



## EDITO

*Par Alexandre FLEURENTIN (METALLO CORNER)  
Président de la section Ile-de-France de l'A3TS*

Constitué d'un proton et d'un électron, l'atome d'hydrogène est l'élément le petit du tableau de classification des éléments chimiques de Mendeleïev. Deux atomes d'hydrogène forment la molécule dihydrogène ( $H_2$ ). On peut trouver ce gaz à l'état naturel (hydrogène blanc) : en Turquie, au Brésil, au Mali, aux U.S.A., en Russie ou au Sultanat d'Oman... Cependant, il est essentiellement produit par vaporeformage du méthane, par l'oxydation partielle du pétrole, par gazéification du charbon et, dans une moindre mesure, par l'électrolyse de l'eau.

De ses propriétés physico-chimiques découlent les avantages et les inconvénients de son utilisation, principal enjeu d'aujourd'hui et de demain en vue de favoriser le développement d'énergies renouvelables dans la production d'électricité et de limiter, de ce fait, les émissions de gaz à effet de serre. Associé aux impératifs écologiques, la nécessité du développement du dihydrogène devient un impératif pour consolider l'indépendance énergétique européenne qui devient une priorité face aux problèmes géopolitiques croissants du moment.

Comprendre les propriétés de ce gaz (faible densité, forte mobilité, vastes domaines d'inflammabilité et de détonation, interactions fortes avec les matériaux métalliques...) permet de tracer les axes de travail pour répondre aux défis technologiques d'aujourd'hui et de demain, tournés vers l'étanchéité, la sécurité des installations hydrogénées et la fragilisation par l'hydrogène des matériaux métalliques. En ce qui concerne cette dernière thématique, les problèmes d'ordre métallurgique sont :

- l'attaque par hydrogène avec la formation de méthane in situ dans les appareils d'équipement sous pression,
- la fragilisation par l'hydrogène pour les alliages à hautes caractéristiques mécaniques,
- le cloquage sous hydrogène avec la recombinaison in situ du gaz  $H_2$ .

Ces phénomènes métallurgiques ont pour conséquence une impossibilité d'utiliser certains alliages en présence d'hydrogène ou d'induire une réduction drastique de la durée de vie des produits en milieu hydrogéné, en accélérant les endommagements par fatigue et/ou fluage.

Pour limiter ces difficultés majeures, il existe une multitude de solutions en travaillant sur le choix des matériaux métalliques, les caractéristiques mécaniques visées, la mise en place de revêtements en effet barrière ou stockage ou en travaillant sur des systèmes de dégazage ou de piégeage de l'hydrogène.

Consciente des enjeux autour des matériaux métalliques, l'A3TS donnera la parole à plusieurs acteurs majeurs de la filière hydrogène (AIRBUS, JOHN COCKERILL, CETIM, IRT JULES VERNE, SYMBIO)

lors d'une table ronde organisée le 8 juin prochain à Nantes, dans le cadre du 48ème Congrès des traitements thermiques et traitements de surface.

Se tiendront par ailleurs, les 4 et 5 octobre 2022, à Paris, les journées techniques « Hydrogène, défis technologiques dans les matériaux métalliques » organisées par la section Ile-de-France de l'A3TS qui aborderont les thèmes suivants :

- les endommagements des matériaux métalliques causés par l'hydrogène
- les traitements de surface : problèmes et solutions
- Le travail sous hydrogène pressurisé
- La production, le transport et l'utilisation de l'hydrogène

Nous vous attendons, nombreux, autour de ces événements, pour trouver ensemble les solutions qui permettront de développer au plus vite la filière hydrogène à l'échelle de notre territoire.

# LA VEILLE EN UNE PAGE

Très intéressant		Incontournable	
Procédé	Efficienc e améliorée	Propriétés améliorées	Applications améliorées
<b>Revêtements chimiques</b>	Optimisation de bains Ni-P avec de la tyrosine comme nouvel agent stabilisateur	Alliage à Haute Entropie par dépôt chimique et diffusion thermique pour anti-corrosion	Revêtements Ni-B. Réduction de l'écart entre recherche et secteurs d'application.
<b>Revêtements électrolytiques</b>	Revêtement composite Cu/TiO <sub>2</sub> résistant et superhydrophobe sur acier inoxydable	Co-électrodéposition de silane et de graphène sur cuivre pour améliorer la protection contre la corrosion	Revêtement hybride stratifié polypyrrole/hydroxyapatite pour applications orthopédiques
<b>Liquides ioniques, sol-gel</b>	L'imidazolium modulateur de l'inhibition de la corrosion sur acier doux	Revêtements sol-gel siloxane polyacrylique : propriétés thermiques et protection contre la corrosion	Nouvelle famille de revêtements sol-gel photocatalytiques écoresponsables pour applications marines
<b>Traitements thermiques/thermochimiques</b>	Nitruration + texturation laser : dureté de surface et propriétés tribologiques du Ti6Al4V	Laser Cladding pour Tribologie en environnement extrême	Revêtements de chrome par nitruration plasma sur acier : effet barrière pour application nucléaire
<b>DLC/dépôts sous vide</b>	Comparaison de la résistance à l'oxydation à chaud de dépôts de chrome sur un alliage de zirconium : pulvérisation magnétron et électrodéposition	Revêtement superhydrophobe anti-pollution, anti-givre Tenue usure et corrosion d'un alliage à haute entropie traité PVD et grenailage Laser	Revêtement nanocomposite multicouche Si/DLC biocompatible sur alliage de titane de type β biomédical
<b>Projection thermique</b>	Technique simple et non polluante de revêtement de zinc sur acier par projection plasma atmosphérique	Tenue à chaud de revêtement projeté en alliage à haute entropie Amélioration de la résistance à la traction des dépôts de fer par Cold Spray	Résistance à l'érosion de revêtements SPS, comparaison avec les barrières thermiques denses à fissures verticales
<b>Traitement des alliages légers</b>	Protection des alliages légers par PEO : mise au point d'un procédé respectueux de l'environnement	Revêtement composite lubrifiant et anticorrosion à base d'hydroxyde double lamellaire sur alliage de magnésium	Revêtement composite Mg(OH) <sub>2</sub> /GO/HA sur alliage de Mg : limiter les infections bactériennes et favoriser la régénération osseuse
<b>Peintures / Revêtements organiques</b>	Autocicatrisation d'un revêtement époxy par incorporation de microbilles organiques	Revêtements époxy sur Al : influence des sels de cérium sur les performances anticorrosion	Protection anticorrosion de l'acier galvanisé : revêtement superhydrophobe
<b>Fabrication additive</b>	Influence de la température de nitruration plasma d'un acier maraging Post-traitement d'un composite FA 304L + Alliage à haute entropie	Revêtements PEO sur alliages Al-Si : des performances tribologiques améliorées	Implants médicaux : résistance à la corrosion et biocompatibilité d'un revêtement d'oxyde de graphène sur alliage NiTi
<b>Traitements des effluents</b>	Optimisation de l'élimination du Ni des eaux usées de nickelage via anode innovante PbO <sub>2</sub> dopée Ni	Élimination, récupération et valorisation d'éléments métalliques précieux : avancées	Synthèse de nanostructures creuses Ni(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> à partir de boues de galvanoplastie pour la réalisation de supercondensateurs

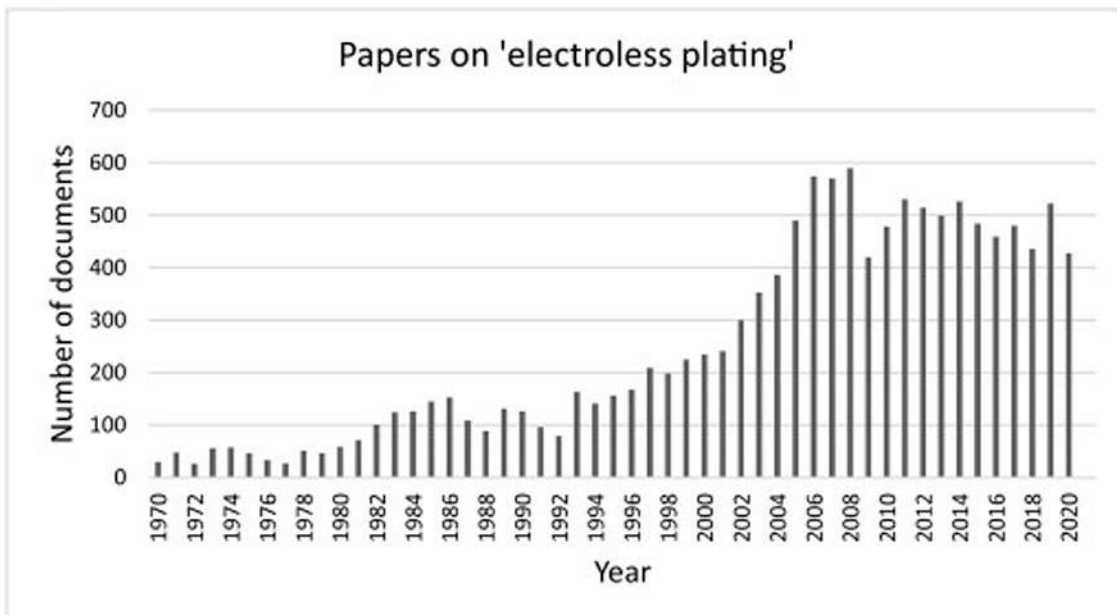
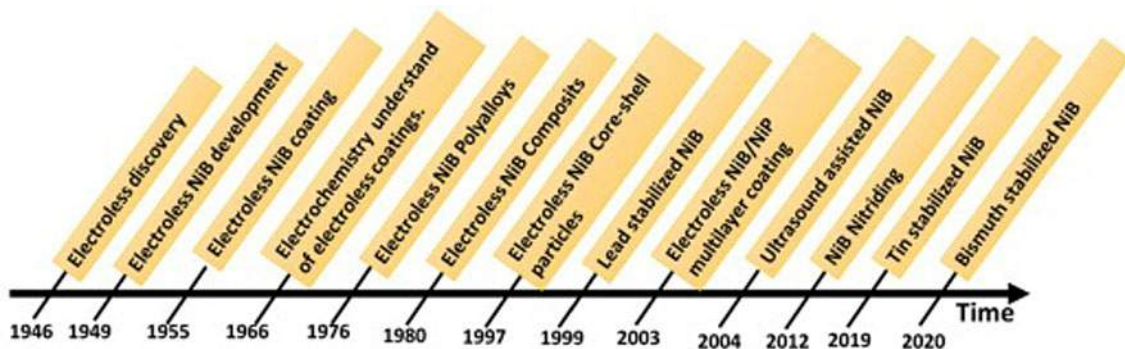
## Publications

Les références sont intégralement données (titre de la revue, date, numéro, pages...). Les références des auteurs et leurs coordonnées ont été limitées aux 2 premiers auteurs, les lecteurs qui souhaiteraient l'ensemble des références et adresses éventuelles des laboratoires peuvent le demander à l'A3TS »

# REVÊTEMENTS CHIMIQUES

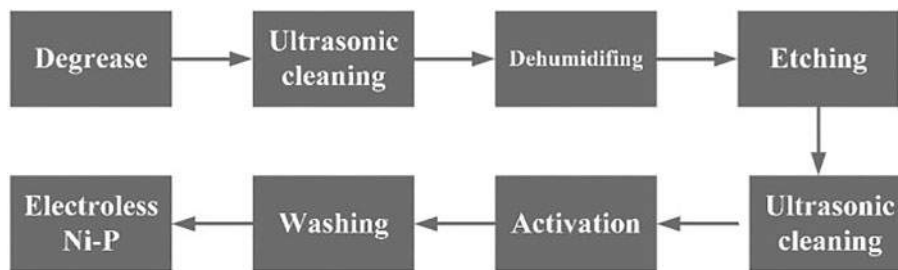
**Progrès récents dans le domaine des revêtements Ni-B** (Recent advances in electroless nickel-boron coatings)  
Véronique Vitry, Joachim Hastir – Metallurgy Unit, UMONS, Mons, Belgium  
Surface and Coatings Technology, Volume 429, 15 January 2022

Les revêtements de nickel-bore chimique sont utilisés dans divers secteurs industriels depuis plus de 40 ans en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques et tribologiques, qui dépassent celles du chrome dur, avec une finition de surface homogène et une résistance à la corrosion compétitive. Les revêtements chimiques classiques de nickel-bore sont généralement limités à des applications de niche telles que les lames d'outils, les armes à feu et les vannes dans l'industrie pétrolière et gazière, en raison de la présence de métaux lourds provenant de l'agent stabilisant dans le système revêtu. Cependant, les récents progrès technologiques ont permis d'éliminer les métaux lourds mais aussi d'améliorer la productivité et les propriétés des revêtements, parfois de manière remarquable. Cet article présente les revêtements standard Ni-B et leurs propriétés et met en évidence les améliorations les plus récentes, les variantes dans la composition et le procédé de bain et les applications du nickel-bore chimique ; telles que la production de revêtements sans plomb et sans thallium, l'effet des ultrasons et des tensioactifs, les revêtements composites et multi-alliés, mais aussi les post-traitements innovants pour fournir un large panorama des avancées récentes dans le domaine. Enfin, la revue met en lumière les nouveaux développements qui sont encore nécessaires dans le domaine pour réduire l'écart entre la recherche et le développement industriel et élargir le spectre d'application.



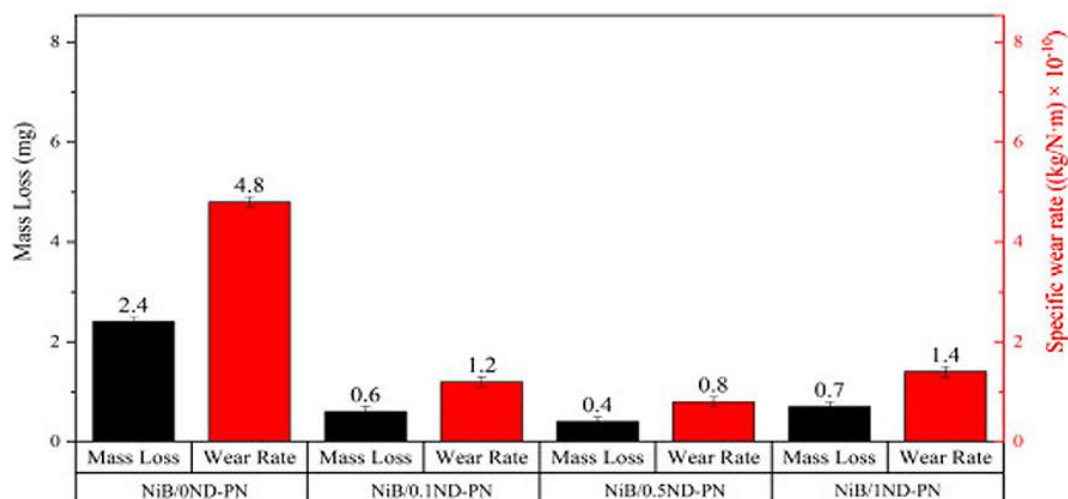
**Effet de la micro-texturation de surface sur l'adhérence d'un revêtement Ni-P sur acier inox** (Effect of micro-texture on substrate surface on adhesion performance of electroless Ni-P coating)  
*Jiatian Wang, Xiaolan Bai – School of Mechanical & Automotive Engineering, Qilu University of technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, PR China*  
 Journal of Manufacturing Processes, Volume 74, February 2022, Pages 296-307

La texturation de surface est un moyen efficace d'améliorer l'adhésion à l'interface revêtement-substrat. Dans cette étude, la technique RUVT (radial ultrasonic vibration assisted turning) est proposée pour la fabrication de micro-textures complexes sur des surfaces de substrat avant qu'elles ne soient revêtues. Des revêtements chimiques Ni-P ont été déposés sur des substrats avec différentes densités de texture et leurs morphologies de surface et de section transversale ont été caractérisées. Les propriétés d'adhérence des différents revêtements ainsi préparés ont été étudiées et comparées par des tests de rayure et de flexion à trois points. Les résultats des tests confirment que l'adhésion du revêtement a été améliorée par les micro-textures. Le mécanisme implique deux aspects : l'ancrage mécanique à l'interface du revêtement et la mouillabilité de la surface du substrat. Par conséquent, les micro-textures complexes formées par RUVT améliorent l'adhérence entre un revêtement Ni-P et un substrat en acier inoxydable. La technique RUVT est donc un moyen pratique et contrôlable de préparer des micro-textures sans risque de dommage thermique et mérite d'être explorée plus avant.



**Effet d'une nitruration plasma sur les propriétés tribologiques de revêtements chimiques nickel-bore-nanodiamant** (Effect of plasma nitriding on tribological properties of nickel-boron-nanodiamond electroless coatings)  
*Seyyed Saber Mirhosseini, Farzad Mahboubi – Department of Materials and Metallurgical Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), 15875-4413 Tehran, Iran*  
 Surface and Coatings Technology, Volume 435, 15 April 2022

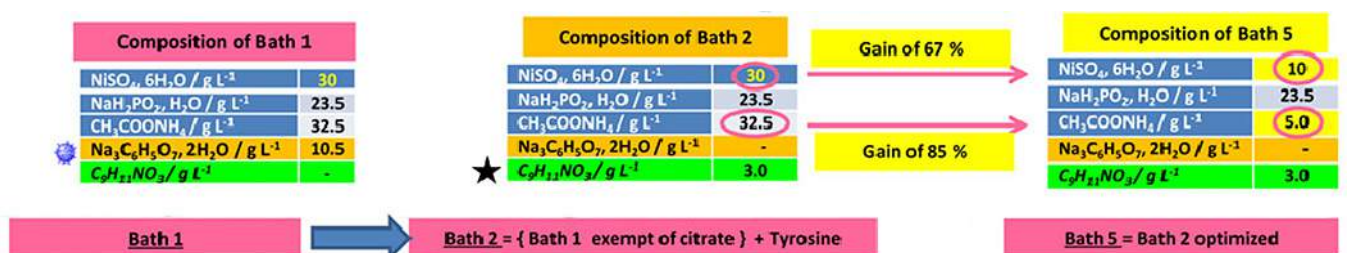
Cette étude vise à examiner l'effet synergique de l'ajout de nanodiamants (ND) et d'un traitement de nitruration plasma (PN) sur les propriétés tribologiques et structurales des revêtements de nickel-bore chimique. Des nanocomposites NiB/ND contenant différentes quantités de NDs (0,0, 0,1, 0,5, et 1,0 g/L) ont été produits dans un bain chimique. Ensuite, une nitruration plasma a été effectuée sur les échantillons pendant 1h à 400°C dans un environnement N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>. Pour étudier l'analyse des phases et examiner la morphologie de la surface des échantillons, les techniques XRD et FE-SEM ont été utilisées. Le comportement à l'usure et au frottement ont été déterminés sous une charge normale de 10N en utilisant la méthode pion-disque. La rugosité de surface, la microstructure et la microdureté ont également été évaluées. Les résultats montrent qu'avec l'augmentation de la concentration en ND, la structure amorphe du Ni-B se transforme en structure semi-cristalline. De plus, la structure amorphe des revêtements NiB/ND tels que déposés s'est transformée en structure cristalline après nitruration plasma, ce qui a conduit à une dureté plus élevée. Le revêtement NiB/0,5ND présente la dureté la plus élevée (1523 HV<sub>0,1</sub>) et la résistance à l'usure la plus élevée (0,8x10<sup>-10</sup> Kg/N.m). Les traces d'usure faibles et sans fissures visibles observées avec l'échantillon NiB/0,5ND en font un candidat prometteur pour les process d'ingénierie de surface.



**Optimisation de bains Ni-P avec de la tyrosine comme nouvel agent stabilisateur** (Tyrosine as a novel potential stabilizer in an electroless Ni-P bath exempt of trisodium citrate as complexing agent: Chemical baths optimization and comparative study)

M. Driouch, A. EL Haloui – Laboratory of Engineering, Modeling and Systems Analysis (LIMAS). Sidi Mohamed Ben Abdellah University (USMBA), Faculty of Sciences, P.O. Box 1796-30000, Fez-Atlas, Morocco  
 Chemical Data Collections, Volume 37, February 2022

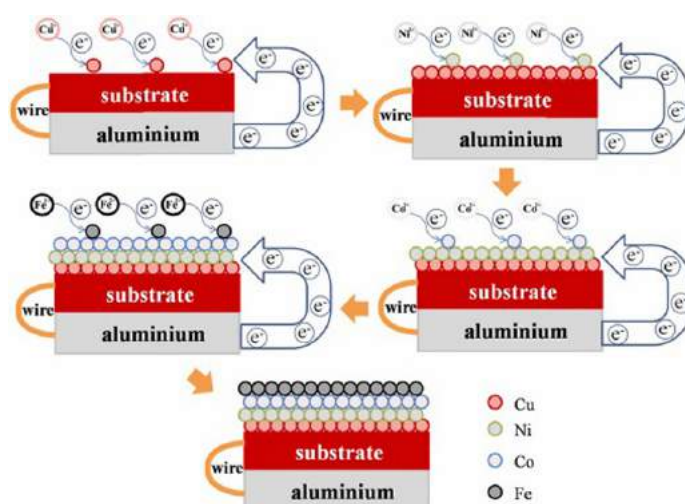
L'effet de la tyrosine ( $C_9H_{11}NO_3$ ) comme nouvel agent stabilisant de bains de dépôt chimique Ni-P a été étudié. Une étude comparative avec le citrate trisodique, couramment utilisé, a été conduite. Les analyses SEM et EDX ont été utilisées pour étudier les propriétés des dépôts Ni-P développés en présence de tyrosine et de citrate trisodique. Le résultat de cette optimisation a montré que l'utilisation de la tyrosine entraînait une diminution de la concentration en  $NiSO_4$  et en  $CH_3COONH_4$  dans le bain à 67% et 85%, respectivement. En revanche, l'utilisation du citrate trisodique n'a eu aucun effet sur la composition ou les conditions de bain. L'ajout de tyrosine comme agent stabilisateur a conduit à une amélioration significative de la stabilité du bain accompagnée d'une vitesse de dépôt de  $18 \mu m \cdot h^{-1}$ . De plus, l'utilisation de  $C_9H_{11}NO_3$  dans le bain favorise l'augmentation de la teneur en phosphore et modifie donc la structure des dépôts de Ni-P développés.



**Procédé de préparation de revêtements à base d'alliages à haute entropie, basé sur le dépôt chimique et la diffusion thermique** (Preparation process for high-entropy alloy coatings based on electroless plating and thermal diffusion)

Guixin Dai, Shiping Wu – School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, People's Republic of China  
 Journal of Alloys and Compounds, Volume 902, 5 May 2022

Cette étude porte sur les revêtements chimiques à base d'alliages à haute entropie (HEA). Le principal objet de recherche concerne ici un revêtement d'alliage CuCoNi. Le processus d'alliage a été caractérisé et analysé par microscopie électronique à balayage et par diffraction des rayons X. La résistance à la corrosion du revêtement a été mesurée en fonction de l'épaisseur de l'alliage. La résistance à la corrosion du revêtement a été mesurée par des tests électrochimiques. Les résultats montrent que la distribution des éléments et les pics de phase des revêtements multicouches sont devenus progressivement homogènes et stables pendant la diffusion thermique. Le processus d'alliage a été confirmé par ces changements de morphologie et de structure. Les revêtements d'alliage ont été créés avec des types d'éléments et des proportions d'éléments contrôlés dans un bain sans courant. Les types d'éléments des revêtements peuvent être contrôlés par la composition du bain, et les proportions d'éléments peuvent être contrôlées par l'épaisseur du dépôt. La résistance à la corrosion du revêtement allié était meilleure que celle du revêtement à élément unique. Après 6h de diffusion thermique (qui est le temps de diffusion optimal pour le revêtement d'alliage CuCoNi), le potentiel de corrosion était de  $-0,218V$ , et la densité de courant de corrosion était de  $2,72 \mu A/cm^2$ . Sur la base des résultats du processus de préparation, des méthodes de conception de revêtements d'alliage à haute entropie sont proposées.



