



## EDITO

Par **Véronique VITRY**

La recherche académique s'adapte rapidement aux circonstances mais le temps de la publication est lui bien plus lent. La veille technologique présentée dans cette nouvelle édition d'A3TS sciences et techniques est donc le reflet d'une période qui peut nous sembler déjà lointaine, celle d'avant la crise sanitaire, la distanciation sociale et le confinement. Mais les travaux présentés dans cette édition gardent toute leur pertinence en ce moment.

L'amélioration des procédés en vue de la diminution de l'impact environnemental de nombreuses technologies est une préoccupation importante de l'industrie, mais également des laboratoires de recherche. La voie des liquides ioniques est ainsi explorée en ce sens, pour fournir des alternatives à des procédés tels que le chromage hexavalent, l'utilisation de cyanures en galvanoplastie ou la chromatation. A cela s'ajoute une activité importante dans le domaine du traitement des effluents, qui utilise des techniques de plus en plus diversifiées, telles que le recours à des bactéries, à la congélation ou à des membres à empreinte ionique.

L'amélioration de la résistance à la corrosion des alliages métalliques, qu'il s'agisse d'aluminium, de magnésium ou d'aciers est également un sujet de préoccupation. Les méthodes utilisées pour y parvenir sont diverses et font intervenir des matériaux encore peu utilisés industriellement comme le graphène ou des hydroxydes doubles lamellaires, et des méthodes telles que la superhydrophobicité. Dans ce domaine, notons également des recherches sur des peintures autocicatrisantes ou à structure sandwich.

La résistance à l'usure n'est néanmoins pas en reste, avec des recherches menées sur le titane en vue de diminuer l'érosion par les particules solides, mais également sur des revêtements durs obtenus par PVD et CVD destinés à diminuer l'usure des outils de coupe utilisés pour l'usinage d'alliages spécifiques comme les aciers inoxydables ou les alliages de titane.

Si l'on s'intéresse aux technologies plus qu'aux applications, une tendance marquée des recherches récentes est le recours à des systèmes de revêtements complexes et innovants, qu'il s'agisse de composites, de revêtements duplex ou multicouches, voire de structures sandwiches. Cette tendance est observée autant pour les dépôts chimiques et électrolytiques que pour les revêtements obtenus par projection thermique, pour lesquels l'utilisation de poudres revêtues est une voie de recherche qui prend de l'ampleur.

En ce qui concerne les traitements thermiques et thermochimiques, c'est l'utilisation de lasers et de plasmas qui ressort majoritairement des recherches récentes.

Enfin, notons que les applications des traitements thermiques et de surface dans le secteur biomédical sont déjà bien présentes dans cette revue, qu'il s'agisse de nitruration laser de titane, de projection microplasma sur prothèses ou de méta-biomatériaux. Tablons qu'elles seront encore plus nombreuses dans la prochaine édition de cette revue.

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	
<b>Procédé</b>	<b>Efficienc e améliorée</b>	<b>Propriétés améliorées</b>	<b>Applications améliorées</b>
<b>Revêtements chimiques</b>	Dépôt composite Ni-P-TaC	Revêtements superélastiques Ni-P-nano-NiTi Duplex PS / Ni-Ba-B résistant à la corrosion	
<b>Revêtements électrolytiques</b>	Electrodéposition de Ni-Co assisté par ultrasons et CO <sub>2</sub> supercritique	Adhérence de N-B-TiO <sub>2</sub> Corrosion localisée d'un acier allié 4130 revêtu Ni, Cu et Cd	Ni-Cr résistant à la corrosion par piqûres en solution HBF <sub>4</sub>
<b>Liquides ioniques</b>	Revêtement dur au Cr comparable à ceux par bains d'acide chromique Cu-Zn sur Al remplaçant le procédé au cyanure de zinc	Films composites ZnS:nano-MoS <sub>2</sub> aux propriétés autolubrifiantes	
<b>Traitements thermiques / thermo-chimiques</b>		Traitement duplex assisté plasma (gravure + nitruration) pour micro-motifs durs	Nitruration laser de titane (biomédical) Fontes vermiculaires traitées plasma + laser (automobile)
<b>DLC / dépôts sous vide</b>	PA-CVD pulsé		PVD pour coupe d'inox austénitiques difficiles PVD pour usinage de Ti-6242S et Ti-555 (aéro)
<b>Projection thermique</b>			Intercouches pour cuivre par Cold Spray (nucléaire) Projection microplasma sur Ti (médical)
<b>Traitement des alliages légers</b>		Revêtement sur Ti ↓ érosion Cr trivalent + post-traitement pour tenue corrosion Al	
<b>Peintures</b>		Oxyde de graphène revêtu pour tenue corrosion d'époxy Revêtement époxy bioinspiré pour auto-réparation	
<b>Fabrication additive</b>	WAAM d'un dépôt NiTi sur Ti Finition par cavitation-abrasion	Nitruration et carbo-oxydation de titane post-SLM (↓ usure) TTH post-SLM (↑ fatigue) Laminage post-WAAM	FA de méta-biomatériaux
<b>Traitements des effluents</b>	Congélation-centrifugation d'eaux usées de bains	Adsorption super-haute de nickel	Revalorisation d'eaux usées de nickelage

## Publications

« Les articles dont les liens n'apparaissent pas sont issus d'une recherche sur les serveurs STN. 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

**Impact de l'ajout de nano particules NiTi superélastiques sur les propriétés en flexion de revêtements Ni-P** (Effects of superelastic nano-NiTi additions on electroless Ni–P coating properties under bending)  
*Marissa MacLean, Zoheir Farhat, Department of Mechanical Engineering, Dalhousie University, Halifax, CA*  
Surface and Coatings Technology, Volume 378, 25 November 2019, 125064

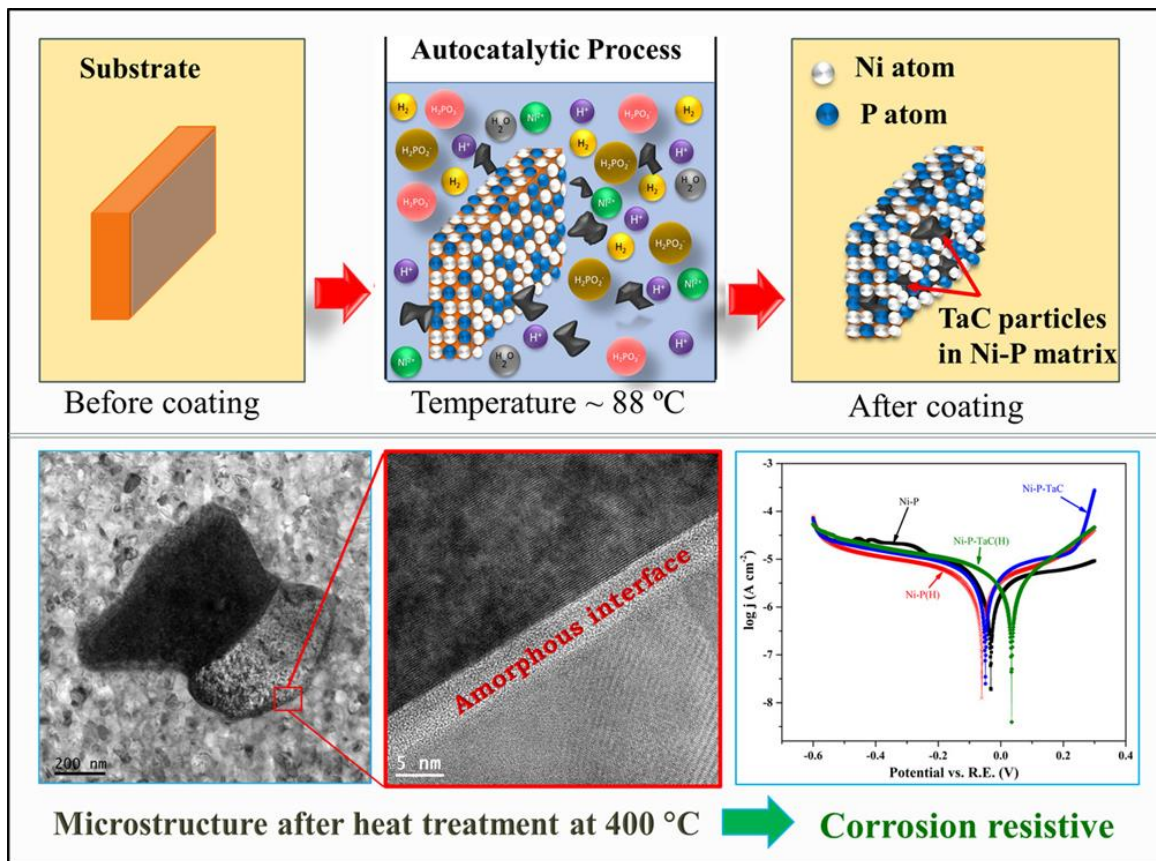
Dans cette étude, des revêtements composites Ni-P-nano-NiTi contenant 5,14% en poids, 6,07% en poids et 7,02% en poids de NiTi ont été soumis à des essais de flexion en trois points afin de déterminer leurs propriétés en flexion. Des analyses par émission acoustique (AE) ont permis de surveiller lors des essais les phénomènes de délamination et de fissuration. Les revêtements purs Ni-P subissent des dommages majeurs. Les revêtements composites à 5,14% en poids de NiTi ont été caractérisés par un début de fissuration retardé et une réduction de la gravité des fissures par rapport aux revêtements Ni-P purs. Cependant, les revêtements contenant des quantités plus élevées de NiTi ont montré des signes de délaminage du revêtement. Le module élastique et la résistance à la flexion ont diminué avec un ajout trop important de NiTi superélastique.

**Structure, propriétés de surface et résistance à la corrosion de revêtements duplex PS / Ni-Ba-B sur acier St37** (Structure, surface properties and corrosion resistance of St 37 steel coated with PS/Ni-Ba-B duplex coatings)  
*Sareh Rahmani, Abdollah Omrani, Faculty of Chemistry, University of Mazandaran, Babolsar, IR*  
Surface and Coatings Technology, Volume 373, 15 September 2019, Pages 1-6

Un revêtement Ni-Ba-B d'une épaisseur de  $6 \pm 0,1 \mu\text{m}$  a été déposé sur un substrat en acier, puis une couche de PS (polystyrène) a été enduite par immersion sur le revêtement Ni-Ba-B. La morphologie, la structure, la rugosité, l'angle de contact avec l'eau et la tenue à la corrosion des revêtements ont été examinés. Les images MEB sur la section transversale du revêtement duplex PS / Ni-Ba-B ont montré que le revêtement était uniforme et présentait une bonne adhérence. Les revêtements duplex sont amorphes et combinent des phases amorphes et cristallines. Les observations AFM ont révélé que la rugosité des revêtements duplex diminuait en augmentant le pourcentage en poids de PS. L'hydrophobicité la plus élevée des revêtements duplex a été relevée pour un dépôt de 20% PS / Ni-Ba-B. Des techniques électrochimiques ont été utilisées pour l'analyse de la résistance à la corrosion des revêtements dans une solution de NaCl. La présence d'une couche de PS sur le revêtement Ni-Ba-B a considérablement augmenté cette dernière.

**Microstructure et propriétés anti-corrosion d'un revêtement composite Ni-P-TaC** (Microstructural and electrochemical corrosion properties of electroless Ni-P-TaC composite coating)  
*Dhani Ram Dhakal, Gobinda Gyawali, Sun Moon University, Asan, KR*  
Surface and Coatings Technology, Volume 381, 15 January 2020, 125135

Les particules de céramique sont fréquemment utilisées pour renforcer les revêtements Ni-P afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques et électrochimiques. Le carbure de tantale (TaC) est un matériau céramique réfractaire bien connu, avec d'excellentes propriétés mécaniques telles qu'une dureté élevée et une bonne ténacité. Cependant, sa performance en tant qu'additif composite n'a pas encore été étudiée dans le système de revêtement Ni-P. Une analyse détaillée de la surface et de la microstructure a été réalisée pour expliquer la dureté mécanique ainsi que la tenue à la corrosion des systèmes de revêtement Ni-P et Ni-P-TaC revêtus et traités thermiquement. Des nanocristaux de phases Ni et Ni<sub>3</sub>P ainsi que des particules de TaC incorporées sont distribuées dans le revêtement composite traité thermiquement comme le révèlent les analyses XRD et TEM. Une interface amorphe unique entre les particules de TaC et la matrice du revêtement a été relevée dans le revêtement composite Ni-P-TaC, elle fournit une couche protectrice contre l'attaque par corrosion aux joints de grains et les défauts présentés dans les revêtements. Des mesures Raman montrent que revêtements sont stables dans un environnement jusqu'à 500°C. Les tests de corrosion électrochimique suggèrent de bonnes propriétés de résistance à la corrosion du revêtement composite Ni-P-TaC traité thermiquement par rapport au revêtement Ni-P.



**Structure, morphologie et propriétés mécaniques de revêtements Ni-B** (Structural, morphological and mechanical properties of electroless Ni-B based alloy coatings)

*P. G. Venkatakrishnan, V. Karthik, National Institute of Technology, Tiruchirappalli, IN*

Materials Today : Proceedings, Available online 21 October 2019

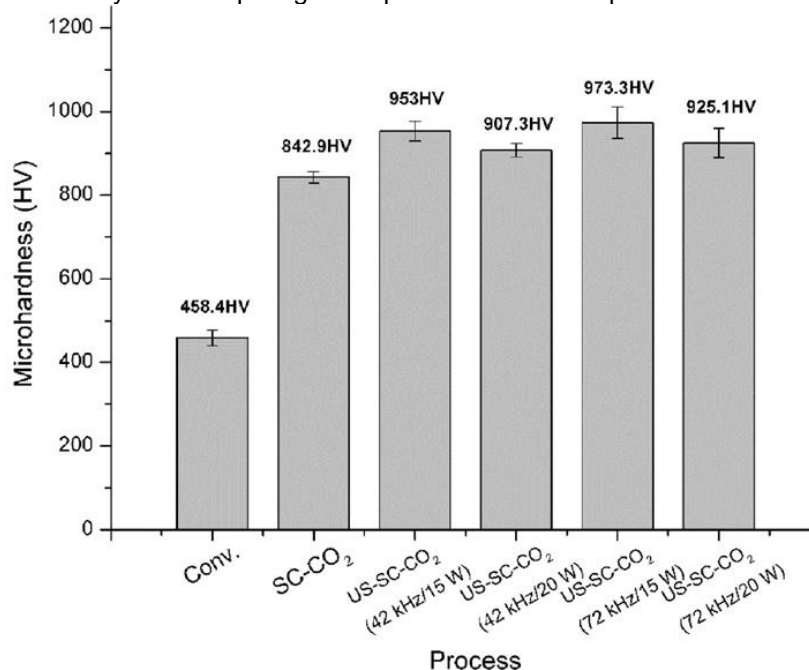
Les revêtements Ni-B sont préparés en utilisant un bain alcalin avec du chlorure de nickel comme source d'ions nickel et du borohydrure de sodium comme agent réducteur ainsi que comme source d'ions bore en présence d'acétate de zinc. L'effet de la concentration en acétate de zinc sur le taux de revêtement, la composition chimique, la morphologie de la surface, les caractéristiques structurales, la dureté et la tenue à l'usure des revêtements ont été évalués. La teneur en bore dans le revêtement passé de 3,69% en poids à 3,26%, lorsque la concentration en acétate de zinc passe de 1 g / L à 4 g / L dans le bain. L'observation au microscope électronique à balayage a révélé la formation d'une structure de type « épi de maïs » sur la surface du revêtement. L'analyse par diffraction des rayons X a confirmé la nature cristalline des revêtements. Les valeurs de microdureté des revêtements sont passées de 650 HV à 507 HV, lorsque la concentration en acétate de zinc dans le bain est passée de 1 g / L à 4 g / L.



# REVÊTEMENTS ELECTROLYTIQUES

**Étude de l'influence des paramètres US sur l'électrodéposition supercritique de films Ni-Co** (Study on the changes of ultrasonic parameters over supercritical Ni-Co electroplating process)  
*Ho-Chiao Chuang, Guan-Wei Jiang, National Taipei University of Technology, TW*  
Ultrasonics Sonochemistry, Volume 60, January 2020, 104805

Ce travail porte sur l'influence des modifications des paramètres ultrasonores (US) sur les propriétés de films couches minces métalliques de nickel cobalt (Ni-Co) obtenus par électrodéposition  $\text{CO}_2$  supercritique (SC- $\text{CO}_2$ ). Des films Ni-Co ont également été produits électrodéposition conventionnelle à titre de comparaison. Les auteurs ont étudié l'influence de la puissance ultrasonique des bains (15W et 20W) et de la fréquence (42kHz et 72kHz) sur les propriétés des couches minces métalliques obtenues. Ces propriétés concernent notamment la taille des grains, la composition élémentaire des films, les microstructures de surface, la dureté, la résistance à la corrosion, la rugosité de surface, la structure cristalline et la croissance préférentielle. D'après les résultats, il apparaît clairement que la qualité des films obtenus par US-SC- $\text{CO}_2$  a été améliorée par rapport aux films produits par SC- $\text{CO}_2$  (elle-même meilleur que celle des films obtenus par électrodéposition conventionnelle). Cependant, lorsque la puissance des US est trop importante, les propriétés mécaniques des films diminuent. La combinaison de l'agitation US avec le SC- $\text{CO}_2$  permet d'améliorer les propriétés mécaniques telles que la rugosité de surface (plus faible), la granulométrie et les morphologies de surface (plus fines), la résistance à la corrosion (accrue) et la dureté du film (plus importante). Ces améliorations sont principalement dues à l'augmentation de la fluidité de l'électrolyte grâce à l'agitation, ce qui entraîne un transfert de masse accru tout en obtenant un effet de nettoyage de surface qui élimine les ions métalliques présentant une mauvaise adhérence et d'autres particules indésirables. De plus, la mise en œuvre d'une agitation US évite l'utilisation de tensioactifs, de sorte que seuls des changements dans les phénomènes physiques sont observés (aucun changement dans la composition chimique des couches minces déposées), ce qui signifie moins de pollution pour l'électrolyte et une plus grande pureté des films déposés.



