgicală de revizuire. Stomatologia este un alt domeniu biomedical, unde procesul tribocoroziv are o aplicare directă. De fapt, fiecare proces de mestecat reprezintă un ciclu tribocoroziv, deoarece frecarea are loc între dinte și particulele alimentare în prezența unui lichid chimic, și anume, saliva. Unul din motivele care conduc la eșecul implanturilor se datorează eliberării de resturi de uzură ale implantului în țesutul înconjurător, fapt ce duce la resorbția osoasă, și în final la slăbirea implantului. Consecințele acestui proces duc la degradarea implantului și, prin urmare, implantul trebuie înlocuit cu unul nou.

În forma lor nativă, filme de TiO_2 care acoperă titanul și aliajele sale au proprietăți mecanice slabe și se pot deteriora foarte ușor sub condiții de uzură prin frecare sau alunecare. Prin urmare, filmele oxidice trebuie formate în mod intenționat cu ajutorul diferitelor tehnici de modificare a suprafeței.

În figura 15 este prezentat schematic set-up experimental folosit în cadrul experimentelor de tribocoroziune prin metoda bidirecțională de contact cu frecare.

În figura 16 este redată evoluția potențialului liber pentru: (1) aliajul Ti-6Al-4V netratat, (2) filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA), înainte, în timpul și după frecare, pentru 1000 cicluri, la frecvența de 5 Hz, aplicând o forță normală de $F_N = 400 \text{ mN}$.

Din figura 16 se poate observa că pentru aliajul Ti-6Al-4V cu suprafața netratată, la momentul aplicării forței normale, se observă o scădere bruscă în evoluția potențialului liber (OCP). Acest salt al potențialului în domeniul catodic este asociat cu prejudiciul suferit de suprafața probei, ca urmare a îndepărtării stratului protector de oxid, ca o consecință a interacțiunii mecanice ce are loc între bila de alumina, probă și suprafața expusă la coroziune. În timpul frecării sunt sesizate niște fluctuații în evoluția potențialului liber pentru probele din Ti-6Al-4V cu suprafața netratată.

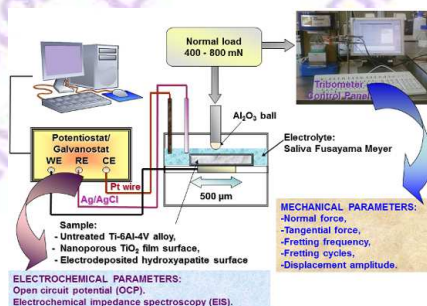


Fig. 15. Prezentarea schematică a set-up -ului experimental utilizat la testele de tribocoroziune prin metoda bidirecțională de contact cu frecare

Acest lucru se datorează îndepărtării periodice (depasivare) a filmului pasiv din zona de frecare cu bila

de alumina și creșterii acestuia (repasivare), cauzată de contactul cu electrolitul. La momentul în care forța normală este încetată, potențialului liber al aliajului Ti-6Al-4V cu suprafața netratată crește (schimbare anodică), acesta ajungând aproape de valoarea inițială, datorită procesului de repasivare a substratului. Acest lucru indică re-crearea unei stări pasive, prin formarea unui strat subțire de oxid în zona liniei de uzură. Trebuie remarcat faptul că rata cu care scade potențialul în circuit deschis la momentul încărcării forței pe probă este total diferită de rata cu care crește potențialul liber la momentul în care aplicarea forței normale este oprită. Acest lucru indică faptul că procesele care stau la baza celor două cazuri sunt diferite și au cinetici diferite. Într-adevăr simultan cu încărcarea forței pe probă are loc o distrugere mecanică bruscă a suprafeței filmului pasiv, în timp ce la momentul în care forța normală este oprită are loc procesul de repasivare cu o rată de oxidare destul de limitată și progresivă.

