



## EDITO

Par **Véronique VITRY**

Même en des temps compliqués comme ceux que nous vivons depuis un an, la recherche et l'innovation ne s'arrêtent pas. Voici donc un aperçu des avancées scientifiques de ces derniers mois dans les domaines qui nous sont chers. En espérant vous voir nombreux les 24 et 25 novembre au Congrès de Marseille pour en débattre de vive voix.

Les pré-traitements avant nickelage chimique et autres traitements de surface font l'objet de plusieurs avancées en termes de process, de même que les revêtements de type projection thermique/ Laser Inside Additive Manufacturing, et le traitement des effluents, qui reste une préoccupation dans l'industrie.

En termes de propriétés, sans surprise, ce sont la résistance à la corrosion et les propriétés tribologiques qui préoccupent la communauté des traitements des matériaux, avec des substrats, domaines d'applications et méthodes de traitements particulièrement variés. On note toutefois la part significative de traitements complexes (de type revêtement (nickel chimique ou DLC + traitement thermochimique) et de revêtements composites, ce qui montre qu'il reste de larges champs d'investigation dans le domaine des traitements des matériaux, par l'association de matériaux et méthodes de traitements en vue d'optimiser les propriétés finales. La large part occupée par la tribologie nous conforte dans l'organisation d'une session dédiée à cette thématique lors du prochain congrès de l'A3TS.

Enfin, des applications diverses sont évoquées dans les recherches récemment publiées mais le domaine biomédical est largement représenté, ainsi que d'autres applications, moins typiques, des traitements de surface, comme les propriétés thermiques, qu'il s'agisse de favoriser ou ralentir les transferts de chaleur. Ces applications dans le domaine biomédical sont très porteuses pour le secteur d'activité des traitements des matériaux, tant en termes de défis que de valeur ajoutée.

Notons également, dans cette revue des publications récentes, un article sur la fragilisation par l'hydrogène en après électrodéposition Zn et Zn-Ni, sujet qui sera largement abordé lors de notre Congrès de novembre prochain. Nous y aborderons également des thématiques plus industrielles, liées à l'industrie 4.0, à la gestion énergétique et aux contrôles non-destructifs.

Bonne lecture !

# LA VEILLE EN UNE PAGE

## Quoi de neuf dans le dernier semestre

Les plus assidus liront les analyses de la cinquantaine de publications. Pour ceux qui voudraient saisir l'essentiel rapidement, voici le plus important en une page, sélectionné par le Cetim.

	Très intéressant	Incontournable	
Procédé	Efficienc e améliorée	Propriétés améliorées	Applications améliorées
Revêtements chimiques	Nickelage chimique sur Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> par activation	Résistance à l'usure d'un revêtement Ni-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Echangeurs à plaques revêtus de Ni, Cu, Ag
Revêtements électrolytiques	Protection photocathodique de l'inox 403 par électrodéposition photoassistée	Fragilisation H <sub>2</sub> de boulons électrodéposés Zn et ZnNi Super-hydrophobes anticorrosion chimiquement et mécaniquement stables	Électrodéposition pulsée de fluorohydroxyapatite dopée Ag <sup>+</sup> pour biomédical
Liquides ioniques, sol-gel		Sol-gel anticorrosion et antistatique pour aérospatial Liquide ionique comme lubrifiant de roulement	Applications des revêtements sol-gel Sol-gel hydroxyapatite + cérium pour orthopédie
Traitements thermiques / thermo-chimiques		Nitruration plasma pour tribologie de Ni-B Tribocorrosion d'un AISI 4141 nitruré plasma + DLC	Double renforcement d'acier duplex pour palier d'arbre par nitruration plasma
DLC / dépôts sous vide		Anticorrosion de DLC sur acier en milieu acide Nanofibres de carbone contre la corrosion sur acier et Mg	Nanofeuilles de nitrure de bore (chimie, médical) DLC dopé Ag (médical)
Projection thermique	Revêtements composites Inconel 625-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Modélisation des contraintes résiduelles en projection		Barrière thermique par HVOF/EB-PVD de Gd <sub>2</sub> Zr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Traitement des alliages légers	Influence des pré-traitements sur les propriétés du Ni-P sur aluminium	Anticorrosion et tribologie de carbone amorphe sur Al	Implants dentaires : matériaux et traitements
Peintures	Revêtement pour réduire la déformation de plaques d'acier induite par explosion	Revêtement fluoré contre la corrosion d'Al	Texturation laser d'un copolymère polypropylène pour automobile
Fabrication additive	Revêtement intérieur d'un tube par Laser Inside Additive Manufacturing (LIAM)	Nitruration pour tribologie d'un acier maraging 18Ni300 SLM	
Traitements des effluents	Extraction « verte » de Ni et de Cu dans des boues de TS contenant du chrome	Génotoxicité, traitement, réutilisation, de boues d'électrodéposition	

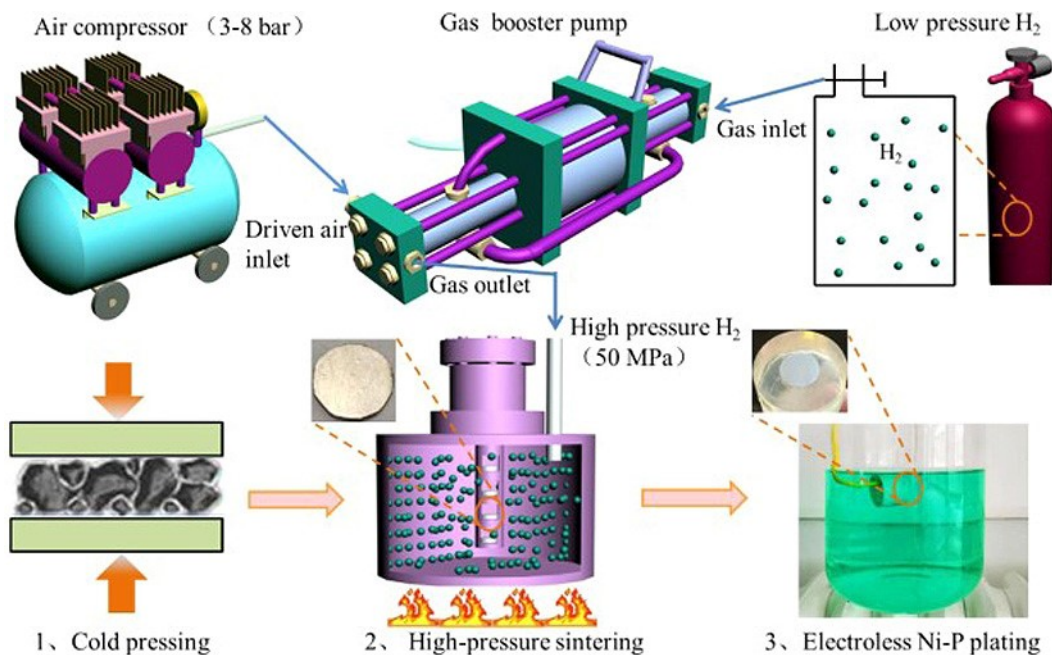
**Publications :** Les références sont intégralement données (titre de la revue, date, numéro, pages...). Les références des auteurs et leurs coordonnées ont été limitées aux 2 premiers auteurs, les lecteurs qui souhaiteraient l'ensemble des références et adresses éventuelles des laboratoires peuvent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

# REVÊTEMENTS CHIMIQUES

**Dépôts Ni-P sur alliages  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  pour des applications de réfrigération magnétique à température ambiante** (Electroless plating Ni-P coatings on  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  hydride bulks for room-temperature magnetic-refrigeration application) *Naikun Sun, Xinguo Zhao, School of Science, Shenyang Ligong University, CN*

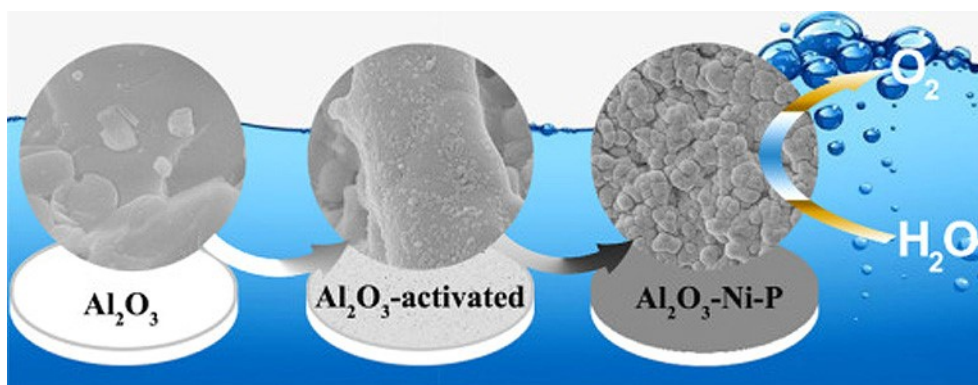
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 525, 1 May 2021

Les alliages  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  magnétocaloriques ont été mis en œuvre comme régénérateurs dans les systèmes de refroidissement à température ambiante à la recherche d'alternatives écologiques à la réfrigération par compression de vapeur classique. Malheureusement, leur résistance à la corrosion dans les fluides de transfert liés est encore insuffisante, bien que diverses tentatives aient été faites, notamment l'optimisation des compositions élémentaires, la personnalisation des fluides de transfert de chaleur et le revêtement de surface. Ce travail présente une stratégie simple de revêtement chimique pour déposer des couches de Ni-P sur les plaques minces d'hydrures  $\text{La}_{0.7}\text{Ce}_{0.3}\text{Fe}_{11.45}\text{Mn}_{0.2}\text{Si}_{1.35}$  frittées sous charge, offrant une super protection contre la corrosion et une amélioration simultanée de la capacité de transfert de chaleur. Lors du dépôt de couches de Ni-P de 2-6  $\mu\text{m}$  possédant un couplage interfacial robuste avec le substrat, une grande variation d'entropie magnétique d'environ 12 J/kg K sous 0-2 T a été retenue à température ambiante. Plus important encore, la résistance au transfert de charge dans une solution de NaCl à 3,5 % a été multipliée par 6 à 17 et la densité du courant de corrosion a été réduite de 5 à 7 fois par rapport à la masse d'hydrures frittées sous charge, avec une augmentation simultanée de la conductivité thermique d'environ 2 fois. Les couches de Ni-P constituées d'une microstructure colonnaire peuvent faciliter la diminution des contraintes locales améliorant ainsi la stabilité des cycles de réfrigération magnétique.



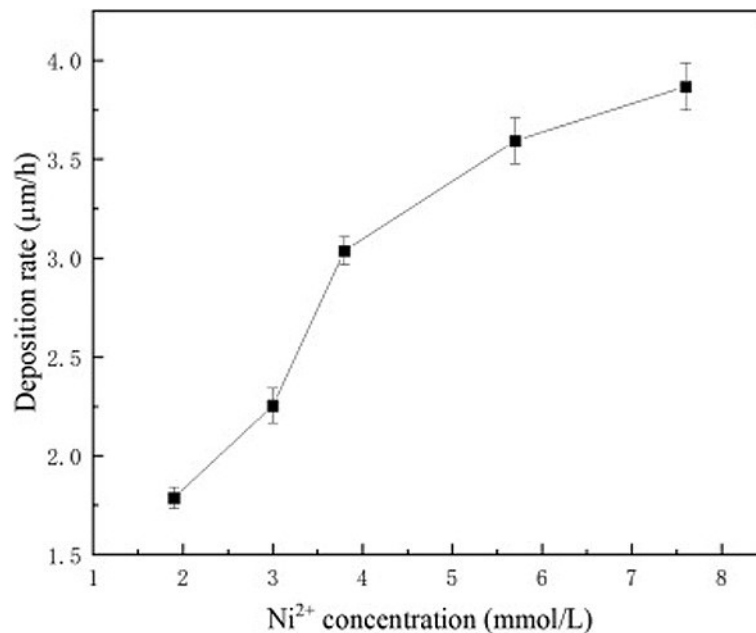
**Nickelage chimique sur  $\text{Al}_2\text{O}_3$  par activation** (Electroless nickel plating on alumina ceramic activated by metallic nickel as electrocatalyst for oxygen evolution reaction) *Pingping Zhang, Zunhang Lv, College of Materials Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, CN*  
Catalysis Communications, Volume 149, 15 January 2021

Un procédé d'activation peu coûteux et facile à mettre en œuvre sur de l'oxyde d'aluminium poreux est proposé. Dans ce procédé, des nanoparticules de nickel métallique sont déposées sur les céramiques oxydées et servent de centres catalytiques actifs pour déclencher la réaction de dépôt de nickel chimique. Le revêtement obtenu présente d'excellentes performances électrocatalytique. Ceci est étroitement lié à la structure amorphe et à l'existence d'oxydes et d'hydroxydes sur la surface qui permettent de fournir des sites catalytiques actifs. Ce procédé simple est une méthode d'activation prometteuse pour le nickelage chimique sur l'oxyde d'aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$  poreux.



**Effet de la concentration en  $\text{Ni}^{2+}$  sur la microstructure et la tenue de revêtements de cuivre sur fibres de carbone** (Effect of  $\text{Ni}^{2+}$  concentration on microstructure and bonding capacity of electroless copper plating on carbon fibers) Qiwen Zhou, Guanglong Li, School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, CN  
Journal of Alloys and Compounds, Volume 863, 15 May 2021

De nombreuses études utilisent le formaldéhyde comme agent réducteur pour préparer des revêtements de cuivre sur fibres de carbone afin d'améliorer l'interface entre les fibres de carbone et les matrices métalliques. Cependant le formaldéhyde est nocif pour l'environnement et la santé. Dans cette étude, les revêtements de cuivre sur fibres de carbone ont été réalisés dans des bains contenant de l'hypophosphite comme agent réducteur. L'effet de la concentration en  $\text{Ni}^{2+}$  dans le bain sur le taux de dépôt, la morphologie, la microstructure et la capacité de liaison des dépôts de cuivre a été étudié. Le taux de dépôt augmente avec l'augmentation de la concentration de  $\text{Ni}^{2+}$ . La taille des particules du revêtement composite Cu-Ni augmente de  $0,13 \mu\text{m}$  à  $1 \mu\text{m}$  avec l'ajout de  $\text{Ni}^{2+}$  dans le bain, ce qui est dû à l'augmentation du taux d'accumulation des atomes de cuivre avec l'augmentation du taux de dépôt. Les auteurs ont constaté une petite croissance granulaire en forme d'îlots avec l'agrégation et la croissance des particules. Les grosses particules provoquent des rainures profondes qui accélèrent la croissance des fissures. Les essais ont montré que la capacité de liaison est optimale lorsque la concentration en  $\text{Ni}^{2+}$  était de  $3,8 \text{ mmol/L}$  dans le bain. Au bout de 50 cycles thermiques, le revêtement commence à se détériorer.



### Amélioration des performances thermiques et hydrauliques d'échangeurs à plaques par dépôt de Ni, Cu, Ag (Improvement of thermal-hydraulic performance of plate heat exchanger by electroless nickel, copper and silver plating)

Dong Ho Nguyen, Koung Moon Kim, Department of Mechanical Engineering, Incheon National University, Incheon, KR  
Case Studies in Thermal Engineering, Volume 23, February 2021

Dans cette étude, un dépôt chimique de nickel, de cuivre et d'argent a été appliqué à un échangeur de chaleur à plaques en acier inoxydable 316 (SUS316) pour améliorer l'efficacité thermohydraulique. L'expérience a d'abord été réalisée sur de petits échantillons (30 × 30 × 1 mm) afin de déterminer les paramètres de contrôle optimaux. Les caractéristiques des surfaces des revêtements ont été données par mesure de l'angle de contact statique, choc thermique, profil de rugosité, dureté Vickers, images MEB et analyse EDS. Afin d'étudier l'effet de chaque revêtement sur les performances, une expérience de transfert de chaleur par flux d'eau monophasique a été réalisée. L'efficacité thermo-hydraulique a été évaluée en utilisant le coefficient global de transfert de chaleur, le coefficient de frottement, le nombre d'unités de transfert, l'efficacité et l'indicateur d'évaluation de la performance. En conséquence, une solution d'eau régale avec un rapport volumétrique de 1HNO<sub>3</sub> : 2HCl : 75H<sub>2</sub>O, une densité de courant de 0,1 A/cm<sup>2</sup> et temps de traitement de 12 minutes ont été déterminés comme étant les paramètres optimaux pour optimiser la surface et minimiser la perte de masse. Après le traitement par voie chimique, la surface est passée de complètement de lisse à rugueuse, ce qui a entraîné un changement d'hydrophobicité. Plus important encore, tous les échangeurs revêtus ont montré une augmentation substantielle de leurs performances, les indices de performance passant de 1,21 à 1,30 dans le cas du revêtement d'argent, de 1,20 à 1,24 dans le cas du cuivre et de 1,11 à 1,15 dans celui du nickel.