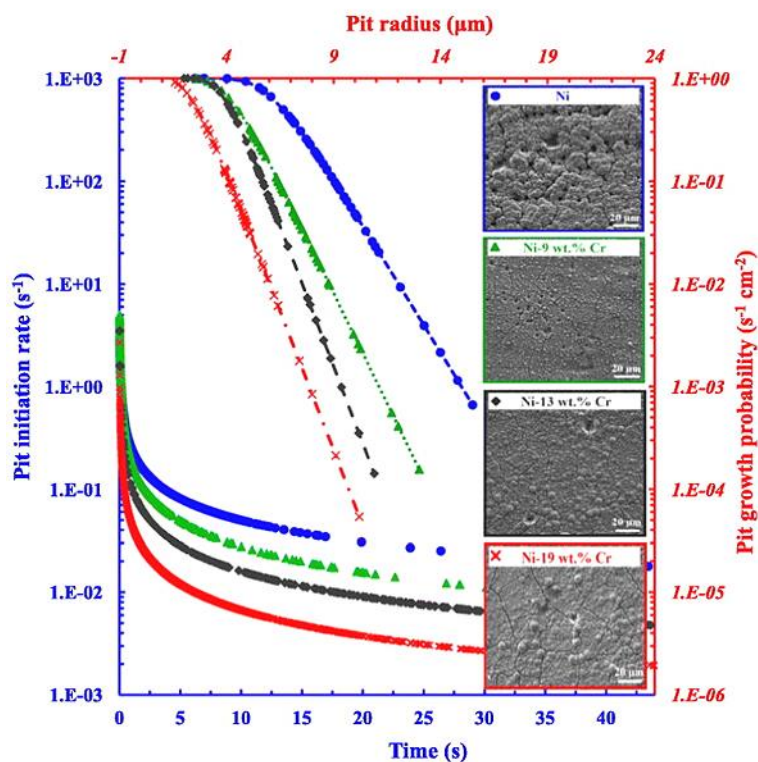
**Influence de la concentration en  $\text{TiO}_2$  (sol) sur l'adhérence de revêtements N-B- $\text{TiO}_2$**  (The effects of  $\text{TiO}_2$  sol concentration on single- and multiple-scratch damage in electroplated Ni-B- $\text{TiO}_2$  sol composite coating)  
*Mouna Kallel, Mouna Masseoud, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), TN*  
Ceramics International, Volume 46, Issue 3, 15 February 2020, Pages 3767-3776

Des revêtements composites Ni-B- $\text{TiO}_2$  renforcés ont été élaborés à l'aide d'un nouveau procédé d'électrodéposition. Ces revêtements ont déjà été évalués en termes de propriétés tribologique et de résistance à la corrosion. Cependant, leur adhérence n'a pas été discutée jusqu'à présent. Le but de cette étude est donc de mesurer l'adhérence de ces revêtements en considérant différentes concentrations en  $\text{TiO}_2$  dans la solution (sol) afin de prédire leur efficacité et leur durabilité lors d'opérations de broyage de minéraux. Des scratch tests à charge progressive et à passages multiples ont été effectués sur les revêtements. La morphologie des surfaces endommagées a été analysée pour identifier le mécanisme de rupture. Les résultats indiquent que l'ajout de  $\text{TiO}_2$  améliorerait considérablement l'adhérence du dépôt sur le substrat par rapport au revêtement Ni-B pur. Les tests ont montré que l'amélioration de l'adhérence dépendait fortement de la quantité de  $\text{TiO}_2$ . La concentration optimale a été déterminée à 25 ml / L, une augmentation supplémentaire de la concentration en  $\text{TiO}_2$  entraîne une détérioration de l'adhérence du revêtement.

## Corrosion de revêtements électrolytiques Ni-Cr en solution aqueuse HBF<sub>4</sub> – Étude du bruit électrochimique et de l'impédance (Electrochemical noise and impedance study on the corrosion of electroplated Ni-Cr coatings in HBF<sub>4</sub> aqueous solution)

Zhina Razaghi, Milad Rezaei, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, IR  
Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 859, 15 February 2020, 113838

Ce travail vise à étudier les mécanismes de corrosion des revêtements électrolytiques Ni-Cr en solution aqueuse HBF<sub>4</sub>, en utilisant la spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) et l'analyse du bruit électrochimique (EN). Parmi les revêtements à teneur élevée en Cr, la résistance à la polarisation du Ni (-19% en poids de Cr) électrodéposé à 0,3 A cm<sup>-2</sup> est trois fois plus élevée que celle du Ni pur, et son indice de corrosion localisée est de 0,06 contre 0,36 pour le revêtement Ni pur. L'ensemble des résultats montre les effets positifs de la présence de Cr dans la diminution de la corrosion uniforme et localisée. De plus, en utilisant la théorie stochastique, il a été révélé qu'en introduisant du Cr jusqu'à 19% en poids dans les revêtements, le taux d'initiation des piqûres pouvait être réduit d'un sixième par rapport à celui du revêtement en Ni pur.



## Analyse de l'impact des ions chlorure sur la corrosion par piqûres d'un acier allié 4130 revêtu (Instrument of chloride ions on the pitting corrosion of electroplated steel alloy 4130)

Y. Reda, A. M. El-Shamy, Higher Institute of Engineering and Technology, New Damietta, EG  
Ain Shams Engineering Journal, October 2019, DOI : 10.1016/j.asej.2019.09.002

L'effet des chlorures sur la corrosion localisée d'un acier allié 4130 revêtu Ni, Cu et Cd immergé dans une solution contenant 3,5% du poids en volume de chlorure de sodium a été étudié. Les techniques électrochimiques ont été adaptées pour suivre l'initiation et la propagation de la corrosion. Sur la base des résultats obtenus, l'échantillon revêtu de Ni montre une inhibition à la corrosion par piqûres primordial (les revêtements Cu et Cd ont montré une inhibition modérée). Les échantillons ont été caractérisés par microscope électronique à balayage (MEB) avant et après exposition au milieu salin. Le taux de chlorures présents sur l'échantillon revêtu est un élément déterminant de l'efficacité de l'inhibition. Les échantillons revêtus présentent une efficacité d'inhibition d'environ 90,2%, 89,6% et 52,2% pour le Ni, le Cu et le Cd respectivement. Dans le cas de l'échantillon cuivré, la caractérisation de la surface montre une attaque importante de cette dernière résultant d'une corrosion générale. L'échantillon recouvert de cadmium présente un grand nombre de trous. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les échantillons revêtus de nickel.

Table 4. Complete collected data from electrochemical tests for the uncoated and Ni-coated, Cu-coated and Cd-coated steel alloy 4130 in 3.5% Na Cl solution at 298 K.

Coat type	$B_a$ , mV/dec	$B_c$ , mV/dec	$I_{corr}$ , $\mu A$	$E_{corr}$ , mV	C.R., mpy	IE, %	$R_{soln}$ , ohm	$R_{cor}$ , ohm	$R_{po}$ , ohm	$C_{cor}$ , mF	Cc, mF
Uncoated	201.9	176.4	536.4	-842.4	129.9	-	9	154.8	1.106	0.0746	$1.85 \times 10^{-3}$
Ni-coated	378.1	254.2	55.1	-718	12.67	90.2	4.709	1759	0.2938	$2.36 \times 10^{-4}$	$8.9 \times 10^{-8}$
Cu-coated	287.8	180.5	55.5	-708.7	13.44	89.6	9.747	548.7	$5.5 \times 10^{-2}$	$1.47 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-9}$
Cd-coated	277.2	185.9	256	-992	62.11	52.2	13	833.9	$6.3 \times 10^{-2}$	$1.57 \times 10^{-3}$	$2.87 \times 10^{-6}$

# LIQUIDES IONIQUES

## Revêtement dur au chrome sur aciers à haute résistance obtenu par électrodéposition en milieu liquide ionique Cr(III) (Hard chromium composite electroplating on high-strength stainless steel from a Cr(III)-ionic liquid solution)

Hadi Khani Joan, F. Brennecke, *The University of Texas at Austin, US*  
Electrochemistry Communications, Volume 107, October 2019, 106537

Un revêtement composite au chrome a été électrodéposé sur des substrats en acier inoxydable à haute résistance à partir d'un bain de chrome trivalent. Le solvant électrolytique se compose de chlorure de 1-butyl-3-méthylimidazolium ([Bmim][Cl]) dans lequel de l'eau, du bromure d'hexadécyltriméthylammonium (CTAB), du pol (chlorure de diallyldiméthylammonium) (PDDA) et des particules d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (≈3–4 μm) ont été ajoutées pour améliorer les propriétés de transport des ions, la mouillabilité à l'interface électrolyte – substrat, la teneur en chrome métallique et la micro-dureté du revêtement. Le spectre photo-électronique aux rayons X du revêtement révèle la présence de 85% de chrome métallique et de 15% d'oxydes de chrome et d'hydroxyde de chrome. La caractérisation du revêtement montre l'existence de liaisons de type carbure de chrome, résultant de l'incorporation d'atomes de carbone dans le réseau cristallin du chrome, conduisant à un degré élevé d'amorphisation du revêtement. L'optimisation des conditions de traitement a permis d'obtenir un revêtement composite uniforme avec une micro-dureté Vickers de 860 (± 10) HV et une épaisseur de 42 μm (± 4), ce qui est comparable à un revêtement de chrome obtenu à partir de bains d'acide chromique conventionnels.

Optimized electrolyte bath							
[Bmim][Cl]	H <sub>2</sub> O	CrCl <sub>3</sub>	CTAB	PDDA	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bath temperature	Electroplating time
2 mol	12 mol	1 mol	0.2 g L <sup>-1</sup>	1.2 g L <sup>-1</sup>	10 g L <sup>-1</sup>	52 (±1) °C	20 min
Coating properties						Hardness	Thickness
%Cr <sup>0</sup>	%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Cr(OH) <sub>3</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
85 (atm.%) <sup>1</sup>	10 (atm.%)	5 (atm.%)	16 (wt. %) <sup>2</sup>			860 (±10) HV	42 (±4) μm

<sup>1</sup>Percentages are based on the total amount of chromium content

<sup>2</sup>Percentage is based on the total weight of the coating

## Électrodéposition d'un alliage Cu-Zn sur alliage d'aluminium à partir d'un mélange liquide ionique EMImTfO / éthanol en remplacement des procédés au cyanure de zinc (Electrodeposition of Cu-Zn alloy from EMImTfO ionic liquid/ethanol mixtures for replacing the cyanide zincate layer on Al alloy)

Jianqing Zhang, Xiaochuan Ma, *Harbin Institute of Technology, CN*  
Journal of Alloys and Compounds, Volume 806, 25 October 2019, Pages 79-88

Afin de remplacer les procédés mettant en œuvre du cyanure de zinc hautement toxique pour le traitement des alliages d'Al, une approche écologique a été développée, à savoir l'électrodéposition d'un revêtement Cu-Zn à partir d'un bain mixte liquide ionique / éthanol. Il a été démontré que l'alliage Cu<sub>5</sub>Zn<sub>8</sub> produit à partir de trifluorométhylsulfonate de 1-éthyl-3-méthylimidazolium (EMImTfO) et de mélanges d'éthanol à 20% (pourcentage en volume) dans des conditions optimales présentait une structure pouvant considérablement améliorer la résistance à la corrosion du substrat d'Al dans un bain de Watts, augmentant ainsi la qualité du revêtement. Les propriétés globales de la couche intermédiaire Cu-Zn et de son revêtement subséquent, y compris la compacité, l'adhérence et la résistance à la corrosion, sont approximativement les mêmes que celles obtenues avec du cyanure de zinc ce qui suggère que la nouvelle méthode est une alternative idéale au traitement conventionnel.

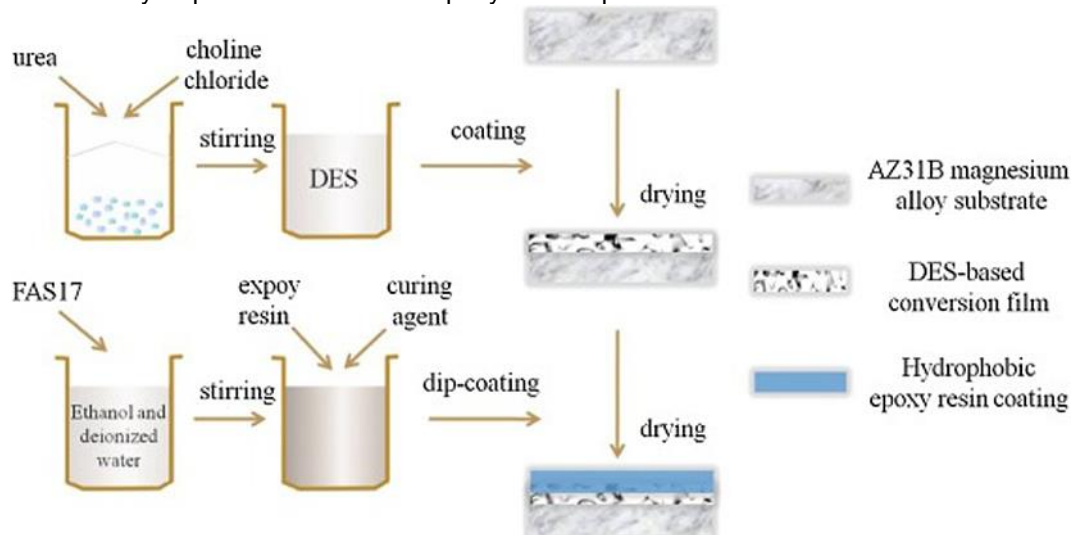
## Revêtement résine époxy hydrophobe sur alliage de magnésium avec pré-traitement de conversion en liquide ionique pour l'amélioration de la résistance à la corrosion (Hydrophobic epoxy resin coating with ionic liquid conversion pretreatment on magnesium alloy for promoting corrosion resistance)

Liting Guo, Changdong Gu, *State Key Laboratory of Silicon Materials, Zhejiang University, Hangzhou, CN*  
Journal of Materials Science & Technology, Volume 37, 15 January 2020, Pages 9-18

Un revêtement en résine époxy hydrophobe avec un prétraitement de conversion à base de solvant eutectique profond (DES – Deep Eutectic Solvent) respectueux de l'environnement a été proposé pour améliorer la résistance à la corrosion des alliages de magnésium. Les revêtements en résine époxy hydrophobe sur l'alliage de magnésium AZ31B avec et sans prétraitement de conversion base DES ont été minutieusement comparés. On constate que le film de conversion base DES sur l'alliage AZ31B est principalement composé de MgH<sub>2</sub>, MgO et MgCO<sub>3</sub>. En outre, le film de conversion possède une structure poreuse, qui fournit plus de points d'ancrage pour le revêtement de résine époxy suivant. Cependant, sans le prétraitement de conversion DES, la résine époxy se fixe difficilement sur le



substrat pendant lors du processus d'immersion. Le système de revêtement hybride à double couche favorise considérablement la résistance à la corrosion des alliages de magnésium, notamment en raison de l'architecture des dépôts et de leur forte hydrophobicité. La résine époxy ainsi déposée est dense et adhérente.



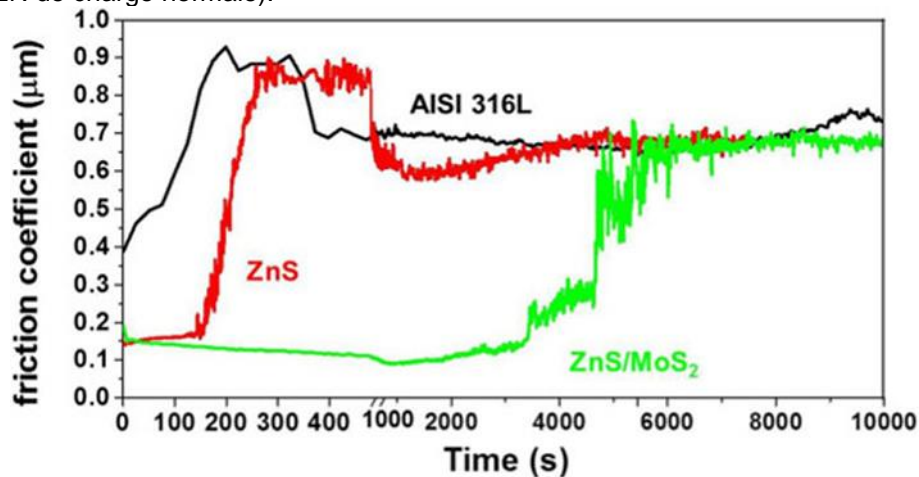
### Électrodéposition en liquides ioniques de films composites ZnS :nano-MoS<sub>2</sub> aux propriétés autolubrifiantes

(Ionic liquid-based electrodeposition of ZnS:nano-MoS<sub>2</sub> composite films with self-lubricating properties)

A. Kosta, I. García, CIDETEC, Donostia-San Sebastián, ES

Surface and Coatings Technology, Volume 374, 25 September 2019, Pages 957-965

Un protocole innovant pour l'électrodéposition de revêtements composites ZnS :nano-MoS<sub>2</sub> avec des propriétés tribologiques améliorées est proposé. Les mécanismes impliqués dans le processus de déposition ont été analysés par voltampérométrie cyclique. La morphologie et la composition des revêtements composites ZnS :nano-MoS<sub>2</sub> ont été caractérisées. La performance tribologique des revêtements a été étudiée par tests pion-disque. La composition chimique des traces d'usure a été caractérisée afin de mieux comprendre les mécanismes intervenant dans les propriétés autolubrifiantes des revêtements. Le rôle clé des particules MoS<sub>2</sub> (pouvoir lubrifiant) a été démontré mais aussi celui du ZnS qui se présente sous la forme d'une matrice relativement « molle » ce qui permettrait de fournir du soufre supplémentaire pour la formation du tribofilm MoS. Les revêtements composites ZnS :nano-MoS<sub>2</sub> déposés à partir de bains contenant 10 g / L de nanoparticules de MoS<sub>2</sub> présentent un coefficient de frottement amélioré (environ 0,1 sous 2N de charge normale).