# REVÊTEMENTS ELECTROLYTIQUES

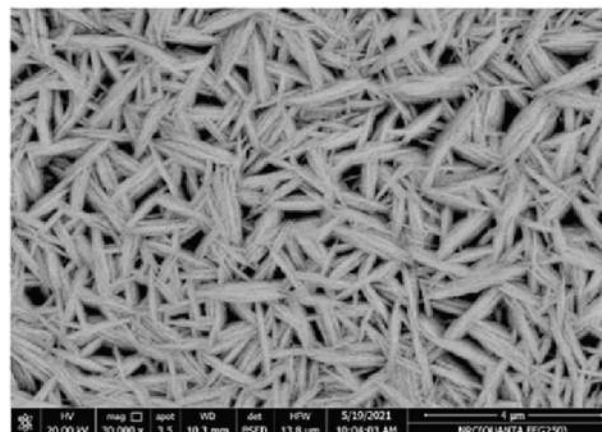
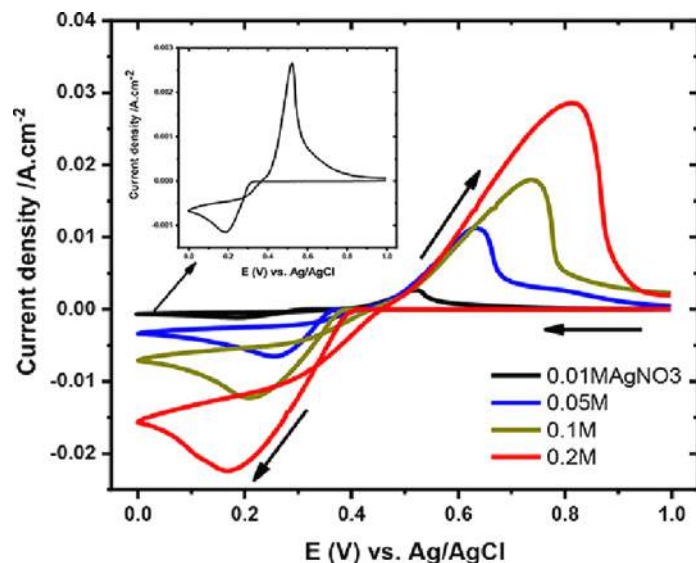
**Activité antibactérienne de revêtements d'argent nanocristallin électrodéposés sur acier inox à partir de bains sans cyanure** (Nanocrystalline silver coatings on steel by electrodeposition from non-polluting aqueous baths and its antibacterial activity)

Manal A. El Sayed (a), Nahla T. Elazab (b) – (a) Department of Physics, College of Science and Arts, Qassim University, Al Bukairiyah, Saudi Arabia ; (b) Department of Biology, College of Science, Qassim University, Buraydah, Saudi Arabia

Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers

Volume 132, March 2022

L'électrodéposition est une technique prometteuse pour synthétiser des revêtements d'argent nanocristallin qui ont un large éventail d'applications : microélectronique, aérospatiale, automobile, biotechnologie, nanobiotechnologie, génie biologique, en plus de ses caractéristiques antimicrobiennes. Malheureusement, l'électrolyte cyanuré, couramment utilisé dans l'industrie pour les revêtements d'argent, est l'une des substances les plus dangereuses, qui présente de graves risques pour la santé et l'environnement. Il est donc important de rechercher des électrolytes respectueux de l'environnement qui remplacent les électrolytes au cyanure. Dans cette étude, des revêtements d'argent nanocristallin (taille comprise entre 14,8 et 67,6 nm) brillants et adhérents ont été réalisés avec succès par électrodéposition sur une surface en acier inoxydable à partir d'un nouveau bain sans cyanure respectueux de l'environnement, stable et de faible coût. Les différentes analyses réalisées (mesures électrochimiques...) ont montré que la morphologie dépendait fortement de la composition de l'électrolyte ainsi que des paramètres de mise en œuvre. La microdureté de l'Ag déposé a une valeur relativement élevée et supérieure à celle obtenue à partir de bains sans cyanure (120,2-158,7 kg f mm<sup>-2</sup> en fonction de la densité de courant appliquée). En outre, les revêtements d'argent nanocristallin formés par ces bains sont d'excellents agents antibactériens efficaces contre un vaste spectre de bactéries gram-positives et gram-négatives, en particulier les bactéries *Listeria* et *Streptococcus*.



**Réalisation d'un revêtement composite Cu/TiO<sub>2</sub> résistant et superhydrophobe sur acier inoxydable** (A facile approach to fabricate robust superhydrophobic Cu/TiO<sub>2</sub> composite coating on stainless steel)

Huawei Yin (a), Hang Liu (b) – (a) Key Laboratory of Water Environment Evolution and Pollution Control in Three Gorges Reservoir, School of Environmental and Chemical Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing, 404100, China ; (b) Key Laboratory of Low-grade Energy Utilization Technologies and Systems, Ministry of Education, College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400030, China

Volume 195, January 2022, Vacuum

Un revêtement composite Cu/TiO<sub>2</sub> superhydrophobe a été préparé par électrodéposition et fluoruration de surface d'un acier inoxydable 304. Le revêtement de Cu avec la structure hiérarchique concave-convexe a été initialement fabriqué en accordant la densité de courant et le temps d'électrodéposition. Une technique de co-déposition a été utilisée pour obtenir un revêtement composite comprenant une matrice de Cu et des nanoparticules de TiO<sub>2</sub> sur la base des paramètres optimaux d'électrodéposition, puis une fluoruration a été immédiatement effectuée pour la production d'un revêtement composite Cu/TiO<sub>2</sub> superhydrophobe. La structure de surface et la composition chimique des revêtements préparés ont été étudiées. Les propriétés de mouillabilité montrent que le revêtement composite Cu/TiO<sub>2</sub> modifié possède une excellente superhydrophobie, avec un angle de contact avec l'eau (water contact angle

CA) de 156,4° et un angle de glissement (sliding angle SA) de 4,6°. La bonne tenue mécanique du revêtement a été confirmée par différents tests (rayure, arrachement, abrasion). Par rapport à l'acier inoxydable, la densité de courant de corrosion du revêtement tel que préparé est réduite de près de deux ordres de grandeur, et la résistance à la corrosion s'améliore considérablement. Ce revêtement composite présente une stabilité à long terme et des propriétés autonettoyantes exceptionnelles.

**Préparation éco-responsable d'un revêtement superhydrophobe ZnS sur acier inoxydable 316L présentant de bonnes propriétés autonettoyantes et une excellente stabilité** (Preparation of ZnS superhydrophobic coating on 316L stainless steel with self-cleaning property and excellent stability)

*Kang Wang, Sirong Yu – School of Materials Science and Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China*

Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 633, Part 1, 20 January 2022

L'effet superhydrophobe est appliqué à la surface métallique, ce qui permet à la surface métallique d'obtenir d'autres excellentes propriétés, ce qui a attiré une grande attention des chercheurs. Des analyses spectrométriques et par diffraction ont montré qu'un revêtement superhydrophobe ZnS avait été formé avec succès sur la surface d'un acier inoxydable 316L après électrodéposition, réaction solvothermique et modification chimique. Le revêtement ZnS possède d'excellentes propriétés superhydrophobes. L'angle de contact et l'angle de glissement des gouttes d'eau sur la surface sont respectivement de 160,06° et 3°. De plus, la morphologie de la surface du revêtement a été observée au microscope électronique à balayage, et l'effet du temps de réaction solvothermique sur la microstructure du revêtement a été analysée. Les résultats ont montré que 6h était le temps optimal pour la réaction solvothermique. Le revêtement superhydrophobe possède une excellente propriété autonettoyante, qui peut limiter efficacement la pollution de surface. En outre, la stabilité du revêtement superhydrophobe ZnS a également été testée. Les résultats ont montré que le revêtement présente une excellente stabilité mécanique, une stabilité à haute température et une résistance à la lumière ultraviolette.



**Amélioration de la bioactivité de l'acier inoxydable 316L par le dépôt d'un revêtement hybride stratifié polypyrrole/hydroxyapatite pour applications orthopédiques** (Enhanced bioactivity of 316L stainless steel with deposition of polypyrrole/hydroxyapatite layered hybrid coating: Orthopedic applications)

*Sadaf Mohandesnezhad, Mohamadreza Etmianfar – Research Center for Advanced Materials, Faculty of Materials Engineering, Sahand University of Technology, P.O. Box 51335-1996, Tabriz, Iran*

Surfaces and Interfaces, Volume 28, February 2022

L'acier inoxydable 316 L (316 L SS) présente de bonnes performances anticorrosion, une biocompatibilité notable, des propriétés mécaniques élevées, et d'un coût abordable. Alors que les applications biomédicales de l'acier inoxydable 316 L sont en plein développement, certains obstacles techniques tels que la faible bioactivité, restent à surmonter. Dans ce travail, une série de systèmes hybrides stratifiés polymère-céramique contenant du polypyrrole (PPY)-hydroxyapatite (HAp) ont été électrodéposés sur de l'acier inoxydable 316 L après modification de l'électrolyte et des paramètres d'électrodéposition. Les aspects morphologiques ainsi que la structure chimique et de phase des films ont été étudiés par différentes méthodes d'analyse (MEB, IRTF, XRD). L'adhérence, la résistance à la corrosion et la bioactivité des systèmes électrodéposés ont été analysées par traction, polarisation potentiodynamique et essai in vitro dans un fluide corporel simulé (simulated body fluid SBF). Les résultats ont montré une augmentation de ≈ 20% de l'adhérence et une diminution d' ≈ 60% de la densité de courant de corrosion d'un revêtement à quatre couches par rapport à une couche unique de HAp. Les revêtements bicouches et quadri-couches stimulent la formation d'une couche d'apatite compacte et présentent de très bons marqueurs de bioactivité



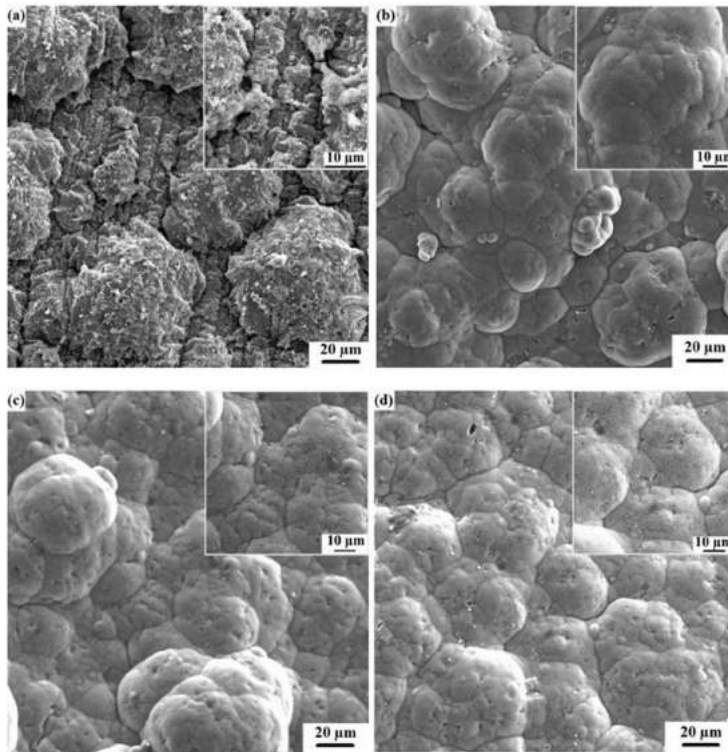


Fig. 7. SEM images of coated-substrates at different magnifications after 14 days immersion in SBF media: (a) PPY single layer, (b) HAp single layer, (c) bilayered coating, and (d) four-layered coating.

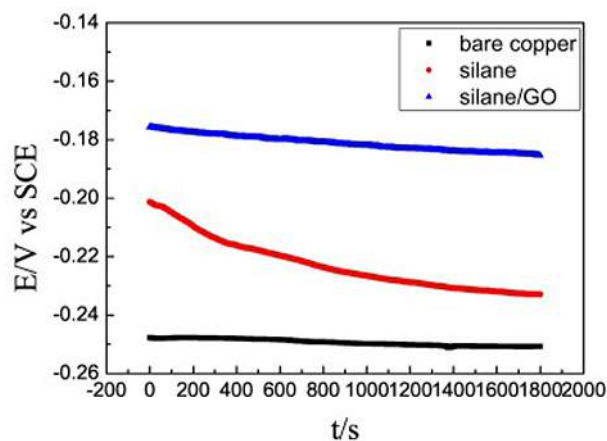
### Co-électrodéposition de silane et de graphène sur du cuivre pour améliorer la protection contre la corrosion

(Co-electrodeposition of silane and graphene oxide on copper to enhance the corrosion protection performance)

X. Q. Du (a), Y. W. Liu (b) – (a) School of Materials Science and Hydrogen Energy, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, PR China ; (b) Department of Chemical Engineering and Safety, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256600, PR China

Surface and Coatings Technology, Volume 436, 25 April 2022

Dans le présent travail, un revêtement nanocomposite à base de silane et d'oxyde de graphène (GO) a été réalisé avec succès sur du cuivre en utilisant une procédure simple de co-électrodéposition. Les caractérisations de la structure et de la composition ont révélé que les nanofeuilles de GO ajoutées ont été partiellement électro-réduites et liées de manière covalente aux groupes silanol pour former un nanocomposite plus compact et uniforme, ce qui a contribué à l'amélioration des performances chimiques et mécaniques du nanocomposite silane/GO électrodéposé. Les tests électrochimiques ont indiqué que la densité du courant de corrosion a diminué de plus de deux ordres de grandeur. L'efficacité de la protection est restée supérieure à 99,8% après une immersion dans une solution aqueuse de chlorure de sodium à 1 mol/L pendant 120 heures. Parallèlement, l'angle de contact et l'angle de glissement du nanocomposite silane/GO électrodéposé ont légèrement varié après 150 cycles d'abrasion, ce qui traduit une excellente durabilité mécanique. Ce travail présente donc un procédé efficace pour la protection contre la corrosion des matériaux conducteurs avec une protection à long terme et une bonne résistance mécanique dans des applications réelles.

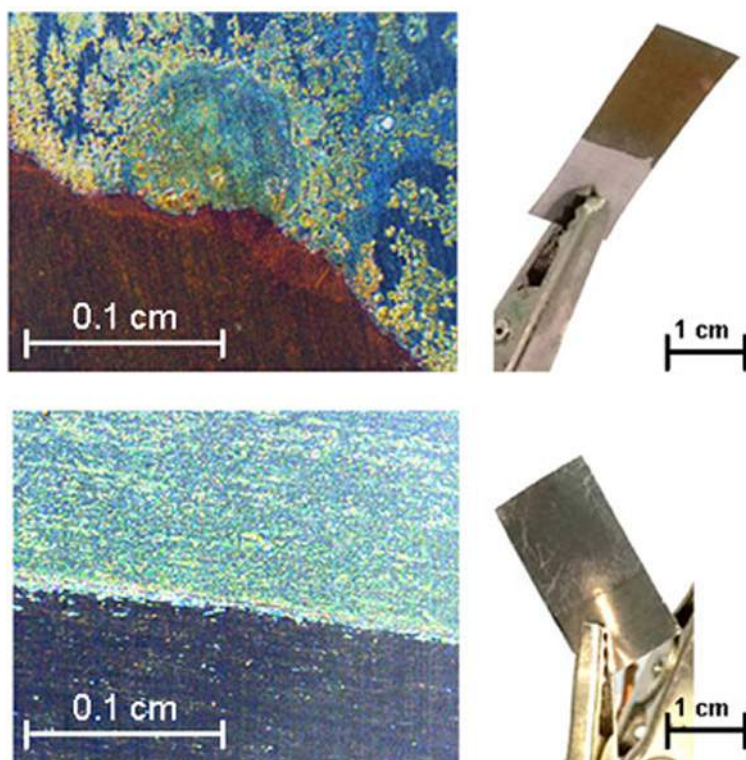


# LIQUIDES IONIQUES / SOL-GEL

**Revêtement en couches minces d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sur de l'acier bas carbone obtenu par la méthode sol-gel avec différents acides peptisants : étude de la corrosion** (Thin-film Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating on low carbon steel obtained by the sol-gel method with different peptizing acids: Corrosion investigation)

*E. P. Grishina, N. O. Kudryakova – G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, 1 Akademicheskaya St., 153045 Ivanovo, Russia*  
Thin Solid Films, Volume 746, 31 March 2022

Des films minces d'alumine ont été obtenus sur de l'acier à bas carbone en utilisant du gel de boehmite préparé par la méthode sol-gel avec de l'isopropoxyde d'aluminium et des peptisants - acides nitrique, acétique et maléique. L'article examine l'effet de la nature acide sur la corrosion de l'acier dans les systèmes colloïdaux étudiés pour obtenir des films de revêtements. Il montre que la tenue à la corrosion du substrat dans ces systèmes dépend de deux facteurs : l'acidité du milieu et la formation de complexes à partir des ions Fe(III) et des anions des peptisants acides. Les films d'alumine de type barrière peuvent être préparés en présence d'acide nitrique car ce dernier augmente l'efficacité de la peptisation de la boehmite. Les revêtements d'oxyde d'aluminium en couche mince (préparés à partir d'un gel d'alumine en utilisant HNO<sub>3</sub> comme agent peptisant), peuvent déplacer le potentiel d'équilibre de l'électrode dans NaCl à 3,5% de plus de 0,6V et ralentir efficacement la corrosion de l'acier dans cette solution.

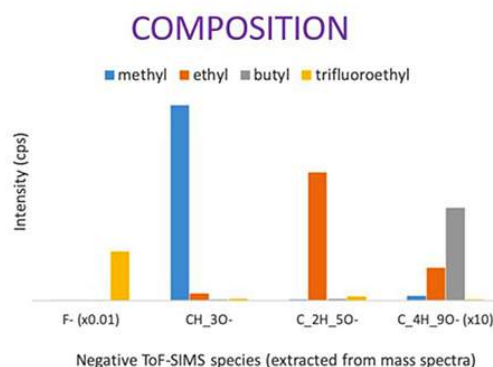
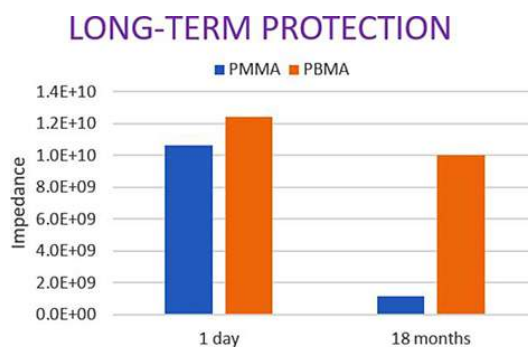
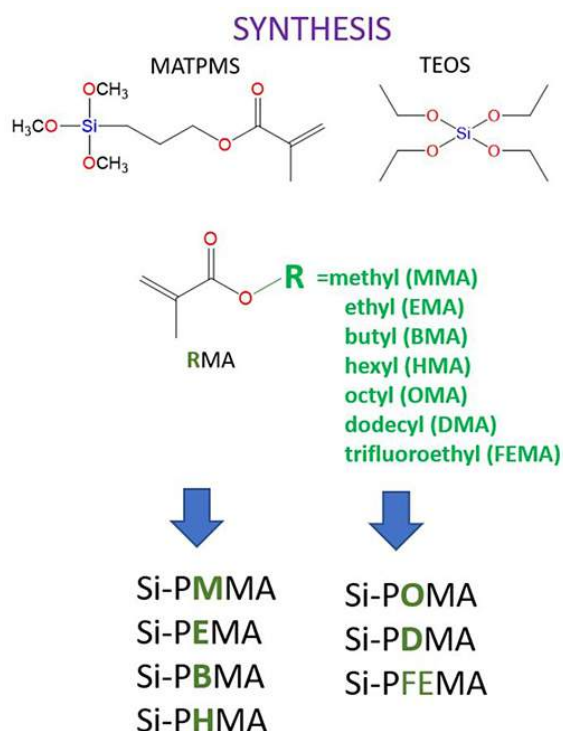


**Revêtements sol-gel siloxane polyacrylique avec des chaînes alkyles et perfluoroalkyles : synthèse, composition, propriétés thermiques et protection contre la corrosion à long terme** (Siloxane polyacrylic sol-gel coatings with alkyl and perfluoroalkyl chains: Synthesis, composition, thermal properties and long-term corrosion protection)

*Ingrid Milošev, Damir Hamulić – Jožef Stefan Institute, Department of Physical and Organic Chemistry, Jamova c. 39, Ljubljana 1000, Slovenia*  
Applied Surface Science, Volume 574, 1 February 2022

Des revêtements siloxane-polyacrylique ont été synthétisés à partir de méthacrylate de 3-(triméthoxysilyl)propyle, de différents dérivés d'acrylate et d'orthosilicate de tétraéthyle. Les dérivés de différentes longueurs de chaînes alkyles et perfluoroalkyles ont été caractérisés en termes de cinétique de copolymérisation pendant la synthèse du sol, et de composition, structure, mouillabilité, propriétés thermiques et porosité des revêtements à l'aide de diverses méthodes d'analyse. On a pu observer que les squelettes de siloxane sont entourés par le réseau organique identifié par des fragments caractéristiques. Les revêtements sont homogènes. L'angle de contact avec l'eau en surface est compris entre 70° et 85° pour les chaînes acryliques et 90° pour la chaîne perfluoroalkyle. La conductivité thermique des revêtements est d'environ 0,3 W/m.K. La porosité des revêtements augmente avec la longueur du dérivé

acrylique. La protection anticorrosion à long terme des revêtements déposés sur l'alliage d'aluminium AA7075-T6 a été évaluée dans du NaCl à 5% en poids et par un test au brouillard salin. Les revêtements contenant des dérivés éthyliques et butyliques présentent une résistance à la corrosion supérieure accompagnée d'une faible porosité par rapport aux dérivés à longue chaîne.



**AquaSun : nouvelle famille de revêtements sol-gel photocatalytiques écoresponsables pour applications marines** (Towards AquaSun practical utilization: Strong adhesion and lack of ecotoxicity of solar-driven antifouling sol-gel coating)

Antonino Scurria, Cristina Scolaro – (a) Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati, CNR, via U. La Malfa 153, 90146 Palermo, Italy ; (b) Dipartimento di Ingegneria, Università di Messina, Contrada di Dio, Villaggio S. Agata, 98166 Messina, Italy

Progress in Organic Coatings, Volume 165, April 2022

Les résultats des tests d'adhérence et d'écotoxicité effectués sur des échantillons métalliques représentant fidèlement la surface de vrais navires, y compris les couches d'apprêt et de liaison généralement appliquées sur la coque du navire avant le dépôt de la peinture antisalissure, montrent l'applicabilité pratique des revêtements sol-gel antisalissure "AquaSun". Ces revêtements nouvellement développés ont en commun une hydrophobie (angle de contact >115°) et une résistance aux rayures exceptionnellement élevée (ASTM 5B). Couplés au mécanisme antisalissure écologique basé sur la formation continue de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> lors de l'exposition à la lumière solaire et la "libération" des salissures en raison de la faible énergie de surface, ces résultats ouvrent la voie à l'utilisation pratique de ces nouveaux revêtements marins.