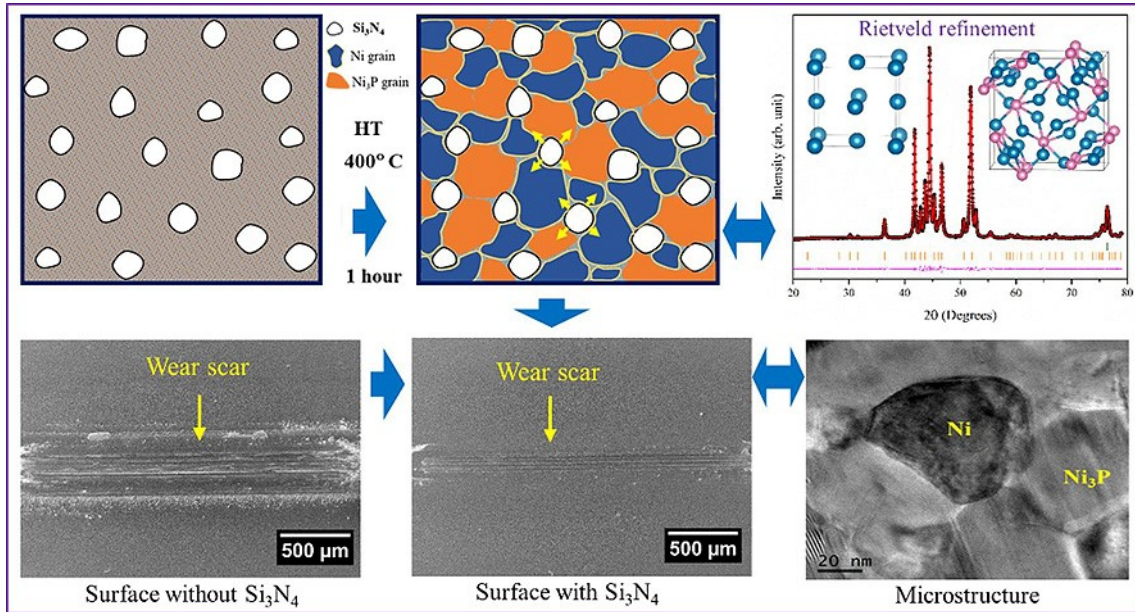
### Compréhension de l'effet des nanoparticules de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> sur la résistance à l'usure d'un revêtement Ni-P chimique au travers d'une étude structurale (Understanding the effect of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanoparticles on wear resistance behavior of electroless Nickel-Phosphorus coating through structural investigation)

Dhani Ram Dhakal (a), Yuwaraj K. Kshetri (b), Gobinda Gyawali (c), Tae-Ho Kim (c), Jin-Hyuk Choi (a), Soo Wahn Lee (a) - a Department of Environmental and Biochemical Engineering, Sun Moon University, Asan, 31460, Republic of Korea ; b Research Center for Eco Multi-Functional Nano Materials, Sun Moon University, Asan, 31460, Republic of Korea ; c Department of Fusion Science and Technology, Sun Moon University, Asan, 31460, Republic of Korea - Applied Surface Science, Volume 541, 1 March 2021

L'incorporation de nanoparticules de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dans la matrice d'un revêtement Ni-P suivie d'un post-traitement par chauffage ont été réalisés pour étudier l'évolution microstructurale du revêtement composite Ni-P-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Les effets sur les propriétés mécaniques et tribologiques du revêtement composite ont été systématiquement étudiés. Le mécanisme d'amélioration des propriétés mécaniques des



revêtements composites de Ni-P-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> après traitement thermique a été envisagé en termes de changements des paramètres de la structure cristalline. Le rétrécissement du réseau et de la taille des cristallites de Ni et Ni<sub>3</sub>P dû à la présence de nanoparticules de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, constitue la première observation du genre dans les systèmes de revêtement Ni-P chimique. Il s'avère être responsable de l'amélioration de la dureté et de la résistance à l'usure des revêtements composites Ni-P-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> après traitement thermique. Une étude par spectroscopie Raman des débris d'usure a également été réalisée, et a permis d'identifier la présence de carbone graphitique et d'oxyde de nickel (NiO), qui sont attribuées respectivement aux composés organiques résiduels et à l'oxydation des dépôts de Ni dans le revêtement chimique. Un modèle du mécanisme d'amélioration des propriétés mécaniques grâce aux nanoparticules de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> a été proposé.



# REVÊTEMENTS ELECTROLYTIQUES

## Absorption d'hydrogène, désorption et fragilisation de boulons électrodéposés Zn et ZnNi

(Hydrogen absorption, desorption and embrittlement of Zn and ZnNi-electrodeposited bolts)

Sang-Hyun Yu, Ahjeong Lyu, Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul, KR

Journal of Materials Research and Technology, Volume 11, March–April 2021, Pages 1604-1610

La teneur en H et la fragilisation (HE) des boulons SCM435 (utilisés dans le secteur automobile) revêtus par électrolyse au Zn et au ZnNi ont été évaluées quantitativement avant et après traitement thermique. Les conclusions avancées sont les suivantes :

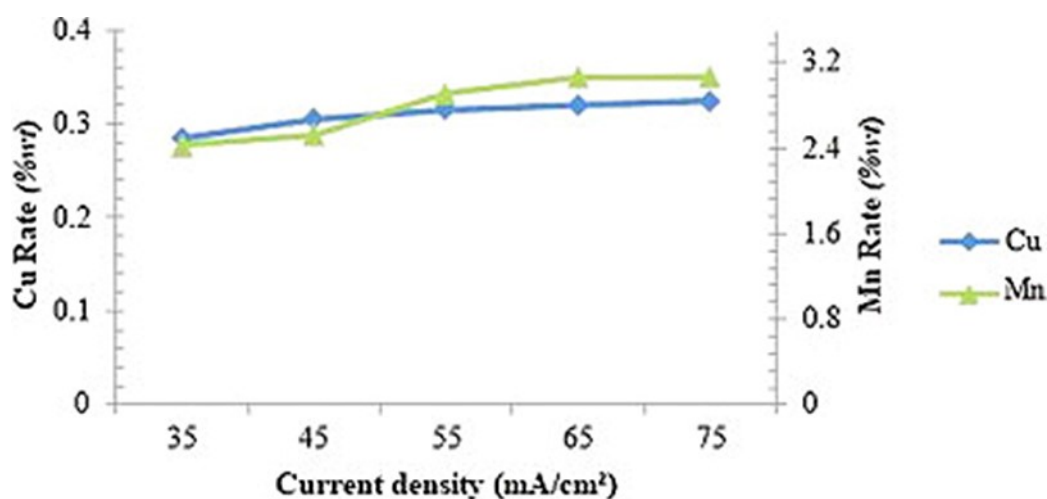
- après électrodéposition, le boulon revêtu de Zn avait une teneur en H plus élevée (5,79 ppm en masse) que le boulon revêtu de ZnNi (1,06 ppm en masse). Dans les deux échantillons, les atomes d'H étaient fortement piégés à l'intérieur des couches de revêtement et à l'interface entre la couche de revêtement et le substrat en acier, de sorte qu'ils ne pénétraient pratiquement pas dans le substrat en acier ;
- lorsque les boulons revêtus de Zn et ZnNi ont été traités à 200°C pendant 4h, la teneur en H a été réduite à 4,55 ppm en masse pour le premier et à 0,69 ppm en masse pour le second. Bien que le temps de traitement ait été prolongé jusqu'à 28h, la teneur en H du boulon revêtu de Zn atteignait encore 3,77 ppm en masse ;
- lorsque le boulon revêtu de Zn a été traité à des températures supérieures à 200°C, la phase  $\delta$  fragile, qui a été transformée de la phase  $\eta$ , a été brisée par la diffusion d'H et a conduit à la formation de grandes fissures et de vides, ce qui a entraîné l'écaillage de la couche de revêtement Zn. Le boulon revêtu de ZnNi n'a pas subi d'écaillage grâce à la grande stabilité thermique de la phase  $\gamma$ , qui s'est formée pendant l'électrodéposition ;
- le boulon revêtu de Zn présentait une résistance élevée à la fragilisation, quelle que soit le traitement thermique. Cela est dû au fait que les atomes d'H n'ont pas pénétré dans le substrat en acier dans les conditions d'électrodéposition utilisées dans la présente étude et que la résistance à la traction du substrat en acier SCM435 est relativement faible, soit environ 1000 MPa.



## Influence de la densité de courant sur le taux de corrosion d'un acier AISI 1020 lors de l'électrodéposition de Cu-Mn (Influence of current density in Cu-Mn electroplating of AISI 1020 steel corrosion rate)

Yayat Iman Supriyatna, Ratna Noviyana, Research Unit for Mineral Technology, Indonesian Institute of Sciences, IN Materials Today: Proceedings, Available online 31 December 2020

L'acier AISI 1020 est largement utilisé dans la construction maritime. Cette recherche a été menée pour étudier l'effet de la densité de courant Cu-Mn lors de l'électrodéposition sur le taux de corrosion de l'acier dans un milieu corrosif à 3 % de NaCl. Des essais de vitesse de corrosion ont été effectués en utilisant la méthode de perte de poids avec l'immersion des échantillons dans un milieu corrosif au NaCl pendant 168 h et des variations de densité de courant de 35, 45, 55, 65 et 75 mA/cm<sup>2</sup>. Les résultats ont montré que la densité de courant la plus élevée correspondait à la vitesse de corrosion la plus faible. En effet, une augmentation de la densité de courant augmentera également la quantité d'ions Cu et Mn déposés, et le dépôt de ces ions améliorera la résistance à la corrosion. Le taux de corrosion le plus faible a été obtenu pour une densité de courant de 75 mA/cm<sup>2</sup>. Les résultats de la caractérisation XRD ont montré que les pics formés à des densités de courant de 35 mA/cm<sup>2</sup> sont presque identiques aux résultats de la caractérisation de l'acier avec une densité de courant de 75 mA/cm<sup>2</sup>. Les résultats de l'analyse au microscope ont montré que la couche formée est plus épaisse lorsque la densité de courant d'électrodéposition augmente.



## Amélioration de la protection photocathodique de l'acier inoxydable 403 par électrodéposition photoassistée (Photo-assisted electrodeposition of NiMoZn on hematite nanostructures and their photoelectrochemical application as photoanode for corrosion protection of stainless steel)

Mohamad Mohsen Momeni, Mehrdad Akbarnia - Department of Chemistry, Isfahan University of Technology, IR Journal of Alloys and Compounds, Volume 856, 5 March 2021

Dans cette étude, des nanostructures d'hématite (HN) ont été préparées sur des plaques de fer par d'anodisation, suivie par un dépôt de NiMoZn sur les nanostructures par électrodéposition photo assistée pour produire des électrodes NiMoZn/HN. Le temps de dépôt a un effet important sur les performances photoélectrochimiques des photoélectrodes préparées. En comparaison avec l'hématite nue, la densité du photocourant de l'électrode NiMoZn/HN a été multipliée par 5. De plus, les caractéristiques de protection photocathodique de l'électrode NiMoZn/HN ont été évaluées en mesurant le potentiel en circuit ouvert (OCP) photo-induit et en utilisant la méthode de Tafel. Les résultats ont montré que la densité de photocourant des échantillons de NiMoZn/HN a augmenté de 0,11 à 0,51 mA cm<sup>-2</sup> par rapport à l'échantillon d'hématite nu. En outre, l'OCP photo-induit de la meilleure photo-anode NiMoZn/HN a été diminué d'environ -620 mV par rapport à Ag/AgCl en ce qui concerne l'application de la protection photocathodique. Les résultats indiquent que la photo-électrodéposition de NiMoZn sur les photoanodes d'hématite est une méthode facile et efficace pour la protection de l'acier inoxydable contre la corrosion.

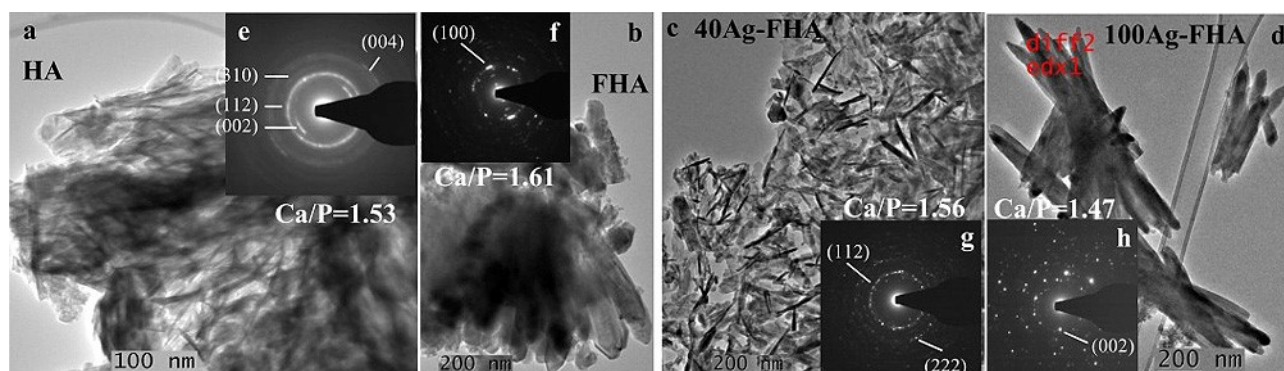


## Électrodéposition pulsée de fluorohydroxyapatite dopée Ag<sup>+</sup> sur acier pour applications biomédicales (Pulsed electrodeposition of Ag<sup>+</sup> doped prosthetic Fluorohydroxyapatite coatings on stainless steel substrates)

Hafit Khireddine, Zineb Mekhalif, Laboratoire de Génie de l'Environnement, Département de Génie des Procédés, Faculté de Technologie, Université de Béjaïa, DZ

Materials Science and Engineering, Volume 118, January 2021

Afin de renforcer le caractère antibactérien des couches prothétiques de fluorohydroxyapatite (FHA) sur l'acier inoxydable 316L (316L SS), des ions Ag<sup>+</sup> (agent antibactérien) sont inclus dans le milieu d'électrodéposition pour être incorporés dans les couches de FHA créées électrodéposition pulsée. Les revêtements dopés (Ag-FHA) avec différentes concentrations d'ions argent (5, 10, 20, 40 et 100 ppm) ont été caractérisés électrochimiquement (courbes de polarisation et spectroscopie d'impédance électrochimique) dans une solution de fluide corporel simulé (SBF) et microbiologiquement contre deux bactéries pathogènes (*Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*). Des spectroscopies XPS, EDX et Raman ont été utilisées pour compléter ces évaluations. Quelle que soit la concentration en ions Ag<sup>+</sup>, la morphologie, la structure et la composition du FHA ne sont pas affectées. Les résultats XPS et EDX confirment la présence d'Ag<sup>+</sup> au sein des cristaux d'apatite, principalement concentrés à l'extrême surface des revêtements. Ils montrent également l'abaissement de la stœchiométrie des revêtements, confirmé par les analyses Raman. Les études de corrosion indiquent que les revêtements prothétiques agissent comme une barrière contre la corrosion de l'alliage 316L SS. De plus, les résultats des tests microbiologiques montrent qu'une teneur de 40 ppm d'argent, introduite dans les revêtements prothétiques, inhibe la croissance bactérienne. Les concentrations inférieures ne montrent qu'une inhibition partielle. En conclusion, l'utilisation d'un mode de courant pulsé dans les processus d'électrodéposition génère des systèmes Ag-FHA/316L SS adaptés aux applications biomédicales.



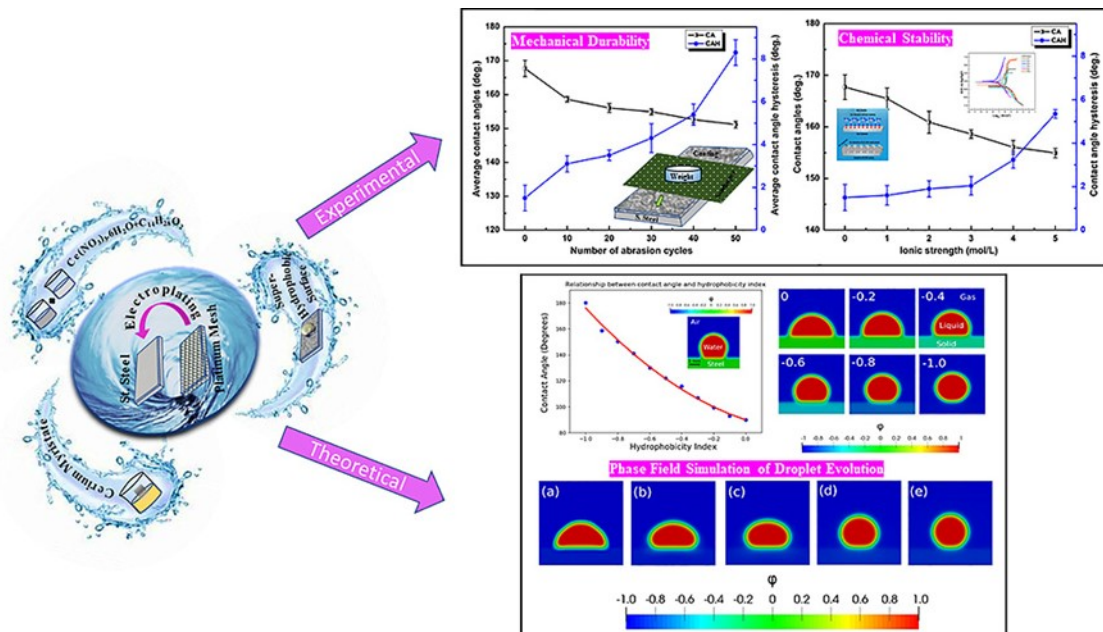
## Fabrication de revêtements super-hydrophobes anticorrosion chimiquement et mécaniquement stables (Fabrication of cerium myristate coating for a mechanochemically robust modifier-free superwettability system to enhance the corrosion resistance on 316L steel by one-step electrodeposition)

Muhammad Muzammal Hussain, Haitao Ma, School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, CN; Department of Materials Engineering, KU Leuven, BE

Surface and Coatings Technology, Volume 398, 25 September 2020

Les auteurs présentent ici une nouvelle méthode pour former une surface super-hydrophobe durable et hautement anticorrosive sans modificateur par une méthode d'électrodéposition en une étape. Les morphologies de surface, la composition chimique et la mouillabilité ont été caractérisées respectivement par la microscopie électronique à balayage à émission de champ (FE-SEM), spectroscopie photo-électronique à rayons X (XPS), spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS), spectroscopie Raman laser (LRS), spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) et mesures d'angle de contact optique. Un angle de contact avec l'eau moyen (CA) de  $167,7 \pm 2,4^\circ$  a été obtenu numériquement et expérimentalement. L'analyse a révélé que le taux d'augmentation de l'angle de contact est plus grand au début et plus petit à l'état d'équilibre. Les surfaces présentent une amélioration de la résistance à la corrosion (résultats de l'analyse par spectroscopie d'impédance électrochimique, courbes de polarisation

(Tafel) et tests d'abrasion. Elles présentent également une excellente durabilité et une bonne stabilité aux produits chimiques. Ce travail ouvre une nouvelle voie pour l'obtention de revêtements super-hydrophobes chimiquement et mécaniquement stables, écologiques et résistants à la corrosion avec un indice d'hydrophobie à faible énergie de surface ( $\beta_s = -0.937$ ) sur l'acier 316L. Ils pourraient avoir un avenir dans un nombre d'applications industrielles croissant.