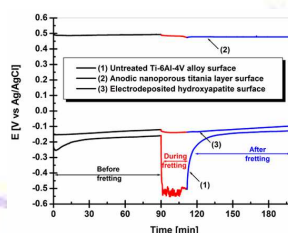


Fig. 16. Evoluția potențialului liber pentru: (1) aliajul Ti-6Al-4V netratat, (2) filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA), **înainte**, **în timpul** și **după** frecare, pentru 1000 cicluri, la frecvența de 5 Hz, aplicând o forță normală de $F_N=400$ mN

Pentru filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită, care au fost supuse la tribocoroziune, la momentul aplicării forței normale, nu s-a observat acea scădere bruscă în evoluția potențialului liber (OCP) ca în cazul aliajului Ti-6Al-4V cu suprafața netratată, deci stratul de TiO_2 obținut prin oxidare anodică și cel electrodepus cu molecule bioactive de hidroxiapatită nu au fost îndepărtate atunci când a început frecarea. Acest lucru sugerează că filmele de oxid nano-poroase obținute în urma tratamentului de oxidare anodică și cele electrodepute cu molecule bioactive de hidroxiapatită sunt capabile să asigure o rezistență crescută la tribocoroziune. Totodată, se poate remarca, efectiv că, în timpul frecării atât pentru suprafețele oxidate anodic cât și cele electrodepute cu hidroxiapatită ulterior oxidării anodice, nu sunt sesizate fluctuațiile de potențial liber care au fost constatate pentru aliajul din Ti-6Al-4V cu suprafața netratată, ceea ce subliniază încă o dată stabilitatea filmelor de oxid nano-poroase obținute în urma tratamentului de oxidare anodică, respectiv electrodepunere de molecule bioactive de hidroxiapatită.

În figura 17 este prezentată evoluția comparativă a coeficienților de frecare corespunzători (1) aliajului Ti-6Al-4V netratat, (2) filmului nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafeței funcționale hibride obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită.

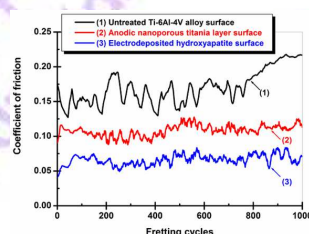


Fig. 17. Evoluția coeficienților de frecare pentru: (1) aliajul Ti-6Al-4V netratat, (2) filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și (3) suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (HA), **înainte**, **în timpul** și **după** frecare, pentru 1000 cicluri, la frecvența de 5 Hz, aplicând o forță normală de $F_N=400$ mN

Din figura 17 ne este dezvăluit faptul că straturile nanoporoase de TiO_2 obținute prin tratamentul de oxidare anodică, și de asemenea cele de hidroxiapatită formate prin electrodepunere, reduc semnificativ coeficientul de frecare al aliajului Ti-6Al-4V netratat.

La sfârșitul experimentelor de tribocoroziune, uzura totală a probelor din Ti-6Al-4V cu suprafața netratată, cu filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită, au fost evaluate din punct de vedere al morfologiei de suprafață și a compoziției elementare redată prin spectre EDX. Morfologiile de suprafață corespunzătoare urmelor de uzură a aliajului Ti-6Al-4V care a dispus de suprafața netratată dar și modificată electrochimic sunt prezentate în figura 18 (a), (b) și (c). Profilele 3D a urmelor de uzură pentru aliajul Ti-6Al-4V netratat, filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică și suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită sunt prezentate în figura 18 (d), (e) și (f).

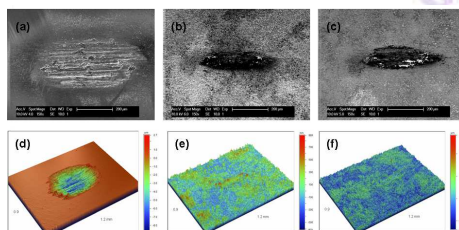


Fig. 18. Cuantificarea urmelor de uzură prin imagini SEM (a), (b) și (c) respectiv profile 3D de suprafață (d), (e) și (f) pentru: aliajul Ti-6Al-4V netratat (a) și (d), filmul nanoporos de TiO_2 format prin oxidare anodică (b) și (e) și suprafața funcțională hibridă obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită (c) și (f)

Din figura 18 se observă clar că prejudiciul suferit de suprafețele nanoporoase de TiO_2 și respectiv suprafețele funcționale hibride obținută prin electro-co-depunerea de molecule bioactive de hidroxiapatită, datorat procesului de tribocoroziune este cu mult redus comparativ cu suprafața aliajului Ti-6Al-4V netratat.

Datele experimentale parțiale prezentate în acest raport sunt originale și este interzisă reproducerea, copierea sau multiplicarea lor fără acordul scris al directorului de proiect cu nr. 10 din 30.08.2013, cod proiect: PN-II-ID-PCE-2012-4-0370 HyBioElect.

Director proiect
Prof. univ. dr. Lidia BENEĂ

--//--