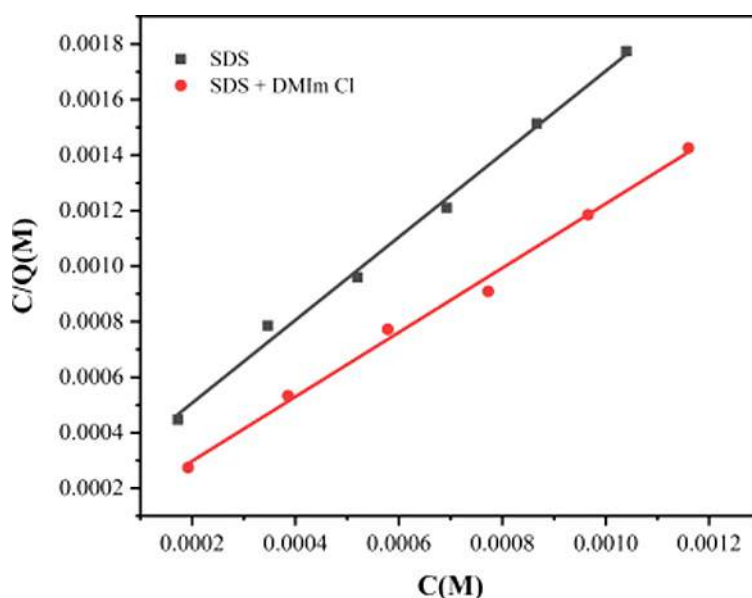
**Table 1. Thickness (*T*), roughness (*R<sub>a</sub>*), Wenzel ( $\theta_w$ ) and Young ( $\theta_Y$ ) contact angles of different substrates**

Substrate	<i>T</i> (μm)	<i>R<sub>a</sub></i> (μm)	$\theta_w$ (°)	$\theta_Y$ (°/μm)
Steel PRIMER + TIE COAT	568	6.76	81.8 ± 2.9	88.8 ± 2,9
Steel P+T+ THA8	216	2.13	94.1 ± 1.1	91.9 ± 1.1
Steel P+T+ THA8B	113	9.31	95.5 ± 1.2	90.6 ± 1.2

P = primer; T = tie coat THA8 "AquaSun" organosilica coating and THA8B blank ORMOSIL topcoat

**Étude de l'effet de l'imidazolium comme modulateur de l'inhibition de la corrosion du SDS sur un acier doux dans une solution de chlorure de sodium** (Study on the effect of imidazolium ionic liquid as a modulator of corrosion inhibition of anionic surfactant sodium dodecyl sulfate (SDS) on mild steel in sodium chloride solution)  
 Minakshi Koundal, A. K. Singh – Department of Applied Science and Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee, Saharanpur Campus, Saharanpur, U.P. 247001, India  
 Journal of Molecular Liquids, Volume 350, 15 March 2022

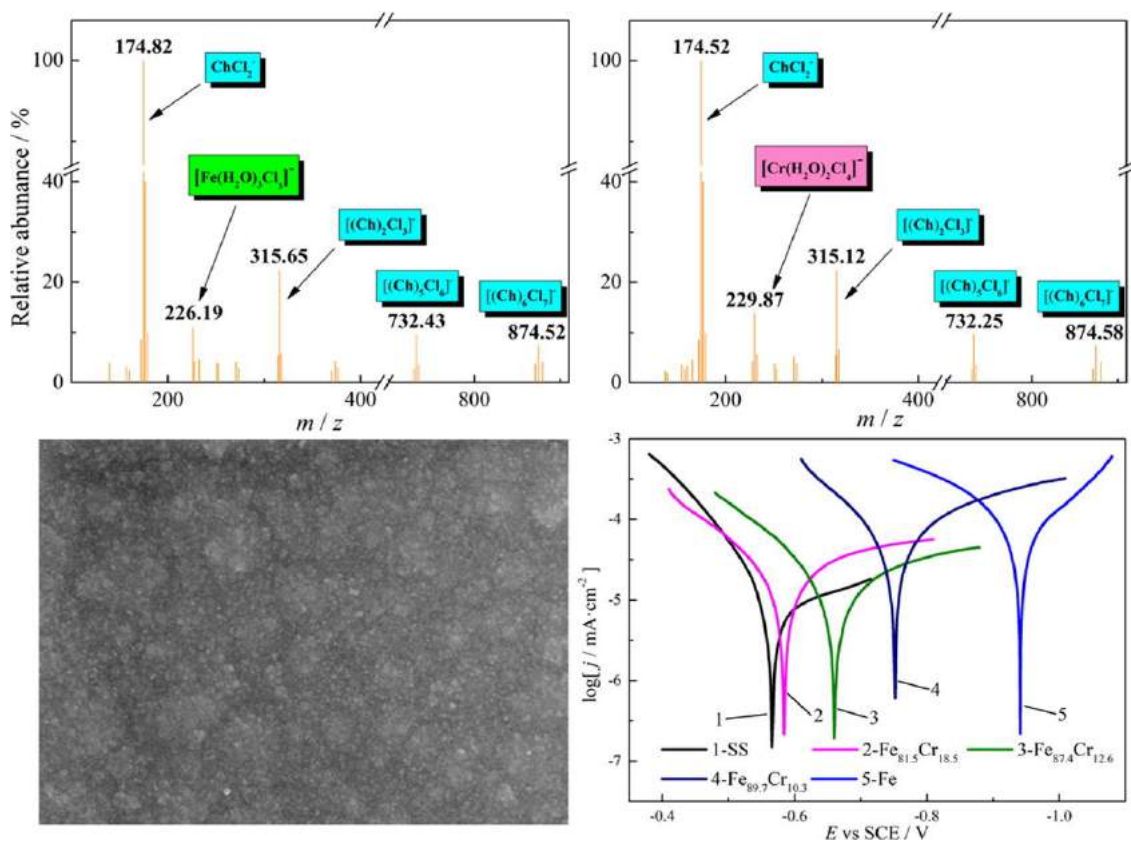
Cet article rapporte les recherches effectuées sur deux composés organiques afin de les tester en tant qu'inhibiteurs de corrosion de l'acier doux exposé à une solution neutre de NaCl. Le SDS (dodécylsulfate de sodium ou laurylsulfate de sodium) et le DMImCl (1-Decyl-3-méthylimidazolium chlorure) ont été choisis comme composés organiques à tester. Les tests de polarisation électrochimique, réalisés dans cette étude, révèlent une diminution de la vitesse de corrosion de l'acier doux dans une solution de NaCl de 14,3 à 6,08 mpy (mils per year) correspondant à une augmentation de l'efficacité d'inhibition de 57,3% lors de l'ajout de 200 ppm de SDS. En mélangeant 200 ppm de DMImCl dans une solution de NaCl + SDS, l'efficacité d'inhibition augmente à 85,1%. Des résultats similaires sont également observés dans les tests d'impédance électrochimique et de perte de poids. L'analyse des résultats obtenus par FTIR, SEM/EDAX indique une adsorption du mélange SDS/DMImCl sur la surface de l'acier doux. Les tests de tensiométrie, sur une solution ionique, révèlent une diminution de la tension de surface lors de l'ajout d'inhibiteurs avec, par conséquent, une augmentation de l'activité de surface et une interaction hydrophobe entre les chaînes des deux inhibiteurs. Les calculs effectués sur le processus d'adsorption indiquent qu'il s'agit d'un "isotherme d'adsorption de Langmuir". Cette déduction suggère que les sites de liaison sur la surface de l'acier sont identiques et répartis de manière homogène. Cette couche est recouverte d'une monocouche de molécules adsorbées, à savoir le DMImCl et le SDS, qui est responsable de l'inhibition de la corrosion.



**Rôle du rapport de l'électrolyte dans l'électrodéposition d'un alliage Fe-Cr de taille nanométrique à partir de chlorure de choline-éthylène glycol : résistance à la corrosion** (The role of electrolyte ratio in electrodeposition of nanoscale Fe-Cr alloy from choline chloride-ethylene glycol ionic liquid: A suitable layer for corrosion resistance)  
 Zhiwei Wang (ab), Teng Wu (c) – (a) Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, PR China ; (b) Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305 8572, Japan ; (c) Lanzhou Engineering & Research Institute of Nonferrous Metallurgy Co., Ltd, Lanzhou 730000, PR China  
 Journal of Molecular Liquids, Volume 346, 15 January 2022

L'alliage Fe-Cr à l'échelle nanométrique a été électrodéposé avec succès dans le solvant eutectique profond (DES) chlorure de choline-éthylène glycol (ChCl-EG, rapport molaire 1:3) dans un système à deux électrodes en optimisant le rapport de concentration  $C_{Fe(II)}/C_{Cr(III)}$ . Les analyses ESI-MS indiquent que  $[Fe(H_2O)_3(Cl^-)_3]^-$  et  $[Cr(H_2O)_2Cl_4]^-$  sont les espèces dominantes de Fe(II) et Cr(III) dans le ChCl-EG DES, respectivement. La voltampérométrie à balayage linéaire démontre qu'avec l'augmentation de  $C_{Fe(II)}/C_{Cr(III)}$  de 1:5 à 1:1, la différence de potentiel de réduction entre Fe(II) et Cr(III) devient plus petite, ce qui est propice à l'électrodéposition d'un alliage Cr à liaison simple avec une teneur en Cr plus élevée. La réduction du Fe(II) ou du Cr(III) sur l'électrode en carbone vitreux est un processus quasi-réversible contrôlé par la diffusion avec un coefficient de diffusion de  $5,34 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  et  $2,22 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . L'observation FE-SEM montre que lorsque le rapport  $C_{Fe(II)}/C_{Cr(III)}$  diminue de 1:2 à 1:5, la microstructure devient inégale et la morphologie se transforme de particules homogènes en blocs écailleux. À 1:2, l'alliage Fe-Cr nanocristallin préparé présente une distribution symétrique des éléments avec une épaisseur moyenne de revêtement de 120,3  $\mu\text{m}$  et un diamètre moyen de  $\approx 1,56 \text{ nm}$ . Les tests montrent que l'alliage Fe-Cr préparé possède

une bonne résistance à la corrosion. Toutes ces études fournissent une base théorique pour la production d'alliage Fe-Cr en variant les rapports d'électrolyte.



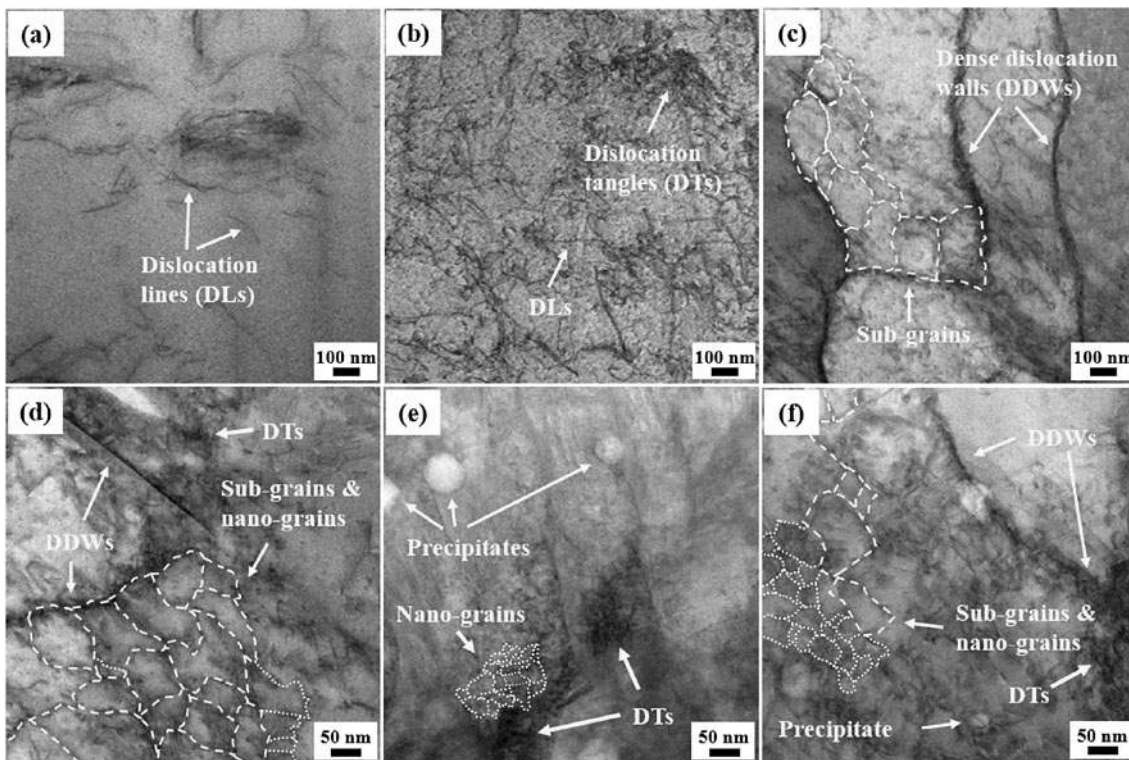
# TRAITEMENTS THERMIQUES / THERMOCHIMIQUES / LASER

**Effet du nettoyage laser de la surface d'un acier inoxydable 304L corrodé sur sa microstructure et ses propriétés mécaniques** (Effect of laser surface cleaning of corroded 304L stainless steel on microstructure and mechanical properties)

Hyun Jong Yoo (ab), Seungwoo Baek (c) – (a) Department of Laser and Electron Beam Technologies, Korea Institute of Machinery and Materials, Daejeon, 34103, Republic of Korea ; (b) Department of Materials Science and Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Republic of Korea ; (c) Department of Materials Science and Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Republic of Korea

Journal of Materials Research and Technology, Volume 16, January–February 2022, Pages 373-385

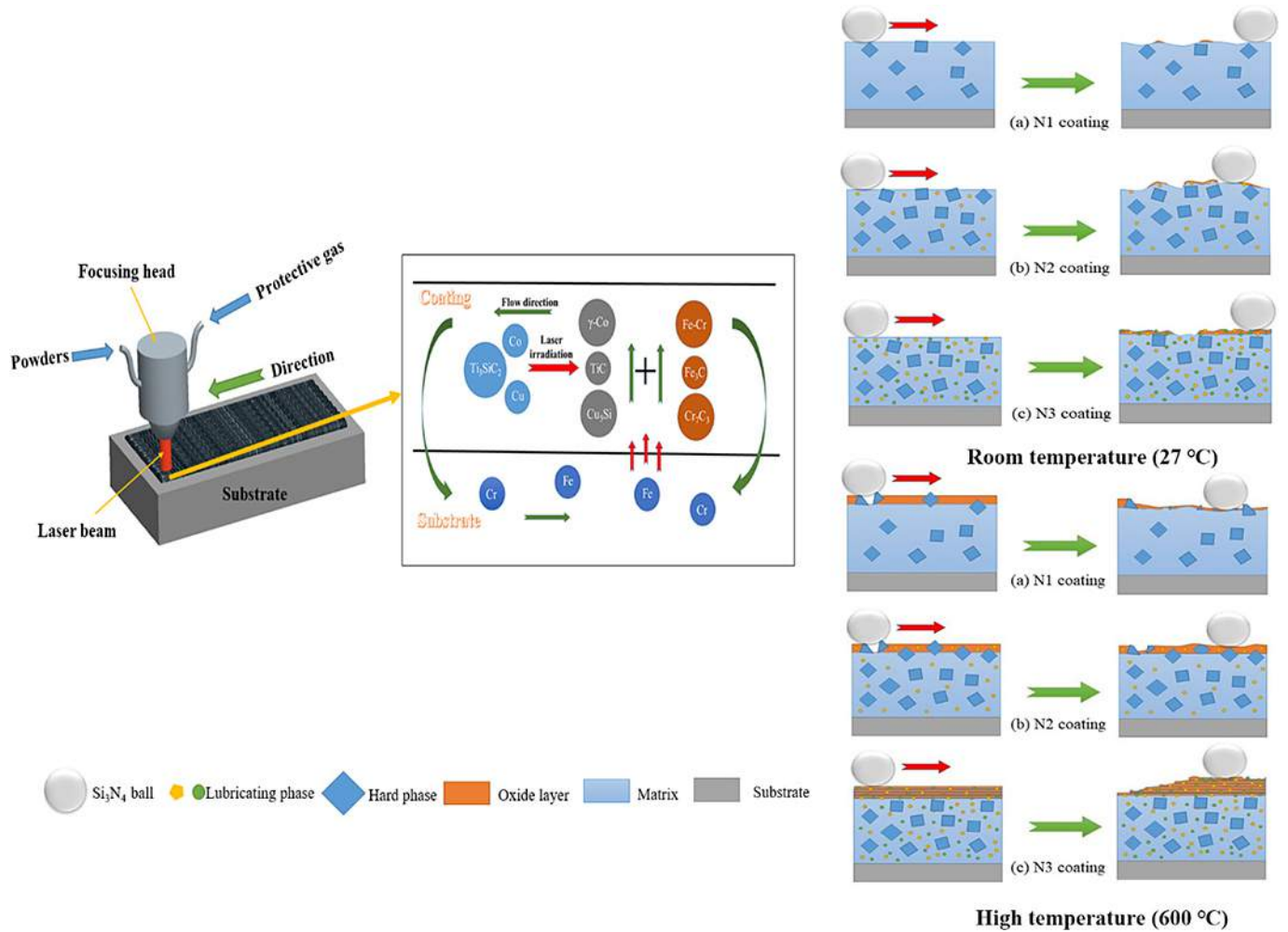
Dans cette étude, un laser Nd:YAG haute puissance (1140W) a été utilisé pour éliminer une couche de corrosion sur la surface d'un acier inoxydable 304L (SS304L). Les analyses montrent que l'élimination de la corrosion est réalisée avec succès par le nettoyage de surface au laser (Laser Surface Cleaning LSC) en fonction des paramètres de process. Un résultat optimum est obtenu avec une faible distance entre les lignes centrales de deux balayages successifs ou un grand nombre d'impulsions, des résidus de corrosion restant à la surface avec une grande distance ou un faible nombre d'impulsions. L'effet du procédé LSC sur la microstructure et les propriétés mécaniques du SS304L est étudié. Une grande distance entre deux balayages ou un petit nombre d'impulsions conduisent à observer une augmentation de la densité de dislocation alors qu'une petite distance ou un grand nombre d'impulsions conduisent à des structures de dislocation denses, des jumeaux de déformation, un affinement du grain et une précipitation. Cette altération microstructurale due au procédé LSC modifie les propriétés mécaniques du SS304L en termes de dureté et de résistance à la traction.



Dislocation structures with dislocation tangles, dense dislocation walls, sub-grains, nano-grains, and precipitates were observed for the LSC SS304L specimens. TEM images for the :  
 (a) corroded (CR) SS304L specimen,  
 (b) LSC 1.8 (hatch distance: 1.8 mm; the number of repetitions: 1),  
 (c), (d) LSC 1.8/18 (hatch distance: 1.8 mm; the number of repetitions: 18),  
 (e), (f) LSC 0.1 (hatch distance: 0.1 mm; the number of repetitions: 1).

**Étude tribologique de revêtements à base de  $Ti_3SiC_2/Cu_5Si/TiC$  renforcés Co sur de l'acier SUS304 par laser cladding** (Tribological study of  $Ti_3SiC_2/Cu_5Si/TiC$  reinforced Co-based coatings on SUS304 steel by laser cladding)  
 Gang Wang (a), Xiu-Bo Liu (ab) – (a) Hunan Province Key Laboratory of Materials Surface/Interface Science & Technology, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China ; (b) Key Laboratory of

Pour les besoins des pièces en acier SUS304 placées dans des environnements extrêmes, des revêtements composites (Co-Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>/Cu) ont été fabriqués avec succès par laser cladding. Les comportements tribologiques de trois revêtements (N1 : Co, N2 : Co-Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> et N3 : Co-Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>/Cu) à température ambiante et à 600°C ont été étudiés. Les résultats indiquent que la microdureté des trois revêtements est de 1,2 à 1,8 fois supérieure à celle du substrat SUS304. Avec l'ajout de Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub> et de Cu, le revêtement présente de bonnes propriétés tribologiques, en particulier l'anti-usure à température ambiante a été augmentée de 96%, et la réduction du frottement à 600°C a été améliorée de 73%. Il a été constaté que le Cu pouvait favoriser la lubrification du Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>. Les trois revêtements sont passés d'une déformation plastique sévère à une légère usure adhésive oxydante.

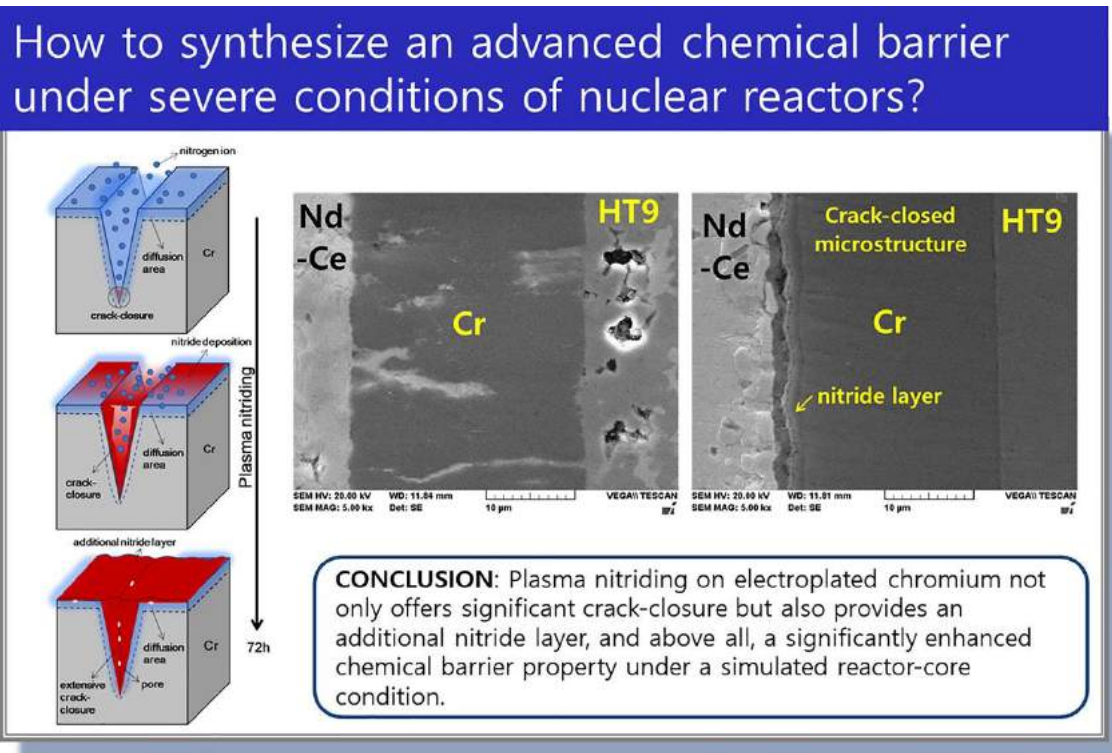


**Revêtements de chrome par nitruration plasma sur acier HT9 : effet barrière pour application nucléaire**  
 (Synthesis of plasma-nitrided Cr coatings on HT9 steel for advanced chemical barrier property in a nuclear cladding application)

Sunghwan Yeo, Cheol Min Lee – Innovative Fuel Development Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daedeok-daero 989-111, Yuseong-gu, Daejeon 305-353, Republic of Korea  
 Applied Surface Science, Volume 579, 30 March 2022

Des barrières à revêtement multiple de nitrure de chrome et de chrome ont été synthétisées sur des disques d'acier HT9 par cladding et nitruration plasma radiofréquence (RF) pour atténuer de manière significative les interactions chimiques entre le combustible et la gaine dans les réacteurs rapides au sodium. Il a été révélé que la nitruration plasma a non seulement synthétisé une couche supplémentaire de nitrure de chrome sur la surface extérieure du revêtement de chrome, mais a également eu un effet important de bouchage des fissures sur les revêtements de chrome dur. De plus, des revêtements de Cr nitrurés pendant des durées allant de 0 à 72 h ont été étudiés pour observer les étapes de bouchage des fissures ; notamment, la nitruration pendant 72 h à 600°C avec une puissance RF de 180 W a entraîné l'élimination de la plupart des fissures intérieures. De plus, une couche de nitrure supplémentaire de 0,75-1 μm d'épaisseur à la surface externe du revêtement de Cr présente des grains colonnaires de phases CrN et Cr<sub>2</sub>N alignés sur la direction de croissance. Les tests de couple de diffusion des alliages Ce-Nd à 650°C pendant 25 h ont révélé que le revêtement de Cr nitruré à 72 h possédait une excellente propriété de barrière

sans aucune interdiffusion visible, contrairement au revêtement de Cr non traité, pour lequel une zone d'interdiffusion substantielle allant jusqu'à 17 500  $\mu\text{m}^2$  a été observée.