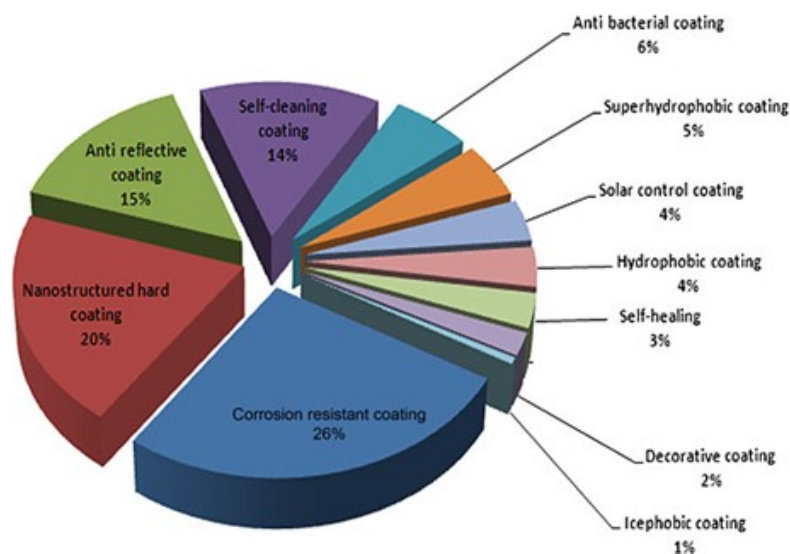
# LIQUIDES IONIQUES / SOL-GEL

**Applications des revêtements sol-gel : passé, présent, futur** (Applications of sol-gel coatings: past, present, and future)

R.Subasri, K.R.C.Soma Raju, *International Advanced Research Centre for Powder Metallurgy and New Materials (ARCI), Hyderabad, IN*

Handbook of Modern Coating Technologies, Applications and Development 2021, Pages 425-451

Les propriétés exceptionnelles des revêtements nanocomposites inorganiques purs et hybrides organiques-inorganiques dérivés de la méthode sol-gel ont été largement étudiées. Par conséquent, ils sont actuellement exploités commercialement pour diverses applications telles que l'antireflet, la sélectivité solaire, le contrôle solaire, la protection contre la corrosion (de type barrière et auto-cicatrisant), l'antibactérien, l'auto-nettoyage, la facilité de nettoyage, la photo-catalyse, la résistance aux rayures, la résistance à l'abrasion, etc. L'avantage le plus évident des revêtements hybrides inorganiques-organiques est qu'ils peuvent combiner les propriétés divergentes des deux types de composants dans un seul matériau. D'autres avantages notables des revêtements nanocomposites hybrides sol-gel sont d'atteindre des épaisseurs de revêtement élevées ( $\geq 1 \mu\text{m}$ ) en une seule étape de revêtement, la possibilité de générer des revêtements multifonctionnels, la flexibilité du revêtement et la compatibilité avec les peintures organiques, la possibilité de dépôt sur une grande variété de substrats, la possibilité d'automatisation du procédé et la facilité de déposition (par exemple, l'utilisation de techniques de revêtement par pulvérisation, par immersion et par centrifugation). Le chapitre 12 de ce *Handbook of modern coatings* se concentre sur le scénario global du passé, du présent et du futur des applications des revêtements sol-gel avec des exemples choisis. Une analyse détaillée des politiques de propriétés intellectuelles et du potentiel du marché des revêtements sol-gel pour diverses applications est également présentée pour étayer les discussions.



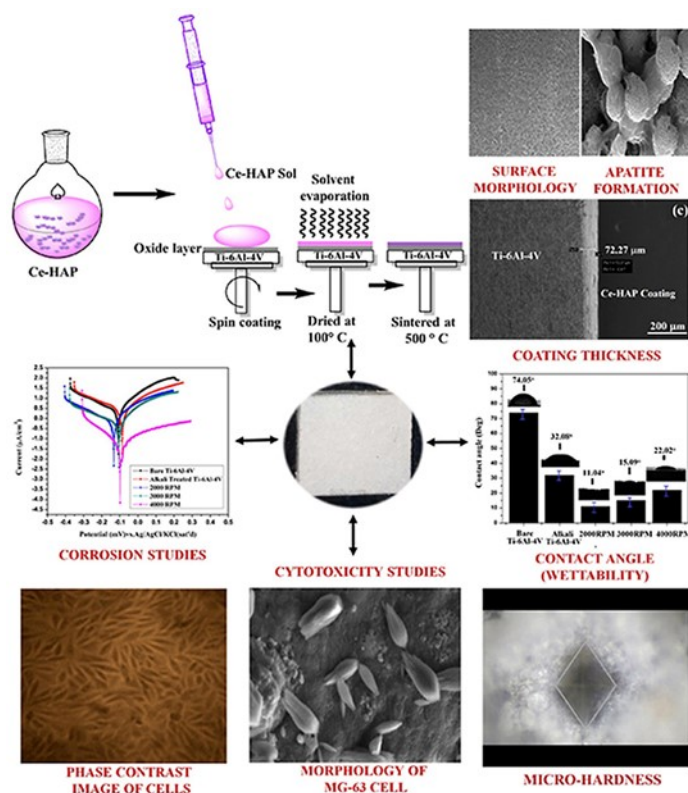
**Potentiel de revêtements sol-gel hydroxyapatite + cérium sur un alliage de titane Ti-6Al-4V pour applications orthopédiques** (Structural, Morphological and Biological Evaluations of Cerium Incorporated Hydroxyapatite Sol-Gel Coatings on Ti-6Al-4V for Orthopaedic Applications)

B. Priyadarshini, U. Vijayalakshmi - *Department of Chemistry, School of Advanced Sciences, Vellore Institute of Technology, Vellore - 632 014. Tamil Nadu, IN*

Journal of Materials Research and Technology, March 2021

Les alliages de titane, en particulier le Ti-6Al-4V, sont des biomatériaux prometteurs présentant une excellente résistance à la corrosion et une bonne biocompatibilité mais ils manquent de capacités anti-infectieuses et d'ostéointégration. Dans ce travail, les auteurs ont cherché à améliorer les bio-fonctions et la résistance à la corrosion d'un alliage Ti-6Al-4V en appliquant une couche d'hydroxyapatite et de cérium (Ce-HAP) par spin-coating. Une triple couche de revêtement Ce-HAP a été obtenue en utilisant différentes

vitesse telles que 2000, 3000 et 4000 RPM, puis elles ont été frittées pendant 2h à 500 °C. Les analyses conduites confirment que les revêtements présentent une efficacité d'inhibition significative vis-à-vis des agents pathogènes. Les études de viabilité cellulaire ont montré une bonne prolifération cellulaire et des attachements sur un implant revêtu. L'analyse des propriétés électrochimiques a permis de mettre en avant des propriétés anti-corrosion prononcées.



### Conception de revêtements sol-gel anticorrosion et antistatiques sur alliages AlMgSi pour le domaine aérospatial (Design of Corrosion Protective and Antistatic Hybrid Sol-Gel Coatings on 6XXX AlMgSi Alloys for Aerospace Application)

Cecilia Agustín-Sáenz, Patricia Santa Coloma, TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Mikeletegi Pasealekua 2, 20009 Donostia-San Sebastián, ES  
Coatings 2020, 10, 441

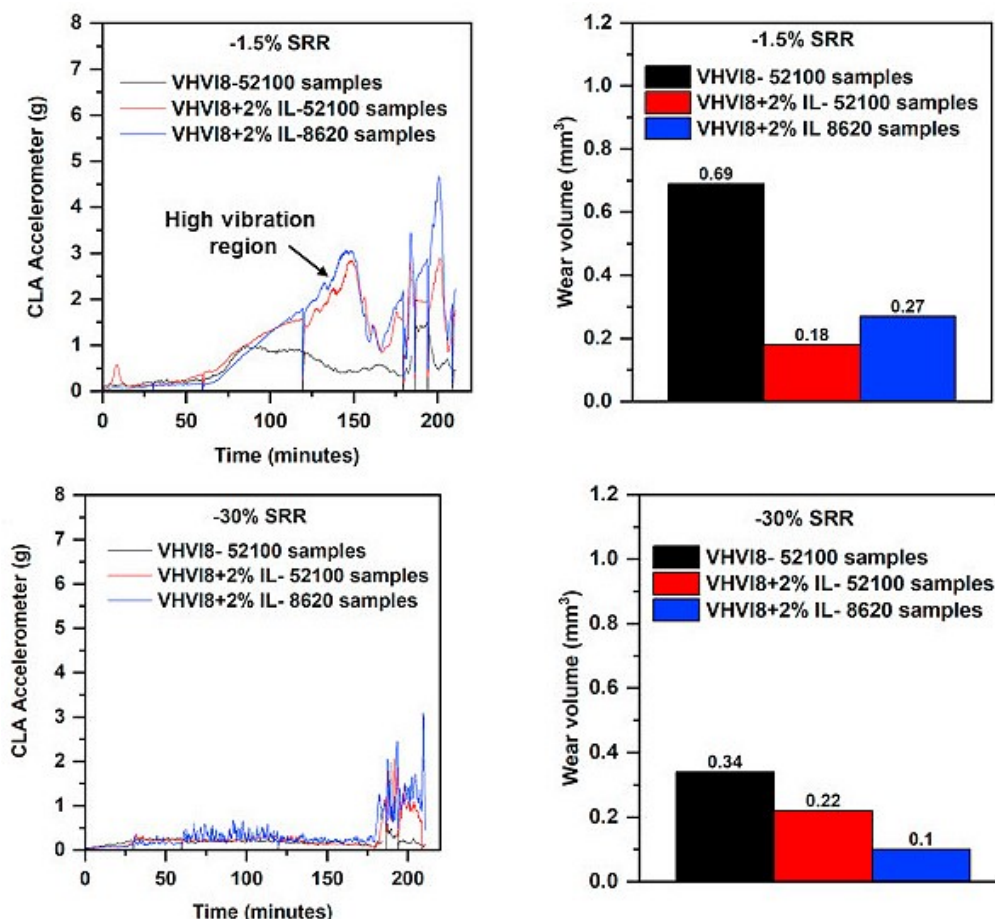
Un revêtement inorganico-organique à base de silice et de zircone à fonction glycidyle a été synthétisé par voie sol-gel pour protéger trois types d'alliages AlMgSi (série 6XXX) contre la corrosion dans les applications aérospatiales. Différents paramètres tels que la teneur en solides, le rapport organique/inorganique et les conditions de dépôt ont été étudiés dans le but d'obtenir un compromis entre la protection contre la corrosion, les performances antistatiques et le faible dégazage induit par le vide. Ces paramètres influencent directement l'épaisseur et la densité des revêtements, et donc l'effet barrière contre la corrosion et la résistance électrique de contact, qui sont affectés de manière opposée. Pour obtenir une faible résistance électrique de contact, des nanofils d'argent (NW) avec un rapport d'aspect élevé ont été chargés dans la matrice sol-gel dans le but de créer un chemin conducteur à travers le revêtement hybride avec une faible concentration de NW. Les revêtements ont été adaptés pour les alliages AA6063, AA6061 et AA6082, et ils ont tous montré une performance anticorrosion exceptionnelle dans différents tests d'altération artificielle. Une performance antistatique a été démontrée par la faible résistance électrique de contact des alliages AA6061 et AA6063 revêtus, bien que l'incorporation de NW ait montré un effet néfaste sur la protection contre la corrosion par rapport au revêtement non chargé. Les travaux de cette équipe avaient fait l'objet d'un dépôt de brevet : WO2018073186 A1 (26 April 2018)

### Effets d'un liquide ionique utilisé comme lubrifiant dans les roulements automobiles (Why does a phosphonium-phosphinate ionic liquid protect the contact surfaces from wear and micropitting but increase vibration when used as an additive in rolling-sliding lubrication?)

Sougata Roy, Benjamin C. Stump, Materials Science and Technology Division, Oak Ridge National Laboratory, US



Un liquide ionique (LI) de type phosphonium-phosphinate a été étudié comme additif lubrifiant pour les contacts en roulement/glisement. Un banc d'essais a été conçu pour simuler le fonctionnement de l'essieu arrière d'une automobile pendant le démarrage à froid, le remorquage sur autoroute et les conditions de surcharge. L'ajout d'un tel IL (2%) dans une huile de base a réduit de manière significative l'usure et la fatigue du contact en roulement (diminution de la microfissuration et des micropiqûres). Cependant, cet ajout a rendu le bruit vibratoire nettement plus élevé sous un faible rapport SRR (Slide Roll Ratio). La caractérisation de la surface usée a révélé un modèle de texture intéressant avec une alternance de plans lisses et de creux plus rugueux, qui serait à l'origine de la vibration élevée. Aucune augmentation de la vibration n'a été observée avec un SRR élevé, probablement parce que l'abrasion plus agressive dans ces conditions a empêché la formation d'une telle texture de surface.



**Propriétés anticorrosion du de 1-Décyl-3-méthylimidazolium (DMIC) sur l'acier P110** (Corrosion inhibition and adsorption of imidazolium based ionic liquid over P110 steel surface in 15% HCl under static and dynamic conditions: Experimental, surface and theoretical analysis)

Amrisha Singh, K. R. Ansari, School of New Energy and Materials, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, CN  
Journal of Molecular Liquids, Volume 323, 1 February 2021

Cette étude traite de l'évaluation de l'inhibition de la corrosion par un liquide ionique à base d'imidazoline, à savoir le chlorure de 1-Décyl-3-méthylimidazolium (DMIC) sur l'acier P110 dans 15% de HCl dans des conditions statiques et dynamiques. Les résultats des analyses EIS (impédance électrochimique) révèlent que la résistance au transfert de charge augmente avec l'augmentation de la concentration en DMIC. Le DMIC s'avère être un inhibiteur de type mixte. Les auteurs avancent plusieurs conclusions :

- la performance inhibitrice du DMIC est moindre, et son efficacité maximale d'inhibition est de 68,61% à 400 mg/L,
- l'addition d'iodure de potassium (KI) dans une proportion de 0,5 mM pour 400 mg/L de DMIC augmente l'efficacité d'inhibition de la corrosion à 90,15%,
- les performances du DMIC et du DMIC+KI diminuent avec l'augmentation de la température,
- la performance du DMIC est meilleure dans des conditions hydrodynamiques que dans des conditions



statiques,

- la performance du DMIC diminue lorsque la vitesse de rotation est supérieure à 1500 rpm.

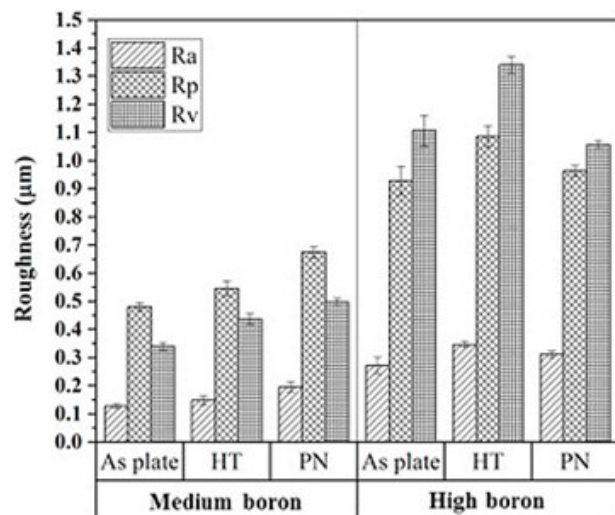
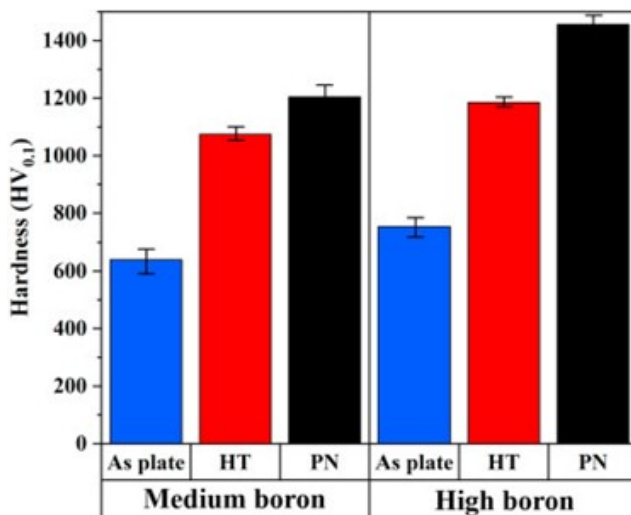
# TRAITEMENTS THERMIQUES / THERMOCHIMIQUES / DURCISSEMENT LASER

**Effet de la nitruration plasma dans l'amélioration des propriétés tribologiques des revêtements de nickel chimique à teneur moyenne et élevée en bore** (Ability of plasma nitriding to improve tribological behavior of medium and high boron electroless nickel coatings)

Reza Tima, Farzad Mahboubi, Department of Materials and Metallurgy Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), IR

Tribology International, Volume 156, April 2021

Des revêtements de nickel à teneur moyenne et élevée en bore ont été appliqués en faisant varier la concentration de l'agent réducteur et la température du bain chimique. Un post-traitement par nitruration plasma a ensuite été appliqué. La composition chimique, la microstructure, la rugosité, la microdureté et le comportement tribologique des revêtements ont été évalués. Les résultats ont indiqué que la valeur de microdureté la plus élevée a été atteinte pour le revêtement de nitruration par plasma à haute teneur en bore, soit 1459 HV<sub>0,1</sub>. En outre, il a été constaté que l'apport d'une structure plus dense ainsi que la formation d'une phase lubrifiante h-BN améliorent considérablement le comportement tribologique des revêtements nitrurés par plasma. Selon les résultats des tests effectués sur les revêtements à haute teneur en bore, le taux d'usure moyen des revêtements nitrurés plasma était 14 fois inférieur à ceux des revêtements traités thermiquement et la valeur du coefficient de frottement 2 fois inférieure.



**Double renforcement de la surface d'un acier duplex par l'effet synergique d'une nitruration plasma** (Dual-strengthening of steel surface and bulk via synergistic effect of plasma nitriding: A case study of M50 steel)

Jiawei Yao, Fuyao Yan, National Key Laboratory for Precision Hot Processing of Metals, School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, CN

Surface and Coatings Technology, Volume 409, 15 March 2021

L'acier duplex M50 est largement utilisé pour les paliers d'arbres. Afin de réduire le temps et le coût de la trempe duplex, une nitruration et un revenu au plasma simultanés ont été effectués sur un acier M50. Cette étape de traitement thermique permet d'obtenir une dureté de surface élevée et un noyau durci à

cœur en même temps. Comparée à la méthode conventionnelle "revenu + nitruration", la méthode de traitement thermique en une étape proposée ici peut augmenter de manière significative l'épaisseur de la couche nitrurée de plus de 61% et former une couche de haute dureté (>1000 HV<sub>0.1</sub>) couvrant la moitié de la couche nitrurée totale, ce qui entraîne une réduction du coefficient de frottement et une amélioration de la résistance à l'usure. Une analyse complète de la couche nitrurée a été réalisée, elle présente une nanostructure à gradient qui explique la sursaturation de l'azote dans la couche sub-superficielle observée expérimentalement comme étant le résultat d'une décomposition spinodale.