# TRAITEMENTS THERMIQUES / THERMOCHIMIQUES

**Amélioration de la durabilité de la surface des aciers AISI 316LM à motifs micro-gravés par traitement duplex plasma en frottement à sec** (Improving the surface durability of patterned AISI 316LM steels by nitriding treatment for dry friction sliding)

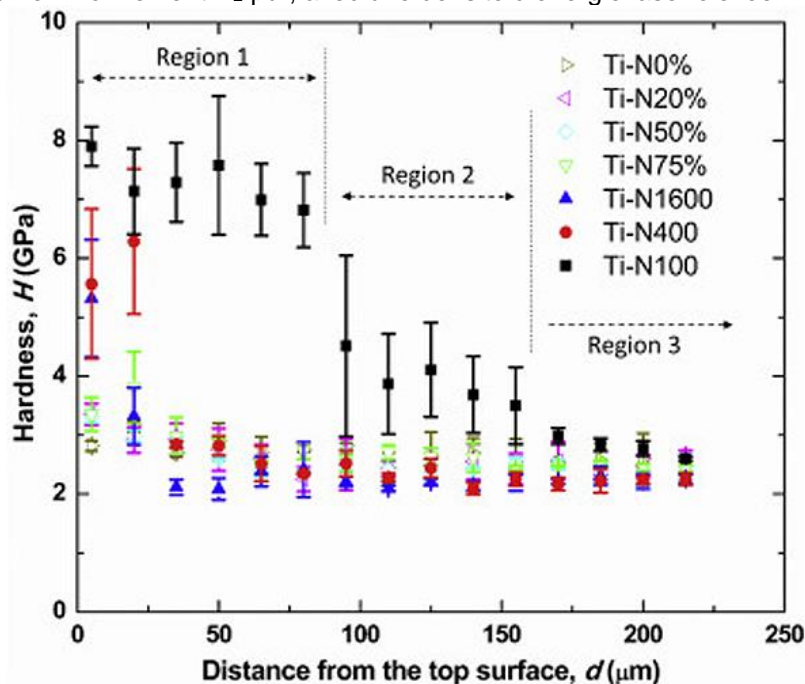
A. Pavlik, G. Marcos, ENIM, University of Lorraine, Metz, FR  
Tribology International, Volume 146, June 2020, 106232

Dans cette étude, différents échantillons d'AISI 316LM ont été obtenues par traitements duplex assistés par plasma (gravure + nitruration) afin de créer des micro-motifs durs sur la surface des aciers. Un tribomètre bille/plan a été utilisé pour les essais en frottement à sec à faible vitesse afin de caractériser l'influence des configurations de traitement sur la durée de vie des micro-motifs, le coefficient de frottement et les mécanismes d'usure. Dans les conditions de frottement à sec mises en œuvre, la durabilité des motifs en a été démontrée. Les auteurs ont également montré que la configuration des motifs, notamment la distance entre ces derniers, jouait un rôle clé dans la gestion des débris et la formation de tribofilms en agissant sur la force de contact et la génération des débris. La configuration des motifs détermine leur écoulement au contact et tout au long des marques d'usure. Avec un espacement de 100  $\mu\text{m}$  entre les micro-motifs, la plupart des débris sont simplement piégés. A 300  $\mu\text{m}$ , les mécanismes d'usure s'avèrent plus complexes.

**Nitruration laser de surface de titane pour applications biomédicales** (Laser nitriding of titanium surfaces for biomedical applications)

Congyuan Zeng, Hao Wen, Louisiana State University, Baton Rouge, US  
Surface and Coatings Technology, Volume 385, 15 March 2020, 125397

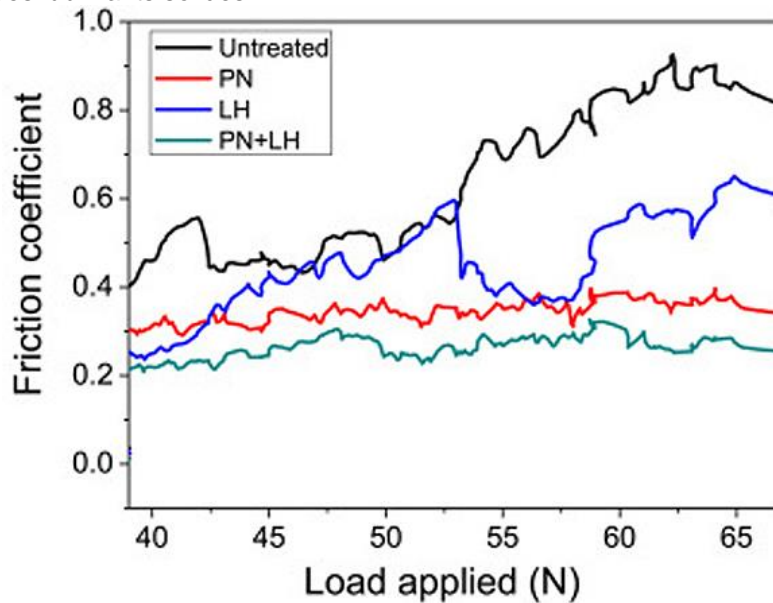
Dans le but d'améliorer leur biocompatibilité et leur résistance à la corrosion, des couches de TiN d'épaisseurs variables ont été obtenues par nitruration laser d'échantillons de titane purs commerciaux. Des paramètres optimaux de traitement (paramètres de balayage et taux de  $\text{N}_2$ ) ont pu être déterminés en utilisant des cellules animales (souris, MLO-Y4) afin d'évaluer la biocompatibilité et un fluide corporel simulé afin d'évaluer le comportement électrochimique et donc de caractériser la tenue à la corrosion. Les surfaces modifiées ont également été caractérisées au microscope électronique à balayage, à la diffraction des rayons X et aux techniques de nano-indentation pour révéler les liens entre les performances de biocompatibilité / résistance à la corrosion et la composition, l'épaisseur et la rugosité de la couche nitrurée. Pour assurer une meilleure compatibilité biologique et une bonne tenue à la corrosion, une couche dendritique de nitrure de titane dense et épaisse est souhaitable, ce qui peut être obtenu dans un environnement  $\text{N}_2$  pur, avec une densité d'énergie laser élevée.



## Résistance au scratch test de fontes vermiculaires traitées par plasma, laser et duplex plasma + laser (Scratch resistances of compacted graphite iron with plasma nitriding, laser hardening, and duplex surface treatments)

V. Writzl, A. C. Rovani, *Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, BR*  
Tribology International, Volume 143, March 2020, 106081

Les fontes à graphite vermiculaires (CGI – Compacted Graphite Iron) constituent une classe de matériaux intéressante pour les applications automobiles. Une fonte CGI-450 a été soumise à divers traitements de surface : nitruration au plasma (PN), durcissement laser (LH) et une combinaison des deux procédés (PN + LH). Les comportements tribologiques après chaque type de traitement ont été évalués au moyen de scratch tests sous charge progressive (40-70 et 70-95 N). Le traitement PN + LH a donné de très bons résultats avec le coefficient de frottement le plus bas et les rayures les moins profondes (charge critique supérieure à 80N). Dans ce cas, la couche la plus externe est composée de phases oxyde ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), reposant sur une couche composée d'oxydes + nitrures + martensite avec également une couche martensitique à haute résistance présentant des nitrures et des carbures. Ces couches sous-jacentes présentent une capacité de charge élevée permettant aux couches externes de fonctionner comme des lubrifiants solides.



## Durcissement de surface laser pour éléments d'arbre à cames (Laser surface hardening of engine camshaft cams)

Irena Lasota, Vladimir Protsenko, *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, RU ; Fraunhofer IPK, DE*  
Materials today : proceedings, January 2020, DOI : 10.1016/j.matpr.2019.12.400

Cette publication décrit des avancées dans la recherche sur les processus de durcissement au laser de la surface des cames d'arbre à cames. Des échantillons de cames en acier de construction ont été durcis à l'aide d'un puissant laser fibre LS-15. L'effet de la modification des paramètres du processus sur la microstructure et la microdureté de la surface a été étudié. En outre, l'influence de la trempe à basse température après le durcissement de surface au laser a été démontrée.

## Étude de la composition de phase et des propriétés tribologiques des aciers à outils au carbone après durcissement superficiel laser par laser à fibre quasi-CW (Study of the phase composition and tribological properties of carbon tool steels after laser surface hardening by quasi – CW fiber laser)

A.V. Sidashov, A. T. Kozakov, *Rostov State Transport University, RU*  
Surface and Coatings Technology, Available online 31 January 2020, 125427

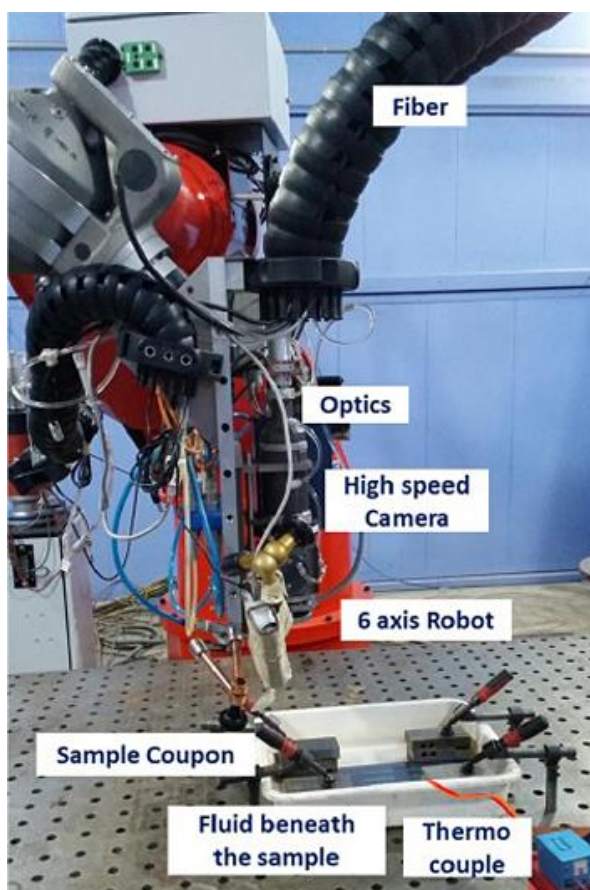
Ce travail fait état de résultats de l'étude sur la structure et la composition de phase de la zone d'irradiation laser (LRA – laser radiation area) des aciers à outils au carbone U8 (ASTM – W1-7) et U10 (ASTM – W1-9). Le durcissement de surface au laser des aciers U8 et U10 a été effectué en utilisant un laser à fibre quasi-CW avec une puissance de 130 W et 3 mm / s de vitesse de traitement. La composition de phase de la couche d'oxyde formée à la suite du traitement au laser (LT), ainsi que la structure de l'interface oxyde-métal à la surface des deux types d'aciers ont été étudiés par spectrométrie photoélectronique par rayons X (XPS – X-Ray photoelectron spectrometry). Il a été établi que l'épaisseur des couches de surface complètement oxydées pour les aciers U8 et U10 est respectivement de 38,7 nm et 99 nm. La composition des oxydes de la surface de l'acier après LT a été déterminée. La présence d'un film à base de wustite (forme minérale de l'oxyde de fer(II)  $\text{FeO}$ ) sur l'acier U8 met en évidence les faibles propriétés d'usure de la surface LRA, tandis que la couche d'oxyde plus épaisse de l'acier U10 modifié qui contient des oxydes de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  avec de meilleures propriétés de résistance fournit au contraire une surface présentant une résistance à l'usure plus élevée. Il a été constaté que le taux d'usure de la surface

modifiée de l'acier U10 diminuait d'un facteur 2 alors que pour l'acier U8 il ne diminuait que de 17%. Le document rend compte de l'examen métallographique de la structure de la LRA. La valeur de micro-dureté maximale de la LRA est de 710HV<sub>0.1</sub> pour l'acier U8 et de 750HV<sub>0.1</sub> pour l'acier U10.

**Nouvelle méthode de durcissement laser sur acier 100Cr6 dans différentes conditions de traitement** (A novel method of laser surface hardening treatment inducing different thermal processing condition for Thin-sectioned 100Cr6 steel)

*E. Anusha, Adep Kumar, National Institute of Technology, Warangal, IN*  
Optics & Laser Technology, Volume 125, May 2020, 106061

La dureté, la microstructure et les contraintes résiduelles induites à la surface d'un acier ont un effet significatif sur le processus de fabrication et la durée de vie des composants. Dans le présent travail, ces paramètres ont été analysés sur la surface d'un acier 100Cr6 traité au laser pulsé dans différentes conditions. Avant le traitement de durcissement de surface au laser, l'acier a été sphéroïdisé, durci et trempé. Un faisceau laser diode de 20 mm de large a été utilisé. De plus, le traitement a été effectué en présence d'un fluide de contact placé sous la pièce à travailler de manière à améliorer le coefficient de transfert de chaleur. Les résultats ont montré une amélioration maximale de la dureté (1050-1100 HV) et des contraintes résiduelles de compression ( $-630 \pm 20$  Mpa). Il a été démontré que les contraintes résiduelles de compression et la microdureté de la couche traitée dépendaient de la composition (présence de nano-carbures dans la matrice, austénite, martensite). Des tests d'usure par frottement effectués dans des conditions non lubrifiées et lubrifiées ont montré une amélioration progressive de la résistance à l'usure de la surface traitée avec l'augmentation de la vitesse de refroidissement (régie par les conditions de traitement thermique). La surface traitée au laser pulsé sous contact fluide présente une bonne réduction du coefficient de frottement.



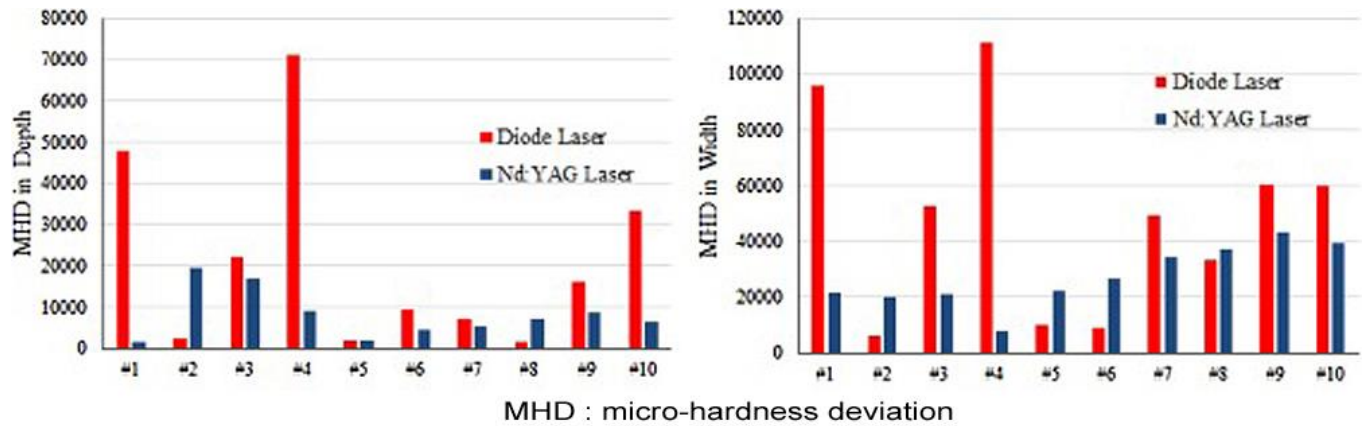
**Impact de la distribution du faisceau d'énergie sur la dureté de surface – Comparaison entre un laser diode haute puissance et un laser Nd :YAG** (How the laser beam energy distribution effect on laser surface transformation hardening process ; Diode and Nd :YAG lasers)

*Mahmoud Moradi, Mojtaba Karami Moghadam, Malayer University, IR*  
Optik, Volume 204, February 2020, 163991

Le durcissement par transformation de surface au laser (LSTH – laser surface transformation hardening) de l'acier AISI 4130 par un laser à diode haute puissance (HPDL – high power diode laser) de 1600 W et un laser Nd :YAG de 700 W a été étudié. L'influence de la distribution et de la forme du faisceau laser (distributions top-hat pour le HPDL et gaussienne pour le laser Nd :YAG) ont été étudiés sur les dimensions géométriques, la micro-dureté des zones durcies (profondeur, largeur, angle) et le pourcentage de ferrite au centre de la couche durcie. L'évaluation de la microstructure des zones durcies au laser a été réalisée par microscopie électronique à balayage en émission de champ (FE-SEM – Field Emission Scanning Electron Microscopy) et microscopie optique. Une dureté maximale



a été obtenue avec le HPDL : environ 698HV<sub>0,1</sub> avec une profondeur de 1,02 mm, tandis que pour le laser Nd :YAG elle est d'environ 698HV<sub>0,1</sub> avec une profondeur de 0,98 mm. La comparaison de ces résultats avec un traitement thermique conventionnel au four a démontré que les duretés obtenues avec le HPDL et avec le laser Nd :YAG sont respectivement de 1,38 et 1,22 fois plus élevées.



# DLC / DEPOTS SOUS VIDE

**Approche intégrative pour la conception de systèmes revêtements PVD-CVD / substrats carbures pour outils de coupe destinés à l'usinage d'aciers inoxydables austénitiques** (An integrative approach to coating/carbide substrate design of CVD and PVD coated cutting tools during the machining of austenitic stainless steel)

Q. He, J. M. Paiva, McMaster University, Hamilton, CA

Ceramics International, Volume 46, Issue 4, March 2020, Pages 5149-5158

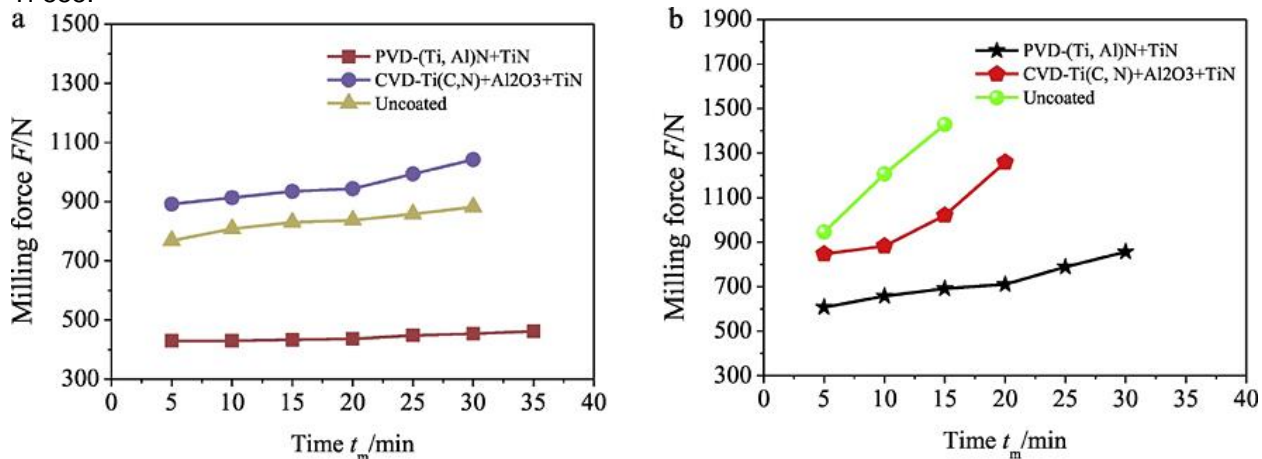
L'usinage de matériaux difficiles à usiner tels que les aciers inoxydables austénitiques présentent un défi en raison de leurs propriétés thermomécaniques qui affectent grandement la durée de vie des outils. Les revêtements TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et AlTiN sont généralement recommandés pour l'usinage de ces matériaux. Des revêtements de ce type ont été réalisés de différentes façons : dépôts PVD AlTiN de 2,5 et 5 µm d'épaisseur sur un même substrat et dépôt CVD TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 5 µm d'épaisseur sur deux substrats différents. Une nouvelle approche pour appliquer divers systèmes intégrés (revêtement PVD/CVD + substrat) a été introduite dans cette étude pour l'usinage de l'acier inoxydable austénitique. La relation entre les caractéristiques des revêtements et des substrats de ces systèmes et les performances des outils a été évaluée. Concernant les caractéristiques, les auteurs se sont intéressés à la composition chimique, de phase, à l'architecture, aux propriétés mécaniques en relation avec les performances tribologiques et d'usure. Les résultats obtenus démontrent une amélioration des performances d'usure des outils et de la durée de vie des outils grâce à une bonne ingénierie revêtement/substrat. Sur la base de ces premiers résultats, des axes sont proposés pour une étude plus approfondie de la durée de vie des outils de coupe et des performances d'usure des plaquettes en carbure cimenté revêtues de PVD/CVD.