**Effets de la nituration et de la texturation laser simultanées sur la dureté de surface et les propriétés tribologiques du Ti6Al4V** (The effects of simultaneous laser nitriding and texturing on surface hardness and tribological properties of Ti6Al4V)

Chao Wang, Jing Hong – Key Laboratory of CNC Equipment Reliability, Ministry of Education, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130022, China  
 Surface and Coatings Technology, Available online 17 March 2022

La faible dureté et les propriétés tribologiques médiocres du titane et de ses alliages entravent considérablement leurs applications pratiques en ingénierie. La nituration ou la texturation de surface est donc largement utilisée pour améliorer les performances de surface. Cependant, les études précédentes ont principalement utilisé une seule méthode (nituration ou texturation de surface), et la nituration et la texturation simultanées sont rarement rapportées. Par conséquent, leurs effets combinés sur les propriétés mécaniques et tribologiques de la surface sont rarement étudiés. Dans cette étude, la nituration et la texturation simultanées de la surface du Ti6Al4V ont été réalisées par irradiation laser à impulsions nanosecondes dans une atmosphère d'azote. Les effets des paramètres du laser, notamment la puissance, le taux de recouvrement et le nombre de cycles de balayage, sur la dureté et les propriétés tribologiques des surfaces ont été étudiés. Les résultats expérimentaux ont montré qu'après une nituration et une texturation laser simultanées, la dureté de la surface de Ti6Al4V a été augmentée de 50%~95%, et le coefficient de frottement a été réduit de 70%~80%. Cette étude fournit une méthode simple et efficace de nituration + texturation laser permettant d'améliorer les propriétés de surface du Ti6Al4V en vue d'applications pratiques en ingénierie.

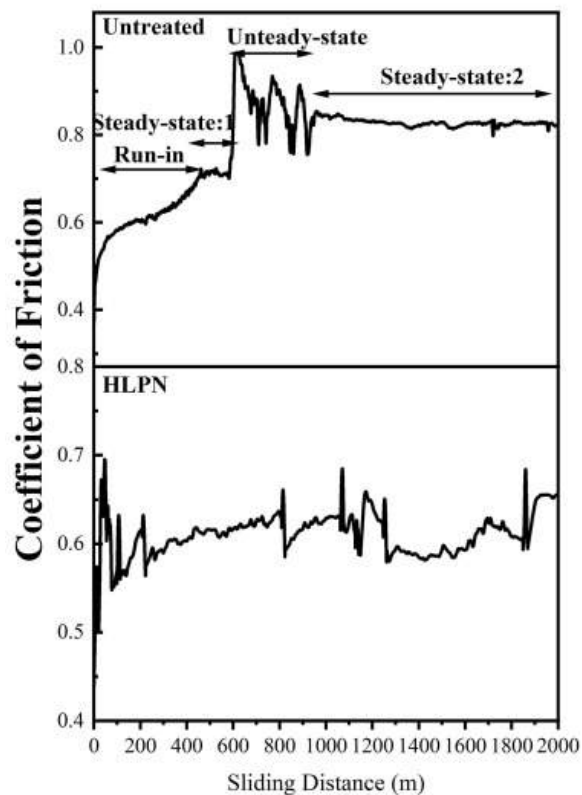
**Nouveau procédé de nituration plasma par HIPIMS pour améliorer les propriétés de surface des alliages de qualité médicale** (A novel plasma nitriding process utilising HIPIMS discharge for enhanced tribological and barrier properties of medical grade alloy surfaces)

P. Hovsepiana, K. Shukla – National HIPIMS Technology Centre, MERI, Sheffield Hallam University, UK  
 Materials Letters, Volume 313, 15 April 2022

La demande d'amélioration de la durée de vie et de la biocompatibilité des implants médicaux est en constante augmentation. Les matériaux utilisés dans cette application difficile doivent présenter des propriétés tribologiques améliorées, une biocompatibilité et une libération réduite d'ions métalliques dans les performances cliniques à long terme. Les techniques de modification de surface, telles que la nituration, peuvent améliorer de manière significative le comportement en service des alliages de qualité médicale utilisés pour les implants. Cette communication présente une nouvelle approche pour la nituration de l'alliage CoCrMo en utilisant pour la première fois la décharge HIPIMS (High Power Impulse Magnetron Sputtering). Le nouveau procédé de nituration a été réalisé avec succès dans un système Hauzer 1000-4 de taille industrielle équipé de la technologie HIPIMS au



National HIPIMS Technology Centre de l'Université de Sheffield Hallam, au Royaume-Uni. En raison de la production considérablement accrue d'espèces ioniques d'azote moléculaire ( $N^{2+}$ ) et atomique ( $N^+$ ) dans la décharge HIPIMS, qui sont principalement responsables de la formation de la couche nitrurée, la productivité du processus a été multipliée par quatre par rapport au processus de nitruration de pointe. Les couches superficielles produites présentent d'excellentes propriétés mécaniques et tribologiques telles qu'une dureté élevée, une grande résistance à la rupture et à l'usure. Les propriétés de protection de la couche nitrurée contre la corrosion dans les environnements agressifs du fluide corporel simulé (solution de Hank) sont remarquablement augmentées. De plus, les données ont montré que la quantité d'ions métalliques libérés par les échantillons nitrurés par HIPIMS a été réduite par un facteur de 2, 4 et 10 pour les ions Co, Cr et Mo respectivement, démontrant ainsi les propriétés de barrière fiables de la couche nitrurée.



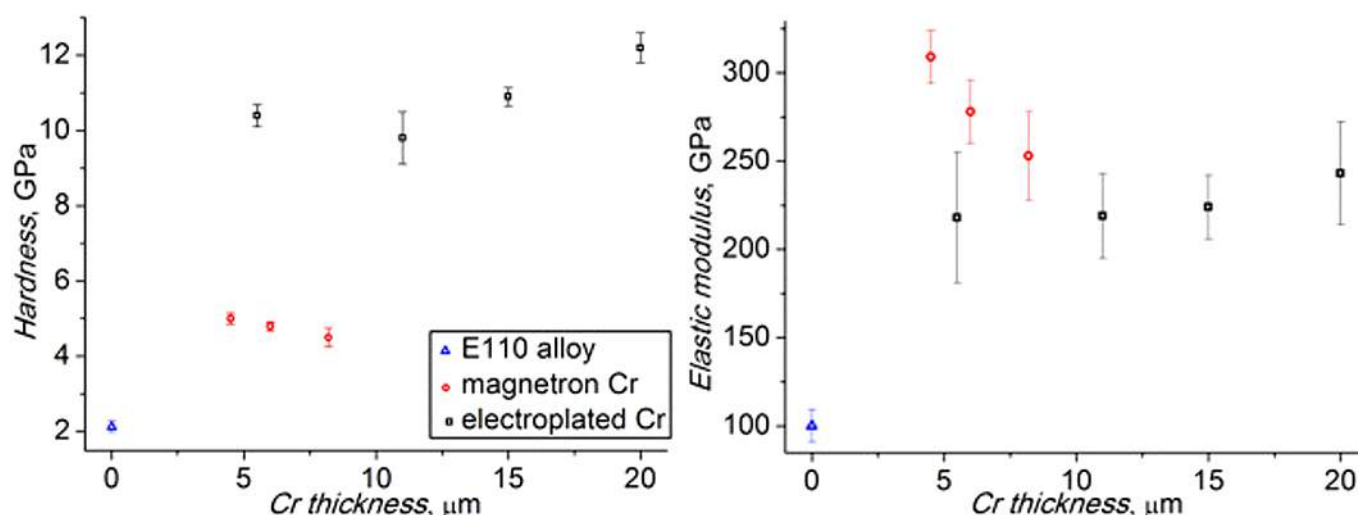
# DLC / DEPOTS SOUS VIDE

## Comparaison de la résistance à l'oxydation à chaud de dépôts de chrome sur un alliage de zirconium E110 réalisé par pulvérisation magnétron et par électrodéposition (A comparative study on high-temperature air oxidation of Cr-coated E110 zirconium alloy deposited by magnetron sputtering and electroplating)

D. V. Sidelev (a), C. Poltronieri (b) – (a) National Research Tomsk Polytechnic University, School of Nuclear Science and Engineering, 634050 Tomsk, Russia ; (b) Politecnico di Milano, Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering "Giulio Natta", 20133 Milano, Italy ; Laboratoire des Sciences des Procédés des Matériaux, CNRS 3407, Université Sorbonne Paris Nord, France

Surface and Coatings Technology, Volume 433, 15 March 2022, 128134

Des revêtements de chrome ont été déposés par pulvérisation magnétron et par électrodéposition sur un alliage de zirconium E110. Les revêtements de chrome déposés présentent une microstructure dense, mais des propriétés mécaniques et une adhésion différente selon la technique de dépôt utilisée. Une oxydation à haute température a été réalisée dans l'air à 1100°C pendant 40 minutes. Les revêtements réalisés par pulvérisation magnétron ont une tenue à l'oxydation stable qui est améliorée en augmentant l'épaisseur du revêtement. L'activation de la surface de l'alliage E110 avant l'électrodéposition de Cr entraîne la formation d'une couche intermédiaire d'une épaisseur de 7 à 12 µm entre le revêtement et l'alliage contenant des phases d'hydrure et de fluorure. Il a été démontré que les fissures et les défauts de cette couche intermédiaire affectaient l'adhérence du revêtement et entraînaient une résistance à l'oxydation inférieure à celle des revêtements déposés par magnétron.

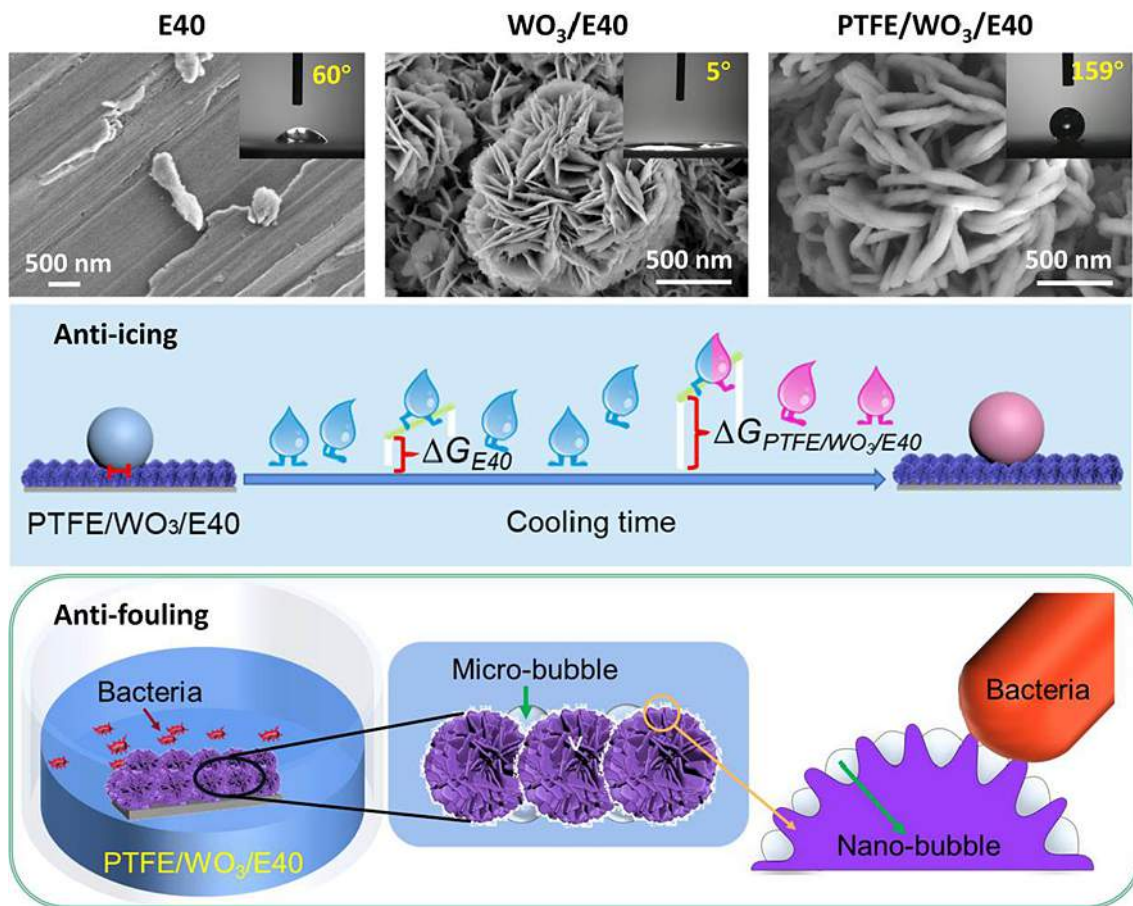


## Revêtement superhydrophobe PTFE/WO<sub>3</sub> micro-nano-structuré sur acier basse température. Performances anti-pollution, anti-givre, anti-salissure (Superhydrophobic micro-nano structured PTFE/WO<sub>3</sub> coating on low-temperature steel with outstanding anti-pollution, anti-icing, and anti-fouling performance)

Xueting Chang, Mingyu Li – Institute of Marine Materials Science and Engineering, College of Ocean Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China

Volume 434, 25 March 2022, Surface and Coatings Technology

La fabrication de revêtements superhydrophobes sur les aciers à basse température a rarement été explorée à ce jour. Dans ce document, un revêtement composite micro-nano-structuré superhydrophobe sur l'acier basse température E40 a été conçu et fabriqué. Il est composé d'un revêtement sous-jacent de WO<sub>3</sub> obtenu par électrodéposition pulsée et d'une couche supérieure de polytétrafluoroéthylène (PTFE) obtenue par pulvérisation magnétron. L'effet synergique des micro/nanostructures hiérarchiques du revêtement WO<sub>3</sub> et de la faible énergie libre de surface de la couche de PTFE contenant du fluor rend le revêtement PTFE/WO<sub>3</sub> superhydrophobe (angle de contact de 159° et un angle de glissement ≤ 1°). Le revêtement PTFE/WO<sub>3</sub> présente des propriétés anti-pollution exceptionnelles à la fois envers les polluants solides tels que les particules de noir de carbone et les polluants liquides tels que l'encre noire. Il est important de noter que le revêtement PTFE/WO<sub>3</sub> présente également d'excellentes propriétés antigivre avec une faible température de givrage et une faible adhésion de la glace. Il présente, de plus, de très bonnes performances anti-salissures. Le présent travail fournit une nouvelle stratégie pour la fabrication de revêtements multifonctionnels sur des matériaux métalliques qui peuvent fonctionner à basse température et dans des conditions de salissures biologiques élevées.



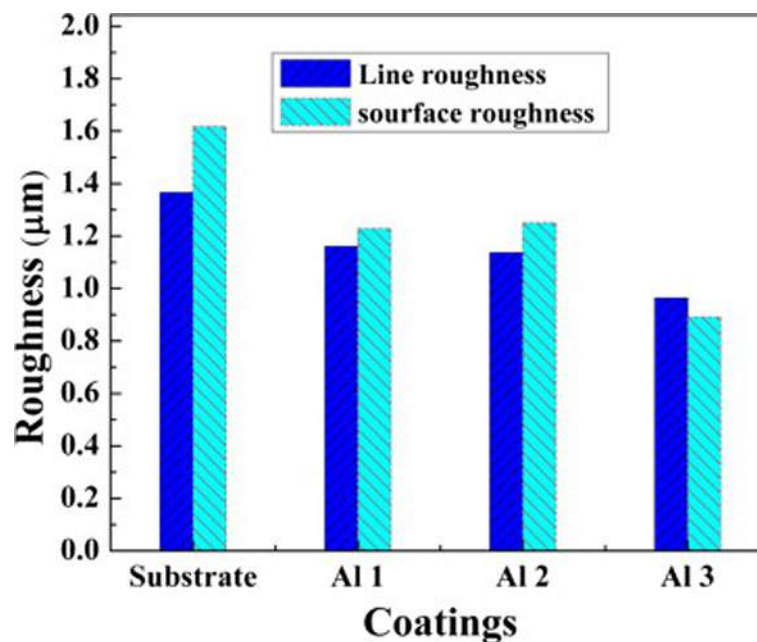
### Influence du temps de déposition et de la rugosité de surface sur la microstructure et la tenue à la corrosion d'un revêtement d'aluminium pur déposé par pulvérisation cathodique sur un acier chromalloy 4130

(Influence of deposition time and surface roughness on microstructure and corrosion behavior of sputter-deposited pure Al coating on 4130 chromalloy steel)

Uttam Kumar Murmu (a), Monojit Dutta (b) – (a) Indian Institute of Engineering Science and Technology, Shibpur, Howrah, WB 711103, India ; (b) Tata Steel, Jamshedpur, JH 831001, India

Materials Today: Proceedings, 3 January 2022

Une comparaison de trois revêtements d'aluminium pur déposés par pulvérisation cathodique sur de l'acier de qualité 4130 avec différents paramètres de processus a été explorée en fonction de la morphologie de surface et de la tenue à la corrosion. Dans un environnement naturel, les revêtements d'aluminium sont plus résistants à la corrosion que les revêtements de zinc en raison de la formation d'une couche imperméable d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sur le substrat. Même à une température allant jusqu'à 180°C, les revêtements d'aluminium ne sont pas corrodés par l'eau distillée. L'acier revêtu d'Al peut donc être utilisé pour de nombreuses applications telles que le stockage et la manipulation de l'eau distillée, les fours, les appareils de chauffage, les systèmes d'échappement des voitures, etc. De nos jours, la pulvérisation magnétron (MS) a pris beaucoup d'importance dans le développement de différents revêtements. Les revêtements d'aluminium obtenus par la technique de pulvérisation magnétron ont donné lieu à des revêtements de qualité uniforme et sans contamination, présentant un taux de déposition élevé et une liaison intense avec le substrat, par rapport à d'autres procédés classiques de dépôt. L'influence de l'état de surface et du temps de déposition sur la microstructure, l'épaisseur, la tenue à la corrosion, l'adhérence et la rugosité finale de la surface font l'objet de cette recherche. La morphologie et la composition de surface ont été examinées par FESEM et EDX, la constitution des phases par XRD et la rugosité de la surface par OLS. L'effet de la rugosité de surface sur les piqûres a également été discuté. L'analyse EIS a montré que l'échantillon avec un temps de déposition de 10h (sablage) présente une meilleure résistance à la corrosion que les deux autres échantillons (5h + sablage et 10h sans sablage). L'analyse GDOES a permis d'établir le profil de profondeur des revêtements. L'opération de sablage avant revêtement a également un effet important sur les propriétés des matériaux.



**Amélioration de la résistance à l'usure d'un alliage de titane de type  $\beta$  biomédical avec l'utilisation d'un revêtement nanocomposite multicouche Si/DLC biocompatible** (Exceptional improvement in the wear resistance of biomedical  $\beta$ -type titanium alloy with the use of a biocompatible multilayer Si/DLC nanocomposite coating)

Mehdi Kheradmandfard (ab), Oleksiy V. Penkov (c) – (a) Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, South Korea ; (b) Dental Materials Research Center, Dental Research Institute, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran ; (c) ZJU-UIUC Institute, International Campus, Zhejiang University, Haining, 314400, China

Ceramics International, Available online 8 March 2022

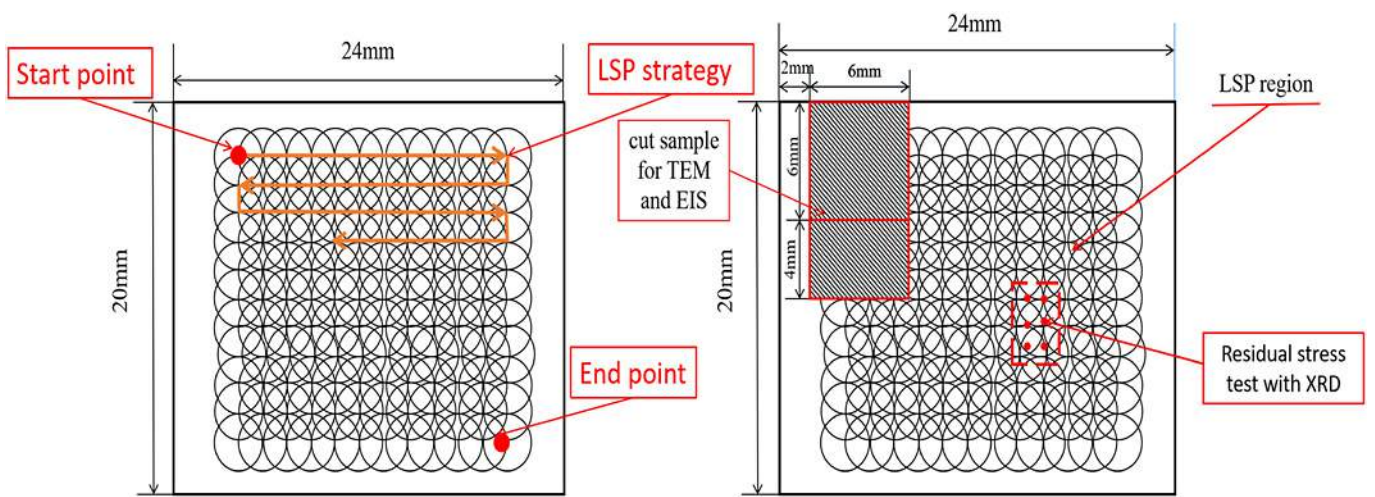
Un revêtement nanocomposite multicouche (MNC) Si/DLC a été appliqué sur l'alliage Ti-29Nb-13Ta-4,6Zr (TNTZ) afin d'améliorer sa résistance à l'usure et sa durabilité. Le revêtement présente un taux d'usure extrêmement faible de  $6,2 \times 10^{-10} \text{ mm}^3 \text{N}^{-1} \text{mm}^{-1}$ . De plus, la profondeur de la trace d'usure après un million de cycles d'usure n'était que de 220 nm, alors que l'épaisseur de l'ensemble du revêtement était de 370 nm. En outre, des tests de culture cellulaire ont démontré que les échantillons de MNC Si/DLC présentaient une meilleure biocompatibilité que les échantillons d'alliage TNTZ. Une comparaison quantitative du comportement d'adhésion cellulaire des échantillons TNTZ et MNC Si/DLC a montré que 60 % de la surface de l'échantillon MNC était couverte de cellules, soit environ le double de la surface couverte de cellules de l'échantillon en alliage TNTZ. De plus, aucune cellule morte n'a été observée sur les échantillons de MNC, ce qui indique que ces derniers ne présentent aucun effet toxique sur les cellules MC3T3. Ces résultats indiquent que le MNC Si/DLC augmente la résistance à l'usure de l'alliage TNTZ et améliore sa biofonctionnalité, ce qui en fait un candidat potentiel pour des applications d'implants à long terme.