### **Nitruration par induction électromagnétique de titane médical pour améliorer sa résistance à la corrosion et à la tribocorrosion** (Corrosion and tribocorrosion behavior of titanium surfaces designed by electromagnetic induction nitriding for biomedical applications)

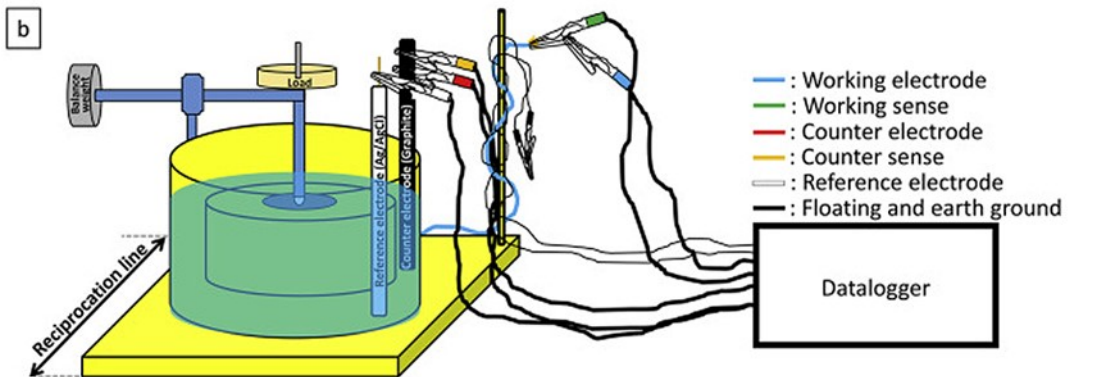
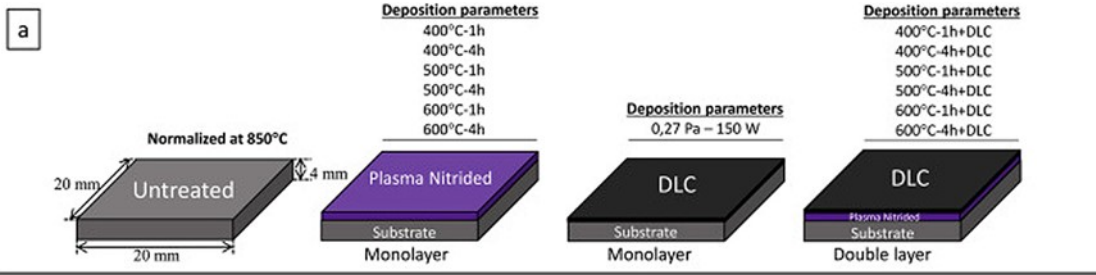
*Jing Guan, Xueting Jiang, School of Materials and Architectural Engineering, Guizhou Normal University, CN*  
Surface and Coatings Technology, Volume 409, 15 March 2021

Les alliages de titane jouent un rôle de plus en plus important dans le domaine de la biomédecine. Cependant, la faible résistance à l'usure de ces derniers entraîne des défaillances prématurées, ce qui limite considérablement leurs champs d'application. Dans ce travail, un dispositif de nitruration par induction a été développé afin de nitrurer le titane médical pur (TA1). La couche de nitruration obtenue a ensuite été caractérisée par XRD, SEM et nanoindentation, et sa résistance à l'usure et son comportement à la corrosion ont été testés en utilisant une solution saline équilibrée de Hank (HBSS). Le comportement en tribocorrosion et l'effet synergique de l'échantillon ont été étudiés au moyen de mesures électrochimiques et d'analyses de la morphologie de surface. Des cellules L-929 ont également été utilisées pour analyser la biocompatibilité de la couche de nitruration. Les résultats montrent qu'il est possible d'obtenir une couche de nitruration d'environ 20 µm d'épaisseur après 1 h de traitement, ce qui améliore efficacement les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la résistance à l'usure de l'alliage de titane TA1.

### **Résistance à la corrosion et à la tribocorrosion d'un acier AISI 4141 traité par nitruration plasma et DLC** (Corrosion and tribocorrosion properties of duplex surface treatments consisting of plasma nitriding and DLC coating)

*H. Kovacı, Y. B. Bozkurt, Ataturk University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Erzurum, TR*  
Tribology International, Volume 156, April 2021

Dans cette étude, une analyse complète a été réalisée pour étudier le comportement à la corrosion et à la tribocorrosion de l'acier AISI 4140 non traité et revêtu de céramique duplex. Les échantillons ont donc été nitrurés au plasma sous décharge lumineuse, puis ils ont été revêtus d'un film DLC. Des tests de spectroscopie d'impédance électrochimique, de polarisation potentiodynamique et de tribocorrosion ont été réalisés selon quatorze paramètres différents. Le traitement de nitruration a augmenté la rugosité de la surface par rapport au matériau de base. L'effet négatif de la rugosité sur les performances de corrosion et de tribocorrosion a disparu avec l'augmentation de l'épaisseur du film céramique (liée à la température et au temps de traitement), les performances en matière de corrosion et de tribocorrosion augmentant avec l'épaisseur de la couche et la rugosité de la surface. Le comportement à la corrosion des revêtements est lié au film DLC, au composé et aux couches de diffusion. Des surfaces plus dures par rapport au matériau de base ont contribué à la résistance à l'usure. Le composé, les couches de diffusion et le film DLC ont un effet de barrière, retardant l'apparition de la corrosion sur le matériau de base.

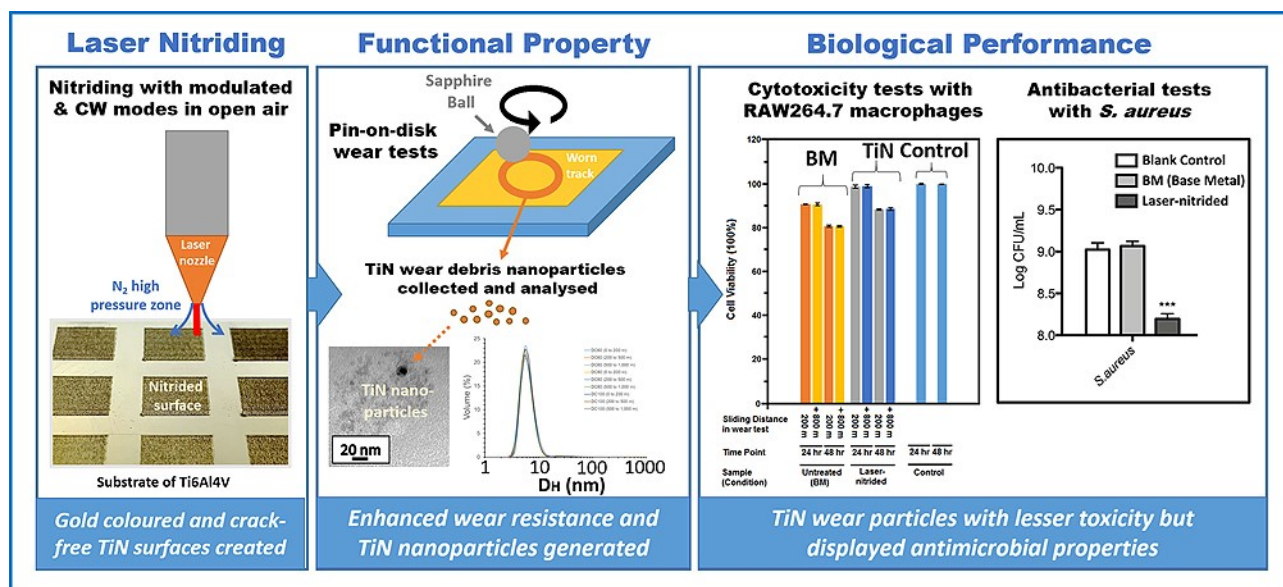


## Nituration laser du titane pour implants orthopédiques : performances anti-usure et anti-microbiennes

(A promising laser nitriding method for the design of next generation orthopaedic implants: Cytotoxicity and antibacterial performance of titanium nitride (TiN) wear nano-particles, and enhanced wear properties of laser-nitrided Ti6Al4V surfaces)

Chi-Wai Chan, James Quinn, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Queen's University Belfast, UK  
Surface and Coatings Technology, Volume 405, 15 January 2021

Dans cette étude, une nituration par laser fibre (laser nitriding in open air) a été réalisée sur un alliage Ti6Al4V afin d'améliorer sa résistance à l'usure et en minimisant ainsi la génération de débris. Les récentes avancées technologiques permettant de réaliser ce type de nituration offre la possibilité de durcir en surface toute zone incurvée et/ou spécifique à des implants de hanche. Le processus de nituration a été modulé entre le mode pulsé et le mode continu (CW) en faisant varier le rapport cyclique entre 60% (pulsé) et 100% (CW). Les investigations expérimentales ont été divisées en deux étapes : premièrement, il s'agissait de créer des surfaces niturées sans fissures, homogènes (en sélectionnant correctement le cycle) et deuxièmement, il s'agissait d'analyser les propriétés (physiques et chimiques) des débris d'usure ainsi que d'évaluer leur cytotoxicité et leurs performances antibactériennes. Les surfaces niturées ont été caractérisées et testées à l'aide de diverses techniques, notamment SEM-EDX et XRD, la rugosité de surface et les mesures de dureté Vickers, ainsi que des tests tribologiques ont été réalisées par pion-disque. Les débris d'usure recueillis ont été analysés par TEM, XPS et SEM-EDX. Leur toxicité a été évaluée en utilisant une culture cellulaire in-vitro avec des macrophages sur deux durées d'exposition : 24 h et 48 h. La performance antibactérienne a été testée in vitro contre deux des pathogènes les plus couramment impliqués dans les infections orthopédiques, à savoir, le staphylocoque doré et l'escherichia coli pendant 24 h. Les résultats indiquent que la résistance à l'usure des surfaces après nituration laser a été considérablement améliorée et que la quantité de débris d'usure générés a également été considérablement réduite. Les particules d'usure provenant des surfaces niturées se situaient dans la gamme d'échelle nanométrique (10 nm à 40 nm). Elles se sont révélées moins toxiques pour les macrophages RAW 264.7, tout en présentant des propriétés antimicrobiennes supérieures à celles des particules plus grandes (1,5 µm) provenant des surfaces non traitées contre le staphylocoque doré.





# DLC / DEPOTS SOUS VIDE

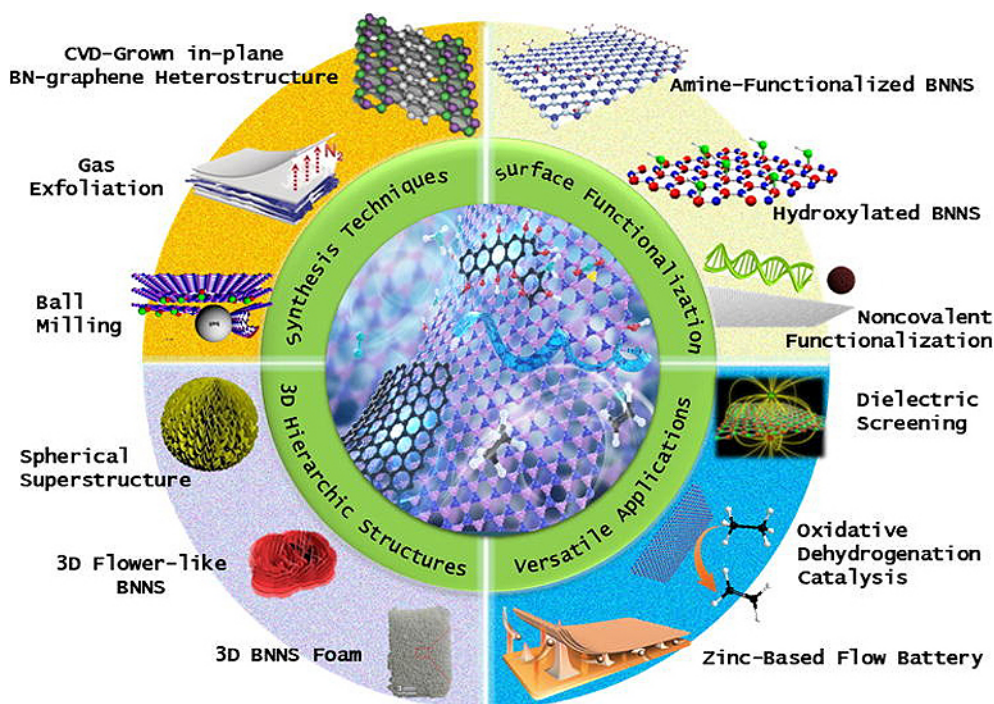
## État des recherches et challenges dans le domaine de la fonctionnalisation de nanofeuilles de nitrure de bore

(Challenges and solutions in surface engineering and assembly of boron nitride nanosheets) ZhenLiu, Alireza Dibaji, College of Materials Science and Engineering, Institute for Graphene Applied Technology Innovation, Qingdao University, CN  
Materialstoday, 11 janvier 2021

Les nanofeuilles de nitrure de bore (BNNS) sont normalement considérées comme chimiquement inertes, ce qui les rend difficiles à fonctionnaliser. De nombreuses applications nécessitent de nouvelles fonctionnalités de surface et des efforts significatifs ont été faits pour l'ingénierie de surface et l'assemblage des BNNS. Dans cet article, les auteurs proposent un examen critique des défis et des solutions en matière d'ingénierie de surface et d'assemblage des BNNS. Ils décrivent tout d'abord les mécanismes de fonctionnalisation puis mettent en évidence les nouvelles percées, les études fondamentales et les tendances dans ce domaine. Les recherches récentes sur les applications concernent notamment :

- la catalyse chimique,
- les nanomatériaux fonctionnels biocompatibles à base de BN pour les applications biologiques et biomédicales,
- les surfaces de BN à ingénierie moléculaire pour les applications de détection et d'administration de médicaments,
- la construction de composites thermoconducteurs et électriquement isolants.

Une discussion approfondie est également proposée sur les effets des relations entre le traitement, la structure et les propriétés des BNNS fonctionnalisés.

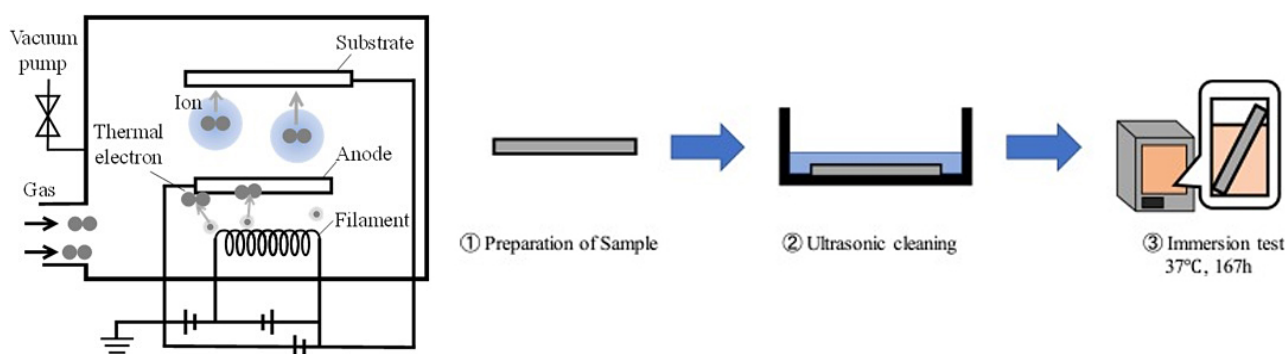




## Propriétés anticorrosion de revêtements DLC sur acier en milieu acide (Anticorrosion of DLC coating in acid solutions)

Tomoyasu Nagai, Masanori Hiratsuka, Tokyo Denki University, JP  
Applied Surface Science, Volume 552, 30 June 2021

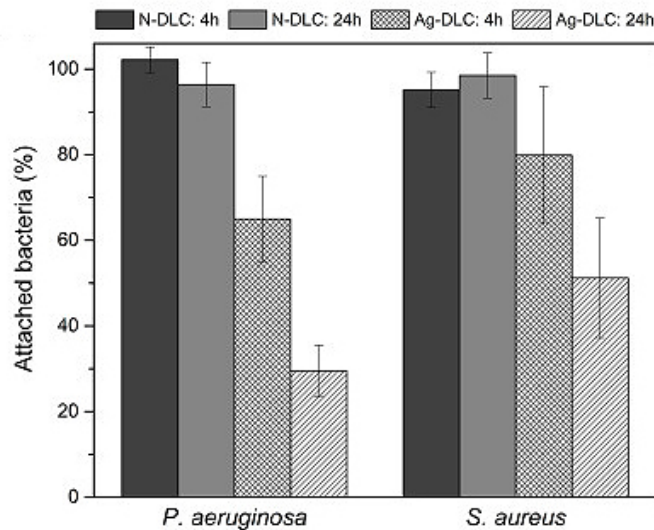
Les revêtements DLC sont connus pour leurs propriétés telles que le faible coefficient de frottement, la résistance à l'usure et la stabilité chimique. Cependant, la corrosion des métaux reste un problème qui cause d'importantes pertes financières dans le milieu industriel. Des chercheurs ont donc étudié l'amélioration de la résistance à la corrosion des aciers en milieu acide en réalisant un revêtement DLC sur la surface d'un acier inoxydable SUS304 (SUS). La résistance à la corrosion dans des solutions d'acide chlorhydrique, d'acide nitrique et d'acide sulfurique a été évaluée à l'aide d'un test d'immersion suivant la norme JIS T 0304. Il a été constaté que la résistance à la corrosion était nettement améliorée par un revêtement multiple de films DLC.



## Étude de revêtements DLC dopés à l'argent pour applications biomédicales (Bactericidal silver-doped DLC coatings obtained by pulsed filtered cathodic arc co-deposition)

Jordi Orrit-Prat, Raül Bonet, Eurecat, Centre Tecnològic de Catalunya, Unit of Metallic and Ceramic Materials, ES  
Surface and Coatings Technology, Volume 411, 15 April 2021

Les revêtements DLC ont été largement étudiés au cours des deux dernières décennies dans le domaine de l'ingénierie des matériaux. Dans cette étude, des revêtements DLC dopés à l'argent ont été évalués à des fins d'applications dans le domaine biomédical. Des revêtements DLC contenant environ 2 at.% d'Ag ont été réalisés sur des substrats CoCrMo par co-déposition à l'arc cathodique pulsé en utilisant du graphite pur et des cibles en argent. La morphologie, la structure et la composition chimique des revêtements ont été caractérisées par SEM, XPS, XRD, Raman et HRTEM. La mouillabilité et l'énergie libre de surface ont également été mesurées. Les propriétés mécaniques ont été analysées au moyen de la nanoindentation et des tests d'adhésion Rockwell-C. La résistance à la corrosion des échantillons revêtus et non revêtus a été déterminée par des tests potentiodynamiques dans une solution de Hank. La cytotoxicité et l'activité antibactérienne contre *S. aureus* et *P. aeruginosa* ont également été étudiées. À des fins de comparaison, des revêtements DLC dopés à l'azote obtenus par pulvérisation magnétron RF ont également été préparés et caractérisés. Des revêtements nanostructurés Ag-DLC bien adhérents et résistants à la corrosion, d'une épaisseur pouvant atteindre 1,5  $\mu\text{m}$  et d'une dureté de 21 GPa, ont été obtenus. La concentration de dopage de l'argent étudiée dans ce travail semble être optimale pour la préparation de revêtements non cytotoxiques avec une activité bactéricide significative.