**Analyse expérimentale de l'usure d'outils revêtus PVD/CVD pour l'usinage des alliages de titane Ti-6242S et Ti-555** (Experimental investigation on tool wear characteristics of PVD and CVD coatings during face milling of Ti-6242S and Ti-555 titanium alloys)

Qinglong An, Jie Chen, Shanghai Jiao Tong University, CN

International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Volume 86, January 2020, 105091

Le Ti-6242S et le Ti-555 sont deux alliages de titane typiques souvent utilisés pour fabriquer des pièces de moteur d'avion fonctionnant à haute température pour le premier et des composants de train d'atterrissage pour le second. Ils présentent une composition chimique et une microstructure différentes, ce qui leur confère des propriétés mécaniques différentes et affectent également leur usinabilité. Dans cet article, des expériences de fraisage en bout ont été effectuées pour évaluer les performances d'usure en utilisant des outils revêtus CVD Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN, PVD-(Ti,Al)N + TiN et non revêtus. Les résultats montrent que le Ti-555 a une usinabilité moindre comparé à celle du Ti-6242S. Lors du fraisage du Ti-6242S, l'usure de l'outil revêtu Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN était plus importante que celle des autres outils (arête de coupe émoussée). Les outils revêtus (Ti, Al)N + TiN présentait un micro-écaillage et un décollement du revêtement avec une perte d'usure minimale. Lors du fraisage du Ti-555, l'outil non revêtu a subi de sérieux dommages (usure abrasive et adhérence). L'outil revêtu Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN a également subi un écaillage et un décollement sérieux du revêtement avec une durée de vie courte. L'outil revêtu (Ti,Al)N + TiN a subi un pelage et une usure du revêtement mais dans une moindre mesure. Dans l'ensemble, les outils revêtus (Ti,Al)N + TiN ont la plus longue durée de vie et seront préférés pour le fraisage en bout des alliages de titane Ti-6242S et Ti-555.

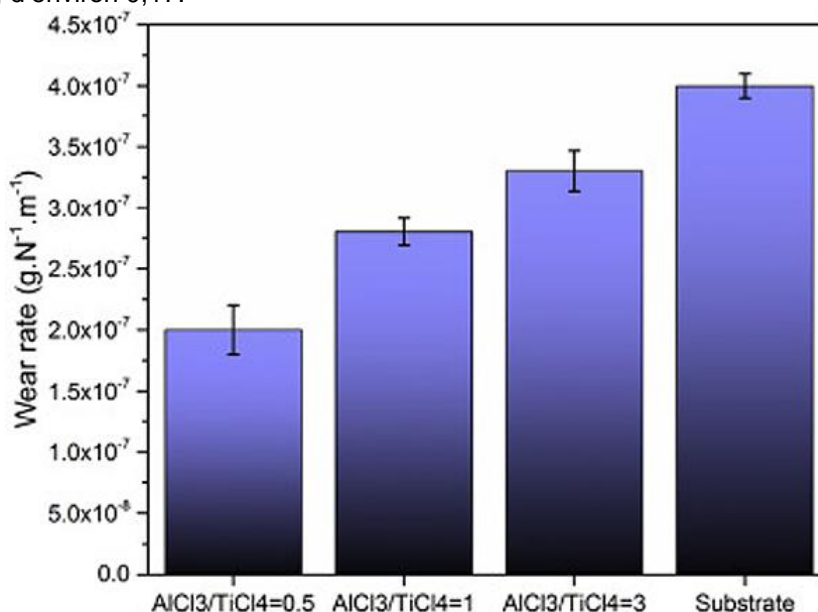


The comparison of resultant cutting force. (a) Ti-6242S; (b) Ti-555.

**Caractéristiques des revêtements céramiques TiAlCN réalisés par PACVD pulsé – Partie I : influence du ratio de précurseurs** (Characteristics of TiAlCN ceramic coatings prepared via pulsed-DC PACVD, part I : Influence of precursors' ratio)

Mahshid Rashidi, Morteza Tamizifar, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran, IR  
Ceramics International, Volume 46, Issue 2, 1 February 2020, Pages 1269-1280

Dans cette étude, des revêtements céramiques en carbure TiAlCN ont été déposés sur des substrats en acier à outils pour travail à chaud H13 avec différents rapports de précurseurs  $AlCl_3 / TiCl_4$ . Les dépôts ont été réalisés par PACVD pulsé. Les revêtements présentent une microstructure nanocomposite composée de grains nanocristallins fcc-TiAlN et hcp-AlN et une phase de carbone amorphe. L'augmentation du ratio des précurseurs de 0,5 à 3 entraîne une augmentation de la teneur en Al de ~10 à ~42 at.%. De plus, la rugosité de surface du revêtement diminue initialement de 21,39 à 14,44 nm puis augmente jusqu'à 18,26 nm. Le revêtement avec un ratio de précurseurs de 0,5 présente la micro-dureté la plus élevée de 3840 HV<sub>0,01</sub>, en raison de la moindre quantité d'impuretés chlorées et de la phase hcp-AlN. Le ratio de 0,5 permet d'obtenir la résistance à l'usure la plus élevée et le coefficient de frottement le plus bas, d'environ 0,17.



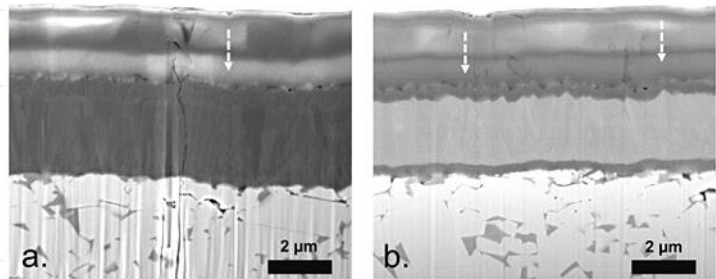
**Étude des dommages de contact des revêtements durs de carbonitride déposés par CVD sur des carbures cimentés** (Contact damage investigation of CVD carbonitride hard coatings deposited on cemented carbides)

D. El Azhari, J. García, Chair of Functional Materials, Department of Materials Science, Saarland University, DE  
International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Volume 86, January 2020, 105050

L'évolution des dommages induits par l'augmentation de la charge de contact a été étudiée sur des carbures cimentés revêtus d'une ou plusieurs couches au moyen d'une indentation sphérique. L'objectif principal de l'étude était d'évaluer l'effet de la couche intermédiaire de carbonitride résistant à l'usure sur la résistance aux dommages de contact des plaquettes de fraisage industriel (multicouches). Cela a été abordé en évaluant des systèmes constitués d'une seule couche de carbonitride de nature chimique différente : de nouveaux revêtements de dépôt chimique en phase vapeur CVD Zr(C,N) et Ti(C,N) conventionnels. Les phénomènes de déformation et d'endommagement ont été caractérisés à l'aide d'un large éventail de techniques avancées : microscopie confocale à balayage laser, microscopie électronique à balayage, faisceau ionique focalisé et synchrotron à rayons X. Les systèmes revêtus Zr(C,N) présentent une intégrité mécanique plus élevée que leurs homologues Ti(C,N). Les principales raisons sous-jacentes sont les contraintes thermiques résiduelles relativement différentes générées pendant le refroidissement CVD, en raison du coefficient de dilatation thermique différent entre le revêtement et le substrat, ainsi que la force de cohésion intrinsèque des revêtements étudiés. Une telle réponse mécanique différente a également été estimée comme affectant l'interaction entre la fissuration et l'assemblage des couches dans les échantillons revêtus multicouches. Les auteurs soulignent l'effet bénéfique de l'utilisation du Zr(C,N) comme couche intermédiaire résistante à l'usure pour améliorer les performances des plaquettes de fraisage industrielles.

Sample reference	TiN (0.3 $\mu\text{m}$ )	CN Layer/thickness	Ti(C,N,O) (0.6 $\mu\text{m}$ )	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (3 $\mu\text{m}$ )
Ti(C,N)-m	✓	Ti(C,N)/3 $\mu\text{m}$	✓	✓
Zr(C,N)-m	✓	Zr(C,N)/3 $\mu\text{m}$	✓	✓
Ti(C,N)-s	✓	Ti(C,N)/5 $\mu\text{m}$	-	-
Zr(C,N)-s	✓	Zr(C,N)/5 $\mu\text{m}$	-	-

List of coated samples, and different corresponding layer assemblage, investigated.



FIB cross sections displaying propagation (or not) of pre-existing cracks at the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  top layer (induced during cooling after CVD) into intermediate CN ones for a. Ti(C,N)-m and b. Zr(C,N)-m specimens. The referred cracks appear to be stopped at the intermediate layer for Zr(C,N)-m specimen. Dashed arrow shows direction of propagation.



# PROJECTION THERMIQUE

## Influence d'intercouches électrodéposées sur l'adhérence des dépôts de cuivre par Cold Spray d'aciers SS316L

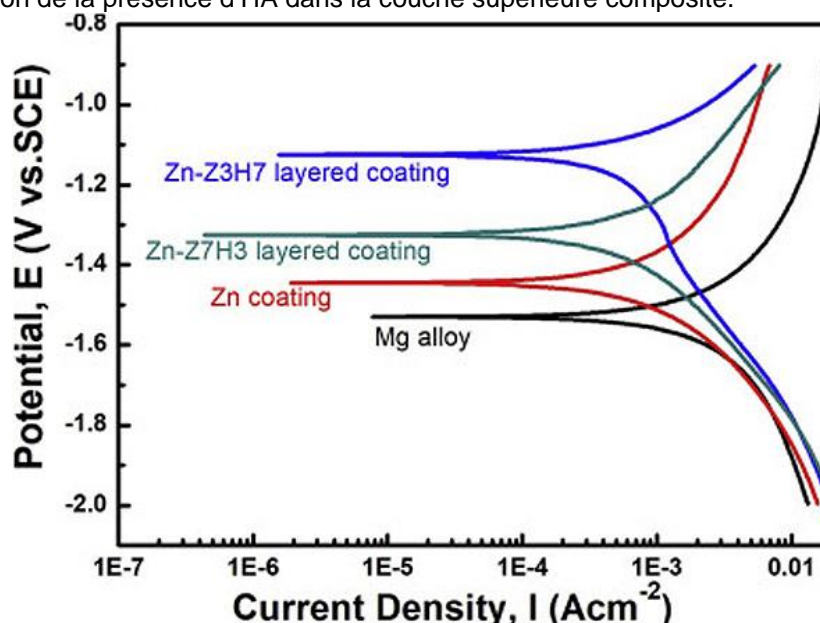
Effect of electroplated interlayers on bonding mechanism of cold-sprayed copper on SS316L steel substrate  
Surinder Singh, Harpreet Singh – Mechanical Engineering Department, Indian Institute of Technology Ropar, Rupnagar, Punjab, 140001, India  
Vacuum, Volume 172, February 2020, 109092

La projection à froid (Cold Spray) est activement étudiée pour le développement de revêtements de cuivre (Cu) pour la protection de composants surfacés plasma dans les Tokamaks. Cependant, l'adhérence de ces revêtements reste un problème majeur. Dans la présente étude, des couches intermédiaires de nickel et de cuivre électrodéposées ont été réalisées sur substrat acier SS316L afin d'améliorer cette dernière. Des revêtements de cuivre épais ont ensuite été déposés sur le substrat électrolytique par cold Spray. L'effet des intercouches électrolytiques sur le mécanisme d'adhésion entre le cuivre et le substrat en acier a été exploré. Les revêtements de cuivre déposés ont été soumis à des tests d'adhérence / résistance au cisaillement. Pour étudier le mécanisme de liaison des revêtements avec les substrats, des analyses au microscope électronique à balayage (SEM) et par spectrométrie à dispersion d'énergie (EDS) ont été effectuées au niveau des interfaces après tests d'adhérence. Le substrat en acier NE (électrodépôts de Ni) présente une meilleure adhérence par rapport aux substrats en acier CE (électrodépôts de Cu) et aux substrats sans électrodéposition.

## Amélioration de la résistance à la corrosion d'un alliage de magnésium AZ91D par projection à froid de nouveaux revêtements à double couche Zn-HA/Zn (Improved corrosion resistance of AZ91D magnesium alloy coated by novel cold-sprayed Zn-HA/Zn double-layer coatings)

Hai-Long Yao, Zhi-Hai Yi, School of Mechanical and Materials Engineering, Jiujiang University, CN  
Ceramics International, Available online 30 November 2019

Afin d'améliorer la résistance à la corrosion et la bioactivité du substrat en alliage de Mg biodégradable, de nouveaux revêtements à double couche hydroxyapatite Zn-HA/Zn avec différents rapports en poids HA/Zn ont été déposés sur des substrats AZ91D par Cold Spray. Les compositions de phase et les microstructures des revêtements avant et après des essais de corrosion ont été analysées par diffraction des rayons X (XRD), spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et microscopie électronique à balayage (SEM). Les résistances à la corrosion électrochimique des deux revêtements à double couche Zn-HA/Zn ont été étudiées dans un fluide corporel simulé (solution de Hanks) en utilisant les courbes intensité-potentiel et la spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS). Les résultats ont montré que le revêtement de Zn pur et les revêtements composites HA/Zn présentaient des compositions de phases similaires avec leurs poudres primaires en plus des oxydations de Zn. Les poudres de Zn sont déformées plastiquement et partiellement oxydées en raison de leur point de fusion bas, tandis que les poudres de HA sont principalement écrasées. La couche inférieure de Zn et la couche supérieure de HA/Zn sont bien liées et présentent des structures denses, les différences dans les couches supérieures de HA/Zn sont liées aux rapports HA/Zn. Les mesures potentiodynamiques et d'EIS ont montré que les revêtements à double couche Zn-HA/Zn amélioreraient non seulement la résistance à la corrosion des substrats en alliage de Mg, mais amélioreraient également leur bioactivité en raison de la présence d'HA dans la couche supérieure composite.

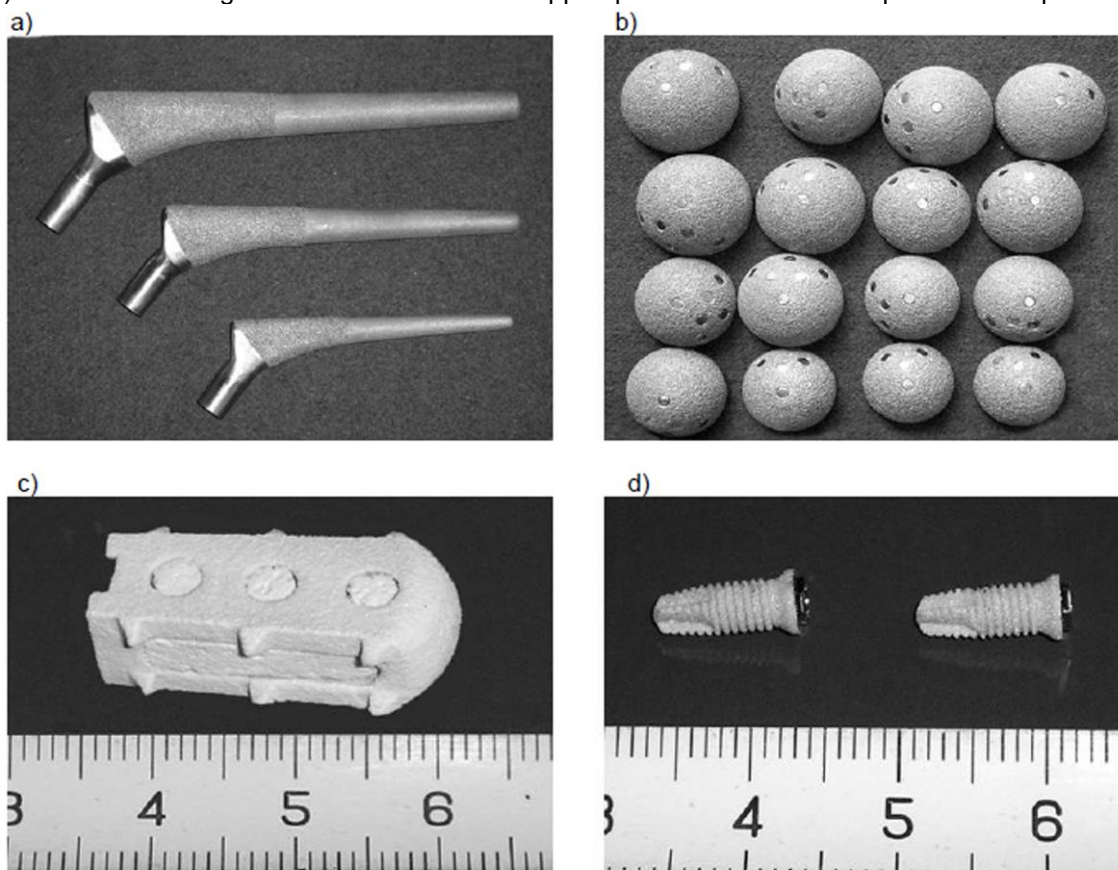


**Caractérisation de revêtements biocompatibles de Ti obtenus par projection microplasma** (Characterisation of the microplasma spraying of biocompatible coating of titanium)

*D. L. Alontseva, Elaheh Ghassemieh, East Kazakhstan State Technical University, KZ*

*Journal of Microscopy, December 2019*

Cet article présente de nouveaux résultats sur l'étude de l'influence des paramètres de la projection microplasma (MPS) de Ti sur la structure et les propriétés des revêtements. En se basant sur les méthodes de conception, l'expérience et les résultats d'analyses SEM, certains paramètres de projection ont été proposés pour obtenir la composition et la structure souhaitées du revêtement. Une sous-couche dense (plus de 300 µm d'épaisseur) présente une bonne adhérence au substrat, et une couche supérieure poreuse permet d'accélérer la croissance de l'implant avec l'os. L'équipement et la technologie MPS ont été développés au E. O. Paton EWI. Cette technologie permet de réaliser des revêtements sur des pièces de petite taille et des parois fines sans surchauffe locale excessive ni déformation. Le gaz utilisé est l'argon et la teneur en oxygène est de 0,9-3,3%. La méthode MPS permet d'appliquer une large gamme de matériaux : métaux, alliages, biocéramiques (hydroxyapatite, phosphate tricalcique)... Cette technologie a notamment été développée pour la réalisation d'implants d'endoprothèses.



Examples of products with biocompatible coating deposited by microplasma spraying at the E. O. Paton EWI: components of hip implants (a), (b); implant for interbody spondylosyndesis (c); dental implants (d).