**Étude sur la résistance à l'usure et à la corrosion d'un alliage à haute entropie traité par PVD et grenailage laser** (A study on the wear and corrosion resistance of high-entropy alloy treated with laser shock peening and PVD coating)

Lingyi Liao (a), R. Gao (b) – (a) Department of Materials of Science and Engineering, University of Sheffield, Sheffield S10 2TG, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland ; (b) College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Surface and Coatings Technology, Volume 437, 15 May 2022

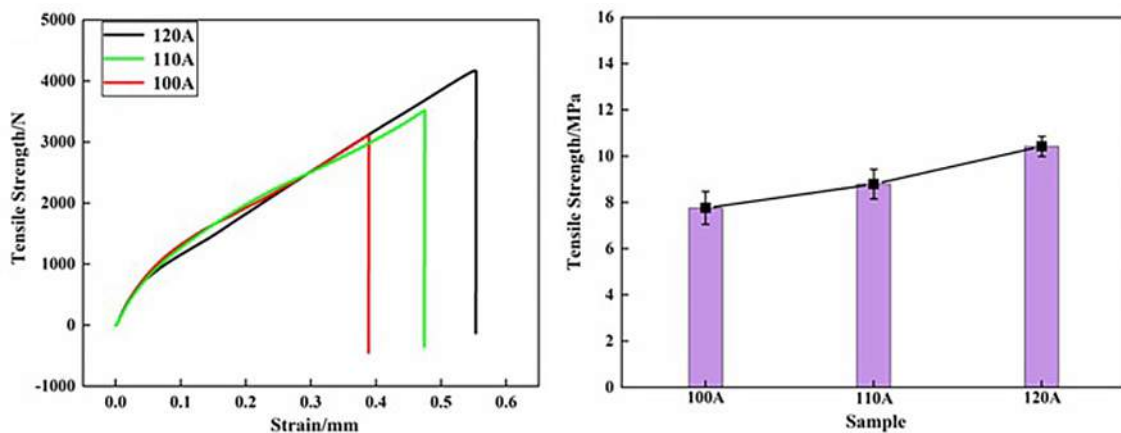
Une étude sur l'effet d'un grenailage laser (LSP – Laser Shot Peening) et d'un dépôt PVD sur la résistance à l'usure et à la corrosion des alliages FeCoCrNiAl<sub>0.1</sub> à haute entropie (HEA) a été conduite dans ce travail. Un revêtement FeCoCrNiAl<sub>0.1</sub> HEA sur substrat acier 304 a servi de base à l'étude. Les propriétés de microdureté, de frottement et de corrosion ont été analysées pour évaluer la fiabilité du matériau. Les résultats de microdureté et le test d'usure indiquent que les deux approches (LSP + PVD) ont augmenté la dureté de la surface du HEA grâce à un affinement des grains. Les résultats du test de corrosion révèlent un effet imprévu entre les deux procédés. De manière surprenante, les échantillons traités par LSP présentent de meilleures performances en matière de résistance à la corrosion, car la contrainte résiduelle de compression induite par le grenailage améliore l'adhérence entre le substrat et la couche modifiée, formant des films passifs denses permettant d'inhiber les ions responsables de la corrosion. En fait, l'affinement des grains a un effet positif sur la tenue à l'usure et les contraintes de compression ont un effet positif sur la résistance à la corrosion. Par conséquent, la couche modifiée induite par LSP sur la surface contribue à l'amélioration de la résistance à l'usure et à la corrosion.



# PROJECTION THERMIQUE / COLD SPRAY

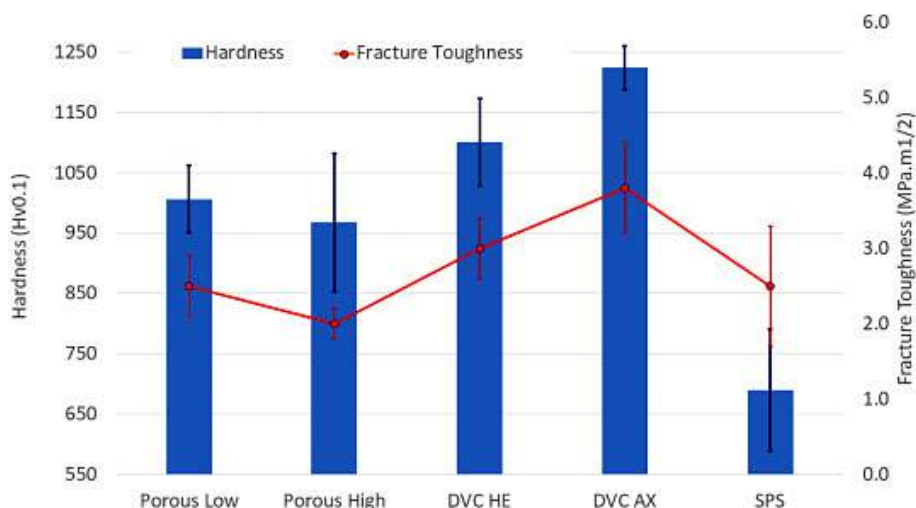
**Technique simple et non polluante de revêtement de zinc sur acier par projection plasma atmosphérique : comportement anticorrosion** (Zinc coating on steel by atmosphere plasma spray and their anti-corrosion behavior)  
Xiqiang Zhong, Ruijie Liang – State Key Laboratory of New Ceramics and Fine Processing, School of Materials Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China  
Materials Letters, Volume 314, 1 May 2022

Un procédé simple pour les revêtements Zn basé sur les techniques de projection par plasma atmosphérique (APS) est présenté ici. Le revêtement de Zn, préparé avec un courant de pulvérisation optimal de 120A, présente d'excellentes caractéristiques structurales avec une faible porosité et une adhérence élevée de 10,42 MPa. Après 3000 heures de test d'immersion dans une solution de NaCl, aucun dommage évident dû à la corrosion n'est apparu à la surface. L'évolution de la corrosion de l'acier revêtu s'est principalement transformée de la passivation spontanée du film d'oxyde en dommages par piqûre par le milieu de corrosion. Cependant, en raison de l'effet d'isolation et d'un potentiel d'autocorrosion plus faible, le revêtement de Zn a pu protéger l'acier des dommages causés par la corrosion, ce qui démontre une excellente propriété anticorrosion.



**Résistance à l'érosion de revêtements SPS, comparaison avec les barrières thermiques denses à fissures verticales** (Erosion performance of suspension plasma spray thermal barrier coatings — A comparison with state of art coatings)  
Nicholas Curry (a), Satyapal Mahade (b) – (a) Thermal Spray Innovations, Salzburg, Austria ; (b) Department of Engineering Science, University West, Trollhättan, Sweden  
Surface and Coatings Technology, Volume 437, 15 May 2022

Les barrières thermiques obtenues par projection de plasma à suspensions (SPS) sont dans une première phase d'adoption industrielle. Des questions subsistent quant à la performance des revêtements colonnaires SPS dans différents environnements, car cela peut influencer le choix de revêtements de moteurs en vue d'un remplacement des revêtements établis par des revêtements SPS. Un domaine particulier de préoccupation est la résistance à l'érosion des revêtements SPS. Dans cette étude, un revêtement SPS colonnaire a été évalué par rapport à trois types de revêtements de pointe par projection plasma atmosphérique (APS) : un revêtement poreux conventionnel, un revêtement à haute porosité et un revêtement dense à fissures verticales. Des tests d'érosion par air ont été effectués sur les revêtements avec un angle à 30 degrés et avec un impact direct à 90 degrés. Les revêtements ont été classés en fonction de leur perte de masse par unité de masse érodante. Les revêtements ont également été évalués en fonction de leur microstructure, leur porosité, leur dureté et leur résistance à la rupture. Les dommages dus à l'érosion créés pendant les essais ont également été étudiés à l'aide de la microscopie électronique afin d'observer le mécanisme d'endommagement. Les résultats de cette étude montrent que les revêtements SPS peuvent surpasser les revêtements APS poreux en matière de résistance à l'érosion et pourraient être considérés comme un équivalent aux barrières thermiques denses à fissures verticales (DVC). Les revêtements SPS colonnaires affichent un taux d'érosion décroissant avec le temps d'exposition, ce qui suggère l'influence de la rugosité de surface sur le comportement initial de l'érosion.

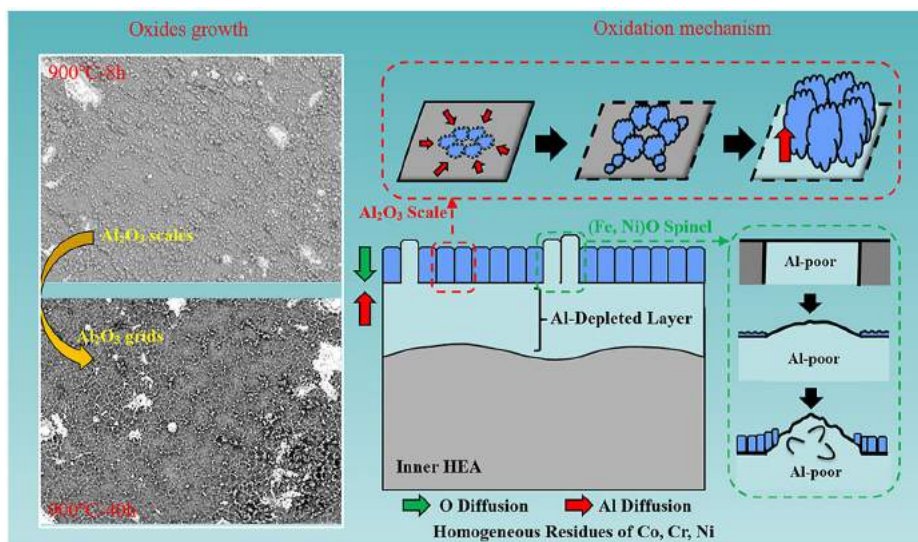


**Étude de l'oxydation à chaud de revêtements en alliage à haute entropie AlCoCrFeNi projetés par plasma atmosphérique** (High temperature oxidation behavior of atmosphere plasma sprayed AlCoCrFeNi high-entropy alloy coatings)

Fanyong Zhang, Liangquan Wang – Tianjin Key Laboratory of Materials Laminating Fabrication and Interface Control Technology, Research Institute for Energy Equipment Materials, School of Material Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin, 300130, China

Materials Chemistry and Physics, Volume 282, 15 April 2022

Dans ce travail, un revêtement d'alliage à haute entropie (HEA) AlCoCrFeNi a été préparé par projection plasma atmosphérique (APS) et son comportement à l'oxydation à 800, 900 et 1000°C a été étudié. Un nouveau mécanisme de passivation basé sur la migration des éléments et le processus d'oxydation a été proposé. Les résultats ont montré que la courbe de gain de poids du revêtement HEA était une parabole à deux niveaux. L'oxydation en régime permanent de l'Al était dominante à toutes les températures dans les 50 heures. L'Al a migré latéralement et longitudinalement pour former une couche de passivation Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dense avec une structure maillée, qui empêche efficacement la diffusion interne de l'O. La transformation de phase BCC - FCC de l'alliage HEA induite par la haute température a donc entraîné la formation d'oxydes spinelles riches en Fe-Ni. Le mécanisme proposé indique que l'augmentation de la teneur en Al dans le revêtement AlCoCrFeNi améliorerait sa résistance à l'oxydation.

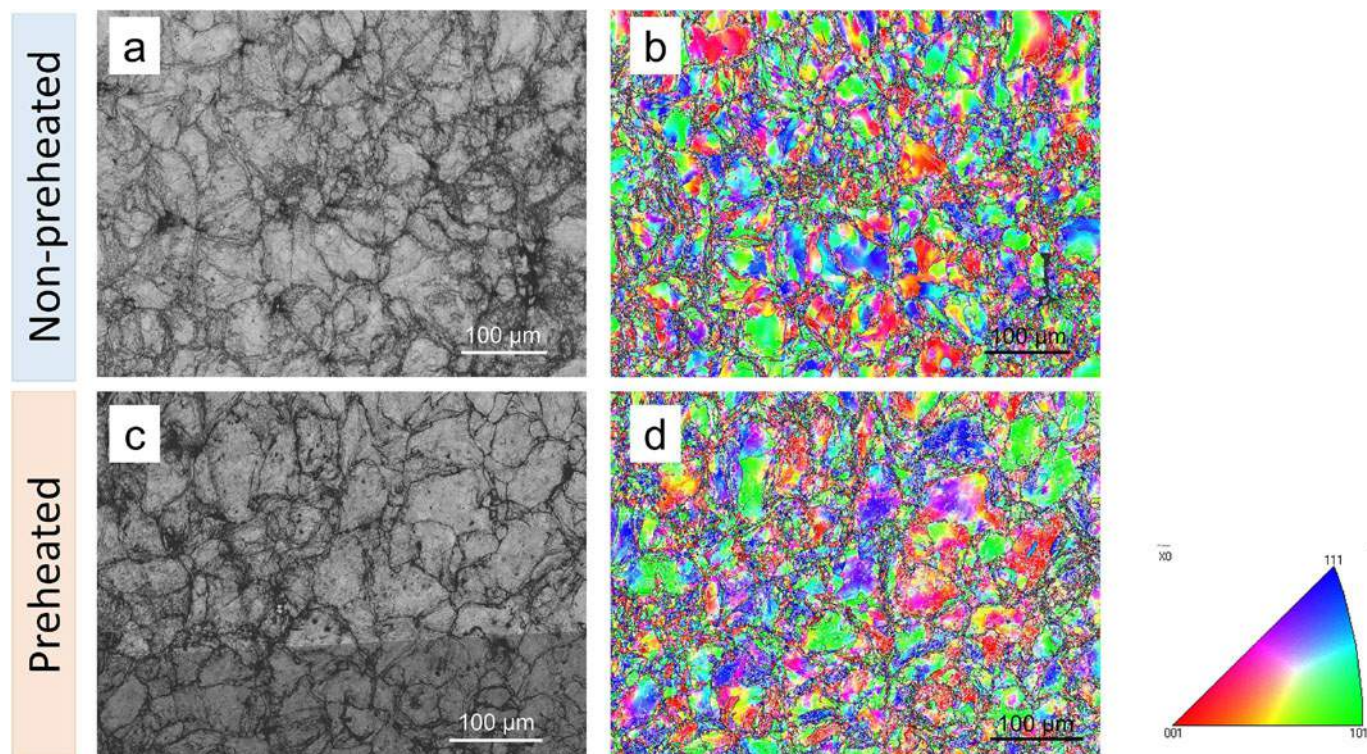


**Amélioration de la résistance à la traction des dépôts de fer par Cold Spray grâce au préchauffage de la poudre** (Improvement of tensile strength of cold sprayed Fe deposits via in-process powder preheating)

Yingchun Xie (a), Ningsong Fan (b) – (a) The Key Lab of Guangdong for Modern Surface Engineering Technology, National Engineering Laboratory for Modern Materials Surface Engineering Technology, Institute of New Materials, Guangdong Academy of Sciences, 510651 Guangzhou, China ; (b) Department of Mechanical, Manufacturing & Biomedical Engineering, Parsons Building, Trinity College Dublin, The University of Dublin, Dublin 2, Ireland

Materials Letters, Volume 316, 1 June 2022

Des dépôts de Fe par Cold Spray ont été réalisés avec des poudres non préchauffées et préchauffées à des fins de comparaison. La microstructure des dépôts a été caractérisée par la diffraction des électrons rétrodiffusés. La résistance à la traction des dépôts a ensuite été évaluée. Les résultats montrent que la poudre de Fe préchauffée se déforme davantage que la poudre non préchauffée pendant la projection en raison de leur ramollissement thermique. La résistance à la traction ultime des dépôts réalisés avec la poudre préchauffée double approximativement à  $109,42 \pm 50,56$  MPa en raison de l'amélioration de la liaison inter-plaques. Cependant, dans les deux cas, les dépôts présentent une faible ductilité. La densité accrue de dislocation et les oxydes de taille nanométrique sur la surface de la poudre préchauffée sont considérés comme la cause de la faible ductilité des dépôts fabriqués avec la poudre préchauffée.



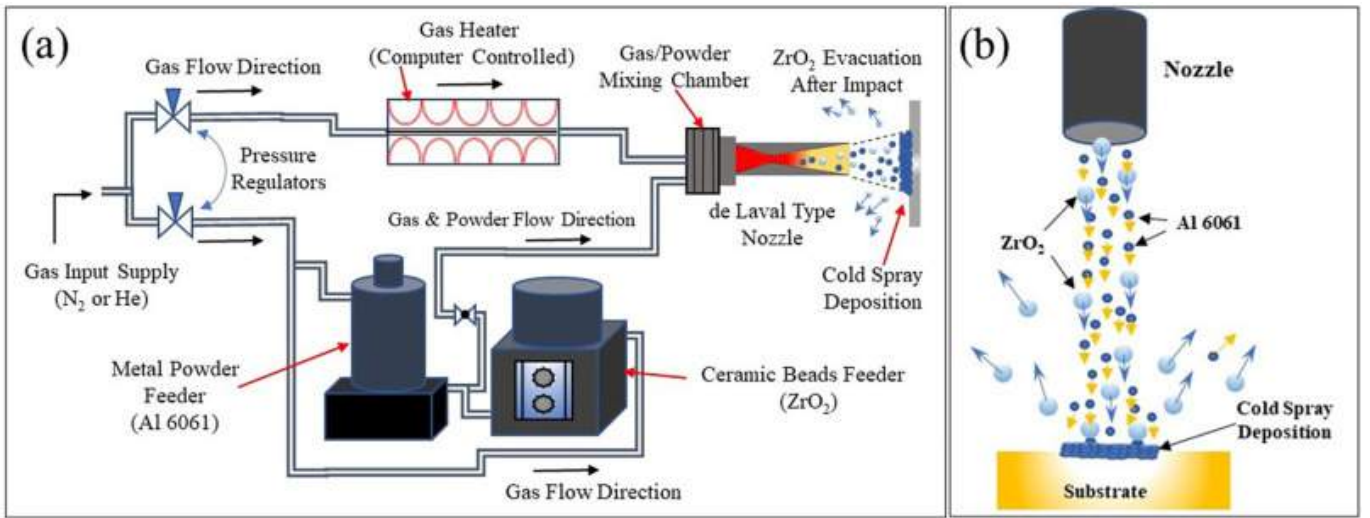
**Effet d'un grenailage secondaire  $ZrO_2$  sur la microstructure et le comportement mécanique des revêtements d'Al6061 par Cold Spray** (Effect of zirconia secondary peening on the microstructure and mechanical behavior of Al6061 cold spray coatings)

Brian L. James (ab), Venkata Satish Bhattiprolu (c) – (a) US Air Force, Additive Manufacturing Flight, 1910 Bergstrom Drive, Building 7520, Ellsworth Air Force Base, SD 57706, USA ; (b) Department of Materials and Metallurgical Engineering, South Dakota School of Mines and Technology, 501 E. Saint Joseph St., Rapid City, SD 57701, USA ; (c) Arbegast Materials Processing and Joining Laboratory, South Dakota School of Mines and Technology, 501 E. Saint Joseph St., Rapid City, SD 57701, USA

Surface and Coatings Technology, Volume 436, 25 April 2022

La technique du Cold Spray est couramment utilisée pour réparer des composants métalliques avec une influence limitée de la température sur le composant d'origine. Cependant, pour de nombreux alliages commerciaux, comme l'Al6061, il est toujours difficile d'obtenir des dépôts denses en utilisant de l'azote gazeux à bas prix. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet d'un grenailage secondaire avec des billes de zircone ( $ZrO_2$ ) sur la microstructure et les propriétés mécaniques des revêtements. De la poudre sphérique d'Al6061 d'une taille moyenne de  $20 \mu m$  couplée à des billes de zircone de  $\sim 210 \mu m$  ont été déposées sur des substrats Al6061-T6 en utilisant  $N_2$  comme gaz porteur. La microstructure et les propriétés mécaniques des revêtements ont été comparées aux revêtements produits sous He et  $N_2$ . La caractérisation de la microstructure a été réalisée à l'aide de microscopes électroniques optiques et à balayage. Les revêtements produits à l'aide du gaz He présentent la plus faible porosité et de meilleures propriétés mécaniques que les revêtements produits à base de  $N_2$  et de  $N_2$  avec du  $ZrO_2$ . L'utilisation de  $ZrO_2$  avec le  $N_2$  a entraîné une augmentation de  $\sim 15\%$  de la microdureté, une augmentation de  $\sim 680\%$  de l'adhérence, une réduction de  $\sim 28\%$  de la porosité et une augmentation de  $\sim 34\%$  de la résistance à la traction des revêtements par rapport aux revêtements produits avec du  $N_2$  uniquement. Cependant, les deux revêtements produits à l'aide de  $N_2$  et de  $N_2$  couplé à du  $ZrO_2$  présentent une certaine fragilité sans ductilité appréciable. Même avec cette limitation, l'utilisation de  $ZrO_2$  pour un grenailage secondaire pourrait constituer une alternative moins coûteuse à l'utilisation du He pour certaines applications de projection à froid où une dureté plus élevée et une bonne adhérence sont nécessaires.





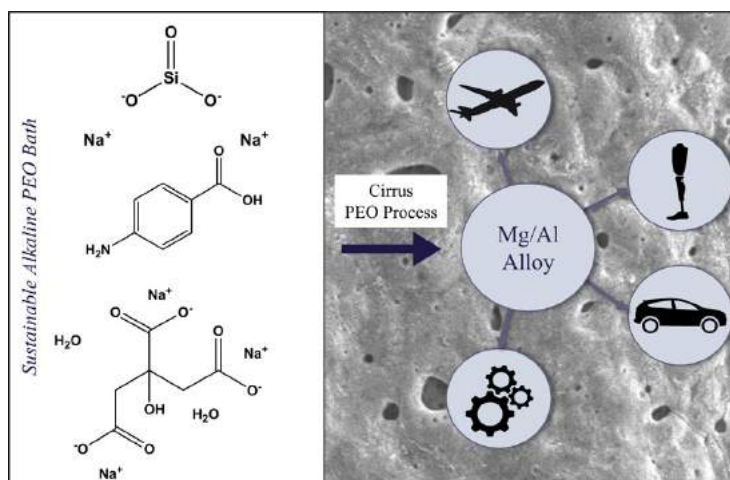
# TRAITEMENT DES ALLIAGES LEGERS

## Protection des alliages légers par PEO : mise au point d'un procédé respectueux de l'environnement (Protecting Light Metal Alloys Using a Sustainable Plasma Electrolytic Oxidation Process)

Fengyan Hou, Rukmini Gorthy – Cirrus Materials Science Ltd., Auckland, New Zealand

ACS Omega 2022, 7, 10, 8570–8580, March 2, 2022

L'oxydation par plasma électrolytique (PEO) est largement utilisée pour passiver les métaux légers contre la corrosion et améliorer leurs propriétés mécaniques. Les procédés actuellement utilisés sont souvent gourmands en énergie et utilisent des électrolytes toxiques. L'incorporation de caractéristiques composites aux surfaces traitées par PEO nécessite généralement la modification des électrolytes par l'ajout de nanoparticules. Certaines applications nécessitent également un post-traitement des revêtements oxydés pour garantir leur fonctionnalité. Dans cet article, un procédé PEO polyvalent et respectueux de l'environnement est proposé. Il utilise des électrolytes organo-silicatés enrichis à l'azote. Le procédé en une seule étape produit des revêtements d'oxyde d'une épaisseur de  $\sim 6 \mu\text{m}$ , uniformes, adhérents et poreux sur des surfaces AZ80 et Al6061 en 15 min. L'influence et l'efficacité de la nitruration in situ a été évaluée en comparant les propriétés du revêtement avec celles des alliages traités dans des électrolytes PEO sans produits chimiques contenant de l'azote. Les deux ensembles de revêtements étaient poreux avec des topographies multicouches de type basalte et étaient composés d'oxydes métalliques et de silicates métalliques. Les alliages traités dans des électrolytes contenant de l'azote présentaient des oxynitrides. L'utilisation d'électrolytes PEO contenant de l'azote a permis d'obtenir des revêtements au comportement mécanique amélioré. Les auteurs ont constaté que la résistance à la corrosion des revêtements préparés en utilisant de faibles tensions était comparable à celle des revêtements traditionnels traités au PEO rapportés dans la littérature. La nitruration des revêtements semble toutefois avoir une influence légèrement négative sur la résistance à la corrosion des revêtements. Les futurs travaux se concentreront sur l'amélioration de la résistance à la corrosion des revêtements contenant des nitrures et mécaniquement résilients.