**Ingénierie de surface : microstructure, contrainte résiduelle et propriétés mécaniques de revêtements TiN déposés par PVD sur Ti-6Al-4V** (Effect of plasma interface treatment on the microstructure, residual stress profile, and mechanical properties of PVD TiN coatings on Ti-6Al-4V substrates)

*E. J. Herrera-Jimenez, E. Bousser, Department of Engineering Physics, Polytechnique Montréal, CA*  
Surface and Coatings Technology, Volume 413, 15 May 2021

L'ingénierie des interfaces est essentielle pour améliorer et maintenir les performances des revêtements protecteurs sur les substrats métalliques. Les prétraitements au plasma et les dépôts de revêtement se sont avérés être une solution idéale pour améliorer les propriétés mécaniques et tribologiques de l'alliage Ti-6Al-4V, tout en augmentant la durabilité des composants. Dans ce présent travail, les auteurs ont étudié des modèles de revêtements TiN avec trois approches d'ingénierie d'interface des traitements de surface: a) le plasma argon, b) l'implantation de titane et c) la nitruration plasma. L'influence des prétraitements au plasma sur la microstructure, les propriétés mécaniques, notamment la contrainte résiduelle (RS) et l'adhérence des revêtements sur les substrats de Ti-6Al-4V a été étudiée. Les différentes propriétés cristallographiques et microstructurelles des interfaces créées via les trois méthodes de prétraitement ont également été analysées afin de comprendre leurs effets sur l'évolution de la microstructure, de la dureté, de la contrainte résiduelle et de l'adhésion. Les auteurs ont notamment pu relever :

- que le profil de profondeur des contraintes résiduelles dépendait fortement de la technique retenue,
- que le profil de contrainte était lié à la croissance du film et à la microstructure de l'interphase,
- une forte anisotropie des contraintes,
- que les gradients de contrainte pouvaient être contrôlés afin d'ajuster les performances mécaniques,
- que les valeurs de RS en compression variaient entre -1 GPa et -4 GPa dans les revêtements TiN, et entre -0,2 et -0,8 GPa dans les différentes interfaces.

Les résultats expérimentaux montrent que le plasma Ar et l'implantation Ti présentent une dureté allant jusqu'à ~29 GPa et un module d'Young de ~350 GPa.

**Revêtements super-hydrophobes et autonettoyants de nanofibres de carbone par pulvérisation plasma + CVD pour la protection contre la corrosion de l'acier AISI 1020 et des alliages de magnésium AZ31** (Superhydrophobic, self-cleaning carbon nanofiber CVD coating for corrosion protection of AISI 1020 steel and AZ31 magnesium alloys)

*Abdul Rahim Siddiqui, Rita Maurya, Materials Science and Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, IN Surface and Coatings Technology, Volume 404, 25 December 2020*

Les dommages causés par la corrosion à l'échelle mondiale nécessitent la synthèse de surfaces protectrices super-hydrophobes et autonettoyantes possédant une excellente stabilité mécanique, chimique et thermique. Ainsi, un revêtement autonettoyant et super-hydrophobe de nanofibres de carbone (CNF) sur des aciers doux AISI 1020 (MS) et des alliages de Mg (AZ31) a été réalisé par un nouveau procédé en deux étapes : pulvérisation au plasma + CVD. Les substrats MS et AZ31 revêtus ont montré une efficacité de protection contre la corrosion d'environ 97% dans un environnement corrosif de 3,5% en poids de NaCl avec une densité de courant de corrosion inférieure ( $I_{corr} = 0,16$  et  $14,90 \mu A/cm^2$  respectivement) à celle de l'alliage non revêtu ( $I_{corr} = 5,56$  et  $691,8 \mu A/cm^2$ , respectivement). La résistance au transfert de charge (RCT) est environ quatre fois supérieure MS ( $1,4 k\Omega cm^2$ ) et deux fois supérieure pour l'AZ31 ( $2,0 k\Omega cm^2$ ) comparativement aux substrats non revêtus. Globalement les échantillons traités présentent une excellente résistance à l'abrasion, à l'exposition à la lumière UV, aux liquides corrosifs et à l'eau chaude.

# PROJECTION THERMIQUE / COLD SPRAY

**Amélioration des propriétés de surface d'une poudre Ti-6Al-4V par nitruration gazeuse en vue de leur projection par Cold Spray** (Enhancement of Ti-6Al-4V powder surface properties for cold spray deposition using fluidized Gas-Nitriding technique)

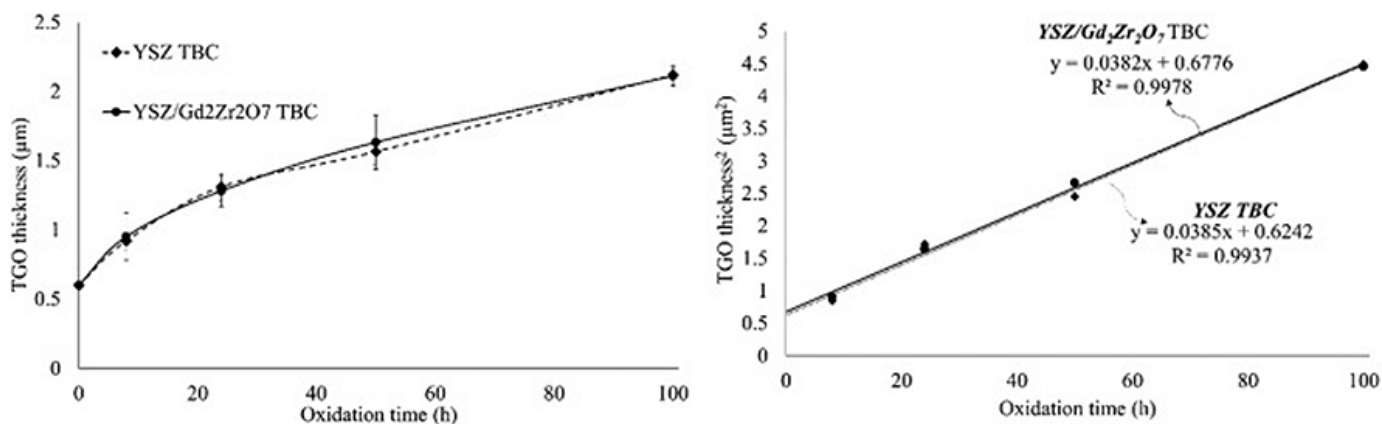
*Randolph C. V. McGee, Ying She, Raytheon Technologies Research Center, Physical Sciences Department, US Materials Letters, Volume 290, 1 May 2021*

La modification de surface de poudre Ti-6Al-4V a été réalisée en traitant cette dernière dans du N<sub>2</sub> gazeux à 700°C et 800°C pendant 10 à 30 minutes. Cette technique devrait permettre de réduire la teneur en oxygène de la surface et d'améliorer les propriétés du matériau. Une augmentation relative de la teneur en azote de la surface a été observée avec l'augmentation de la température de réaction et du temps de traitement. L'analyse XPS a montré l'élimination des oxydes, des groupes hydroxyle et d'autres espèces d'oxygène avec une augmentation des rapports atomiques N/O et Ti/O à la surface. La nitruration gazeuse du Ti-6Al-4V à 700°C et à 800°C pendant 30 minutes a entraîné une augmentation du rapport atomique N/O en surface de 0,02 à 0,56 et 0,76, respectivement. La réaction de surface avec l'azote n'a pas affecté la structure ou la morphologie de la poudre. Ceci a été mis en évidence par les résultats de l'analyse XRD indiquant qu'il n'y avait pas de phase massive de TiN présente ou de changement significatif dans les valeurs d'espacement pour les pics caractéristiques du Ti-6Al-4V. De plus, il n'y a pas eu d'augmentation significative de la dureté de la surface des substrats après le dépôt des poudres nitrurées. La nitruration du Ti-6Al-4V a amélioré les performances de la poudre lors d'un dépôt par Cold Spray notamment en réduisant la porosité des couches déposées.

**Résistance à l'oxydation et à la corrosion à chaud de barrières thermiques réalisées par HVOF/EB-PVD** (Oxidation and hot corrosion resistance of HVOF/EB-PVD thermal barrier coating system)

*Kadir Mert Doleker, Yasin Ozgurluk, Ondokuz Mayıs University, Samsun, TR Surface and Coatings Technology, Volume 409, 15 March 2021*

La corrosion à chaud et l'oxydation causent des dommages très destructeurs dans les barrières thermiques (TBC) en conditions de service. Dans le cas de la corrosion à chaud, les TBC exposés à des sels fondus perdent facilement leur intégrité en raison des transformations de phase, tandis que l'oxygène pénètre facilement les TBC et forment une couche d'oxyde thermogénique (TGO) qui provoque des contraintes plus élevées à l'interface de la liaison et du revêtement. Dans la présente étude, des poudres de CoNiCrAlY ont été pulvérisées par la technique HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) sur de l'Inconel 718, puis de la zircone stabilisée à l'yttrium (YSZ) et de l'YSZ/Gd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ont été déposés par la technique EB-PVD (Electronic Beam Physical Vapor Deposition) sur les substrats revêtus. Des essais d'oxydation isotherme ont été réalisés à 1000°C pendant 8, 24, 50 et 100 h, tandis que des essais de corrosion à chaud ont été réalisés à 1000°C en présence de sels fondus NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sur des cycles de 5, 10, 15 et 20 heures. Les revêtements produits, ainsi que les résultats des tests d'oxydation et de corrosion à chaud, ont été examinés par analyses SEM, EDS, XRD et imagerie. Il a été constaté que la couche de Gd<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> présentait des performances d'oxydation et de corrosion à chaud supérieures à celles du système TBC YSZ conventionnel.



### Topologie de surface de revêtements composites Inconel 625-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> réalisés par projection plasma

(Surface topology analysis of plasma sprayed Inconel 625-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coating)

Gaurav Prashar, Hitesh Vasudev, School of Mechanical Engineering, Lovely Professional University, Phagwara, IN  
Materials Today Proceedings, mars 2021

Ce travail de recherche se concentre sur l'étude de la topologie de surface d'un revêtement composite Inconel625-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (IN625-Al) réalisé par projection plasma (PS). L'article présente les caractéristiques microstructurelles et la microdureté des revêtements composites développés. L'analyse SEM/EDAX a été utilisée pour mesurer la taille moyenne des particules projetées, la composition élémentaire et les aspects morphologiques de surface du revêtement composite. L'analyse EDS du revêtement révèle une distribution uniforme des éléments majeurs tels que Al, Ni, Cr, Mo et Nb dans la matrice composite. La microstructure du revêtement IN625-Al pendant la projection plasma présente des états entièrement fondus, des particules non fondues, des pores et des vides indiquant les caractéristiques typiques de la PS. La micro-dureté et la porosité du revêtement ont également été déterminées. La valeur moyenne de la dureté et de la porosité du revêtement IN625-Al est de 880Hv0.2 et 1-2.5%.

### Effet de la puissance de projection sur la morphologie des dépôts d'YSZ et sur la microstructure des barrières thermiques

(Effect of spraying power on the morphology of YSZ splat and micro-structure of thermal barrier coating)

Yuyan Wang, Yuexing Han, School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, CN  
Ceramics International, 24 March 2021

Des barrières thermiques ont été préparés par pulvérisation par plasma atmosphérique de zircone partiellement stabilisée à l'oxyde d'yttrium. Les analyses ont permis de montrer que la puissance de pulvérisation modifiait de façon conséquente la morphologie des dépôts. Dans le cas où la puissance est trop faible, des fissures et des pores horizontaux sont plus susceptibles de se produire, et lorsque la puissance est trop élevée, des fissures verticales sont susceptibles de se produire.

### Mesure et modélisation des contraintes résiduelles en projection thermique: étude de l'influence du sablage, de la température et de la cinématique

Vincent Lasseur, Université de Limoges, Matériaux Céramiques et Traitements de Surface

Thèse de doctorat – Date de soutenance 03/06/2020, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02896541/document>

L'étude du procédé de projection plasma (APS), de l'écoulement diphasique à la formation du dépôt en passant par l'étude de l'étalement des particules à l'impact, est aujourd'hui connu. De ces nombreuses études, résulte une connaissance des paramètres et conditions menant à la formation d'un dépôt présentant une adhérence, une homogénéité et une compacité maîtrisées. Cependant, ces différentes études ne sont pas en mesure d'expliquer totalement la délamination et l'endommagement de certains dépôts. Afin d'expliquer ces phénomènes, l'étude des contraintes résiduelles et donc de l'histoire thermique et mécanique des dépôts s'impose. Dans cette optique, les travaux de cette thèse se sont



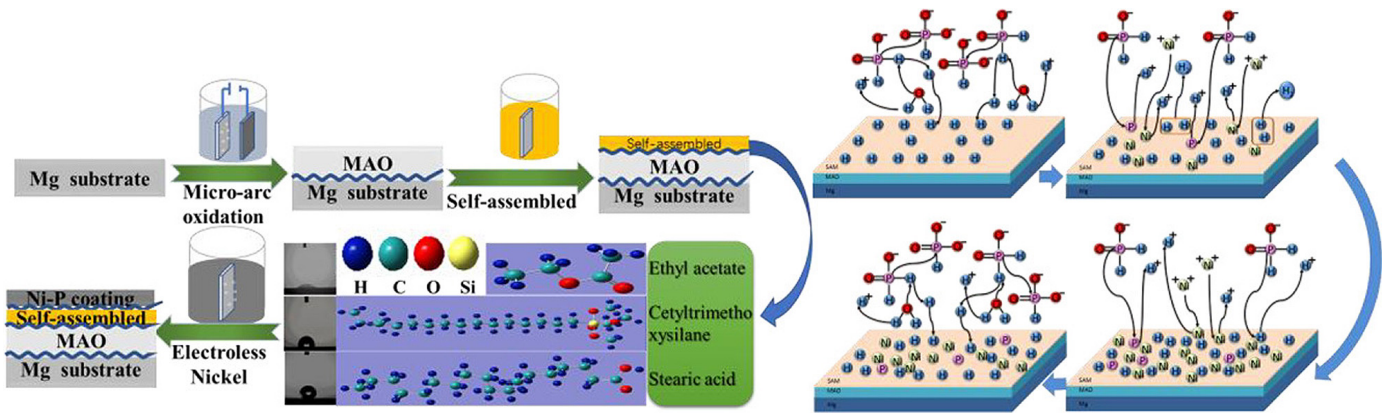
articulés autour de trois objectifs distincts et complémentaires : Réaliser un état de l'art le plus exhaustif possible de cette problématique, Proposer un modèle numérique capable de rendre compte de l'état de surface et des contraintes induits par le procédé de sablage, Proposer une étude expérimentale du développement des contraintes lors de la réalisation d'un dépôt. Plus spécifiquement, ce travail est consacré à l'étude de la création et de l'évolution des contraintes à chaque étape clef de la réalisation d'un dépôt de zircone yttrée ( $ZrO_2 - 8\% Y_2O_3$ ) sur substrats Almen (SAE 1070). Les résultats obtenus au cours de cette étude permettent une meilleure compréhension de l'influence des étapes clefs de la projection thermique sur la génération des contraintes. Ainsi le procédé de sablage souvent négligé apparaît comme crucial à mesure que le dépôt croît en épaisseur.

## TRAITEMENT DES ALLIAGES LEGERS

**Effet de l'hydrophobie sur la résistance à la corrosion de revêtements composites nickel / auto-assemblage / MAO sur alliages de magnésium** (Effect of hydrophobicity on the corrosion resistance of microarc oxidation/self-assembly/nickel composite coatings on magnesium alloys)

*Wei Shang, Fang Wu, Shiquan Jiang, Guangxi Key Laboratory of Electrochemical and Magnetochemical Function Materials, College of Chemistry and Bioengineering, Guilin University of Technology, CN*  
Journal of Molecular Liquids, Pub Date : 2021-02-09

Un film protecteur obtenu par oxydation microarc (MAO) a été préparé à la surface d'un alliage de magnésium en utilisant la technologie d'oxydation microarc. Trois types de films avec différentes hydrophobicités ont été préparés sur la surface du film MAO par la technologie self-assembly (SAM) en utilisant différentes molécules. Les tests d'angle de contact statique ont déterminé que les angles de contact des films étaient de  $33,71^\circ$ ,  $93,99^\circ$  et  $140,46^\circ$ . Ensuite, des revêtements composites à trois couches ont été préparés avec succès par déposition de nickel chimique (EN). Des analyses SEM, EDS, XRD et XPS ont été utilisées pour caractériser la morphologie de surface et la composition des échantillons. Les courbes Mott-Schottky (M-S) caractérisent les propriétés semi-conductrices des échantillons. Le test électrochimique évalue la résistance à la corrosion des échantillons. Les résultats montrent que les pics caractéristiques de Ni ont été détectés sur les surfaces des trois revêtements composites à trois couches, et qu'une couche de nickel chimique a été obtenue avec succès sur la surface des couches MAO/SAM avec une hydrophobicité différente. Les auteurs ont pu constater que l'hydrophilie de la couche auto-assemblée était bonne et que moins il y avait de défauts morphologiques des revêtements composites, plus la couche de nickel chimique était épaisse. Les revêtements composites dont la couche auto-assemblée est la plus hydrophobe ne présentent que des caractéristiques semi-conductrices de type N, tandis que les deux autres présentent des caractéristiques semi-conductrices doubles de type Psingle bondN. Les revêtements composites à trois couches MAO/SAM/EN assurent une meilleure protection du substrat en alliage de Mg, mais à mesure que l'hydrophobie de la couche auto-assemblée augmente, la résistance à la corrosion du revêtement composite diminue. Le mécanisme de réaction du dépôt prouve que le film hydrophile est plus propice au nickelage chimique. Les simulations de la dynamique moléculaire montrent que la liaison des trois molécules diminue progressivement. Les résultats théoriques sont en accord avec les résultats expérimentaux.