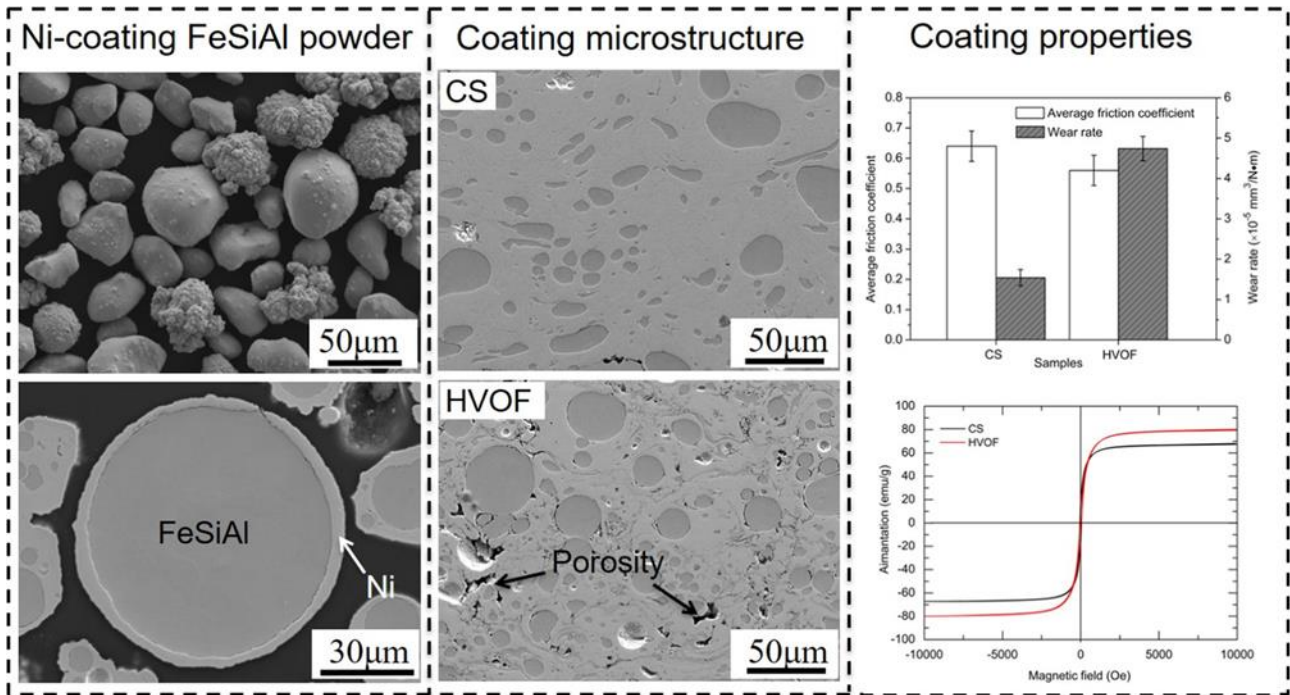
**Étude comparative de la microstructure et des propriétés des revêtements composites magnétiques doux FeSiAl, revêtus de nickel, produits par projection à froid et HVOF** (Comparative investigation of microstructure and properties of Ni-coated FeSiAl soft magnetic composite coatings produced by cold spraying and HVOF)

*Xinliang Xie, Chaoyue Chen, ICB UMR 6303, CNRS, Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, Belfort, FR*

*Surface and Coatings Technology, Volume 371, 15 August 2019, Pages 224-234*

Dans ce travail, les projection Cold Spray (CS) et HVOF ont été utilisées pour la réalisation des revêtements composites magnétiques doux (SMC – soft magnetic composite) Ni/FeSiAl en utilisant une poudre composite FeSiAl revêtue de Ni. Les analyses microstructurales ont été réalisées par microscopie électronique à balayage (SEM) et par diffraction des rayons X (XRD). Les propriétés tribologiques et magnétiques des revêtements Ni/FeSiAl SMC ont également été étudiées de manière comparative. Les résultats ont montré que le revêtement CS présentait une déformation des particules plus élevée et une densité beaucoup plus élevée, tandis que le revêtement HVOF présentait des défauts plus visibles et une teneur en oxyde légèrement plus élevée. Le revêtement CS et le revêtement HVOF subissent une perte de particules de FeSiAl pendant le dépôt, mais une teneur plus élevée en particules FeSiAl a été obtenue dans le revêtement composite HVOF, ce qui indique une efficacité plus élevée de ce dernier. L'analyse XRD montre que les deux revêtements n'enregistrent aucune oxydation et transformation de phase évidentes pendant les processus de dépôt. Des particules partiellement fondues apparaissent avec le dépôt HVOF. Les tests tribologiques ont révélé une meilleure performance en tenue à l'usure du revêtement CS en raison de la déformation plastique et d'une microdureté améliorées. Le revêtement HVOF présente pour sa part de

meilleures performances magnétiques. Cela peut s'expliquer par la plus grande rétention des particules de FeSiAl et la génération de contraintes de déformation plus faible avec ce type de dépôt.





# TRAITEMENT DES ALLIAGES LEGERS

**Dépôt superhydrophobe Mg-Al HDL sur un alliage de magnésium revêtu par oxydation micro-arc pour améliorer sa résistance à la corrosion** (Enhanced corrosion resistance of micro-arc oxidation coated magnesium alloy by superhydrophobic Mg-Al layered double hydroxide coating)

Zhi-hu WANG, Ju-mei ZHANG, Xi'an University of Technology, CN

Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 29, Issue 10, October 2019, Pages 2066-2077

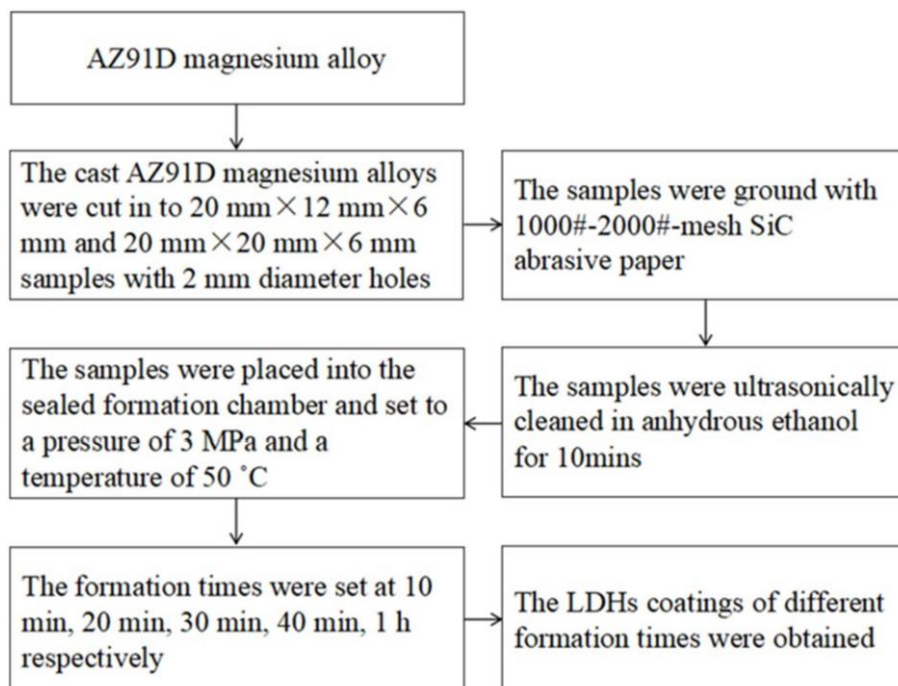
Pour améliorer encore la résistance à la corrosion des couches céramiques poreuses d'oxydation micro-arc (MAO) sur un alliage de magnésium AZ31, un revêtement superhydrophobe Mg-Al HDL (Hydroxydes Doubles Lamellaires ou LDH – Layered Double Hydroxyde) a été réalisé en utilisant une méthode de croissance in situ suivie par modification de surface avec de l'acide stéarique. Les caractéristiques des différents revêtements ont été étudiées par XRD (Diffraction des rayons X), SEM (Microscopie électronique à balayage) et EDS (Spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie). L'effet du temps de traitement hydrothermal sur la formation des revêtements LDH a été étudié. Les résultats ont démontré que les micropores et les fissures du revêtement MAO étaient progressivement scellés via le LDH (croissance in situ avec un temps de traitement hydrothermal prolongé). Les mesures électrochimiques ont montré que la densité de courant de corrosion la plus faible, le potentiel de corrosion le plus élevé et l'impédance de module le plus élevé ont été observés pour le revêtement LDH / MAO superhydrophobe par rapport aux revêtements MAO et LDH / MAO. Des tests en immersion ont montré que le revêtement LDH / MAO superhydrophobe avait une capacité anti-corrosion considérablement améliorée et pouvait assurer la protection à long terme pour l'alliage revêtu MAO.

**Procédé de formation d'un revêtement HDL sur un alliage de magnésium par CO<sub>2</sub> pressurisé** (Formation Process of an LDHs Coating on Magnesium Alloy by a CO<sub>2</sub> Pressurization Method)

Xiaochen Zhang, Jiaoxiang Wang, Harbin Engineering University, CN

Coatings 2019, 9(1), 47

Le processus de formation d'un revêtement de HDL (Hydroxydes Doubles Lamellaires ou LDH – Layered Double Hydroxyde) sur un alliage de magnésium par CO<sub>2</sub> pressurisé a été étudié. La microstructure a été observée par diverses méthodes (OM, SEM et GAXRD) et des calculs et analyses électrochimique ont montré que le revêtement LDH était formé couche par couche initialement sur la phase  $\alpha$ -Mg puis sur la phase  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>. Le revêtement s'est avéré être le plus compact après 30 minutes de traitement. D'importantes fissures et trous sont apparus au fil du temps. Le processus de formation du revêtement LDH peut être divisé en trois étapes : une étape de croissance rapide (0-10 min), une étape de croissance lente (10-20 min) et une étape de croissance périodique (30 min, 1 h). Les énergies d'activation apparentes dans chacune des trois étapes sont respectivement de 21,78, 31,86 et 34,92 kJ mol<sup>-1</sup>. Le revêtement LDH présente une microstructure compacte et de meilleures propriétés anti-corrosion à une pression de 3 Mpa, une température de 50°C et un temps de traitement de 30 min. La pressurisation au CO<sub>2</sub> favorise une vitesse de réaction de formation et atteint une efficacité de formation élevée et une bonne stabilité de formation dans des conditions de pollution nulle.





**Analyse par éléments finis et étude expérimentale de l'érosion par particules solides multiples d'un alliage de titane Ti-6Al-4V revêtu d'un dépôt multicouches résistant à l'usure** (Finite element and experimental investigation of multiple solid particle erosion on Ti-6Al-4V titanium alloy coated by multilayer wear-resistant coating)  
*Amir Sajjad Khoddami, Davood Salimi-Majd, Iran University of Science & Technology, Narmak, Tehran, IR*  
*Surface and Coatings Technology, Volume 372, 25 August 2019, Pages 173-189*

Afin d'obtenir une conception optimale de résistance à l'usure, il est nécessaire d'avoir une approche efficace pour déterminer l'architecture de revêtements de protection adaptés à diverses conditions d'érosion. Cet article vise à étudier la défaillance due à l'érosion par particules solides multiples de l'alliage Ti-6Al-4V non revêtu et revêtu. Pour minimiser les coûts et le temps de calcul, cette étude présente un modèle par éléments finis tridimensionnel utilisant la technique du Volume Élémentaire Représentatif (RVE – representative volume element) pour la simulation de l'impact de plusieurs particules solides. Les équations constitutives des lois de plasticité et d'endommagement de Johnson-Cook ont été utilisées pour décrire le comportement érosif du Ti-6Al-4V à taux de déformation élevé. Après vérification du modèle par éléments finis (FE) basé sur le modèle de Johnson-Cook, la meilleure architecture des revêtements à base de nitrure de titane (TiN) déposés sur l'alliage Ti-6Al-4V a été déterminée numériquement. Dans un premier temps, les caractéristiques du meilleur revêtement TiN monocouche obtenues ont été utilisées comme référence pour les configurations multicouches. Ensuite, les effets de l'épaisseur, du module d'Young et des couches de TiAlN sur la résistance à l'érosion des revêtements ont été étudiés pour optimiser l'architecture des revêtements multicouches. Enfin, le revêtement optimisé a été déposé sur un alliage Ti-6Al-4V par un procédé de dépôt physique en phase vapeur (PVD) et le comportement à l'érosion d'alliages revêtus et non revêtus a été étudié expérimentalement. Les résultats numériques montrent que le revêtement TiN/TiAlN présente la meilleure résistance à l'érosion par rapport aux autres configurations de cette étude. Il est composé d'une couche inférieure en TiAlN avec une épaisseur relative de 90% et un module d'Young de 526Gpa et d'une couche supérieure en TiN avec une épaisseur relative de 10% et un module d'Young de 300Gpa. Une amélioration moyenne de la résistance à l'érosion de 2,7 fois a été relevée expérimentalement pour l'alliage revêtu par rapport à l'alliage non revêtu.

**Influence du glycérol sur l'évolution des revêtements par oxydation par plasma électrolytique et sur la tenue à la corrosion de l'alliage de magnésium AM50** (Influence of glycerol on plasma electrolytic oxidation coatings evolution and on corrosion behaviour of coated AM50 magnesium alloy)  
*Ashutosh Jangde, S. Kumar, Indian Institute of Science, Bangalore, IN*  
*Corrosion Science, Volume 157, 15 August 2019, Pages 220-246*

Les revêtements PEO (Plasma Electrolytic Oxidation ou Oxydation par Plasma Électrolytique) ont été obtenus à partir d'un électrolyte base silicate (bPEO) et d'électrolytes silicates incluant du glycérol (gPEO) pour différents temps de traitement. L'évolution des revêtements PEO et leur comportement à la corrosion ont été systématiquement étudiés en fonction du temps de traitement. Une taille de pore maximale plus petite et une densité de pore plus élevée ont été détectées pour le gPEO par rapport au bPEO pendant tout le temps de traitement. L'addition de glycérol a entraîné une réduction de l'épaisseur du revêtement et favorisé la formation de périclase (MgO). Les auteurs ont également relevé l'amorphisation de la forstérite (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>). La spectroscopie d'impédance électrochimique a montré que le gPEO avait une meilleure résistance à la corrosion que le bPEO.

**Influence du temps de post-traitement d'un revêtement de protection au chrome trivalent sur l'amélioration de la résistance à la corrosion d'un alliage d'aluminium 2024-T3** (Influence of post-treatment time of trivalent chromium protection coating on aluminium alloy 2024-T3 on improved corrosion resistance)  
*Anca-Iulia Stoica, Jolanta Światowska, Chimie ParisTech – CNRS, Institut de Recherche de Chimie Paris, FR*  
*Surface and Coatings Technology, Volume 369, 15 July 2019, Pages 186-197*

Les faibles performances de protection contre la corrosion des revêtements au chrome trivalent (TCP) par rapport aux couches de conversion au chrome (CCC) déposés sur les alliages d'aluminium peuvent être compensées par l'application de post-traitements. Ce travail montre l'effet d'un bain de post-traitement (contenant du peroxyde d'hydrogène et du sel de lanthane) sur la composition chimique, la structure et les performances anti-corrosion du revêtement TCP déposé sur un alliage d'aluminium AA 2024-T3. Différents temps de bain ont été appliqués sur le revêtement TCP et les échantillons ont été analysés par spectrométrie de masse d'ions secondaires à temps de vol (ToF-SIMS - Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry), spectrométrie photoélectronique par rayons X (XPS - X-Ray photoelectron spectrometry) et spectrométrie à décharge lumineuse (GD-OES - Glow Discharge - Optical Emission Spectrometry). Les analyses ToF-SIMS et GD-OES montrent que le temps de post-traitement n'a aucune influence sur l'épaisseur du revêtement TCP et sur sa structure bi-couche. Il est composé d'une couche externe, riche en oxydes de zirconium et de chrome et d'une couche interne riche en oxydes d'aluminium et oxy-fluorures. Les images 3D ToF-SIMS révèlent un enrichissement d'espèces de type Cr et Zr à la surface des particules intermétalliques par rapport à la matrice d'alliage, tandis qu'une distribution homogène de La est observée. L'analyse de la distribution en profondeur montre que le La est présent principalement dans la partie externe du revêtement TCP. La concentration de La augmente avec l'augmentation du temps de post-traitement. L'effet du temps de post-traitement sur la protection a été évalué par spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS - Electrochemical Impedance Spectroscopy) et voltamétrie à balayage linéaire de potentiel (LSV - Linear Sweep Voltammetry) dans un électrolyte NaCl 0,001 M + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M. L'augmentation du temps de post-traitement améliore la réduction

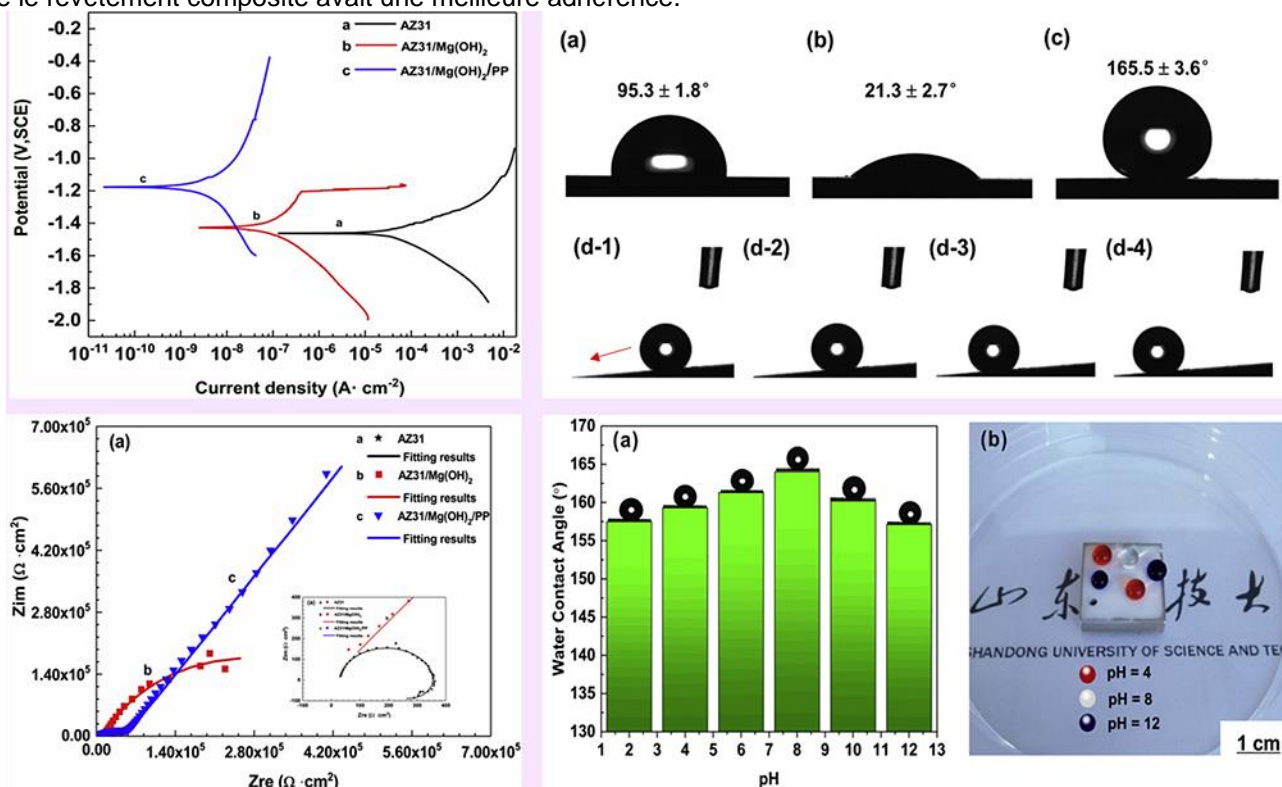
cathodique de l'oxygène. Le post-traitement améliore l'homogénéité du revêtement et ses propriétés d'étanchéité (grâce à la présence de La).