## Étude expérimentale sur la dureté et la tenue à la corrosion de l'alliage de magnésium AZ91 revêtu d'un dépôt chimique nanocomposite (Experimental study of hardness and corrosion properties of AZ91 magnesium alloy after electroless nano composite coating)

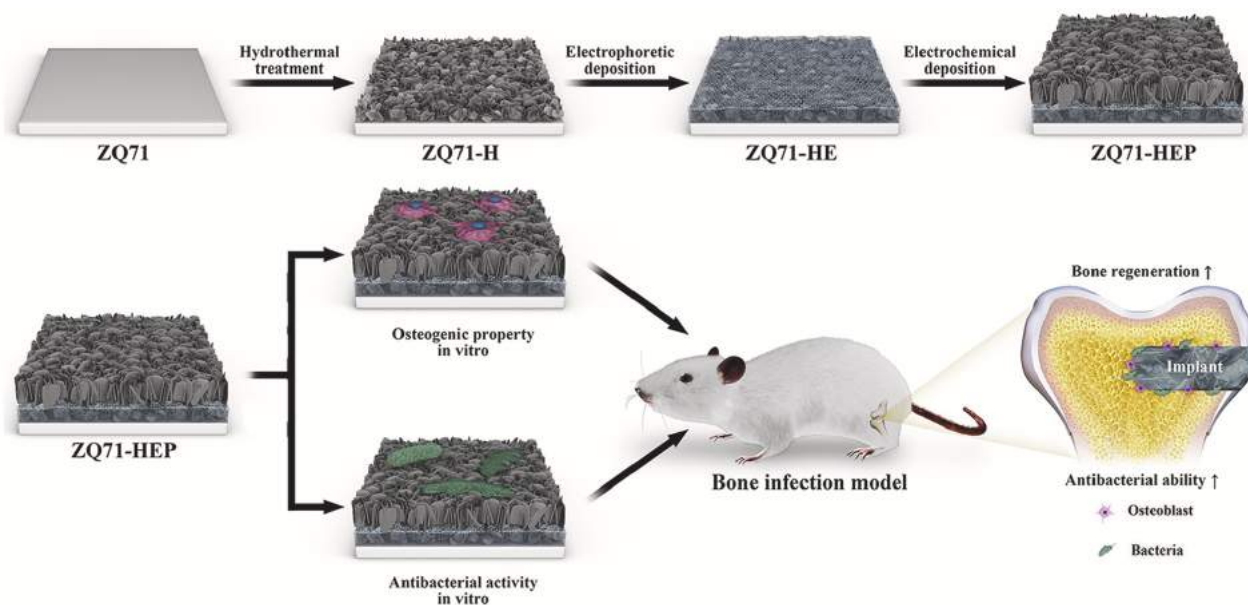
Dr Farook Sayyad (a), Dr Shabnam Sayyad (b) – (a) Professor, Mechanical Engineering Department., Dr. D. Y. Patil School of Engineering, Pune, India ; (b) Associate Professor, Computer Engineering Department., AISSMS College of Engineering, Pune, India

Materials Today: Proceedings, 5 March 2022

Le magnésium et ses nombreux alliages ont une excellente rigidité, une faible densité et des propriétés de protection électromagnétique, ce qui les rend idéaux pour une utilisation dans de nombreux composants industriels. Les alliages de magnésium présentent un inconvénient important en termes de corrosion et de dureté, ce qui limite leurs utilisations pratiques. L'un des moyens les plus récents pour améliorer la corrosion et la dureté des alliages de magnésium est le nanorevêtement chimique. La tenue à la corrosion et la dureté de l'alliage AZ91 Mg revêtu d'un film nanocomposite de ENi-B-TiO<sub>2</sub> est examinée dans cette étude. Il a été montré que la dureté de la surface des revêtements augmentait avec la concentration en particules de titane. La concentration des particules de titane et les paramètres d'agitation du bain ont été étudiés précisément afin d'optimiser les propriétés du nanorevêtement.

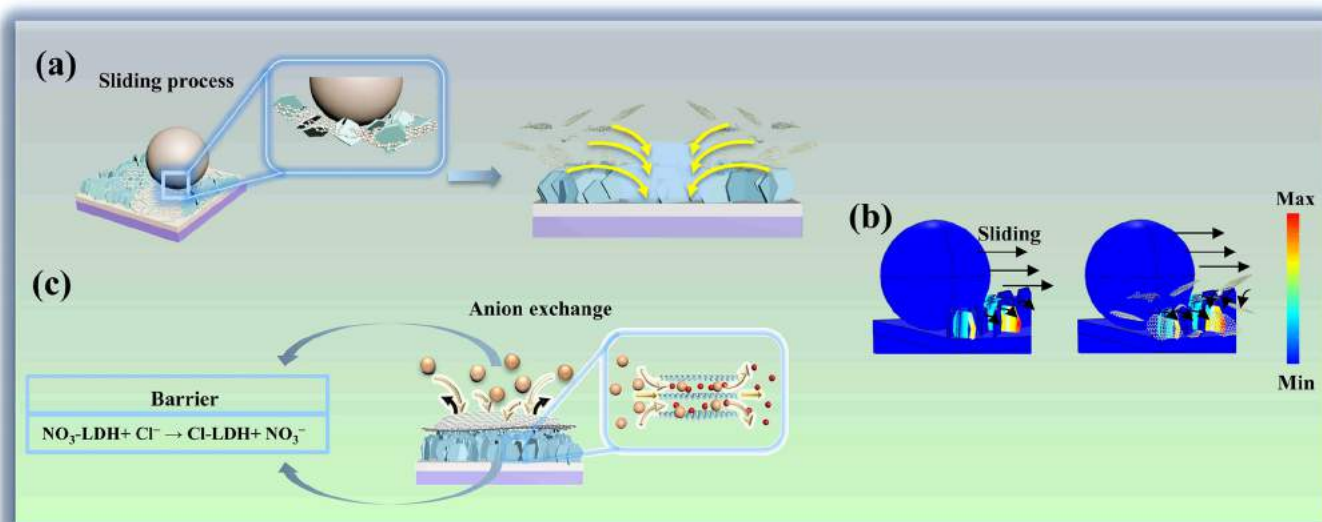
**Revêtement composite Mg(OH)<sub>2</sub>/GO/HA sur alliage Mg-Ca-Zn-Ag pour inhiber les infections bactériennes et favoriser la régénération osseuse** (Construction of a magnesium hydroxide/graphene oxide/hydroxyapatite composite coating on Mg–Ca–Zn–Ag alloy to inhibit bacterial infection and promote bone regeneration)  
 Bo Yuan (ab), Hweei Chen (ab) – (a) National Engineering Research Center for Biomaterials, Sichuan University, Chengdu, 610064, China ; (b) College of Biomedical Engineering, Sichuan University, Chengdu, 610064, China  
 Bioactive Materials, Available online 3 March 2022

L'amélioration de la résistance à la corrosion, de l'activité ostéogénique et des propriétés antibactériennes sont les facteurs clés pour promouvoir l'application clinique à grande échelle des implants à base de magnésium (Mg). Dans cette étude, un nouveau revêtement nanocomposite Mg(OH)<sub>2</sub>/GO/HA composé d'hydroxyde de magnésium (face interne), d'oxyde de graphène (au centre) et d'hydroxyapatite (face externe) a été réalisée sur un substrat Mg-0,8Ca-5Zn-1,5Ag par une stratégie combinée de traitement hydrothermique, de dépôt électrophorétique et de dépôt électrochimique. Les résultats de la caractérisation des matériaux et du test de corrosion électrochimique ont montré que les trois couches de revêtement présentaient une adhérence, une hydrophilie et une résistance à la corrosion élevées. Des études in vitro montrent que Mg(OH)<sub>2</sub> améliore effectivement l'activité antibactérienne du substrat. Les procédures de revêtement GO et GO/HA suivantes favorisent toutes deux la différenciation ostéogénique des cellules MC3T3-E1 et ne présentent aucun effet négatif sur l'activité antibactérienne du revêtement Mg(OH)<sub>2</sub>, mais c'est ce dernier qui présente le meilleur effet promoteur. Les études in vivo démontrent que l'alliage du Mg avec le revêtement composite améliore non seulement l'ostéolyse induite par l'invasion bactérienne mais favorise également la régénération osseuse dans des conditions normales et infectées. L'étude actuelle fournit une stratégie prometteuse de modification de surface pour développer des implants multifonctionnels à base de Mg avec une bonne résistance à la corrosion, une capacité antibactérienne et une activité ostéogénique permettant d'élargir leurs applications biomédicales.



**Revêtement composite lubrifiant et anticorrosion à base d'hydroxyde double lamellaire zinc-aluminium, oxyde de graphène sur alliage de magnésium** (Zinc aluminum-layered double hydroxide(LDH)-graphene oxide(GO) lubricating and corrosion-resistant composite coating on the surface of magnesium alloy)  
 Gengzhe Shen, Liuyan Zhang – School of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, PR China  
 Surface and Coatings Technology, Available online 19 March 2022

Un revêtement hydroxyde double lamellaire zinc - aluminium (ZnAl-LDH) a été cultivée in-situ sur un revêtement Al LPCGS (low-pressure cold gas spraying) par méthode hydrothermique. Ensuite, un revêtement composite zinc-aluminium-oxyde de graphène (LDH-G) a été formé par adsorption électrostatique entre l'oxyde de graphène (GO) et le ZnAl-LDH. La structure, la morphologie et la composition du revêtement ont été étudiées. Un tribomètre pion-disque (WTM-2E, Chine) a été utilisé pour tester les propriétés tribologiques du revêtement LDH-G. La courbe de polarisation et l'EIS ont permis de mesurer les propriétés électrochimiques du revêtement LDH-G dans une solution NaCl à 3,5% en poids. Grâce aux bonnes propriétés mécaniques du graphène et à l'effet d'inhibition de la corrosion du ZnAl-LDH, le LDH-G a montré une excellente résistance à l'usure et à la corrosion.

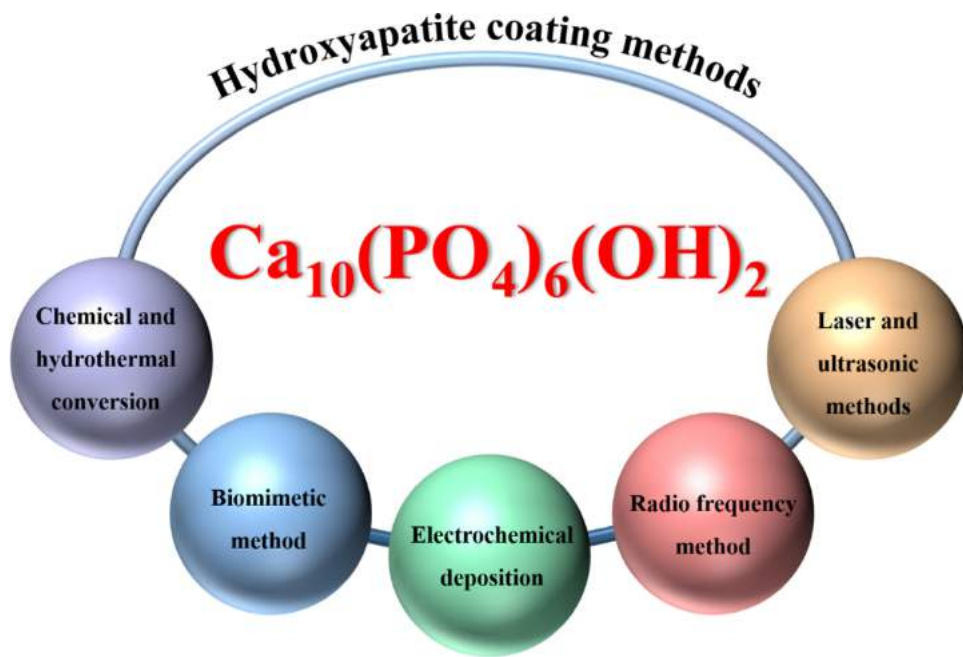


### Revêtements d'hydroxyapatite sur alliages de magnésium biodégradables : état des lieux et pistes de développement (Advances in hydroxyapatite coatings on biodegradable magnesium and its alloys)

Ai-Meng Zhang (a), Praneesh Lenin (b) – (a) College of Materials Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China ; (b) School of Mechanical Engineering, Vellore Institute of Technology, Vellore, Tamil Nadu 632014, India

Journal of Magnesium and Alloys, Available online 3 March 2022

Le magnésium est un métal candidat pour les applications d'implants biodégradables en raison de sa tendance à la biodégradation et de son excellente biocompatibilité. Malheureusement, le taux de dégradation élevé du magnésium et sa dégradation localisée dans certaines conditions physiologiques sont les principaux obstacles à la réussite de ses applications. Le taux de dégradation du magnésium a été réduit dans une certaine mesure grâce à la formulation d'alliages, mais la susceptibilité à la dégradation localisée reste grandement préoccupante. Depuis de nombreuses années, l'hydroxyapatite (HAp), un matériau céramique biocompatible, est largement utilisé pour les applications de bio-implants. Récemment, de nombreuses recherches ont été menées sur les revêtements HAp sur des matériaux à base de magnésium afin d'améliorer la résistance à la dégradation en particulier, mais aussi la biocompatibilité. Cet article de synthèse se concentre sur les différentes méthodes de revêtement HAp sur des matériaux à base de magnésium et sur les récents progrès réalisés dans le processus de revêtement pour améliorer la résistance à la dégradation et la biocompatibilité. Au cours de la dernière décennie, de nombreux chercheurs ont travaillé sur les revêtements HAp sur magnésium (et alliages) en utilisant des méthodes chimiques, hydrothermiques et électrochimiques. Récemment, d'autres techniques telles que la radiofréquence, le laser et les ultrasons ont été explorées. L'accent a été mis récemment sur les revêtements HAp composites, chargés entre autres de médicaments, afin d'améliorer la résistance à la dégradation et la biocompatibilité des matériaux à base de magnésium. Ces revêtements HAp composites offrent de grandes perspectives pour contrôler le taux de dégradation et améliorer l'intégrité mécanique du magnésium et de ses alliages. Ils peuvent également permettre d'atteindre certaines fonctions : régénération des tissus, propriétés antibactériennes, libération de substances actives... Par conséquent, on peut dire que le développement d'un alliage de magnésium avec un revêtement composite HAp pourrait être un moyen efficace d'améliorer les fonctions biologiques des implants en alliage de magnésium en plus de fournir la résistance à la dégradation requise. Cependant, des travaux supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les performances de l'intégrité mécanique de ces revêtements nouvellement développés. Dans les futurs travaux de recherche, pour mieux simuler les performances de ces revêtements avancés dans l'environnement physiologique, il sera essentiel d'établir un environnement *in vitro* similaire aux conditions physiologiques humaines pour évaluer réellement leur dégradation (aujourd'hui les expériences *in vitro* sont menées dans des environnements simples tels qu'une solution contenant du chlorure et à température ambiante).



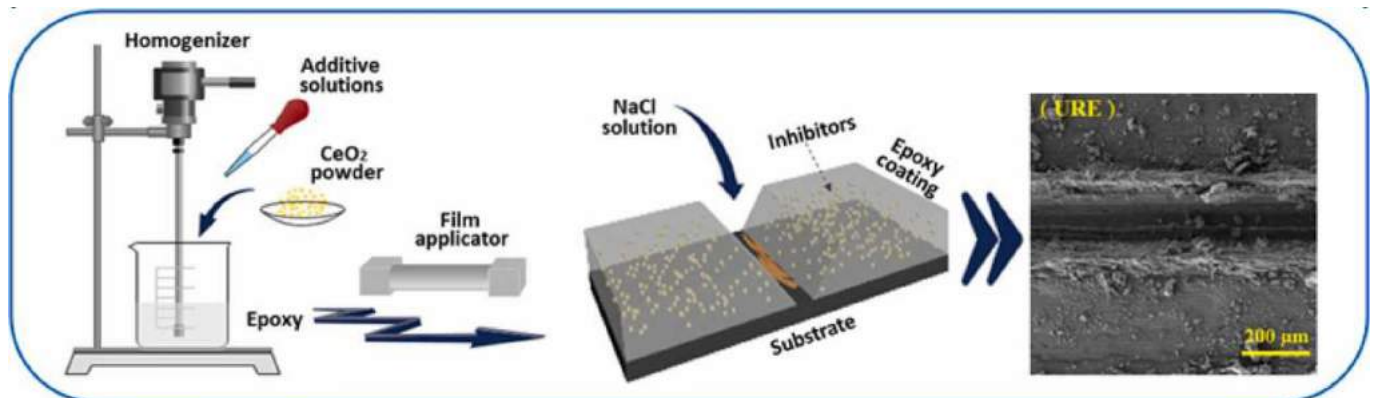
# PEINTURES / REVETEMENTS ORGANIQUES

**Effet des modes d'obtention de particules d'oxyde de cérium sur la capacité de protection anti-corrosion de revêtements époxy sur acier doux** (Ceria particles synthesized via combustion method to inspire active protection for epoxy coating on mild steel)

Zahra Ghahramani (a), Amir Masoud Arabi (b) – (a) Institute of Nanotechnology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran ; (b) Department of Inorganic Pigments and Glazes, Institute for Color Science and Technology (ICST), Tehran, Iran

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 640, 5 May 2022

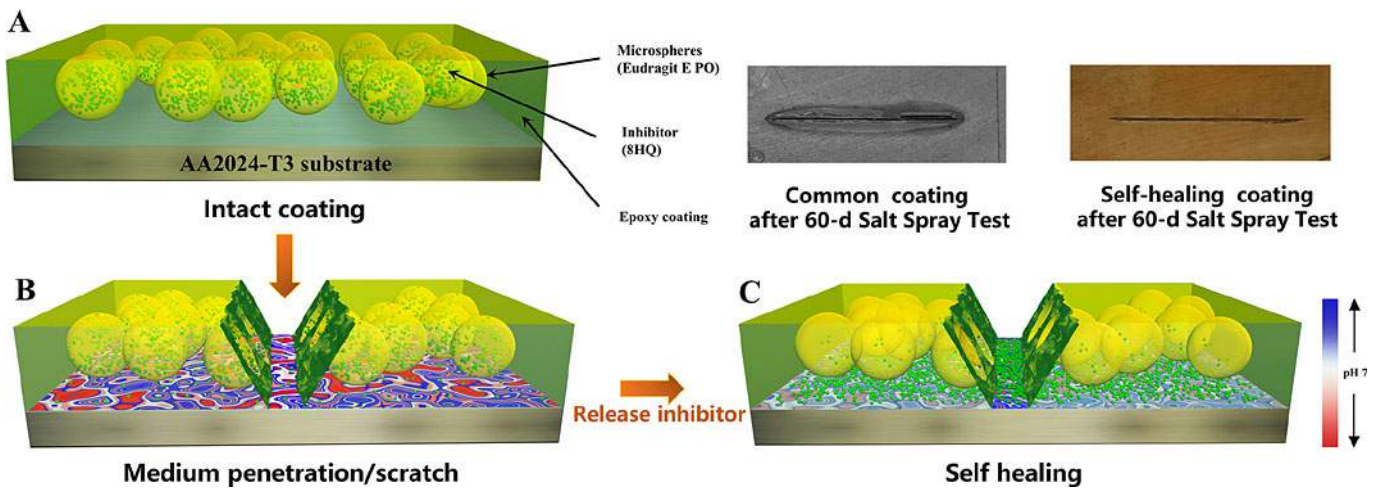
Cette recherche vise à étudier l'impact de différents modes d'obtention  $\text{CeO}_2$  sur leur activité inhibitrice de la corrosion dans un revêtement époxy. Dans ce but, quatre types différents de particules ont été préparés en utilisant l'urée, la glycine, le glucose et l'acide citrique. La libération des cations  $\text{Ce}^{4+}$  des particules de  $\text{CeO}_2$  dans une solution de NaCl à 3,5 % a été évaluée par ICP (inductively coupled plasma analysis). Les résultats montrent que les particules de  $\text{CeO}_2$  synthétisées avec l'urée libèrent environ dix fois plus de cations cérium que les particules synthétisées à partir de glycine, glucose ou acide citrique. La tenue à la corrosion d'acier nu dans une solution saline en présence et en l'absence de cations  $\text{Ce}^{4+}$  libérés et la performance d'inhibition de la corrosion des revêtements rayés contenant des particules de  $\text{CeO}_2$  ont été évalués par des techniques électrochimiques. Les résultats ont montré une amélioration considérable des valeurs d'impédance dans les deux phases de solution et de revêtement, en particulier en présence d'urée. En outre, les analyses FESEM et EDS ont été utilisées pour caractériser la surface de l'acier nu et la zone rayée des échantillons revêtus après exposition aux solutions d'essais. Les résultats de l'analyse de surface ont montré qu'une moindre corrosion s'était formée sur l'échantillon présentant de l'urée, confirmant ainsi sa plus grande activité inhibitrice. L'adhérence et le comportement protecteur des revêtements époxy ont également été déterminés par des tests d'arrachement et de brouillard salin. Dans l'ensemble, les résultats confirment que les particules de  $\text{CeO}_2$  synthétisées à partir d'urée présentent les meilleures propriétés anticorrosion en raison de leur plus grande capacité à libérer les cations  $\text{Ce}^{4+}$ .



**Amélioration des performances d'autocicatrisation d'un revêtement époxy base aqueuse anticorrosion par incorporation de microbilles organiques** (Improving the self-healing performance of the water-borne epoxy anticorrosion coating in 3.5 wt% NaCl solution using acid and alkaline dual sensitive organic microspheres)

Yang Cao (ab), Xuwen Yuan (ab) – (a) Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China ; (b) School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

Des microbilles d'Eudragit doublement sensibles aux milieux acides et alcalins, incorporées à l'inhibiteur de corrosion 8-hydroxyquinoléine (8HQ@Eu) ont été préparées par une méthode à faible coût en une seule étape, et un nouveau revêtement a été conçu pour améliorer la performance d'auto-cicatrisation d'une résine époxy à base d'eau dans une solution de NaCl à 3,5% en poids. Les résultats d'une analyse EIS ont montré que le module d'impédance à basse fréquence ( $|Z|_{0,01\text{Hz}}$ ) sur une zone rayée du revêtement contenant des microbilles 8HQ@Eu après 30 jours d'immersion était environ 10 fois plus élevé que celui du revêtement époxy pur. Ce plus, la résistance du film d'oxyde et la résistance de transfert de charge de l'échantillon 8HQ@Eu ont augmenté d'environ 10 fois et 8 fois respectivement. Les résultats de l'analyse SVET (électrode vibrante) montrent que le courant de corrosion de l'échantillon 8HQ@Eu dans la zone rayée a diminué de plus d'un ordre de grandeur par rapport à celui du revêtement époxy pur dans les 24h. Le test au brouillard salin a prouvé que la corrosion du substrat et la délamination du revêtement près de la zone rayée avaient été considérablement inhibées. L'analyse XPS a confirmé que l'inhibiteur de corrosion a été délivré aux sites corrodés prouvant que le 8HQ@Eu pouvait être utilisé comme support anticorrosion intelligent.

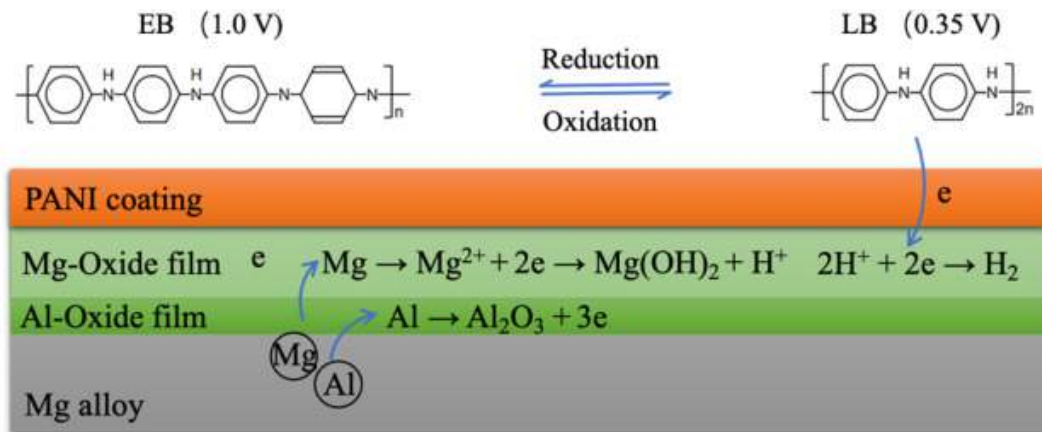


**Études des propriétés anticorrosion de la polyaniline incorporée dans des revêtements époxy sur alliage de Mg** (Studies of different acid doped polyaniline incorporated into epoxy organic coatings on the Mg alloy)

Rui Liu, Qian Yao – Shenyang National Laboratory for Materials Science, Northeastern University, Shenyang 110819, China

Progress in Organic Coatings, Volume 166, May 2022

La résistance à la corrosion du revêtement polyaniline (PANI)/époxy dopé à l'acide sur un alliage AZ91D a été étudiée. Les résultats montrent que le PANI dopé à l'acide sulfonysalicylique favorise considérablement la formation de films d'oxyde sur un substrat Mg. Les films d'oxyde présentent une structure à double couche. La couche interne dense est principalement composée d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et de complexe d'acide sulfosalicylique/Al, permettant une protection stable du substrat. La couche externe est constituée de MgO et de Mg(OH)<sub>2</sub> redéposés. Ces couches d'oxydes sont à l'origine de la résistance à la corrosion prononcée du système, dont le module d'impédance reste toujours de 10<sup>9</sup> Ω.cm<sup>2</sup> après 100 jours d'immersion.