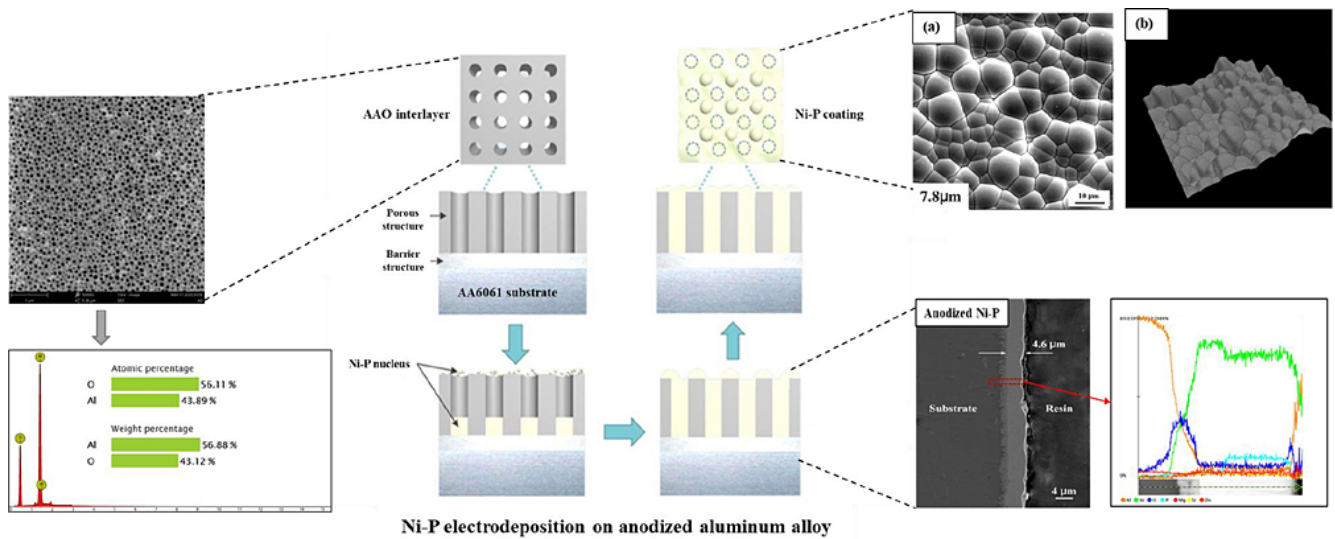


**Propriétés anticorrosives et tribologiques d'un film de carbone amorphe électrodéposé sur les alliages d'aluminium AA2024-T3** (Interfacial effects on anticorrosive and tribological properties of electrodeposited amorphous carbon film on AA2024-T3 aluminum alloys using ethanol as carbon source)  
*L. S. Aleixo, M. R. Ortega, LABECORR, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR*  
Surfaces and Interfaces, Volume 22, February 2021

Des films de carbone amorphe (a-C) ont été préparés par électrodéposition sur AA2024-T3 et proposés comme films anticorrosifs. L'éthanol (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH) a été utilisé comme source de carbone et l'électrodéposition a été réalisée sous une tension constante de 1200 V ou 800 V pendant 3, 8 et 24 heures en utilisant une barre de graphite comme anode et un alliage d'aluminium AA2024-T3 comme substrat. La morphologie, la structure et les propriétés chimiques des films a-C ont été étudiées en utilisant la spectroscopie Raman, la MEB et la spectroscopie XPS. Les spectres Raman de films électrodéposés à 1200 V sur 24 heures ont montré la présence de pics caractéristiques pour les films a-C, les bandes D et G typiques à 1373 cm<sup>-1</sup> et 1574 cm<sup>-1</sup>, ce qui prouve la formation d'un film de carbone amorphe. Des mesures électrochimiques ont été effectuées afin d'évaluer le comportement anticorrosif du film a-C sur l'alliage AA2024-T3. L'effet interfacial (alliage AA2024-T3 / film a-C / électrolyte) sur le comportement électrochimique montre un caractère de blocage des pores du film de carbone amorphe, ce qui atteste d'une résistance due aux produits de corrosion dans les microfissures du film.

**Influence des pré-traitements sur les propriétés physicochimiques de revêtements Ni-P sur aluminium** (Influence of pretreatments on physicochemical properties of Ni-P coatings electrodeposited on aluminum alloy)  
*Yuxin Wang, Linlin Guan, Zhen School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, CN*  
Materials & Design, Volume 197, 1 January 2021

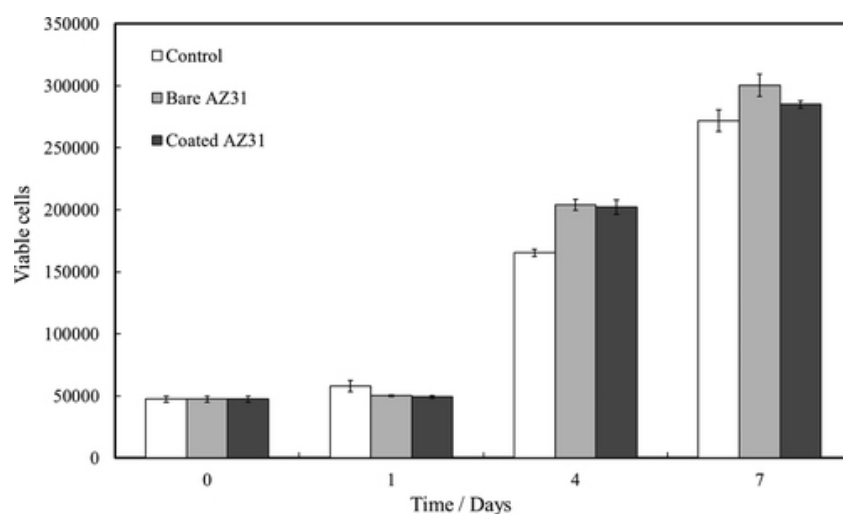
L'aluminium nécessite des revêtements protecteurs pour prévenir la corrosion. Le substrat en alliage d'aluminium a généralement besoin d'un prétraitement pour minimiser, stabiliser ou convertir l'oxyde de surface afin d'obtenir une adhérence adéquate du revêtement. Le revêtement Ni-P obtenu par électrodéposition est un candidat prometteur comme revêtement protecteur en raison de sa facilité de fabrication et de ses excellentes performances. Cette étude aborde de manière exhaustive un prétraitement de galvanisation et d'anodisation sur un alliage d'aluminium 6061, et analyse leur influence sur les revêtements Ni-P déposés par électrolyse. La structure cristalline et la composition élémentaire ont été étudiées pour les couches intermédiaires et les revêtements Ni-P ultérieurs, tandis que les morphologies de la surface et de la section transversale du revêtement ont également été déterminées. Les résultats ont révélé une composition de phase similaire pour des revêtements Ni-P prétraités différemment, tandis qu'une morphologie distincte des caractéristiques des nodules a été observée pour le revêtement Ni-P anodisé. Il a été constaté que les revêtements Ni-P anodisés avaient les meilleures performances en raison de l'adhérence supérieure du revêtement, de sa résistance à l'usure et à la corrosion. La porosité plus élevée de la couche intermédiaire anodisée conduit à l'obtention de cristaux nodulaires de Ni-P plus denses. En revanche, les revêtements Ni-P zingués ont subi de graves dommages dus à l'usure en raison de leur mauvaise microstructure et de la faiblesse de la couche intermédiaire de zinc. Enfin, l'influence du prétraitement d'anodisation sur la microstructure du revêtement est examinée, et un modèle est proposé pour l'électrodéposition au Ni-P utilisant le prétraitement d'anodisation.



## Anodisation dure d'un alliage de magnésium AZ31 pour applications biomédicales (Tuning of the Mg Alloy AZ31 Anodizing Process for Biodegradable Implants)

Andrea Zaffora, Francesco Di Franco, Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Palermo, IT  
 ACS Appl. Mater. Interfaces 2021, 13, 11, 12866–12876

Des revêtements ont été déposés sur un alliage magnésium AZ31 par un procédé d'anodisation dure dans un électrolyte chaud contenant du phosphate de glycérol (sels de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> et K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Les conditions d'anodisation ont été optimisées, maximisant la résistance à la corrosion estimée par des mesures d'impédance effectuées dans la solution de Hank à 37°C. Un traitement de recuit post-anodisation (350°C pendant 24 h) a permis d'améliorer encore la résistance à la corrosion des revêtements. Ces derniers contiennent principalement du phosphate de magnésium d'après une analyse par spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie et des analyses Raman. Les mesures gravimétriques ont révélé un taux de dégagement d'hydrogène dans les limites acceptables pour envisager une application de l'AZ31 dans les dispositifs biomédicaux. Les tests de cytotoxicité ont également démontré la biocompatibilité des échantillons d'AZ31 traités.



## Situation et voies de développement dans le domaine des implants dentaires : matériaux et traitements (Modifying an Implant: A Mini-review of Dental Implant Biomaterials)

Oliver K. Semisch-Dieter, Andy H. Choi, School of Life Sciences, University of Technology Sydney, Ultimo, AU

BioIntegration, janvier 2021, <https://bio-integration.org/wp-content/uploads/2021/03/bioi20200034.pdf>

Il est de plus en plus important que les matériaux utilisés dans les implants dentaires présentent et conservent des propriétés mécaniques, biologiques et, plus récemment, esthétiques favorables à long terme. Cette revue vise à évaluer les biomatériaux utilisés dans les implants dentaires modernes, en présentant leurs propriétés et en se concentrant sur les modifications visant à améliorer ces biomatériaux. L'accent est mis sur le titane (Ti) et la zircone, en raison de leur prévalence en dentisterie implantaire. En outre, les nouveaux revêtements et matériaux susceptibles d'être utilisés sont examinés : hydroxyapatite, graphène, verres bioactifs, polymères, composites céramiques et magnésium. Un biomatériau dentaire efficace doit s'ostéo-intégrer, maintenir l'intégrité structurelle, résister à la corrosion et aux infections, et ne pas provoquer de toxicité systémique ou de cytotoxicité. Les matériaux actuels, tels que le verre bioactif, offrent une protection contre la formation de biofilms et, lorsqu'ils sont combinés à un alliage de titane et de zirconium (TiZr), ils offrent une combinaison fiable de propriétés pour représenter une alternative compétitive. D'autres études cliniques à long terme seront nécessaires pour éclairer le développement des matériaux de prochaine génération.

	Benefits	Concerns	Anticipated future directions
Ti	Biocompatible, fatigue and corrosion resistant, and high mechanical strength [1, 5, 6]	Low wear resistance, potential Ti ion cytotoxicity [7–10]	Alloys (e.g. TiZr), surface modification (topography and coatings) [23, 25, 27, 35, 36]
zirconia	Natural tooth-like color, wear-resistant, biocompatible [39, 40]	Brittle, biofilm formation, cytotoxicity [45, 57, 58]	Novel methods for surface topography modification [54–56]
Ta	High bioactivity, similar mechanical properties to Ti	High density, difficult to manufacture	Ta oxide film coating [34]
Graphene	High mechanical strength and stability	Biocompatibility, production efficacy and cost	Nanotube coating [66]
PEEK	Simulate cortical bone, reduced effects of stress shielding	Low fracture resistance	Further research for clinical evidence [71, 72]
Magnesium composite	Biocompatible [74]	Low corrosion resistance, hydrogen evolution from degradation [75, 76]	Refining composition of alloy/composite to enhance mechanical strength and bioactivity [83–92]

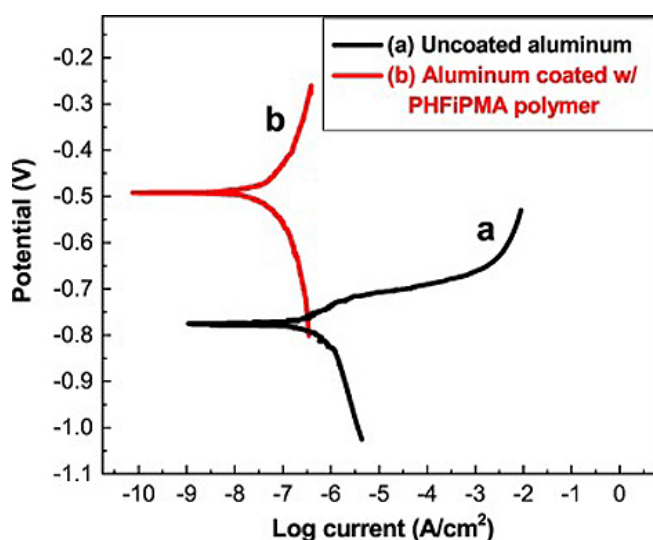


# PEINTURES / REVETEMENTS ORGANIQUES

**Nouveau revêtement polymère réticulé fluoré pour la protection contre la corrosion d'un alliage d'aluminium** (Synthesis and evaluation of a novel fluorinated poly(hexafluoroisopropyl methacrylate) polymer coating for corrosion protection on aluminum alloy)

Waleed K. Yaseen, Sreekar B. Marpu, University of North Texas, Department of Chemistry, Denton, US  
Surface and Coatings Technology, Volume 404, 25 December 2020

Des films de poly(méthacrylate d'hexafluoroisopropyle) réticulé hydrophobes et résistant à la corrosion ont été préparés avec succès par photopolymérisation simple. Les matériaux initiaux sont : un monomère de méthacrylate de 1,1,1,3,3,3-hexafluoroisopropyle, un photoinitiateur d'hydroxycyclohexylphénylcétone et un réticulant de poly(éthylèneglycol diacrylate). Le polymère fluoré a été déposé sur un substrat en alliage d'aluminium (AA 3003) par dépôt à la goutte (drop-coating). Le revêtement polymère s'avère stable sur une période de 60 jours lorsqu'il est exposé à une solution aqueuse de NaCl à 3,5%, comme le montre les tests OCP (potentiel en circuit ouvert). Le revêtement présente une protection élevée contre la corrosion, mesurée par (mesure potentiodynamique), avec une réduction de 90% de la densité de courant de corrosion pour l'alliage d'aluminium revêtu par rapport au substrat nu. La densité de courant de corrosion est de  $0,065 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pour l'alliage revêtu contre  $0,708 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  pour l'alliage non revêtu. Des analyses FTIR ont été utilisées pour suivre le processus de polymérisation. Les mesures d'hydrophobie (angle de contact dynamique) montrent que le polymère fluoré permet de passer de  $65^\circ$  à  $100^\circ$  (substrat non revêtu/revêtu). Des mesures de l'angle de contact avant et après traitement avec un acide fort ont été effectuées pour confirmer la résistance chimique du revêtement. La stabilité thermique du polymère fluoré a été mesurée à l'aide d'une analyse thermogravimétrique montrant une stabilité thermique allant jusqu'à  $200^\circ\text{C}$ .

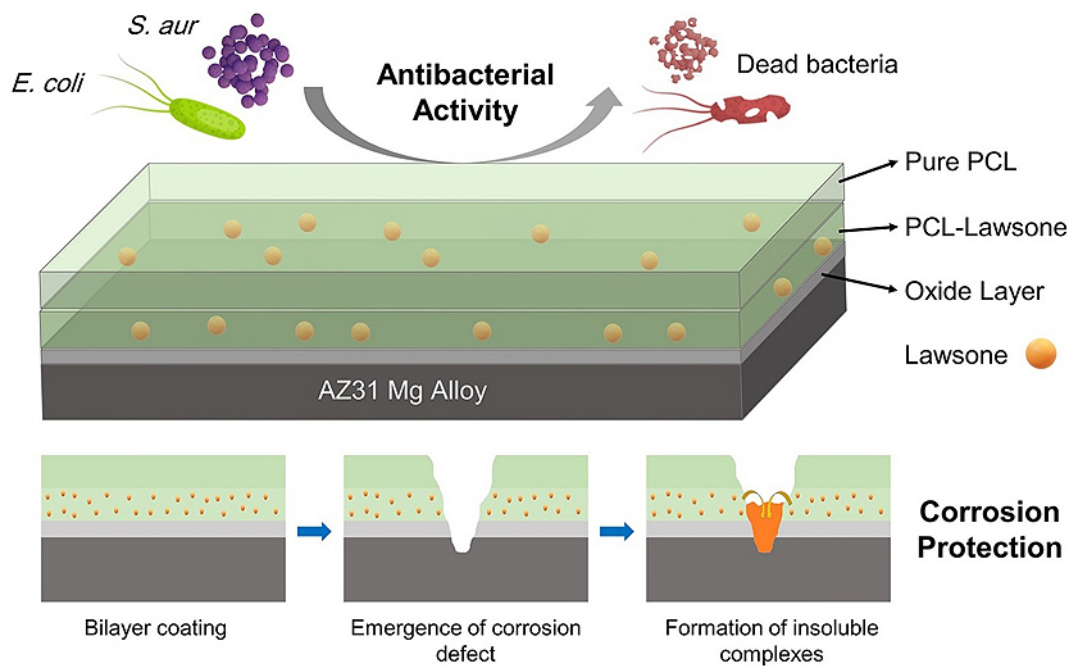


**Revêtement polymère incorporant du henné anticorrosion et antibactérien pour la protection des alliages de Mg à usage biomédical** (A multifunctional polymeric coating incorporating lawsone with corrosion resistance and antibacterial activity for biomedical Mg alloys)

Hamid Asadi, Bavithira Suganthan, University of Georgia, Athens, US  
Progress in Organic Coatings, Volume 153, April 2021

L'application clinique des alliages à base de magnésium (Mg) comme implants orthopédiques est fortement limitée par leur taux de corrosion rapide dans l'environnement physiologique. Dans cette étude, un revêtement polymère anticorrosion à base de polycaprolactone (PCL) et de henné (lawsone) a été

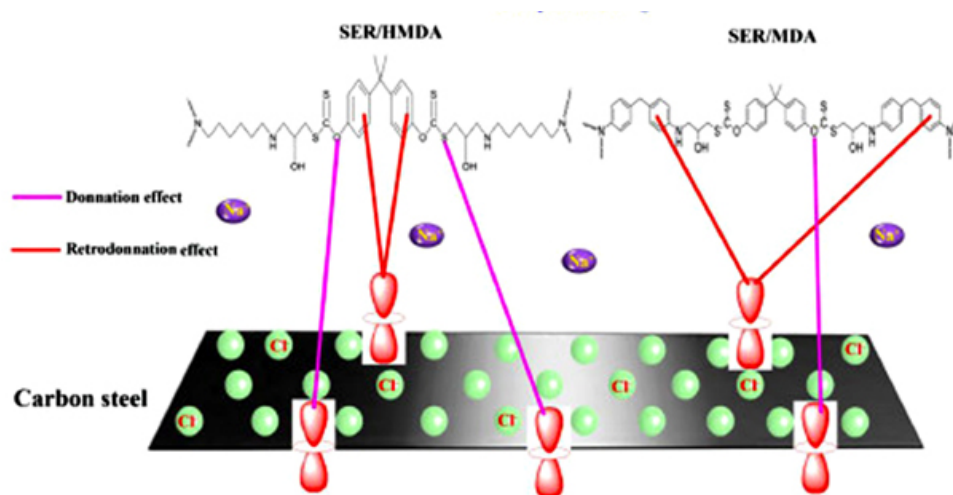
préparé sur un alliage AZ31 Mg pour améliorer sa résistance à la corrosion. Le henné a été incorporée au revêtement en tant qu'inhibiteur de corrosion afin d'améliorer la protection passive du revêtement PCL grâce à sa forte capacité de chélation du  $Mg^{2+}$ . Les propriétés des revêtements ont été évaluées par des techniques électrochimiques et des tests d'immersion in vitro, et les résultats ont démontré une amélioration remarquable de la résistance à la corrosion de l'alliage de Mg. De plus, l'incorporation de henné a conféré au revêtement une forte activité antibactérienne contre les souches bactériennes *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*. En outre, le revêtement fabriqué était cytocompatible (viabilité > 85%) avec les cellules ostéoblastes fœtales humaines. Les résultats de ce travail ont mis en évidence le grand potentiel de cet inhibiteur de corrosion naturel pour la fabrication de revêtements anticorrosion, antibactériens et biocompatibles sur des implants biodégradables à base de Mg.