**Résistance à la corrosion d'un revêtement polypropylène superhydrophobe sur un alliage de magnésium AZ31 prétraité à l'hydroxyde de magnésium** (Corrosion resistance of one-step superhydrophobic polypropylene coating on magnesium hydroxide-pretreated magnesium alloy AZ31)

Zhao-Qi Zhang, Rong-Chang Zeng, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, CN

Journal of Alloys and Compounds, Volume 821, 25 April 2020, 153515

Les revêtements superhydrophobes sur alliages de magnésium (Mg) comprennent généralement un revêtement intérieur avec une structure hiérarchique et un revêtement extérieur avec une faible énergie de surface. Cependant, l'instabilité et la faible adhérence interfaciale des deux revêtements limitent leur utilisation à plus grande échelle. Dans cet article, un revêtement de  $Mg(OH)_2$  a été formé sur un alliage de magnésium AZ31 via un procédé hydrothermique, lequel a ensuite été revêtu par la formation d'une étape d'un film de polypropylène (PP) à structure sphérique de taille micrométrique afin d'obtenir un revêtement résistant à la corrosion et superhydrophobe. La morphologie de la surface et la composition chimique des revêtements ont été caractérisées par microscopie électronique à balayage en émission de champ (FE-SEM - Field emission scanning electron microscopy), spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) et diffraction des rayons X (XRD) ainsi que par spectrométrie photoélectronique par rayons X (XPS). Les angles de contact et de glissement ont été mesurés pour déterminer l'hydrophobicité du revêtement. De plus, la résistance à la corrosion a été étudiée par polarisation électrochimique, spectroscopie d'impédance électrochimique et mesure de l'évolution des taux d'hydrogène. Les résultats ont montré que le revêtement hybride  $Mg(OH)_2$  / PP présentait une superhydrophobicité en raison de sa structure sphérique à l'échelle du micron avec un angle de contact élevé ( $165,5 \pm 3,6^\circ$ ), un angle de glissement faible ( $4 \pm 0,6^\circ$ ) et une faible énergie de surface ( $6,7 \text{ mJ} / \text{m}^2$ ). La densité du courant de corrosion a diminué d'environ quatre ordres de grandeur (de  $6,15 \times 10^{-5} \text{ A cm}^{-2}$  à  $3,12 \times 10^{-9} \text{ A cm}^{-2}$ ) par rapport au substrat AZ31, indiquant que le revêtement proposé possédait une résistance supérieure à la corrosion. Les tests de stabilité ont indiqué que le revêtement hybride présentait une excellente stabilité physique et chimique. De plus, les tests de rayures ont révélé que le revêtement composite avait une meilleure adhérence.



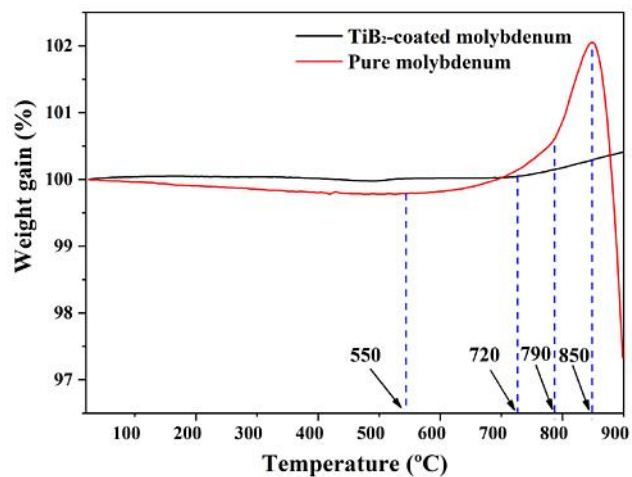
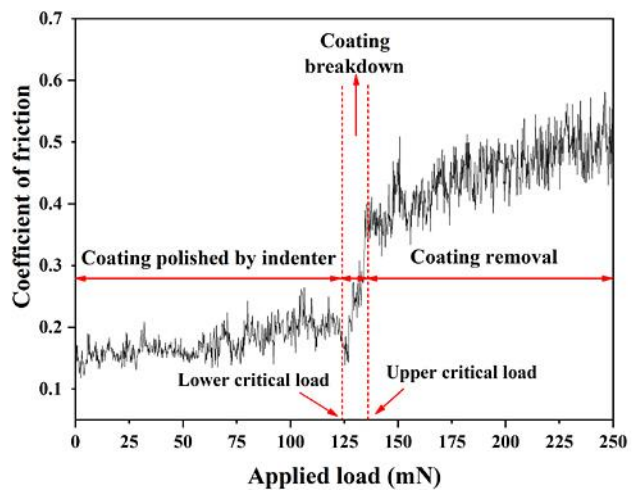
**Étude des propriétés mécaniques et de la résistance à l'oxydation d'un revêtement céramique CVD  $TiB_2$  sur molybdène** (Investigation of mechanical properties and oxidation resistance of CVD  $TiB_2$  ceramic coating on molybdenum)

Xiaoxiao Huang, Shuchen Sun, School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang, CN

Journal of Materials Research and Technology, Volume 9, Issue 1, January–February 2020, Pages 282-290

Les revêtements céramiques anti-oxydation  $TiB_2$  ont été synthétisés avec succès sur un substrat Mo en utilisant un procédé de déposition chimique en phase vapeur (CVD). Un test de rayure a été effectué pour mesurer la force d'adhérence des revêtements. Les résultats indiquent une bonne adhérence entre les deux matériaux (force d'adhésion de 125 mN). De plus, des tests d'oxydation à haute température ont indiqué que le revêtement céramique protégeait le substrat Mo contre l'oxydation jusqu'à  $900^\circ\text{C}$ . Des expériences d'oxydation isotherme ont révélé que le

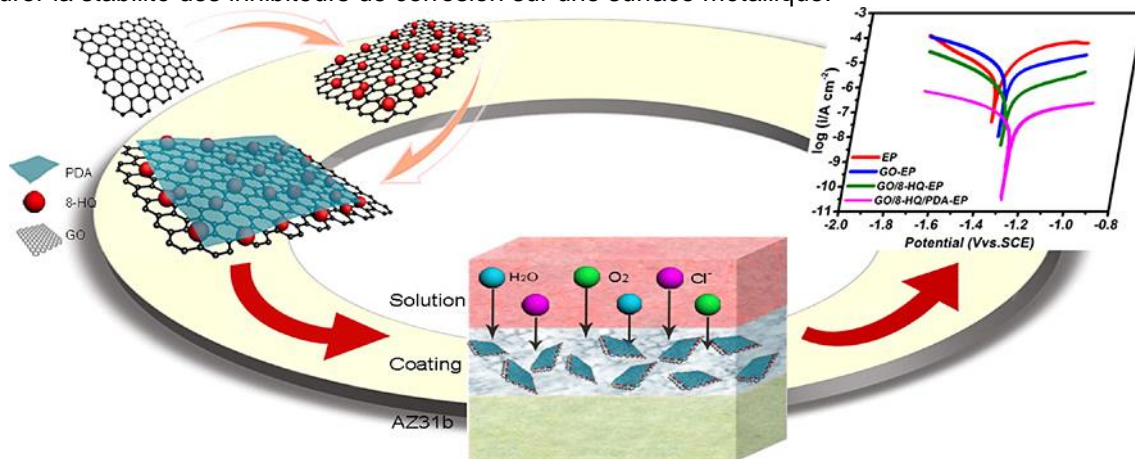
substrat Mo recouvert d'un revêtement céramique  $\text{TiB}_2$  de  $13\ \mu\text{m}$  d'épaisseur était protégé contre l'oxydation pendant une durée de 5 h. La cinétique d'oxydation suit une loi parabolique pendant les 2,5 premières heures et une loi linéaire les 2,5 heures suivantes.



# PEINTURES

**Structure sandwich d'oxyde de graphène revêtu de polydopamine and 8-hydroxyquinoléine pour l'amélioration de la résistance à la corrosion de revêtements époxy** (The sandwich-like structures of polydopamine and 8-hydroxyquinoline coated graphene oxide for excellent corrosion resistance of epoxy coatings)  
*Yanning Chen, Baohui Ren, Chinese Academy of Sciences, Fuzhou, CN*  
Journal of Colloid and Interface Science, Volume 565, 1 April 2020, Pages 436-448

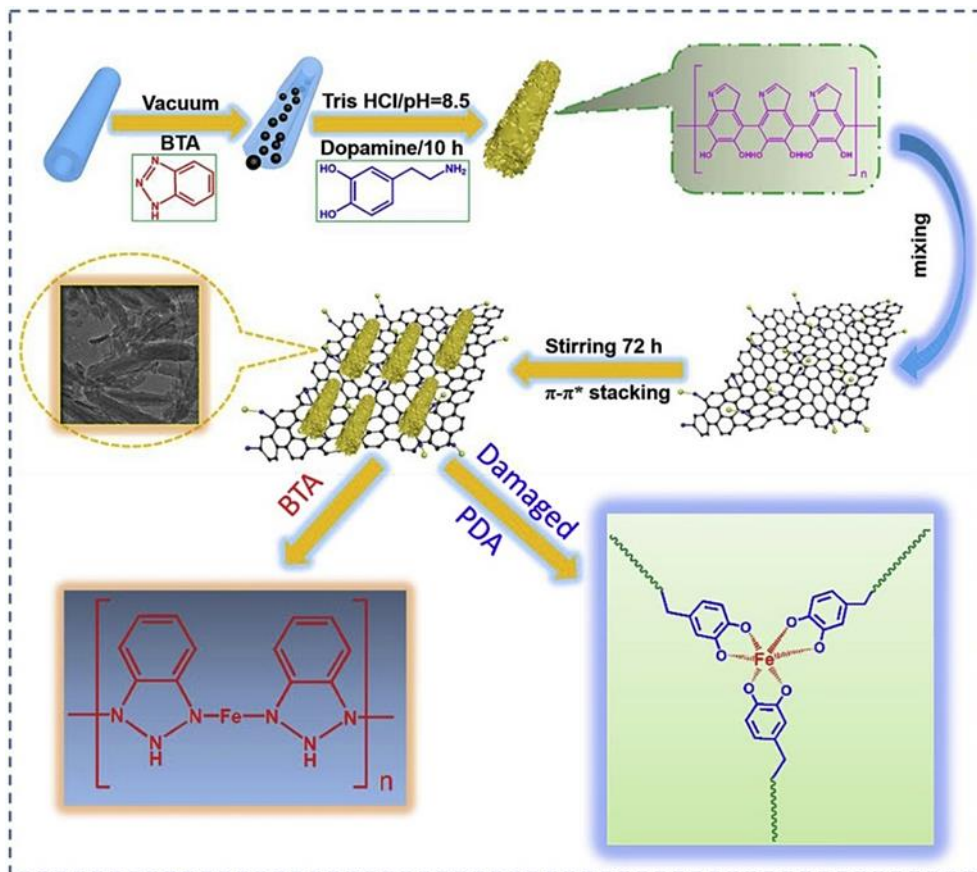
Un nouveau matériau de structure type sandwich a été exploité pour la fabrication d'un système de résistance à la corrosion efficace. Un matériau composite respectueux de l'environnement a été synthétisé en déposant de la 8-hydroxyquinoléine (8-HQ) à la surface d'un oxyde de graphène (GO). Afin d'éviter une déperdition de l'inhibiteur de corrosion 8-HQ, ce dernier a été modifié par de la polydopamine (PDA). La structure sandwich résultante (GO / 8-HQ / PDA) permet un stockage stable à long terme de l'inhibiteur de corrosion dans la matrice de protection. La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), la spectroscopie photoélectronique aux rayons X (XPS) et la microscopie électronique à balayage (SEM) ont été utilisées pour vérifier la structure du matériau sandwich. Les tests électrochimiques dans une solution de NaCl à 3,5% en poids ont montré que l'ajout de GO / 8-HQ / PDA bien dispersés dans le système époxy (GO / 8-HQ / PDA-EP) améliorerait remarquablement la protection contre la corrosion de l'alliage de magnésium AZ31b par rapport à un simple revêtement époxy (EP). La structure sandwich protège l'activité et l'intégrité structurale de l'inhibiteur de corrosion (8-HQ) qui coupe l'échange d'ions entre l'alliage métallique et la solution d'électrolyte et empêche la corrosion électrochimique du métal. Un mécanisme de résistance à la corrosion possible de la structure GO / 8-HQ / PDA est discuté en détail. Cette étude présente une voie possible pour assurer la stabilité des inhibiteurs de corrosion sur une surface métallique.



**Revêtements époxy bio-inspirés avec fonction barrière et propriétés auto-cicatrisantes obtenus à partir de polydopamine** (Bio-inspired superior barrier self-healing coating: Self-assembly of graphene oxide and polydopamine-coated halloysite nanotubes for enhancing corrosion resistance of waterborne epoxy coating)  
*Chunlin Chen, Guoqing Xiao, Southwest Petroleum University, Chengdu City, CN*  
Progress in Organic Coatings, Volume 139, February 2020, 105402

Les matériaux bio-inspirés, notamment la dopamine, ont suscité un immense intérêt scientifique dans le domaine de la modification de surface en raison de leurs propriétés bio-adhésives élevées sur divers substrats. Ici, la polydopamine (PDA) a été utilisée de contrôle d'accès en réponse au pH acide. La fonction barrière et les effets d'auto-cicatrisation des revêtements obtenus (voir figure) ont été évalués sur un substrat en acier au carbone via des tests électrochimiques et des tests au brouillard salin. Les résultats prouvent que le revêtement possède une activité barrière supérieure en milieu corrosif et des propriétés auto-cicatrisantes exceptionnelles lorsque les ions corrosifs ont atteint l'interface métal / revêtement.





# FABRICATION ADDITIVE

## **Comparaison du durcissement de surface par traitements thermo-chimiques d'un substrat Ti-6Al-4V fabriqué par SLM** (Gaseous surface hardening of Ti-6Al-4V fabricated by selective laser melting)

*Emilie H. Valente, Morten S. Jellesen - Technical University of Denmark, Lyngby, DK*  
Surface and Coatings Technology, Volume 383, 15 February 2020, 125278

Le présent travail étudie l'effet de différents traitements thermo-chimiques gazeux sur du Ti-6Al-4V obtenu par SLM. Les microstructures résultantes après traitement ont été étudiées par diffraction des rayons X, microscopie optique, microscopie électronique à balayage et soumis à des tests de micro-dureté Vickers. La nitruration, effectuée à 1000-1050°C, a entraîné une zone de diffusion d'azote dans une solution solide et des couches de composés de surface constituées de TiN (et de Ti<sub>2</sub>N à 1000°C). En dessous de cette couche, un enrichissement en Al de la zone  $\alpha$  a été observé. La carbo-oxydation dans une atmosphère de CO à 1000-1050°C a entraîné des zones de diffusion profondes et des couches épaisses de composé ternaire TiC<sub>1-x</sub>O<sub>x</sub>. La dureté de la surface et la profondeur de la couche augmentent avec la température et le temps de traitement. Un contrôle du process chimique, utilisant le système redox CO-CO<sub>2</sub>, a été effectué à des températures comprises entre 850 et 1050°C, ce qui a entraîné la formation d'oxydes avec un rapport Ti:O croissant avec la température. La nitruration suivie d'un traitement (carbo-) oxydant conduit à l'obtention d'une dureté de surface plus élevée en raison de la formation de composés interstitiels mixtes TiC<sub>1-x-y</sub>N<sub>x</sub>O<sub>y</sub> dans la couche de composés. Cette couche s'est développée dans la zone riche en Al sous la forme de structures allongées. L'amélioration de la tenue à l'usure par nitruration, carbo-oxydation et duplex nitruration / (carbo-) oxydation des échantillons de Ti-6Al-4V SLM a été évaluée par des tests d'usure par frottement à sec. Un abaissement du volume d'usure jusqu'à un facteur de 450 par rapport à un échantillon de référence recuit a été mesuré. La meilleure résistance est obtenue avec l'échantillon carbo-oxydé dans le CO à 1000°C avec une baisse du coefficient de frottement ( $\mu = 0,22$  en moyenne contre  $\mu = 0,45$  pour un l'échantillon de référence).

## **Fabrication additive arc-fil in situ d'un revêtement NiTi sur alliages Ti6Al4V : caractérisation de la microstructure et propriétés mécaniques** (In-situ dual wire arc additive manufacturing of NiTi-coating on Ti6Al4V alloys: Microstructure characterization and mechanical properties)

*Jun Wang, Zengxi Pan - University of Wollongong, AU*

Surface and Coatings Technology, Available online 4 February 2020, 125439

Dans cette étude, la technique de fabrication additive arc-fil (WAAM - wire arc additive manufacturing) a été utilisée pour déposer une couche protectrice de NiTi sur un substrat Ti6Al4V par un alliage in situ de fils Ni et Ti purs séparés afin d'améliorer les propriétés mécaniques de la surface du substrat. L'influence du courant d'arc sur la microstructure, la formation de phase, la transition de microdureté et les caractéristiques d'usure à sec des revêtements a été systématiquement analysées. Des revêtements composites denses et sans fissures, constitués d'une phase principale NiTi<sub>2</sub> avec des dendrites NiTi mineures ou de fines dendrites  $\alpha$  Ti, en fonction du courant d'arc, ont été obtenus. La valeur de microdureté moyenne maximale de 818HV<sub>0,2</sub> a été atteinte avec un courant appliqué de 60A, ce qui est 2,4 fois plus important que dans le cas du substrat non revêtu. Les résultats aux tests d'usure par frottement ont révélé que les revêtements NiTi présentaient une résistance à l'usure supérieure au substrat et que le coefficient de frottement était considérablement inférieur à celui du substrat non revêtu. Cette étude montre que la réalisation de revêtements par WAAM est envisageable et pourrait permettre des économies de temps et d'argent.