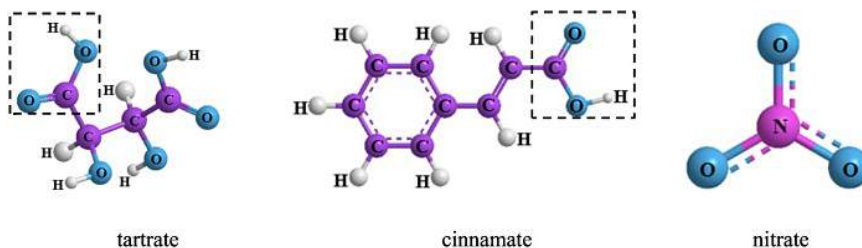
**Influence des sels de cérium organiques et inorganiques sur les performances anticorrosion de revêtements époxy sur alliage d'aluminium** (Influence of organic and inorganic cerium salts on the protective performance of epoxy coating)

Han Wei, Jianhua Tang – Key Laboratory of Electrochemical Process and Technology for Materials, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China

Progress in Organic Coatings, Volume 166, May 2022

Les effets de deux sels de cérium organiques : le tartrate de cérium (CeTar) et cinnamate de cérium (CeCin) ainsi que d'un sel de cérium inorganique : le nitrate de cérium (Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) comme inhibiteurs de corrosion de revêtements époxy ont été étudiés sur un substrat AA2024 dans une solution de NaCl à 3,5%. Plusieurs méthodes d'analyses ont été mises en œuvre : spectroscopie d'impédance électrochimique, calorimétrie, spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier, rayons X. Les résultats montrent que l'effet barrière du revêtement époxy a été significativement amélioré par l'ajout de sels de CeTar ou de CeCin, le CeCin présentant une efficacité un peu supérieure. Le nitrate de cérium présente, quant à lui, un effet limité. Les sels de cérium peuvent améliorer le degré de réticulation de la matrice polymère et diminuer la porosité et les défauts du revêtement. Lorsque les sels de cérium sont dissous et libérés à la surface du substrat, un film protecteur composé d'oxyde et d'hydroxyde de cérium se forme, combiné au film contenant du carboxyle et de l'Al, de manière à inhiber la corrosion du substrat. Par rapport

au nitrate de cérium, le tartrate de cérium et le cinnamate de cérium possèdent une solubilité beaucoup plus faible dans l'eau, le taux de libération très faible des sels de cérium du revêtement peut assurer une protection à long terme du substrat en alliage d'aluminium.

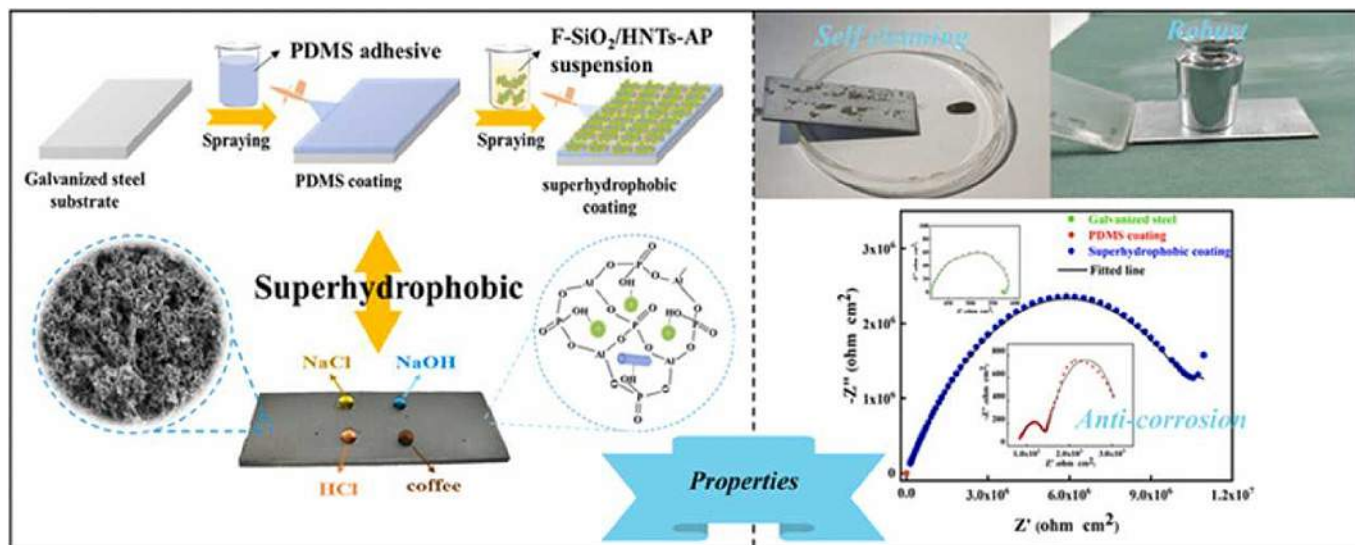


**Revêtement superhydrophobe à base de phosphate d'aluminium et de nanotubes silice/halloysite pour la protection anticorrosion de l'acier galvanisé** (Superhydrophobic coating based on organic/inorganic double component adhesive and functionalized nanoparticles with good durability and anti-corrosion for protection of galvanized steel)

Kousuo Dong, Linsheng Bian – College of Materials Science & Engineering, Nanjing Tech University, 30 South PuZhu Road, Nanjing 211816, Jiangsu, China

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 640, 5 May 2022

Les excellentes propriétés de résistance au mouillage des matériaux superhydrophobes signifient qu'ils ont une large gamme d'applications potentielles. Cependant, certains problèmes doivent être résolus de manière urgente concernant la stabilité mécanique, la résistance à la corrosion et leur synthèse qui reste complexe. Dans ce document, les auteurs ont préparé un revêtement superhydrophobe robuste et durable en utilisant un « adhésif » inorganique à base de phosphate d'aluminium (AP). Plus précisément, celui-ci contenait du polydiméthylsiloxane (PDMS) organique et des nanotubes composites de silice/halloysite (HNT) modifiés avec du 1H,1H,2H,2H-perfluorodécyltriéthoxysilane (PFDTES). Le revêtement F-SiO<sub>2</sub>/HNTs-AP@PDMS ainsi préparé présente une bonne superhydrophobie (angle de contact avec l'eau = 158°), une bonne résistance mécanique et une bonne durabilité. La superhydrophobie a été maintenue même après 150 cycles complets de tests au papier verre et 200 000 impact de gouttelettes d'eau. En particulier, les résultats de l'analyse EIS montrent que la valeur R<sub>ct</sub> du revêtement superhydrophobe est significativement augmentée (cinq ordres de grandeur). Après une exposition à un environnement corrosif pendant 10 jours, la valeur R<sub>ct</sub> est toujours bien plus élevée que celle de l'acier galvanisé non revêtu, ce qui indique qu'il offre une excellente protection à long terme pour les métaux. L'AP agit en fait comme une « armure » pour protéger la microstructure du revêtement et améliorer sa stabilité. Ce travail constitue une référence pour la préparation à grande échelle de matériaux superhydrophobes ainsi qu'une stratégie pour la protection à long terme de l'acier galvanisé.



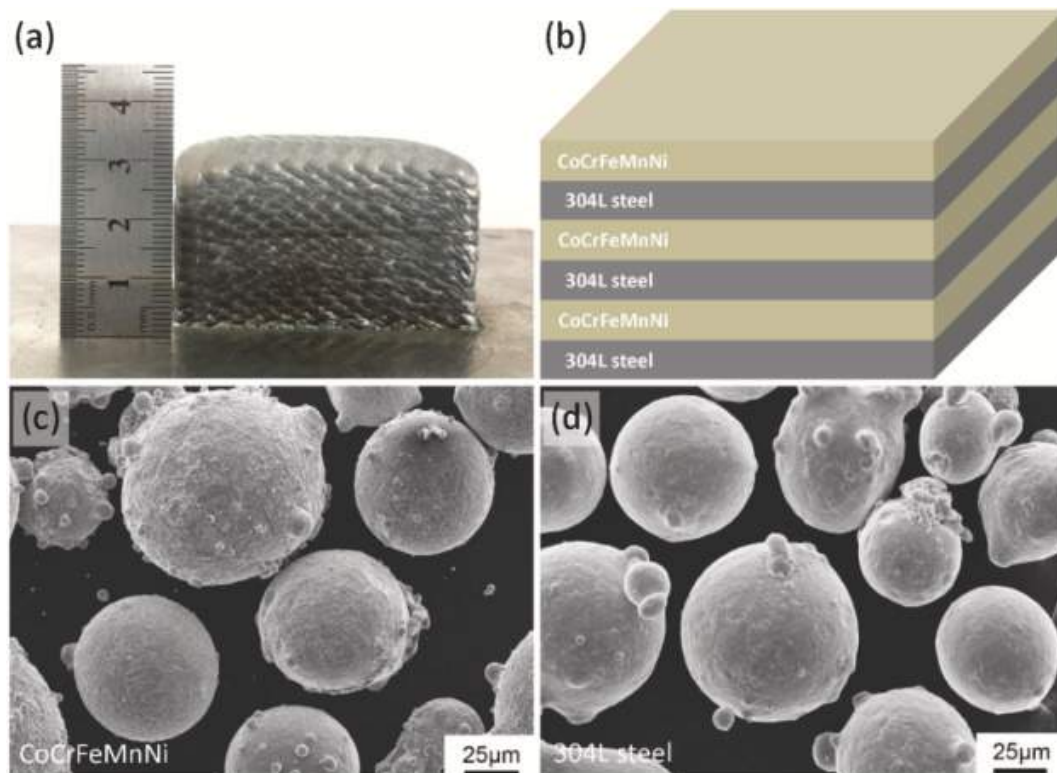


# FABRICATION ADDITIVE

**Post-traitement d'un composite FA acier inoxydable 304L + alliage à haute entropie CoCrFeMnNi** (Post treatment of an additively manufactured composite consisting of 304L stainless steel and CoCrFeMnNi high-entropy alloy)

Y. Yang (a), J. Hu (b) – (a) Key Laboratory for Anisotropy and Texture of Materials (Ministry of Education), School of Materials Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, 110819, China ; (b) State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang, 110819, China  
Materials Science and Engineering: A, Volume 831, 13 January 2022

Des composites laminés acier inoxydable 304L + alliage à haute entropie (HEA) CoCrFeMnNi ont été préparés par fabrication additive. La diffusion apparente des éléments a été activée pendant le processus de fabrication mais aucune nouvelle phase n'a été détectée près de l'interface entre le 304L et le HEA. La microstructure a été modulée par un post-traitement laminage à froid + recuit, permettant d'obtenir des propriétés mécaniques globales supérieures. Les microstructures de déformation des échantillons partiellement recristallisés après l'essai de traction ont été caractérisées et les mécanismes de déformation ont été étudiés.

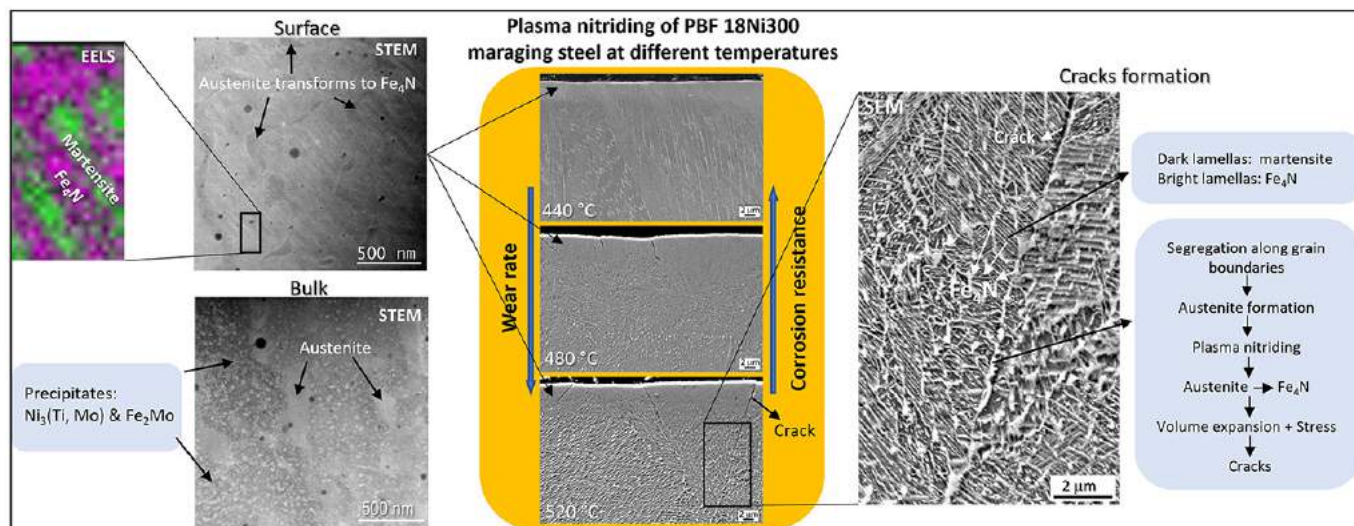


**Influence de la température de nitruration plasma sur l'évolution de la microstructure et les propriétés de surface de l'acier maraging 18Ni300 obtenu par fabrication additive** (The influence of the plasma-nitriding temperature on the microstructure evolution and surface properties of additive-manufactured 18Ni300 maraging steel)

Matjaž Godec (a), Francisco Ruiz-Zepeda (ab) – (a) Institute of Metals and Technology, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenia ; (b) National Institute of Chemistry, Hajdrihova 19, 1000 Ljubljana, Slovenia  
Surface and Coatings Technology, Volume 433, 15 March 2022

L'acier maraging 18Ni300 produit par fusion sur lit de poudre (PBF) dans son état brut a été nitruré au plasma à trois températures différentes. Le but de ce travail était d'étudier l'impact de la température de nitruration sur les changements microstructuraux ainsi que sur les propriétés de surface telles que la dureté, l'usure et la résistance à la corrosion. Les caractéristiques microstructurales dans la masse ainsi que dans la couche de nitrure ont été étudiées en utilisant plusieurs techniques d'analyse : EBSD, TEM et XRD. La microstructure globale est constituée de martensite avec une petite quantité d'austénite retenue, dont la quantité augmente avec une température de nitruration plus élevée. Le processus de nitruration provoque également la formation de précipités et peut donc également agir comme un traitement de vieillissement. Au cours du processus de nitruration, une structure lamellaire spécifique apparaît à la surface, qui se compose dans la majorité des cas de la phase  $Fe_4N$ . L'austénite retenue se transforme également pendant la nitruration en phase nitrure  $Fe_4N$ . Il a été constaté que la nitruration à des

températures plus élevées conduisait à la formation de fissures dans la couche de nitrure. La formation de fissures est liée à la nanoségrégation et à la microségrégation au cours du procédé PBF. Ces ségrégations conduisent à la formation d'austénite, qui a également lieu le long des joints de grains et se transforme en  $Fe_4N$  pendant la nitruration. Des températures de nitruration plus élevées conduisent à une couche de composé de nitrure plus épaisse et à une meilleure résistance à l'usure. L'impact des fissures sur les propriétés mécaniques statiques est négligeable. Cependant, la résistance à la corrosion est influencée par la formation de fissures à des températures de nitruration plus élevées.

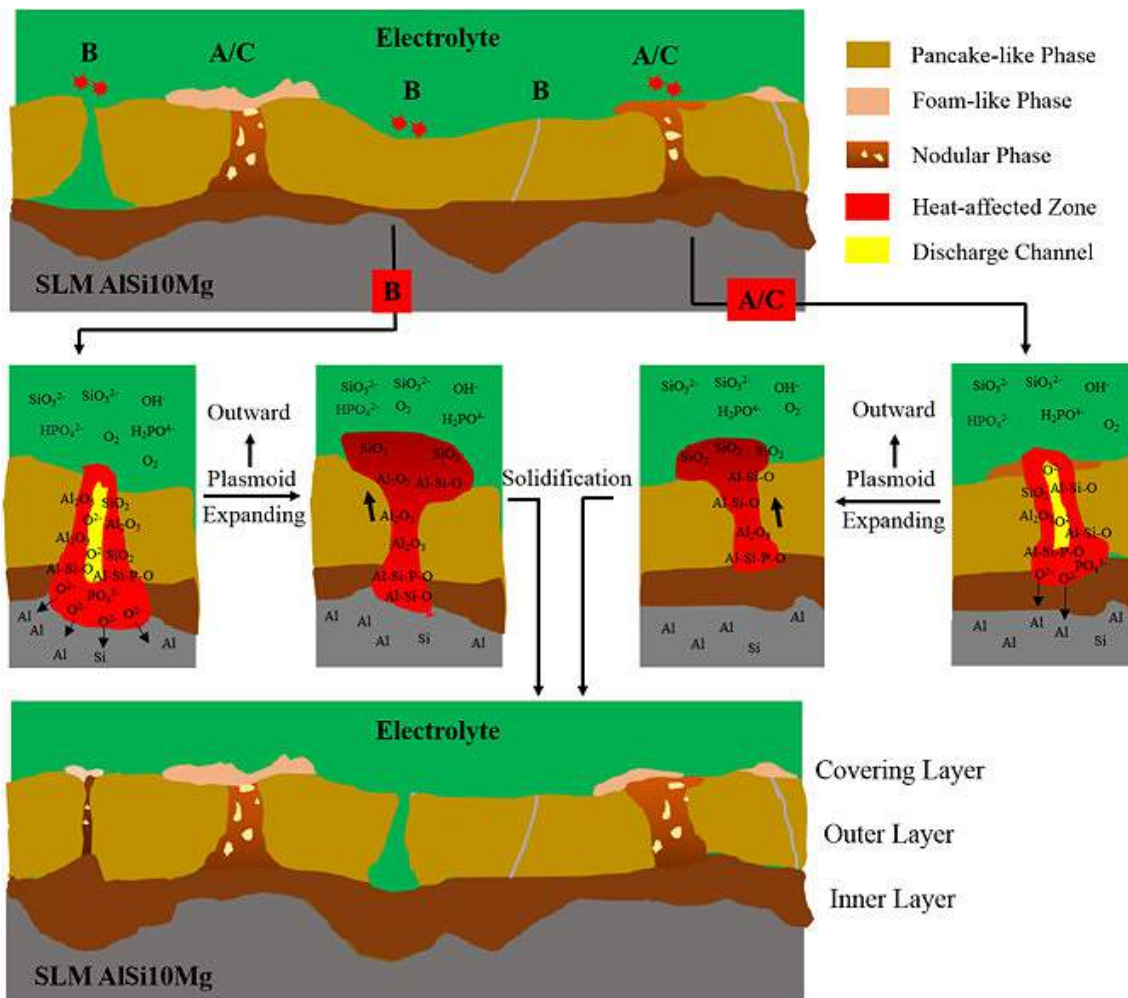


**Revêtements PEO sur alliages Al-Si obtenus par fabrication additive : des performances tribologiques supérieures** (Plasma electrolytic oxidation coatings on additively manufactured aluminum–silicon alloys with superior tribological performance)

Lili Wang Guowei Wang – Institute of Machinery Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics (CAEP), Mianyang 621900, Sichuan, China

Surface and Coatings Technology, Volume 435, 15 April 2022

En raison de la demande croissante de structures légères aux géométries complexes, les alliages Al-Si fabriqués additivement (AM) suscitent une attention considérable. Cependant, leur dureté insuffisante et leurs mauvaises performances tribologiques restent un problème critique pour plusieurs applications nécessitant des pressions de contact élevées et une résistance à l'usure. Dans ce document, des revêtements PEO (Oxydation par Plasma Électrolytique) ont été développés sur des alliages AM Al-Si dans des électrolytes alcalins. Pour obtenir des revêtements PEO avec d'excellentes propriétés mécaniques, le système d'électrolyte a été modulé et optimisé en ajustant la concentration du silicate et de l'hexamétaphosphate. La tenue à la corrosion des alliages AM Al-Si dans différents électrolytes a été évalué par des tests de polarisation potentiodynamique. L'influence du silicate et de l'hexamétaphosphate sur la structure, la composition, l'épaisseur, la rugosité et la dureté des revêtements a été déterminée à l'aide de différentes méthodes d'analyse. Le comportement tribologique des revêtements PEO a été testé à l'aide d'un tribomètre à billes et à disques sans lubrification. Le silicate est bénéfique au processus PEO à courant constant ; cependant, une masse de mullite et de matériaux non cristallins se forme. L'hexamétaphosphate affecte négativement la formation du film passif initial sur les alliages AM Al-Si, et de nombreux défauts se forment sur le revêtement obtenu. Mais il peut diminuer la rugosité du revêtement et accélérer la dissolution de la matrice, favorisant la formation d'alumine et inhibant la formation de mullite et de  $SiO_2$ . Les revêtements PEO, préparés dans les électrolytes mixtes (avec un rapport de concentration de silicate et d'hexamétaphosphate de  $\sim 0,7-1$ ), présentent moins de défauts, une plus grande dureté ( $\sim 1300$  HV) et des performances tribologiques supérieures ; les taux d'usure des revêtements étaient seulement  $\sim 1/150^{\text{ème}}$  de ceux du substrat AM AlSi10Mg. La synergie du silicate et de l'hexamétaphosphate et les mécanismes de croissance modifiés des revêtements PEO sur les alliages AM Al-Si sont proposés.