## Nouveaux polymères composites époxy pour la protection contre la corrosion des aciers au carbone (New epoxy composite polymers as a potential anticorrosive coatings for carbon steel in 3.5% NaCl solution: Experimental and computational approaches)

Rachid Hsissou, Fouad Benhiba, Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, MA  
Chemical Data Collections, Volume 31, February 2021

Dans ce document, une résine époxy SER (Sulfur Epoxy Resin) réticulé par l'hexaméthylène diamine (HMDA) et la méthylène diamine (MDA) ont été étudiés comme des revêtements anticorrosifs potentiels pour augmenter la protection des aciers au carbone dans une solution de chlorure de sodium (3,5% NaCl) en utilisant une analyse électrochimique et une analyse théorique. Les courbes de polarisation ont montré que les revêtements présentaient une efficacité maximale (97,9%) lorsque la résine est réticulée par du MDA. Les résultats de l'analyse au microscope électronique à balayage montrent que les polymères SER/HMDA et SER/MDA peuvent retarder de manière significative l'attaque des ions chlorure. Les résultats théoriques sont en conformité avec les données expérimentales.

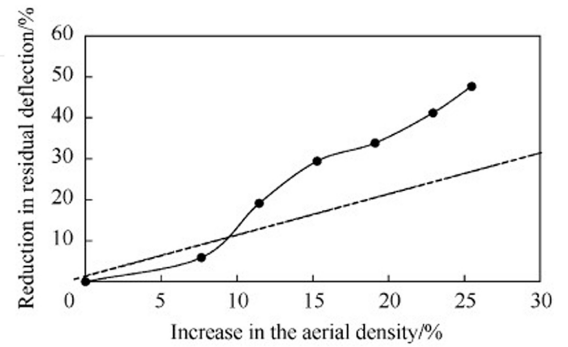


## Évaluation de l'efficacité de revêtements polymères pour réduire la déformation de plaques d'acier induite par explosion (Evaluation of effectiveness of polymer coatings in reducing blast-induced deformation of steel plates)

Damith Mohotti, P. L. N. Fernando, The University of New South Wales, Canberra, AU  
Defence Technology, [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914720304761](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914720304761), Available online 28 November 2020,

L'incorporation d'élastomères tels que les polymères dans les structures de protection pour résister à des charges dynamiques énergétiques élevées a suscité un intérêt considérable. L'objectif principal de cette étude est d'examiner l'influence d'un revêtement en polyuréthane sur la résistance des plaques d'acier aux explosions. Ainsi, des plaques d'acier revêtues de polyuréthane ont été testées sous des charges d'explosion produites par la détonation de 1 kg de charges sphériques de nitrométhane, à une distance de 150 mm. Des plaques en acier doux (XLERPLATE 350) et en acier à haute résistance (BIS80) d'une épaisseur de 10 mm ont été recouvertes de polyuréthane sur des épaisseurs de 6 mm et 12 mm, soit sur la face avant (face à la charge), soit sur la face arrière. Les profils de déformation ont été mesurés par balayage 3D. Des simulations numériques ont été réalisées à l'aide d'un codage LS-DYNA. Le comportement de l'acier et de la polyuréthane en fonction de la déformation a été représenté par modélisation de Johnson-Cook et de Money-Rivlin. Les modèles numériques ont été validés par comparaison avec résultats expérimentaux et ont ensuite été utilisés dans l'étude paramétrique ultérieure pour étudier l'épaisseur optimale du revêtement. Les résultats montrent que l'épaisseur optimale de la couche de polyuréthane sur la face arrière était de 7 à 15 mm pour l'acier BIS80 et que cela permettait de réduire la déformation de la plaque de 8 à 30 % par rapport aux plaques non revêtues.

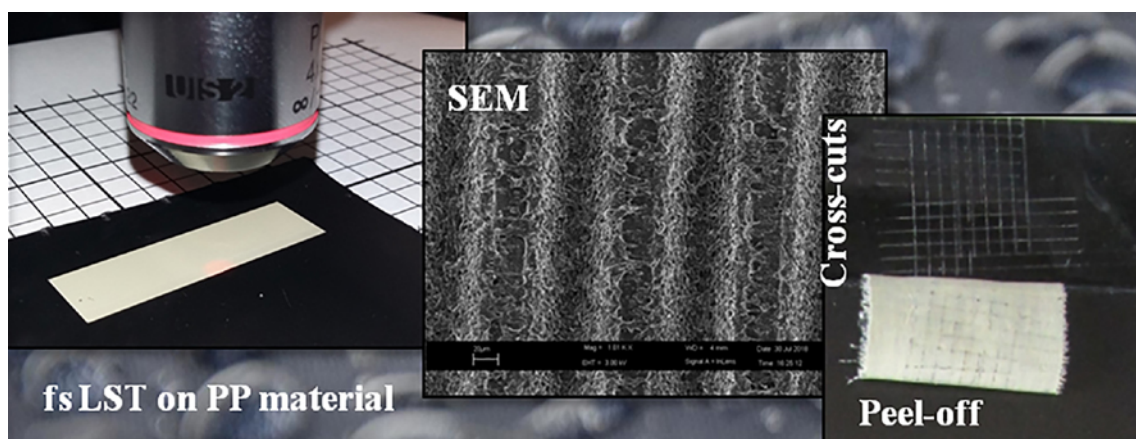
Polyurea coating thickness/mm	Aerial density/(kg·m <sup>-2</sup> )	Residual deformation at the centre of the plate/mm
Uncoated	78.5	34
6	84.5	32
9	87.5	27.5
12	90.5	24
15	93.5	22.5
18	96.5	20
20	98.5	17.8



## Texturation par laser femtoseconde de la surface d'un copolymère polypropylène pour des applications de peinture dans le secteur automobile (Femtosecond laser surface texturing of polypropylene copolymer for automotive paint applications)

Ambra Guarnaccio, Claudia Belviso, Istituto di Struttura della Materia - CNR (ISM-CNR), Sede di Tito Scalo, IT  
Surface and Coatings Technology, Volume 406, 25 January 2021

Au cours des dernières décennies, les polymères ont progressivement remplacé les métaux et les alliages métalliques dans les applications technologiques pour lesquelles, par exemple, la légèreté, la rentabilité, la résistance chimique et la flexibilité des composants des machines de précision sont nécessaires. En outre, la modification des surfaces polymères par des traitements physiques et/ou chimiques suscite une grande attention. Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est l'amélioration des applications spécifiques du polypropylène dans le secteur automobile en induisant des changements dans les morphologies de sa surface. La technique de texturation de surface par laser est particulièrement intéressante en raison de sa capacité à produire des modifications morphologiques et, par conséquent, physiques et/ou chimiques sur la surface des polymères. Une source laser femtoseconde titane-saphir (ou lasers Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou Ti:Saphir) a été utilisée afin d'étudier toute variation des propriétés de surface due au réglage fin de l'énergie de l'impulsion laser et de la distance du faisceau laser focalisé par rapport à la cible de l'échantillon. Les échantillons traités au laser ont été étudiés par microscopie à balayage électronique, spectroscopie  $\mu$ -Raman et mesures de l'angle de contact. L'analyse montre que les structures créées permettent de conserver les caractéristiques chimiques de la surface du polypropylène mais modifient ses propriétés de mouillage. Ces résultats ont été appliqués avec succès pour activer les surfaces du polypropylène en vue de l'application ultérieure de peinture. Ce traitement de surface par laser femtoseconde est une méthode alternative aux traitements à la flamme couramment utilisés sur les composants automobiles, améliorant l'adhésion de la peinture sur les surfaces polypropylènes.

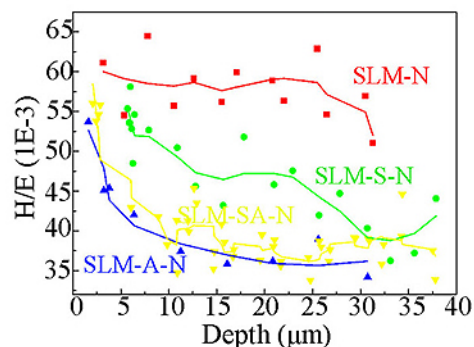
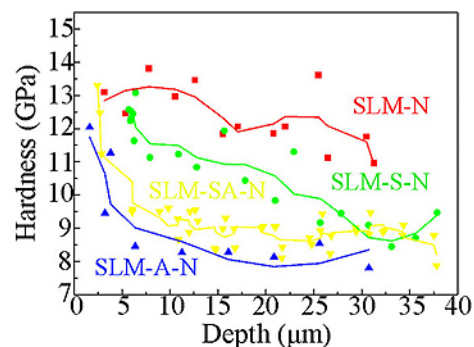
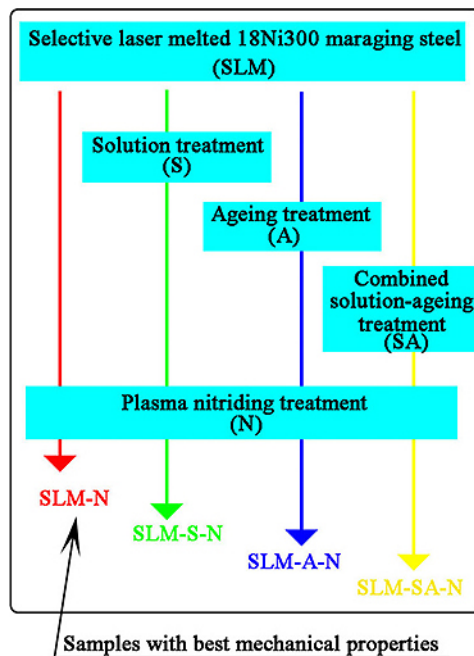


# FABRICATION ADDITIVE

## Amélioration des propriétés mécaniques d'un acier maraging 18Ni300 élaboré par SLM (Improving surface mechanical properties of the selective laser melted 18Ni300 maraging steel via plasma nitriding)

Y. Hong, D. D. Dong, *The Key Lab of Guangdong for Modern Surface Engineering Technology, Guangzhou, CN*  
Surface and Coatings Technology, Volume 406, 25 January 2021

L'amélioration de la dureté et de la résistance à l'usure d'un acier maraging 18Ni300 élaboré par fusion sélective par laser représente un défi important. Dans ce travail, la nitruration au plasma a été utilisée pour améliorer les propriétés mécaniques de surface de ce type d'acier. Les comportements d'échantillons d'acier non traité et d'échantillons traités thermiquement ont été analysés par caractérisations de la microstructure et des propriétés ainsi que des calculs de simulation. Les résultats montrent que la dureté et la résistance à l'usure de tous les échantillons ont été considérablement améliorées par une couche nitrurée constituée d'une couche blanche brillante riche en N à l'extérieur et d'une couche de diffusion riche en Mo à l'intérieur. Parmi tous les échantillons nitrurés, l'échantillon directement nitruré sans traitement thermique possède les meilleures propriétés mécaniques, qui sont étroitement liées à une plus forte ségrégation de Mo et à une nouvelle structure de nitruration induite par la fabrication additive. La nouvelle structure de nitruration est une structure lamellaire entrelacée constituée de lamelles  $\gamma\text{N}$  grossières et de lamelles  $\gamma\text{N}$  fines dans la matrice  $\alpha\text{N}$  (orientation typique de Kurdjumov-Sachs entre  $\alpha\text{N}$  et  $\gamma\text{N}$ ). Par rapport à la structure de nitruration traditionnelle des aciers maraging, la nouvelle structure présente de meilleures propriétés et favorise la formation d'un film autolubrifiant Fe-O-Si. Les résultats suggèrent que la nitruration directe de l'échantillon sans traitement thermique est la meilleure méthode pour obtenir les meilleures propriétés mécaniques de surface.

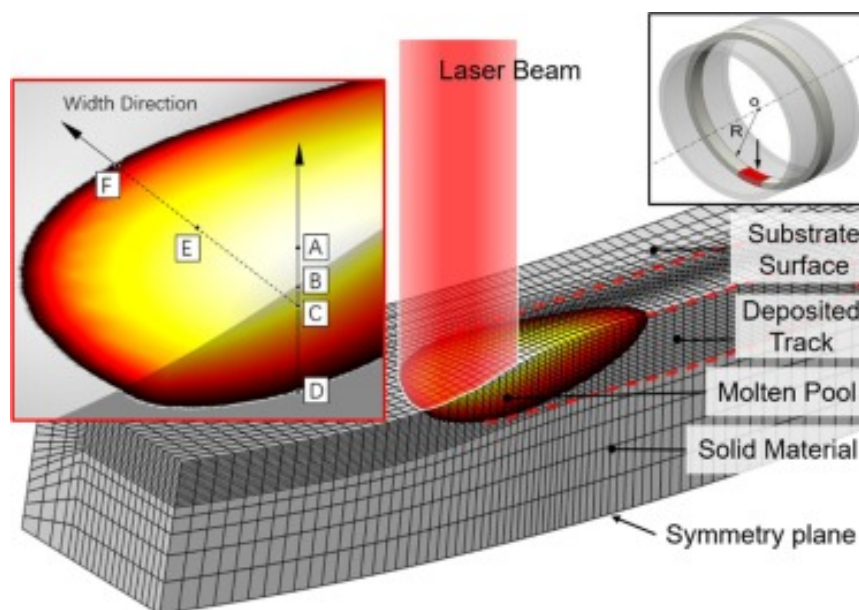




## Comportement thermique et dynamique des fluides d'un bain de fusion pendant la fabrication additive par laser d'un revêtement en acier inoxydable 316L sur la surface intérieure d'un tube en acier (Thermal behavior and fluid dynamics within molten pool during laser inside additive manufacturing of 316L stainless steel coating on inner surface of steel tube)

Xinyu Shi, Dongdong Gu, Jiangsu Provincial Engineering Laboratory for Laser Additive Manufacturing of High-Performance Metallic Components, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (NUAA), CN  
Optics & Laser Technology, Volume 138, June 2021

Dans cette étude, un modèle transitoire à échelle mésométrique d'un procédé de fabrication additive par laser LIAM (Laser Inside Additive Manufacturing) a été proposé en utilisant la méthode des volumes finis (FVM). L'objectif est d'étudier l'évolution de la morphologie du bain de fusion. La transition de phase, la topographie du substrat incurvé, la variation des propriétés thermo-physiques et les forces interfaciales ont été prises en compte. Le comportement thermique et la dynamique des fluides dans le bain de fusion pendant la réalisation du revêtement en acier inoxydable 316L sur tube en acier A2 ont été analysés par une approche numérique. Les résultats révèlent que l'écoulement de la masse fondue entraîné par le gradient de température favorise le transfert de chaleur et de masse dans le sens de la largeur et limite le transfert de chaleur dans le sens de la profondeur. En comparant les cas avec et sans prise en compte de la dynamique des fluides, on peut observer que l'écoulement de la matière fondue entraîne une plus grande taille en largeur et une plus petite taille en longueur du bain de fusion. La puissance du laser joue un rôle important dans la taille du bain de fusion. Avec l'augmentation de la puissance du laser de 1000 W à 1400 W, la vitesse de la masse fondue dans le bain de fusion augmente, ce qui favorise l'effet de transfert de chaleur et de masse. La conséquence est l'obtention d'un plus grand bain de fusion. De plus, la variation de la puissance du laser affecte de manière significative la dynamique des fluides du transfert de chaleur et de masse. Ainsi, le rapport profondeur/largeur diminue d'abord et montre ensuite une tendance à l'augmentation. Pendant ce temps, la propagation de la matière fondue dans la direction longitudinale du bain de fusion est limitée par la configuration incurvée du substrat, ce qui entraîne un mouvement restreint de la matière fondue et une mouillabilité limitée du bain de fusion. Cette étude permet de mieux comprendre le comportement thermique et la dynamique des fluides dans le bain de fusion pendant le procédé LIAM. Elle montre un fort potentiel pour une stratégie basée sur la science pour un traitement de surface interne de haute qualité.



### **Réalisation d'un revêtement multicouche Ni-Co nanocristallin par fabrication additive électrochimique** (Ultra-low-power preparation of multilayer nanocrystalline Ni-Co binary alloy coating by electrochemical additive manufacturing)

Fan Zhang, Zhengjun Yao, College of Material Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, CN  
Surface and Coatings Technology, Volume 403, 15 December 2020

En utilisant le principe de la fabrication additive électrochimique (ECAM), un revêtement nanocristallin en alliage binaire Ni-Co a été préparé sur la surface d'un substrat en acier. Le revêtement nanocristallin obtenu présente une structure multicouche régulière. Le procédé ECAM permet de limiter efficacement le temps de croissance du noyau cristallin et de préparer des revêtements nanocristallins Ni-Co avec une consommation d'énergie ultra-faible ( $5,75 \times 10^{-3}$  W). En outre, lorsque la teneur en Co dans le revêtement augmente, le revêtement passe d'une structure monophasée FCC à une structure multiphasée FCC + HCP. Enfin, le test de performance du revêtement a permis de conclure que plus la teneur en Co du revêtement augmentait, plus la dureté augmentait et plus la surface présentait un certain degré d'hydrophobie ( $100^\circ$ - $114^\circ$ ). Le test de corrosion électrochimique montre que le revêtement une meilleure résistance à la corrosion que le substrat en acier nu. À mesure que la teneur en Co augmente, la densité du courant de corrosion du revêtement passe de  $9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  à  $32 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

### **Résistance à la fatigue des dépôts Cold Spray: revêtements uniformes, réparation et fabrication additive** (Fatigue performance of cold spray deposits: Coating, repair and additive manufacturing cases)

Sara Bagherifard, Mario Guagliano - Politecnico di Milano, Department of Mechanical Engineering, Milan, IT  
International Journal of Fatigue, Volume 139, October 2020

Le procédé Cold Spray fait l'objet d'une grande attention pour des applications allant au-delà de sa fonction première de dépôt de couches protectrices. Il a trouvé sa voie pour le dépôt de films minces pour la fonctionnalisation de surface, de revêtements épais pour la réparation, et a montré un fort potentiel pour la fabrication additive. Alors que la projection à froid s'oriente vers des applications plus structurelles, l'évaluation de ses performances sous charge cyclique revêt une importance significative. Les cas des revêtements uniformes, des réparations et de la fabrication additive sont largement abordés dans ce document qui analyse l'état actuel des connaissances sur la contribution de ces divers dépôts sur la résistance à la fatigue. Les perspectives futures pour améliorer l'intégrité structurelle des dépôts et leurs tendances prometteuses sont discutées.