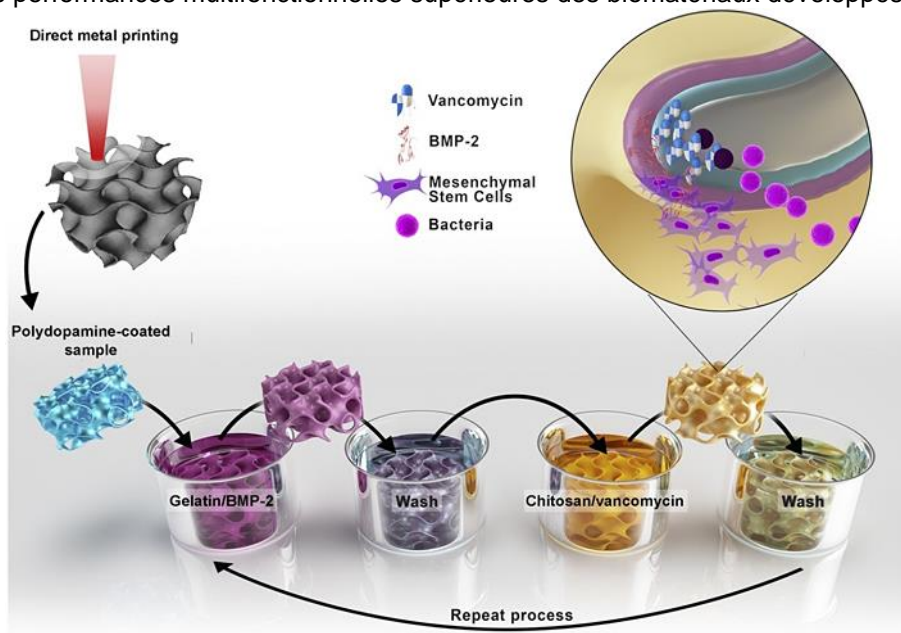
## **Revêtements par couches réalisé par fabrication additive pour la conception de méta-biomatériaux** (Layer by layer coating for bio-functionalization of additively manufactured meta-biomaterials)

*S. Amin Yavar, M. Croes, University Medical Center Utrecht, NL*

Additive Manufacturing, Volume 32, March 2020, 100991

La fabrication additive a facilité la fabrication de méta-biomatériaux métalliques complexes qui offrent aux patients un ensemble sans précédent de propriétés mécaniques, biologiques, de transport de masse ainsi qu'une structure poreuse entièrement interconnectée. Cependant, l'application de méta-biomatériaux pour répondre aux besoins cliniques non satisfaits en chirurgie orthopédique nécessite des fonctionnalités de surface supplémentaires qui peuvent être induites par des revêtements sur mesure. Dans ce travail, les auteurs ont développé des revêtements multicouches (couche par couche) pour prévenir simultanément les infections associées aux implants et stimuler la régénération du tissu osseux. Plusieurs couches de revêtements à base de gélatine et de chitosane contenant, soit de la protéine morphogénétique osseuse (BMP)-2, soit de la vancomycine ont été déposées sur la surface de structures poreuses (dépôts de titane pur commercial (CP Ti) par SLM). Les dépôts ont été réalisés en utilisant une surface minimale triplement périodique (de type gyroïde). Le processus a permis d'obtenir une structure poreuse répondant aux valeurs de conception. Les analyses (spectroscopie photoélectronique aux rayons X) ont confirmé la présence de ces couches et ont permis d'en définir la composition. Les ont pu constater une libération continue de la vancomycine et du BMP-2 pendant 2 à 3 semaines. De plus, les méta-biomatériaux développés présentent un très fort potentiel antibactérien avec une réduction de magnitude des bactéries planctoniques et adhérentes aux implants importante (d'ordre 8) et aucun signe de formation de biofilm n'a été relevé. La différenciation ostéogénique

des cellules souches mésenchymateuses a été améliorée, comme le montre l'augmentation de l'activité de la phosphatase alcaline (x 2) et la minéralisation de tous les groupes expérimentaux contenant BMP-2 (jusqu'à x 4). Une implantation sous-cutanée in vivo durant 8 semaines n'a montré aucun signe de réponse de corps étranger, tandis que la croissance du tissu conjonctif a été favorisée par le revêtement par couches. Ces résultats confirment sans équivoque les performances multifonctionnelles supérieures des biomatériaux développés.

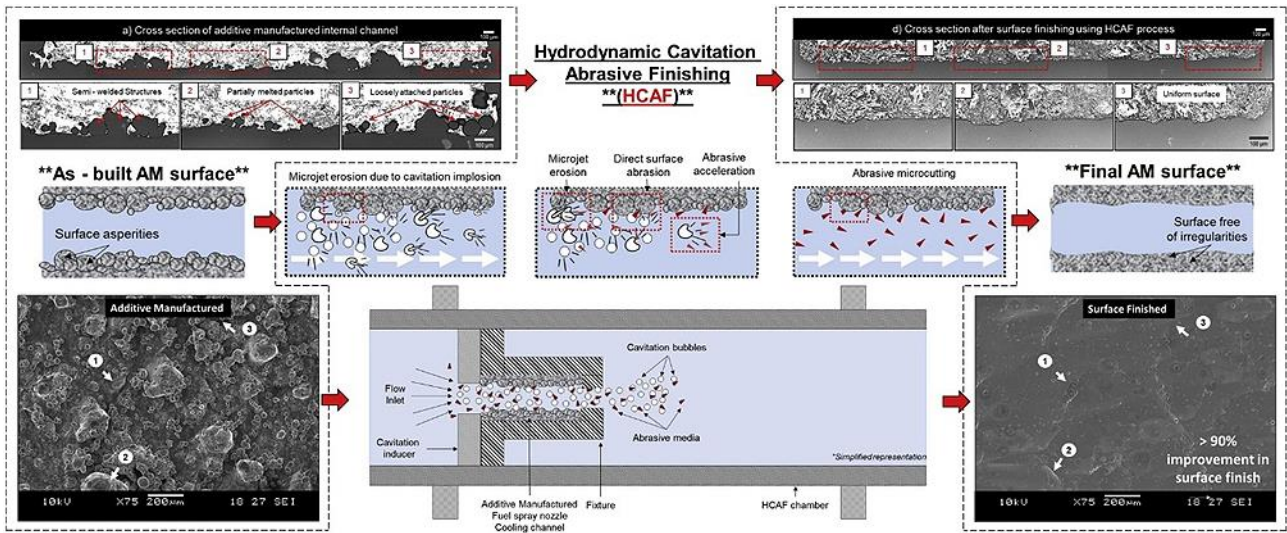


**Effets synergiques de la finition par cavitation hydrodynamique-abrasion pour l'amélioration de la surface interne des composants réalisés par fabrication additive** (Synergistic Effects in Hydrodynamic Cavitation Abrasive Finishing for Internal Surface-Finish Enhancement of Additive-Manufactured Components)

Arun Prasanth Nagalingam, Hemanth Kumar Yuvaraj, Nanyang Technological University, SG Additive Manufacturing, Available online 4 February 2020, 101110

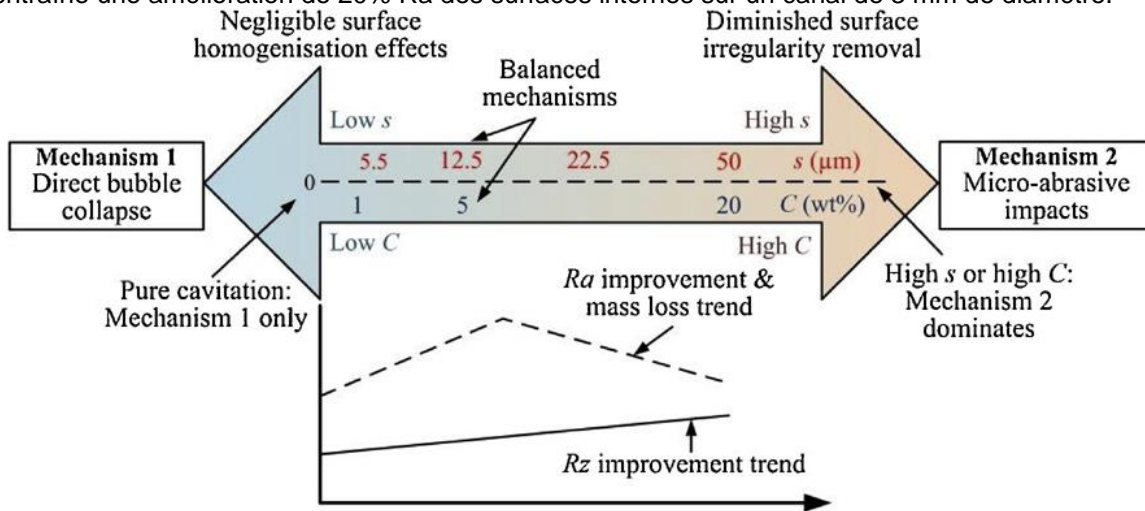
La finition de surface des canaux internes de composants réalisés par fabrication additive (FA) est un challenge industriel important. Dans cette étude, une nouvelle technique de finition par cavitation hydrodynamique-abrasion (HCAF - hydrodynamic cavitation abrasive finishing) est proposée et sa faisabilité pour la finition de surface est analysée. La finition de surface est réalisée en utilisant des phénomènes contrôlés d'érosion par cavitation hydrodynamique et d'abrasion des microparticules. Diverses conditions de finition de surface ont été utilisées pour étudier l'enlèvement de matière et l'amélioration de la finition de surface via des effets synergiques dans le procédé HCAF. Pour quantifier les contributions de chaque mécanisme d'érosion, les canaux internes en AISi10Mg fabriqués de manière additive ont été traités en surface dans différentes conditions isolées : a) choc liquide, b) érosion par cavitation absolue, c) abrasion absolue, et d) cavitation assistée par abrasion aux microparticules. Le taux d'érosion et la perte totale d'épaisseur ont été utilisés pour quantifier la finition de surface. Les effets synergiques (conditions HCAF) ont permis une élimination des matières 80% plus élevée et une amélioration de l'état de surface supérieure à 90% (Ra) par comparaison avec la cavitation pure et l'abrasion. Une carte a été proposée pour quantifier la contribution des effets synergiques du procédé HCAF. Le mécanisme synergique d'enlèvement de matière est expliqué à l'aide d'observations de la morphologie de surface. La cavitation hydrodynamique a progressivement éliminé les aspérités de surface des canaux internes des composants FA. Les micro-abrasifs présents dans le flux de cavitation ont favorisé l'érosion, créant un effet synergique qui se traduit par un enlèvement de matière et une qualité de finition de surface considérablement améliorés. Les résultats suggèrent que les effets synergiques de la finition par cavitation hydrodynamique-abrasion sont efficaces pour améliorer l'enlèvement de matière et la qualité de la finition de surface de composants FA.





**Finition de surface par effets combinés de l'abrasion et de la cavitation ultrasonique de pièces en alliage de nickel IN625 réalisés par fusion laser sur lit de poudre** (Surface finishing on IN625 additively manufactured surfaces by combined ultrasonic cavitation and abrasion)  
 K. L. Tan, S. H. Yeo - Nanyang Technological University, SG  
 Additive Manufacturing, Volume 31, January 2020, 100938

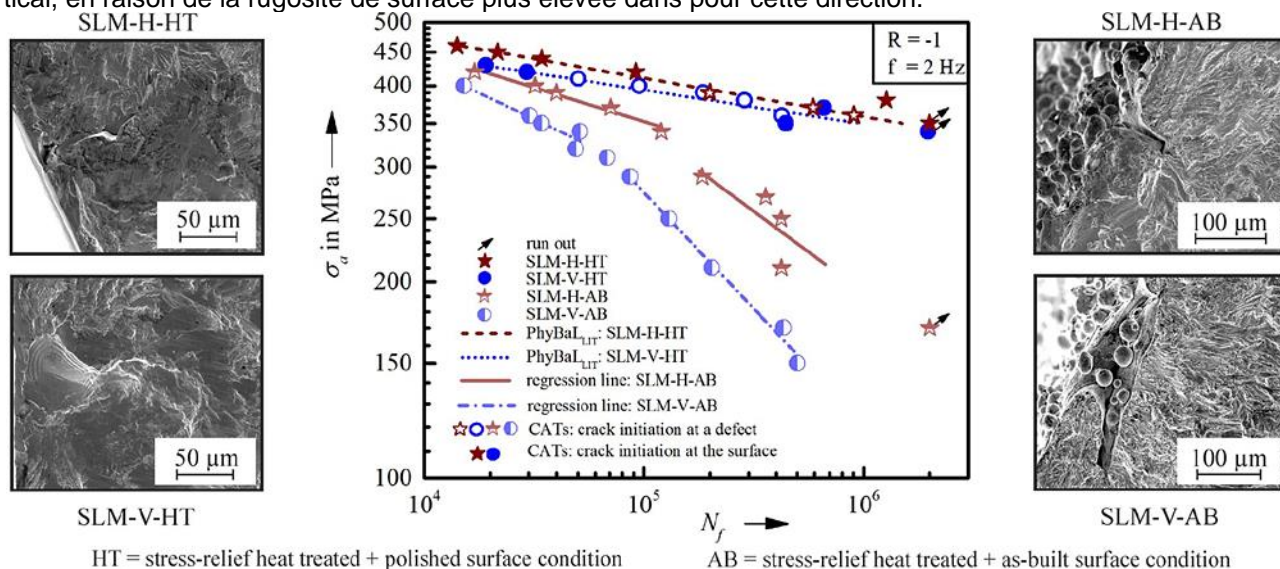
La qualité de surface médiocre et non uniforme des pièces produites par des procédés de fusion sur lit de poudre (PBF) reste extrêmement limitant en fabrication additive. Dans cette étude, les auteurs montrent que la finition par cavitation ultrasonique-abrasion (UCAF - ultrasonic cavitation abrasive finishing) pourrait améliorer l'intégrité des surfaces PBF réalisées suivant différentes orientations  $-0^\circ$ ,  $45^\circ$  et  $90^\circ$ . La rugosité de surface moyenne, Ra, a été réduite de  $6,5 \mu\text{m}$  à  $3,8 \mu\text{m}$  ( $90^\circ$ ). Les observations morphologiques de surface ont montré des suppressions importantes des irrégularités de surface, la réduction étant maximale pour les surfaces à  $45^\circ$  et  $90^\circ$ . La micro-dureté des 100 premiers  $\mu\text{m}$  de la couche de surface a été augmentée jusqu'à 15% après application du procédé UCAF. Les changements dimensionnels sont minimes et dépendent uniquement des caractéristiques des surfaces initiales. Une étude paramétrique a en outre montré l'effet de la taille et de la concentration en abrasif, de l'amplitude des ultrasons sur les performances de l'UCAF. Une taille des particules abrasives modérée ( $12,5 \mu\text{m}$ ) et un niveau de concentration à 5% en poids ont donné le Ra final le plus bas car les deux principaux mécanismes d'élimination des matériaux (érosion directe par cavitation et impacts micro-abrasifs) – sont équilibrés. Enfin, il a été démontré que l'UCAF entraîne une amélioration de 20% Ra des surfaces internes sur un canal de 3 mm de diamètre.



**Détermination de l'influence d'un traitement thermique sur une surface AISI 316L réalisée par SLM – Effets sur la tenue en fatigue en utilisant des procédures courtes et efficaces** (Determination of the influence of a stress-relief heat treatment and additively manufactured surface on the fatigue behavior of selectively laser melted AISI 316L by using efficient short-time procedures)  
 Bastian Blinn, Florian Krebs - TU Kaiserslautern, DE  
 International Journal of Fatigue, Volume 131, February 2020, 105301

L'utilisation de la fabrication additive (FA) pour la production de composants structuraux critiques pour la sécurité, rend indispensable une étude approfondie de la microstructure spécifique des matériaux FA ainsi que des propriétés mécaniques qui en résultent. Outre leur microstructure spéciale, les matériaux FA présentent une distribution très inhomogène des contraintes résiduelles ainsi que de nombreuses aspérités microstructurales induites par les

processus (pores dans le volume des matériaux et rugosité élevée des surfaces). Par conséquent, dans la production de composants FA, des traitements thermiques de relaxation et des post-traitements de surface sont couramment utilisés. Dans le présent travail, l'influence du traitement thermique de relaxation des contraintes ainsi que les états de surface sur les propriétés cycliques a été étudiée sur des échantillons en acier inoxydable AISI 316L réalisés par SLM. Les échantillons présentent des plans de couche orientés parallèlement et perpendiculairement à la direction de chargement. Afin de limiter le nombre d'essais, les méthodes PhyBa<sub>LCHT</sub> (tests d'indentation cycliques permettant une caractérisation de la tolérance aux défauts des matériaux) et des tests d'augmentation de charge (LITs) ont été utilisés pour les analyses qualitatives. De plus, une approche basée sur le calcul physique de la durée de vie (PhyBa<sub>LIT</sub>) a été appliquée pour la détermination quantitative du comportement à la fatigue des échantillons traités thermiquement. Ils montrent une excellente corrélation avec des tests à amplitude constante (CAT) effectués en complément et pour la validation. Bien que le traitement thermique n'influence pas de manière significative la tenue en fatigue des échantillons réalisés suivant un plan vertical, une augmentation de la tenue en fatigue est observée pour ceux réalisés suivant un plan horizontal (principalement due à une meilleure tolérance aux défauts, mesurée par la méthode PhyBa<sub>LCHT</sub>). De plus, les résultats montrent une tenue en fatigue significativement plus faible pour les échantillons bruts que pour les échantillons polis, notamment pour les échantillons réalisés suivant un plan vertical, en raison de la rugosité de surface plus élevée dans pour cette direction.