**Résistance à la corrosion et biocompatibilité d'un revêtement d'oxyde de graphène sur la surface d'un alliage NiTi fabriqué de manière additive** (Corrosion resistance and biocompatibility of graphene oxide coating on the surface of the additively manufactured NiTi alloy)

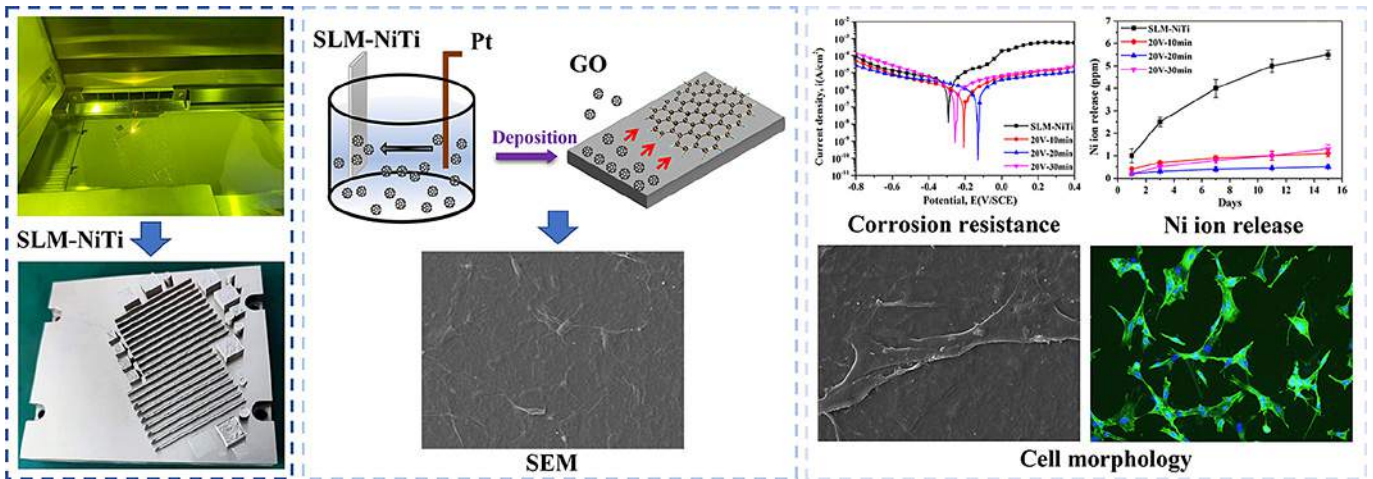
Yunting Guo (ab), Zezhou Xu (ab) – (a) Key Laboratory of Bionic Engineering, Ministry of Education, Jilin University, 5988, Renmin Street, Changchun 130025, China ; (b) Weihai Institute for Bionic, Jilin University, Weihai 264402, China

Progress in Organic Coatings, Volume 164, March 2022

Ces dernières années, l'alliage SLM-NiTi a suscité un grand intérêt en raison de sa capacité à préparer des implants médicaux de formes complexes et de haute précision dimensionnelle. Cependant, les matériaux biomédicaux SLM-NiTi sont toujours confrontés aux problèmes de libération d'ions Ni, de mauvaises performances en termes de tenue à la corrosion et d'inertie biologique. Cette étude est la première à proposer la préparation de revêtements d'oxyde de graphène (GO) sur un alliage SLM-NiTi par électrodéposition. En modifiant le temps de dépôt, l'effet sur la morphologie du revêtement, la résistance à la corrosion, la biominéralisation et la biocompatibilité a été étudié. Les résultats montrent que le revêtement GO peut améliorer efficacement la résistance à la corrosion de l'alliage SLM-NiTi et inhiber la libération des ions Ni. Le revêtement GO obtenu lorsque le temps de dépôt est de 20 minutes présente la meilleure résistance à la corrosion (la densité de courant de corrosion est inférieure d'environ deux ordres de grandeur à celle de l'alliage SLM-NiTi). En outre, le revêtement GO peut améliorer efficacement l'adhérence, la croissance et la prolifération des ostéoblastes. Par conséquent, l'alliage SLM-NiTi revêtu GO s'avère prometteur pour des applications cliniques.

N.B.

à lire aussi des mêmes auteurs : "The corrosion resistance, biocompatibility and biomineralization of the dicalcium phosphate dihydrate coating on the surface of the additively manufactured NiTi alloy", *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 17, March–April 2022, Pages 622-635

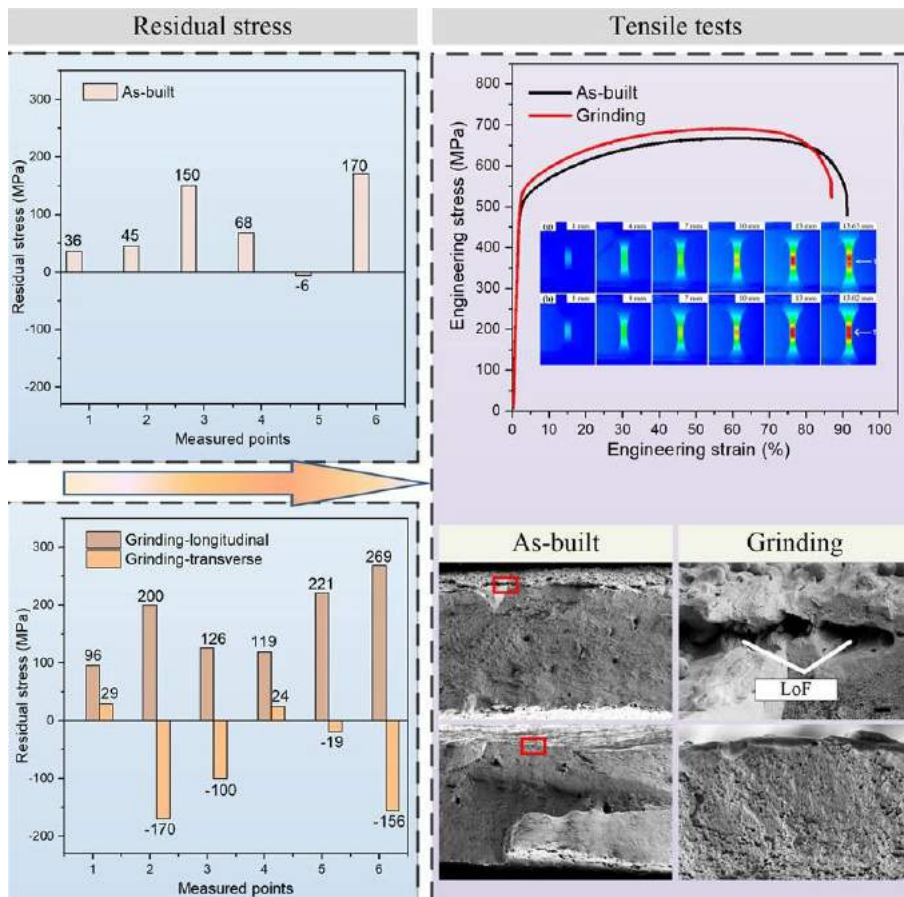


**Étude de la qualité de surface, de la microstructure, du mécanisme de déformation et des performances en fatigue de l'acier inoxydable 304L fabriqué de manière additive après rectification** (Investigation of surface quality, microstructure, deformation mechanism, and fatigue performance of additively manufactured 304L stainless steel using grinding)

Hongzhuang Zhang, Changyou Li – School of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China

International Journal of Fatigue, Volume 160, July 2022

L'acier inoxydable 304L LPBF (fusion laser sur lit de poudre) a fait l'objet d'une étude approfondie concernant l'intégrité de la surface, les contraintes résiduelles, la microstructure et les propriétés mécaniques. Les résultats expérimentaux ont montré que la rectification améliorerait considérablement les qualités de surface et augmenterait de plus de deux fois la durée de vie en fatigue. L'élimination des défauts de type fusion incomplète (LoF - Lack of fusion) ou cavités (trous de serrure, keyhole) près de la surface joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la performance en fatigue en raison de l'amélioration de la résistance à l'initiation des fissures de fatigue. En outre, des fissures profondes rectifiées et des grains de type latte nouvellement formés ont été découverts dans l'acier inoxydable 304L LPBF rectifié. Leurs mécanismes de formation ont été examinés à l'aide des techniques EBSD et TEM. Ce travail apporte un nouvel éclairage sur les principes sous-jacents de l'amélioration des propriétés mécaniques des matériaux métalliques LPBF grâce à un procédé de rectification efficace.



# GESTION DES DECHETS

**Élimination du nickel(II) dans les eaux usées de TS : aperçu et tendances** (Techniques of nickel(II) removal from electroplating industry wastewater: Overview and trends)

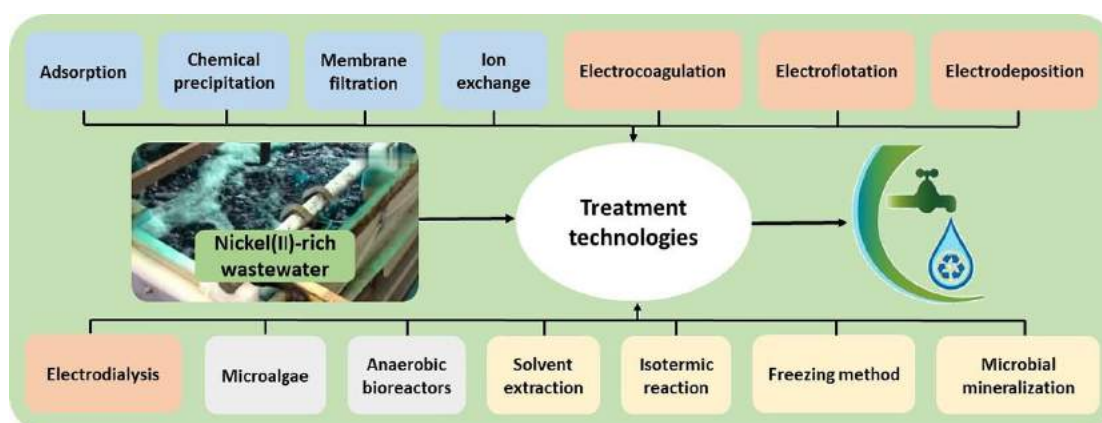
Josiel Martins Costa, Javan Grisente dos Reis da Costa – Laboratory of Electrochemical Processes and Anticorrosion, Department of Product and Process Design, University of Campinas, School of Chemical Engineering, Avenida Albert Einstein, 500, Campinas, 13083-852, SP, Brazil.

Journal of Water Process Engineering, Volume 46, April 2022

La diminution des ressources en eau couplée à la quantité croissante de polluants toxiques dans les eaux souterraines, au-delà des seuils tolérés, soulève des questions quant à l'efficacité des traitements actuels des eaux usées. Les eaux usées riches en nickel, en particulier, contribuent fortement à la contamination des masses d'eau en raison de leur large application dans l'industrie des traitements de surface, la fabrication d'acier inoxydable et l'industrie des batteries de stockage. Les conséquences négatives impactent directement la santé humaine. Une sélection inappropriée des technologies d'élimination des métaux affecte les aspects de coût, d'efficacité et de durabilité. Cet article aborde les dernières technologies (2017-2021) relatives au traitement des eaux usées riches en nickel. Les techniques ont été divisées en quatre catégories :

- physicochimie (bonne stabilisation et coagulation des particules colloïdales),
- électrochimie (propreté et efficacité d'élimination élevée),
- biorémédiation (coût faible, technologie respectueuse de l'environnement),
- autres.

En outre, les brevets et les aspects économiques sont abordés. L'objectif de cette étude est d'offrir des perspectives pour le développement de nouvelles technologies avec une consommation d'énergie plus faible et une efficacité d'élimination élevée, permettant leur commercialisation.



**Avancées de la recherche sur l'élimination, la récupération et la valorisation d'éléments métalliques précieux dans les solutions résiduelles de traitements (électro)chimiques** (Research progress on the removal, recovery and direct high-value materialization of valuable metal elements in electroplating/electroless plating waste solution)

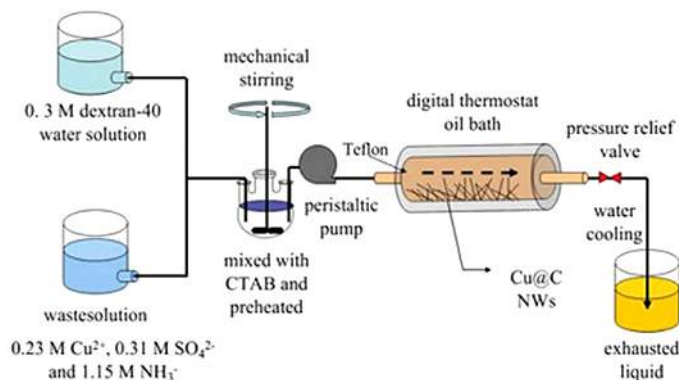
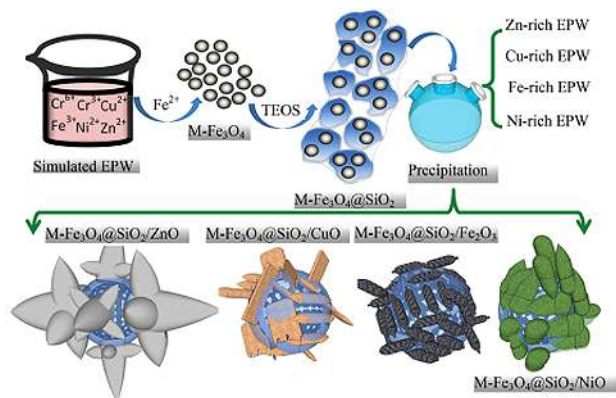
Xiangtao Yu, Yue Hou – Collaborative Innovation Center of Steel Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, PR China

Journal of Water Process Engineering, Volume 46, April 2022

Avec le développement continu des industries de traitements de surface, une grande quantité de solutions résiduelles est générée chaque année, contenant principalement les solutions usagées et les eaux usées de rinçage des pièces. Les normes de rejet des solutions résiduaires sont également en constante amélioration et si les solutions résiduelles ne sont pas traitées en temps voulu et de manière efficace, les coûts d'exploitation de l'entreprise augmenteront et une menace sérieuse pèsera sur l'environnement et la santé humaine. De plus, les ressources en métaux précieux contenues dans les solutions résiduelles ne seront pas réutilisées de manière adéquate. Par conséquent, il est urgent de développer des technologies plus avancées de traitement. Dans ce document, une solution résiduelle de traitement chimique ou par électrodéposition Ni(Cu) a été utilisée pour analyser les causes et les caractéristiques des composants présents de la solution résiduelle. Le principe, les avantages et les inconvénients, ainsi que les progrès en matière d'optimisation de la technologie de traitement des solutions résiduelles sont abordés sous trois aspects :

- élimination simple et directe des éléments métalliques,
- séparation et récupération des éléments métalliques,
- préparation directe de matériaux de grande valeur à partir des solutions résiduelles.

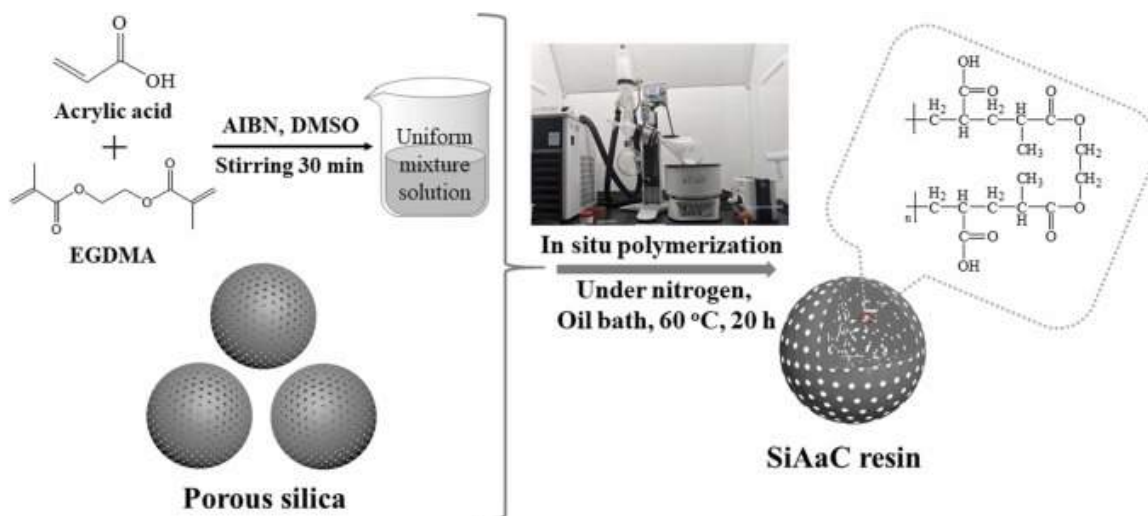
Les avantages techniques du traitement combiné de la solution résiduaire par plusieurs méthodes ont été analysés. Une nouvelle direction de recherche, telle que l'utilisation directe de matériaux de grande valeur à partir de la solution de déchets, est proposée.



**Nouvelle résine échangeuse d'ions mésoporeuse (SiAaC) préparée par polymérisation in situ pour la séparation du Pd(II) présent dans les eaux usées de TS** (Preparation of a mesoporous ion-exchange resin for efficient separation of palladium from simulated electroplating wastewater)

Hefang Liu, Shunyan Ning – Guangxi Key Laboratory of Processing for Non-ferrous Metals and Featured Materials, MOE Key Laboratory of New Processing Technology for Non-ferrous Metals and Materials, School of Resources, Environment and Materials, Guangxi University, Nanning 530004, PR China  
Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 10, Issue 1, February 2022

Le palladium, en tant qu'élément des métaux du groupe du platine, a très peu de réserve dans la nature. Il joue généralement un rôle dans la résistance à la corrosion dans l'industrie des TS, et peut être rejeté dans les eaux usées de process. Par conséquent, il est très important de développer des matériaux fonctionnels efficaces qui peuvent capturer rapidement et sélectivement le Pd(II). Dans cette étude, une résine échangeuse d'ions mésoporeuse (SiAaC) basée sur une structure de silice a été conçue et synthétisée par une méthode de polymérisation in situ pour éliminer efficacement le Pd(II) des eaux usées de TS. La résine SiAaC présente des avantages uniques par rapport aux résines commerciales traditionnelles, tels qu'une capacité d'adsorption élevée (121,8 mg/g), une sélectivité élevée ( $SF_{Pd/M} > 230$  dans une solution  $HNO_3$  0,01M) et une excellente réutilisabilité ( $n > 5$ ). Les résultats de l'adsorption de la résine SiAaC sur le Pd(II) sont cohérents avec l'isotherme de Langmuir et les modèles cinétiques de pseudo-second ordre. De plus, l'expérience conduite sur colonne en laboratoire a permis de séparer efficacement le Pd(II) d'eaux usées de TS reconstituées. Les spectres FTIR et XPS ont mis en évidence le mécanisme d'échange d'ions entre la résine SiAaC et le Pd(II). Cette recherche a permis de démontrer la capacité de ce matériau à éliminer efficacement le palladium présent à faible dose dans les eaux usées de TS et offre une nouvelle perspective pour la synthèse ou l'amélioration des résines échangeuses d'ions.

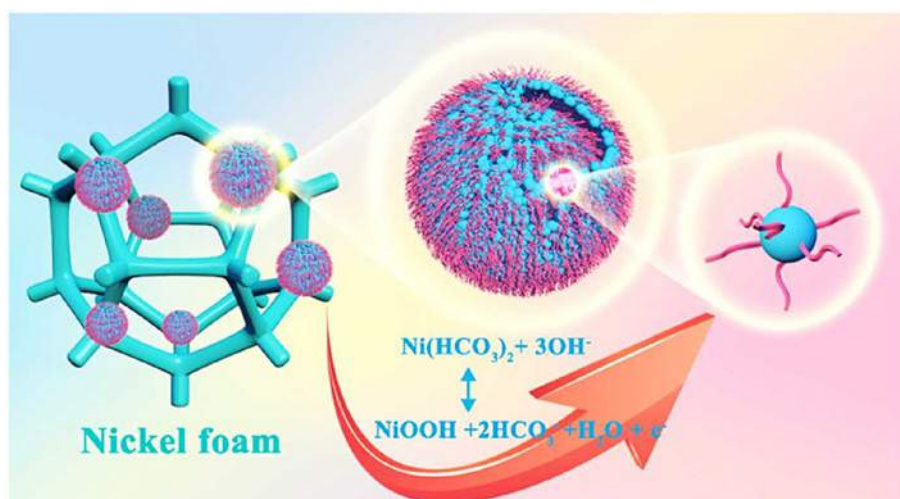


**Synthèse de nanostructures creuses  $Ni(HCO_3)_2$  à partir de boues de galvanoplastie pour la réalisation de supercondensateurs** (Synthesis of amorphous hollow  $Ni(HCO_3)_2$  nanostructures with excellent supercapacitor performance from nickel-containing electroplating sludge)

Zhiyan Hou (a), He Meng (b) – (a) School of Environment and Energy, Guangdong Provincial Key Laboratory of Solid Wastes Pollution Control and Recycling, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006, China ; (b) Key Laboratory for Advanced Materials and Joint International Research Laboratory of Precision Chemistry and Molecular Engineering, Feringa Nobel Prize Scientist Joint Research Center, School of Chemistry and Molecular Engineering, East China University of Science and Technology, 130 Meilong Rd., Shanghai 200237, China

Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 10, Issue 1, February 2022

La composition complexe et le processus de recyclage des boues de galvanisation sont deux obstacles majeurs qui limitent le recyclage des ressources métalliques issues des déchets de TS. Dans ce travail, des sphères creuses  $\text{Ni}(\text{HCO}_3)_2$  présentant une structure amorphe unique ont été préparées par une méthode hydrothermique simple et contrôlable à partir de boues de galvanoplastie contenant du nickel – utilisées comme matière première – et d'acide ascorbique (AA) comme agent complexant. La température a une influence décisive sur l'état cristallin de l'échantillon et l'acide ascorbique modifie les caractéristiques de surface des nanoparticules pour former une structure creuse. La structure amorphe contrôlable est favorable à la diffusion d' $\text{OH}^-$  dans l'électrolyte. Plus important encore, son arrangement atomique désordonné et sa structure métastable fournissent un grand nombre de sites actifs et de canaux de transmission des ions, ce qui améliore la capacité spécifique. Par conséquent, le  $\text{Ni}(\text{HCO}_3)_2$  amorphe offre une grande capacité de  $599,8 \text{ C g}^{-1}$  à  $1 \text{ A g}^{-1}$ , avec un taux de  $61,02\%$  à une densité de courant de  $10 \text{ A g}^{-1}$  maintenu à  $52,09\%$  après 1000 cycles. Il est important de noter que les taux de récupération du nickel, du fer et de l'aluminium sont respectivement de  $95,57\%$ ,  $99,92\%$  et  $92,30\%$ , ce qui indique que les boues de galvanisation ont de bonnes perspectives d'application comme matériaux d'électrode pour les supercondensateurs.



### Dégradation électrochimique du Ni-EDTA et élimination du Ni des eaux usées de nickelage via anode innovante $\text{PbO}_2$ dopée Ni : optimisation et mécanisme (Electrochemical Ni-EDTA degradation and Ni removal from electroless plating wastewaters using an innovative Ni-doped $\text{PbO}_2$ anode: Optimization and mechanism)

Yuyang Sun, Changyong Zhang – UNSW Water Research Centre, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

Journal of Hazardous Materials, Volume 424, Part C, 15 February 2022

Dans ce travail, une nouvelle anode  $\text{PbO}_2$  dopée Ni ( $\text{Ni-PbO}_2$ ) a été préparée par co-électrodéposition et utilisée pour éliminer l'acide Ni-éthylènediamine-tétraacétique (Ni-EDTA) des solutions d'eaux usées de nickelage chimique. Par rapport à une électrode  $\text{PbO}_2$  pure, le dopage au Ni augmente la surface réactive et la concentration des sites réactifs et réduit la résistance au transfert d'électrons, ce qui a entraîné une performance supérieure de dégradation du Ni-EDTA. L'électrode  $\text{PbO}_2$  dopée à 1% présente la meilleure activité d'oxydation électrochimique avec une efficacité d'élimination du Ni-EDTA de  $96,5 \pm 1,2\%$ , une efficacité d'élimination du Ni de  $52,1 \pm 1,4\%$  et une consommation d'énergie de  $2,6 \text{ kWh m}^{-3}$ . Des études plus poussées ont révélé que le dopage à 1% de Ni améliorerait à la fois l'oxydation directe et indirecte par les radicaux hydroxyles impliqués dans la dégradation du Ni-EDTA. Un mécanisme de dégradation du Ni-EDTA est proposé sur la base des produits identifiés. La concentration en ions nickel libres a initialement augmenté suite à la dégradation des complexes Ni-EDTA et a ensuite diminué suite à l'électrodéposition de nickel sur la surface de la cathode. Une caractérisation plus poussée des dépôts cathodiques a indiqué que les produits de déposition étaient un mélange  $\text{Ni}^0$ ,  $\text{NiO}$  et  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ , le Ni élémentaire représentant environ 80% du nickel déposé. Les résultats de cette étude ouvrent la voie à l'application de procédés d'oxydation anodique pour une dégradation efficace des complexes contenant du nickel et la récupération du Ni dans les eaux usées de nickelage.