### **Revêtement FA en alliage Ta-Zr sur Ti6Al4V pour la résistance à la corrosion et à l'usure réalisés par laser DED** (Additive manufacturing of tantalum-zirconium alloy coating for corrosion and wear application by laser directed energy deposition on Ti6Al4V)

Jichang Xie, Zhaozhen Huang, Laser Technology Institute, Tiangong University, Tianjin, CN  
Surface and Coatings Technology, Volume 411, 15 April 2021

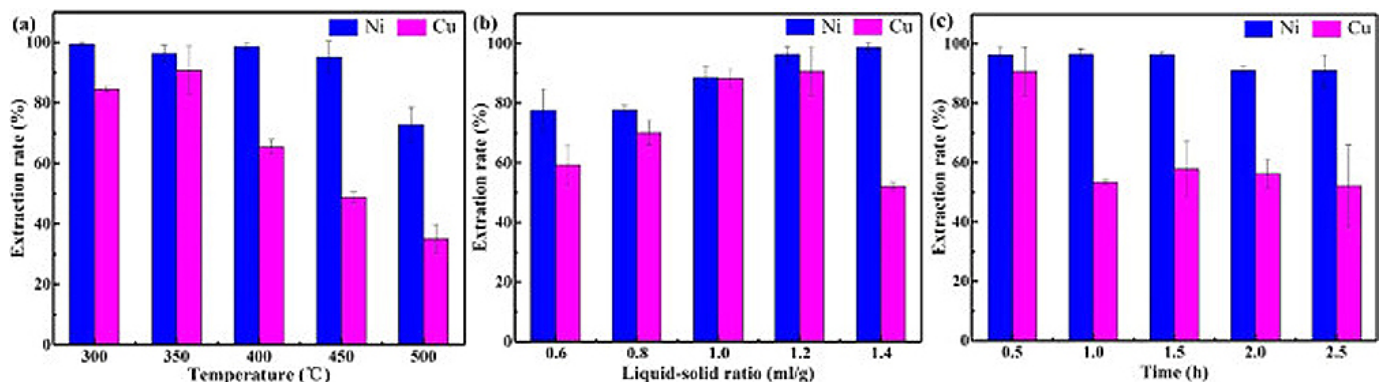
Dans ce travail, un substrat Ti6Al4V a été revêtu d'une couche de poudre d'alliage Ta-Zr (Ta:Zr = 7:3 % poids) par dépôt laser de matière par énergie orientée. Un revêtement Ta-Zr lisse et sans fissures a été obtenu, la teneur en éléments (Ta, Zr, Ti, Al, V) étant répartie selon un gradient. Dans ce revêtement, les grains bcc  $\alpha$ -Ta de forme rectangulaire et d'une taille de 10-20 nm sont entourés par une phase TiZr, la phase  $\text{Al}_3\text{Zr}_4$  se rassemblant principalement dans les joints de grains. La résistance à la corrosion du revêtement et du substrat a été testée par mesure électrochimique et il a été constaté que le revêtement présentait une bonne résistance dans une solution de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 0,5 mol/L. La microdureté moyenne du revêtement est d'environ 600 HV, soit  $\sim 1,7$  fois celle du substrat nu. Les résultats des tests d'usure à température ambiante montrent que la perte de masse du revêtement est environ 60 fois inférieure à celle du substrat nu. Les auteurs soulignent que ce revêtement apporte des éléments importants sur la protection des alliages base Ti mais aussi sur les composants à base de Fe et de Ni avec des couches de transition à gradient fonctionnel.

# GESTION DES DECHETS

## Extraction « verte » du nickel et du cuivre dans des boues de traitements de surface contenant du chrome (Understanding and controlling the key phase transformation for selective extracting Ni and Cu from Cr-containing electroplating sludge)

Qiuyun Huang, Yao Yu, School of Environment and Energy, Guangdong Provincial Key Laboratory of Solid Wastes Pollution Control and Recycling, South China University of Technology, Guangdong, CN  
Surfaces and Interfaces, March 2021

Les boues issues des traitements électrolytiques contenant d'abondants métaux lourds toxiques constituent, à ce titre, une mine de métaux. Cependant, la séparation sélective du Ni et du Cu de ces boues contenant du Cr est un énorme défi pour la récupération du nickel et du cuivre. Dans cette étude, les auteurs proposent une méthode de transformation par chloration et lixiviation à l'eau pour extraire sélectivement Ni et Cu. Les hydroxydes métalliques sont convertis en chlorures (chloration), et la dissociation de l'agglomérat libère les métaux lourds. Sous la régulation de la température,  $\text{CrCl}_3$  se transforme en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  tandis que Ni et Cu existent toujours sous forme de chlorures. Le  $\text{NiCl}_2$  et le  $\text{CuCl}_2$  solubles sont ensuite récupérés par lixiviation à l'eau. Dans les conditions optimales ( $T = 350^\circ\text{C}$ ,  $L/S = 1,2$ ,  $t = 0,5 \text{ h}$ ), 96,3% de Ni et 90,7% de Cu peuvent ainsi être récupérés. Les auteurs soulignent que la lixiviation à l'eau est plus respectueuse de l'environnement que la lixiviation acide. Un test de vieillissement naturel simulé a montré que le résidu pouvait stable pendant un an. Ce travail fournit une nouvelle idée pour l'extraction sélective des métaux lourds contenus dans des déchets solides dangereux.

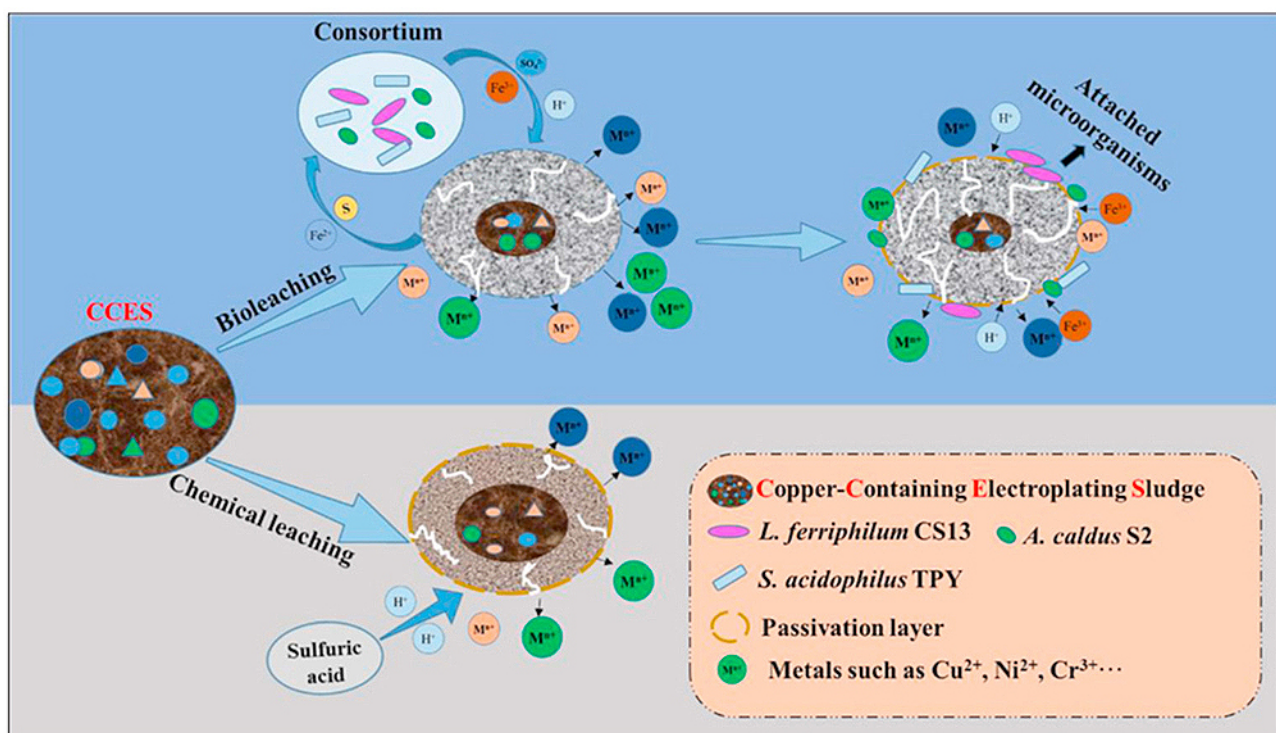


## Biolixiviation de boues de traitements de surface contenant du cuivre (Bioleaching of Copper-Containing Electroplating Sludge)

Jianxing Sun, Wenbo Zhou, School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha, CN  
Journal of Environmental Management, Volume 285, 1 May 2021

La récupération de métaux précieux à partir de déchets solides par biolixiviation est devenue un point clé de la recherche ces dernières années. Ainsi, dans cette étude, différentes stratégies, telles que la lixiviation chimique à l'acide sulfurique et la biolixiviation, ont été adoptées pour extraire le cuivre des boues de TS contenant du cuivre. Les résultats ont montré que, par rapport à la lixiviation chimique, la biolixiviation présente une bien meilleure performance. L'efficacité de la biolixiviation permet d'atteindre un taux de récupération du cuivre de 94,3% (soit 21,1 % de plus que celle de la lixiviation chimique). Les résultats indiquent également que le processus de biolixiviation implique plus de mécanismes et de réactions que celui de la lixiviation chimique. Les tests SEM et EDX ont montré que la morphologie de la surface des boues changeait de manière significative après la biolixiviation. Les tests de toxicité caractéristiques de la lixiviation ont montré que le cuivre ainsi récupéré pouvait être considéré comme une matière première non dangereuse pour l'industrie de la construction par exemple. Par conséquent, l'adoption d'un procédé de lixiviation pour extraire le cuivre des boues de TS permet non seulement de

réduire considérablement la pollution de l'environnement, mais aussi d'utiliser plus efficacement ces déchets comme ressource de matières premières métalliques.

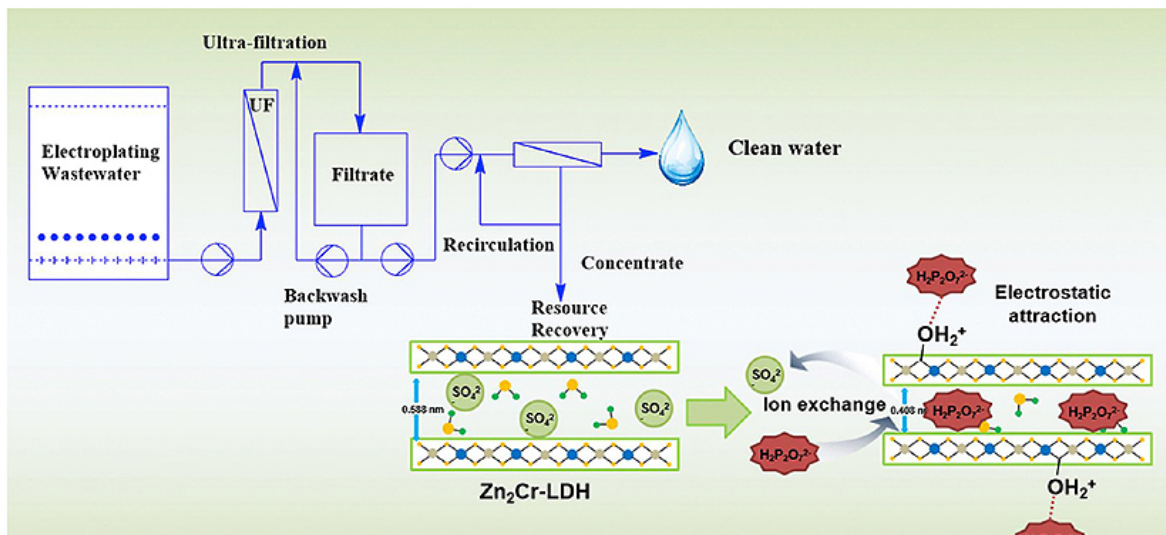


### Exploitation d'hydroxydes doubles lamellaires $Zn_2Cr$ récupérés dans des eaux usées de TS pour l'élimination de pyrophosphates (Recovering heavy metals from electroplating wastewater and their conversion into $Zn_2Cr$ -layered double hydroxide (LDH) for pyrophosphate removal from industrial wastewater)

Dun Fu, Tonni Agustiono Kurniawan, Key Laboratory of Mine Water Resource Utilization of Anhui Higher Education Institute, School of Resources and Civil Engineering, Suzhou University, CN  
Chemosphere, Volume 271, May 2021

Ce travail concerne l'utilisation de LDH (hydroxydes double lamellaires)  $Zn_2Cr$  synthétisés à partir de ressources inutilisées d'eaux usées de TS pour l'élimination du pyrophosphate (PP). Pour adopter une politique de récupération des ressources pour l'assainissement de l'eau, le  $Zn_2Cr$ -LDH a été fabriqué par co-précipitation à partir de métaux issus de déchets de traitements de surface qui étaient restés comme sous-produits industriels des processus de finition des métaux inutilisés. Afin d'examiner l'applicabilité des composés obtenus pour le traitement de l'eau, des expériences par lots ont été menées à des valeurs optimales de  $M^{2+}/M^{3+}$ , pH, temps de réaction et température. Pour comprendre les mécanismes d'adsorption du PP par l'adsorbant, le  $Zn_2Cr$ -LDH a été caractérisé par BET (méthode Brunauer-Emmett-Teller), XRD, FT-IR, SEM/EDS, TEM et XPS avant et après la phase d'adsorption. Une élimination presque complète du PP a été atteinte par le  $Zn_2Cr$ -LDH dans les conditions optimales : 50 mg/L de PP, 1 g/L d'adsorbant, pH 6, et 6 h de réaction. L'échange d'ions a permis de contrôler l'élimination du PP par l'adsorbant dans des conditions acides. L'élimination du PP correspond bien à une cinétique de pseudo-second ordre et/ou au modèle isothermique de Langmuir avec 79 mg/g de capacité d'adsorption du PP. Le  $Zn_2Cr$ -LDH utilisé a été régénéré avec du NaOH avec une efficacité de 86% pour le premier cycle. Les effluents traités ont pu respecter la limite de rejet de <1 mg/L. Globalement, l'utilisation du  $Zn_2Cr$ -LDH comme adsorbant à faible coût pour le traitement des eaux usées a contribué à une politique qui promeut une approche zéro déchet pour une économie circulaire (EC) à travers un paradigme de récupération des ressources.





### Traitement, réutilisation, caractéristiques de lixiviation et évaluation de la génotoxicité de boues d'électrodéposition (Treatment, reuse, leaching characteristics and genotoxicity evaluation of electroplating sludge)

Felipe M. Pinto, Robson A. Pereira, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, BR  
Journal of Environmental Management, Volume 280, 15 February 2021

Les boues d'électrolyse (ES) sont des déchets hautement toxiques car contenant des métaux lourds. Cette étude a examiné les propriétés physicochimiques des résidus des ES, la récupération des métaux présents et la réutilisation de ces métaux pour valoriser ces résidus et éviter la contamination de l'environnement par une élimination qui serait inadéquate. Les auteurs ont pu constater que les ES présentaient une lixiviation élevée dans les systèmes dynamiques, entraînant une contamination du sol et de l'eau importante. La toxicité pour l'organisme testé, en l'occurrence de la laitue, est sévère : diminution de la vitesse de germination des graines et apparition d'aberrations chromosomiques (phénomènes aneugéniques favorisant le développement de tumeurs). Les métaux lourds ont été récupérés par solubilisation, suivie d'une précipitation sélective. La récupération de ces derniers a donc permis de diminuer la toxicité de ES et leur réutilisation dans le processus de TS a permis de réduire les coûts d'élimination, position le procédé comme une alternative économique et écologique intéressante. De plus, les revêtements réalisés par électrodéposition en utilisant la solution récupérée ont montré les très bons résultats dans les tests de corrosion, prouvant ainsi la viabilité de cette méthode.

### Fabrication de biocomposites à base de charges carbonate de calcium pour l'élimination catalytique des métaux lourds dans les effluents industriels d'électrolyse (Fabrication of calcite based biocomposites for catalytic removal of heavy metals from electroplating industrial effluent)

Bulbul Gupta, Arti Mishra, School of Environmental Sciences, Jawaharlal Nehru University, New Delhi, IN  
Environmental Technology & Innovation, Volume 21, February 2021

Le traitement des eaux usées pour l'élimination des métaux lourds suscite beaucoup d'intérêt en raison de l'augmentation de la pollution et de l'appauvrissement des réserves en eau. Dans cet article, une nouvelle actinobactérie, la *Zhihengliuella* sp. ISTPL4, ainsi que différents biomatériaux synthétisés ont été étudiés de manière approfondie pour mesurer leur efficacité dans l'élimination des métaux lourds toxiques, notamment : Cr, Cd, Mn, Ni, Pb, Zn et Fe. Parmi ces métaux lourds, le Cr(VI), plus toxique que les autres ions métalliques et présent à une concentration très élevée (~1000 mg/l dans les effluents de TS), pose de sérieux problèmes. Le traitement du Cr(VI) par la souche ISTPL4 a montré une possible réduction de 20 % du Cr(VI) en Cr(III) à une concentration initiale de 1100 mg/L. De plus, une élimination de plus de 90 % des autres métaux lourds a pu être constatée. La capacité d'adsorption de la bactérie a ensuite été comparée avec des biomatériaux synthétisés, à savoir du biochar seul, du biochar avec une enzyme réductase et du biochar calciné avec une enzyme réductase. Les biomatériaux synthétisés présentent une excellente capacité d'adsorption pour tous les métaux lourds en 10-15 minutes de temps de traitement avec un potentiel de réutilisation de 5 cycles. Le biochar calciné avec l'enzyme réductase a montré une adsorption maximale de Cr. L'isotherme de Langmuir et le tracé de Lineweaver-Burk expliquent au mieux les mécanismes d'adsorption et leur forte affinité pour les métaux lourds. Les analyses FTIR et SEM-EDX



ont confirmé l'implication des groupes carboxyle, hydroxyle et amino dans la biosorption des ions des métaux lourds. Les auteurs avancent que ces biocomposites constituent un excellent biosorbant notamment le biochar calciné avec une enzyme réductase.