### Surfaces fonctionnelles de composants réalisés par fabrication additive arc-fil améliorées par laminage (Wire plus arc additive manufactured functional steel surfaces enhanced by rolling)

Philip Dirisu, Ganguly Supriyo - Cranfield University, UK

International Journal of Fatigue, Volume 130, January 2020, 105237

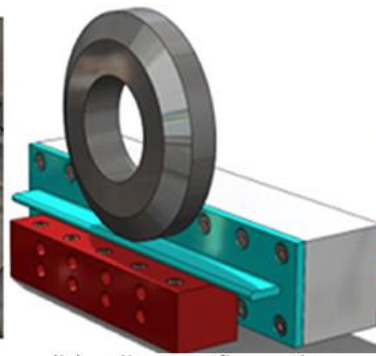
L'ondulation de surface (SW – surface waviness) est l'un des problèmes majeurs que l'on rencontre avec les composants réalisés par fabrication additive arc-fil (WAAM – Wire Arc Additive Manufacturing). L'ondulation de surface agit comme un élévateur de contraintes, réduisant ainsi les propriétés en traction et la tenue en fatigue. Dans cette étude, l'effet de la contrainte résiduelle en compression sur le comportement mécanique et en fatigue a été analysé sur un composant en acier doux réalisé en utilisant un procédé qui combine un dépôt WAAM et un laminage sur la surface de ce dernier. La microstructure a été caractérisée par un microscopie électronique à balayage et un microscopie optique. Les changements microstructuraux ont été caractérisés par diffraction des rayons X. Les résultats ont révélé qu'une augmentation du rayon d'entaille et de la contrainte de compression induite par le roulement réduisait l'ondulation de surface de 0,18 à 0,08 mm avec une diminution de la concentration de contrainte, réduisant ainsi l'initiation et la propagation des fissures et améliorant la durée de vie en fatigue. Les conclusions globales de ce travail sont les suivantes :

- une SW élevée nuit à la résistance mécanique et à la tenue en fatigue d'un composant en acier WAAM telle que déposée,
- il est possible d'introduire un état de contrainte résiduelle de compression en surface qui améliore la durée de vie d'un composant,
- la réduction de la SW par roulement entraîne une augmentation du rayon d'entaille également responsable de l'amélioration de la tenue en fatigue (diminution de la concentration de contraintes),
- le laminage à température ambiante entraîne une diminution de l'ondulation de surface et augmente la résistance des aciers doux WAAM en raison de l'écroutissage.





(a) Set-up



(b) roller configuration



(c) fatigue testing rig.

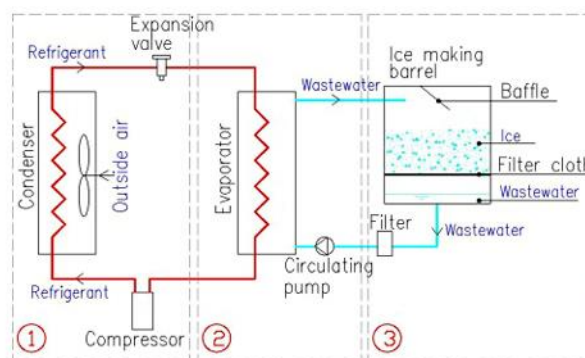
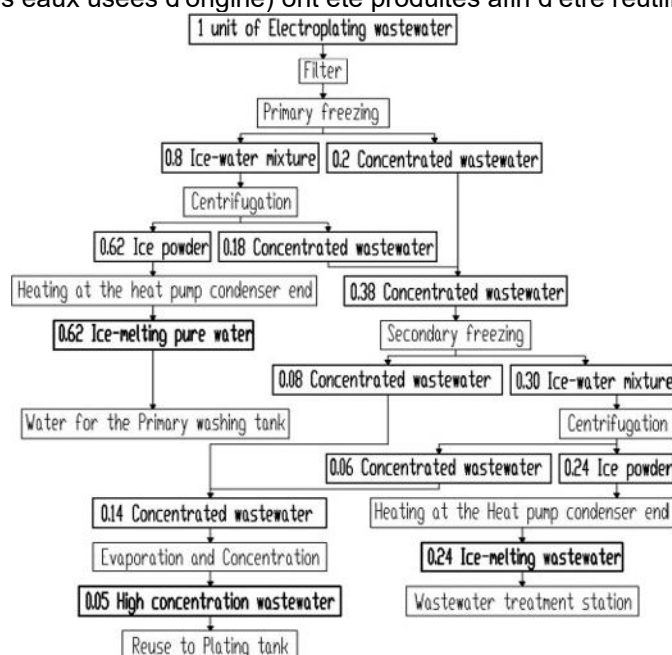
# GESTION DES DECHETS

## Traitement des eaux usées de bains électrolytiques par congélation et centrifugation (Treatment of electroplating wastewater using the freezing method)

Dong Chen, Chaosheng Zhang - Guangzhou University, CN

Separation and Purification Technology, Volume 234, 1 March 2020, 116043

Les eaux de rinçage peuvent être concentrées et réutilisées dans un bain électrolytique. Les méthodes prédominantes de concentration des eaux usées provenant sont l'osmose inverse et la concentration par évaporation. Cependant, l'osmose inverse ne permet pas de traiter les eaux usées fortement acides ( $\text{pH} < 2$ ) ou fortement alcalines ( $\text{pH} > 12$ ), et la portée de son application reste étroite. De son côté, les méthodes par évaporation nécessitent de grandes quantités d'énergie et sont donc coûteuses. En revanche, les méthodes par abaissement des températures peuvent donner de bons résultats à des coûts réduits. Dans cette étude, une technique de congélation dynamique (SWDIM - *supercooled water dynamic ice making*) a été appliquée pour la première fois pour congeler et cristalliser les eaux usées de rinçage. Cette première opération est suivie d'une séparation par centrifugation pour séparer les phases solide et liquide. Un traitement de ce type a été effectué sur des eaux de rinçage de bains de cuivre ( $\text{pH} = 1,15$ ), nickel ( $\text{pH} = 5,1$ ) et zinc ( $\text{pH} = 13,2$ ). Les résultats montrent qu'après congélation primaire et déshydratation centrifuge, le taux d'élimination du soluté dépassait 90%. Après une congélation secondaire et une nouvelle déshydratation centrifuge, des eaux usées concentrées (environ 0,14 volume des eaux usées d'origine) ont été produites afin d'être réutilisées dans les bains de traitement.



## Exploitation des effluents de nickelage électrolytique dans la fabrication de photocatalyseur pour la purification de l'eau (Utilization of nickel-electroplating wastewaters in manufacturing of photocatalysts for water purification)

Alexander Gorokhovskiy, Maria Vikulova - National University of Science and Technology (MISIS), Moscow, RU

Process Safety and Environmental Protection, Volume 134, February 2020, Pages 208-216

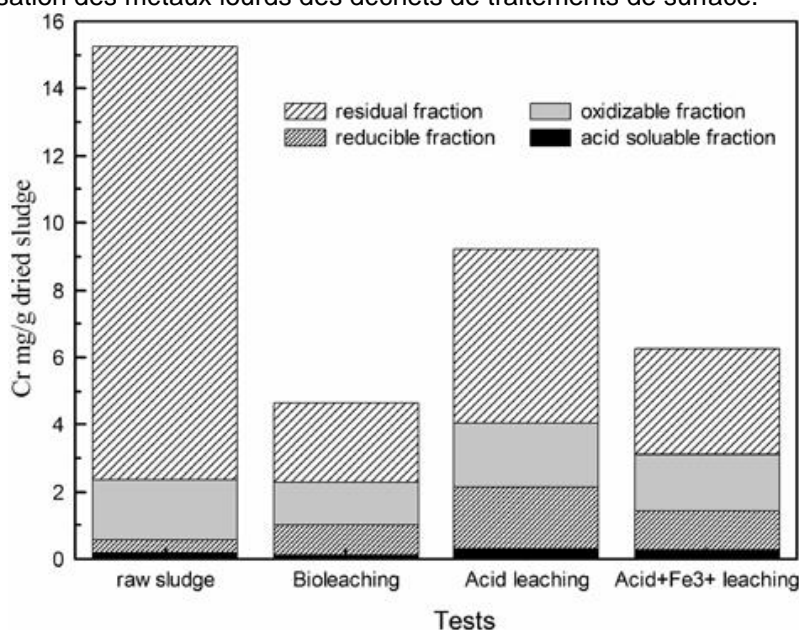
Une nouvelle voie dans la purification / revalorisation des eaux usées de nickelage est proposée. Il a été démontré que le traitement chimique de différentes eaux usées de nickelage avec une dispersion aqueuse présentant une structure en couches de type PTT (polytitanate de potassium amorphe) a permis d'éliminer le nickel présent dans les effluents. De plus, les produits solides résultants, obtenus avec des doses optimales de PPT, ont montré des propriétés photocatalytiques excellentes et dans la plage visible du rayonnement solaire, qui sont indépendantes des caractéristiques des eaux usées, à savoir le pH, la teneur en nickel ou la présence d'autres métaux lourds. Après une dilution suffisante, les effluents traités résultants peuvent être exploités dans les collecteurs d'eaux usées municipales. Les mécanismes des processus mis en œuvre au cours du traitement sont analysés.

## Biolixiviation des boues de traitements de surface par un complexe microbien (Biobleaching of dewatered electroplating sludge for the extraction of base metals using an adapted microbial consortium: Process optimization and kinetics)

Lijuan Zhang, Wenbo Zhou - Nanjing Institute of Technology, CN

Hydrometallurgy, Volume 191, January 2020, 105227

L'objectif principal de cette étude était d'optimiser les paramètres du processus de biolixiviation pour une coextraction élevée de métaux de base (Cu, Ni, Zn et Cr) à partir de boues de traitements de surface à l'aide d'un complexe microbien adapté (*acidithiobacillus ferrivorans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferriphilum*, *Acidithiobacillus caldus*, *Sulfobacillus sp. TPY*, *Ferroplasma thermophilum*, *Ferroplasma cupricumulan*, and *Acidiphilum*) et d'explorer les mécanismes de biolixiviation pertinents. La culture microbienne et la biolixiviation des boues ont été séparées. L'effet des paramètres optimaux du processus (c.-à-d. le pH, la densité des boues et la concentration de  $Fe^{2+}$ ) sur l'extraction de quatre métaux sélectionnés a été étudié dans un réacteur sous agitation de 1 L. Les résultats ont montré que la solubilisation maximale des métaux (> 95,6% pour Cu, Zn et Ni, et 90,3% pour Cr) a été atteinte à un pH global de 2,0, une concentration en  $Fe^{2+}$  de 9,0 g / L et une densité de boue de 15% en poids. La cinétique de biolixiviation des métaux sélectionnés a été décrite par modélisation. Cela a indiqué que le contrôle du transfert à l'interface des couches et la diffusion à travers le film solide permettait le contrôle de la cinétique de dissolution. Les analyses ont également montré que la biolixiviation avait certains avantages par rapport à la lixiviation chimique simple. Les mécanismes d'extraction améliorée de Cu, Ni, Zn et Cr par biolixiviation ont donc été démontrés. La majeure partie de l'extraction de Cu, Ni et Zn a été attribuée à l'attaque des ions  $H^+$ , ainsi qu'aux oxyhydroxydes Fe et Mn (> 72,3%). Pour l'extraction du Cr, outre  $H^+$ , les micro-organismes et les ions  $Fe^{3+}$  sont également responsables, ils permettent d'améliorer l'extraction, en particulier de la fraction résiduelle. Ces résultats indiquent que la biolixiviation avec un complexe microbien adapté semble prometteuse pour le recyclage et la réutilisation des métaux lourds des déchets de traitements de surface.



**Utilisation d'un polymère fonctionnel poly(4-VP-co-EGDMA) imprégné Cr(VI) pour l'extraction des ions Cu(VI) des bains de traitements de surface** (A Cr(VI)-imprinted-poly(4-VP-co-EGDMA) sorbent prepared using precipitation polymerization and its application for selective adsorptive removal and solid phase extraction of Cr(VI) ions from electroplating industrial wastewater)

Yantus A. B. Neolaka, Yosep Lawa - University of Nusa Cendana, Kupang IN  
 Reactive and Functional Polymers, Volume 147, February 2020, 104451

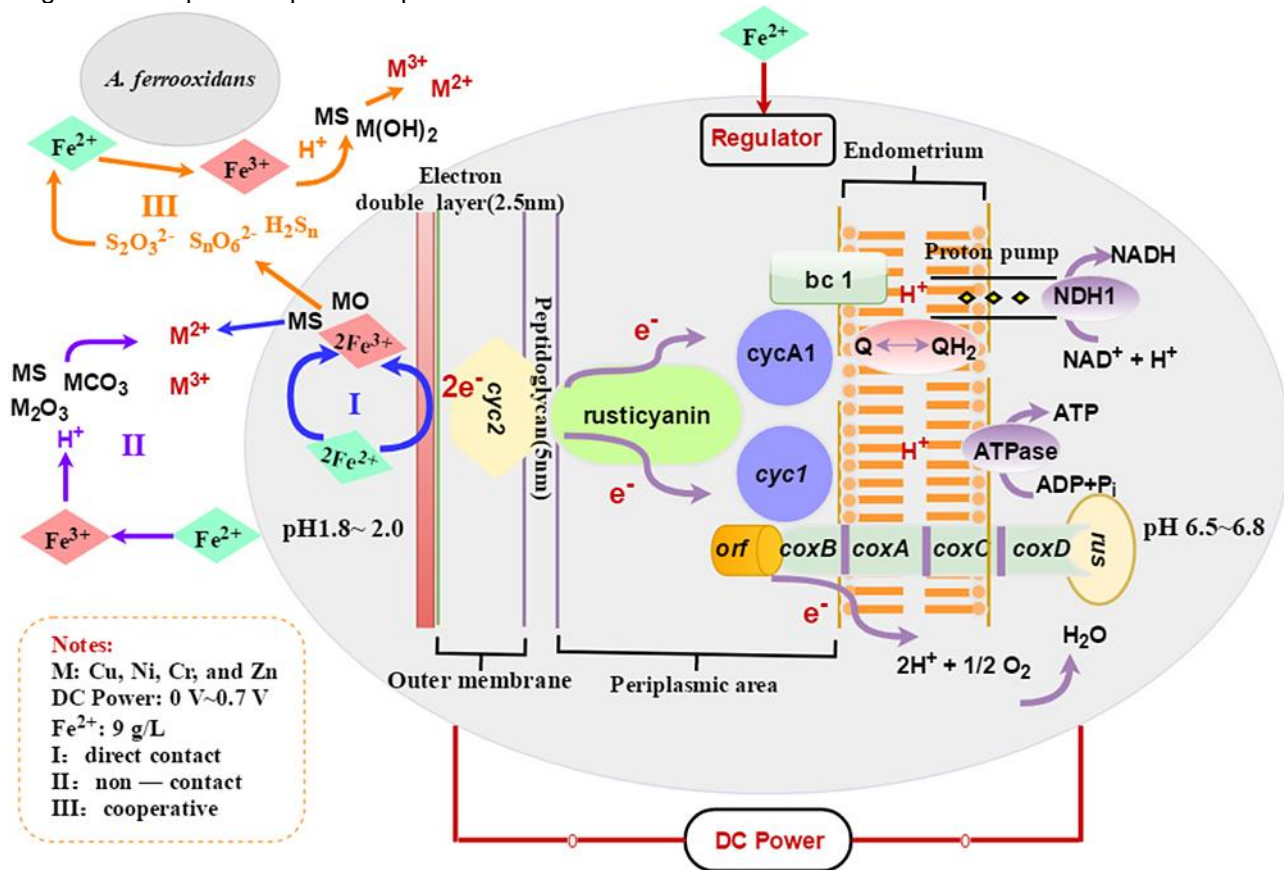
L'utilisation d'un polymère fonctionnel poly(4-VP-co-EGDMA) imprégné Cr(VI) (IIP) a été proposée dans un procédé d'extraction sélective d'ions Cr (VI) à faible concentration en solution aqueuse. Le polymère a été synthétisé en utilisant l'ion Cr (VI) comme matrice, la 4-vinylphiridine (4-VP) comme agent de complexion et monomère, l'éthylène glycol diméthyl acrylate (EGDMA) comme réticulant, le peroxyde de benzoyle (BPO) comme initiateur et l'éthanol / acétone comme porogène. Un poly (4-VP-co-EGDMA) non imprégné (NIP) a également été préparé et utilisé comme polymère témoin. La synthèse a été réalisée en utilisant la méthode de polymérisation par précipitation. L'IIP non lessivé, l'IIP lessivé et le NIP ont été caractérisés par XRD, FTIR, SEM-EDX et BET-BJH. Sur la base des données de caractérisation, il a été constaté que tous ces matériaux présentaient une structure micro et mésoporeuse. L'effet du dosage du sorbant, du pH, du temps de contact et de la température sur l'adsorption de Cr (VI) à partir d'une solution aqueuse a été étudié. Le résultat montre que l'adsorption des ions Cr (VI) était la plus élevée à pH 2 avec un temps de contact de 30 min à 313 K avec une concentration initiale en Cr (VI) de 14 mg / L. Les études sélectives montrent que le matériau IIP était très sélectif pour l'adsorption du Cr (VI). La modélisation cinétique et isotherme a également été étudiée en utilisant 5 modèles différents . Le résultat de la modélisation cinétique montre que l'adsorption de Cr (VI) correspond au modèle de pseudo-second ordre tandis que la modélisation isotherme suit le modèle Freundlich. L'application de ce matériau pour adsorber le Cr (VI) issu des déchets industriels de traitements de surface atteint 96% et les tests de réutilisabilité montrent également que cet adsorbant a une bonne stabilité même après 10 utilisations.



**Extraction des métaux lourds des boues de TS par lixiviation acide et bioélectrique en présence d'Acidithiobacillus ferrooxidans** (Extracting heavy metals from electroplating sludge by acid and bioelectrical leaching using Acidithiobacillus ferrooxidans)

Ping Wu, Li-juan Zhang Chao-ba - Nanjing Tech University, CN  
Hydrometallurgy, Volume 191, January 2020, 105225

Les boues de traitements de surface (EPS - Electroplating sludge) sont une ressource secondaire potentielle; les métaux lourds qu'elles contiennent pouvant être recyclés après biolixiviation et détoxification. L'objectif de ce travail était d'utiliser une lixiviation acide optimisée pour réduire la toxicité des métaux lourds dans les EPS. Les réacteurs bioélectriques (BER - Bioelectrical reactors), pouvant servir de donneurs et accepteurs d'électrons pour les Acidithiobacillus ferrooxidans (A. ferrooxidans), ont été combinés avec une lixiviation acide pour réaliser l'attaque progressive des bactéries sur les métaux lourds dans l'EPS. Les résultats ont montré que le pH de la solution de lixiviation acide et la tension dans la biolixiviation des BER jouaient un rôle important dans l'extraction des métaux lourds. Dans les conditions optimales de lixiviation à l'acide (pH 2,2), 75,8% du cuivre (Cu), 84,4% du zinc (Zn), 80,9% du chrome (Cr) et 65,8% du nickel (Ni) ont été lixiviés en 9 h. Une extraction supplémentaire de 11,7% Cu, 4,6% Zn, 6,0% Cr et 11,7% Ni à partir de résidus EPS lixiviés à l'acide a été réalisée dans un BER à 0,2 V (biolixiviation agitée en 60 h). Diverses méthodes de caractérisation ont confirmé que la capacité d'oxydation des Fe<sup>2+</sup> par l'A. Ferrooxidans était améliorée par le traitement dans le BER à 0,2 V. Les résultats du procédé de lixiviation sont également importants pour comprendre comment mettre en œuvre ces traitements à l'échelle industrielle.

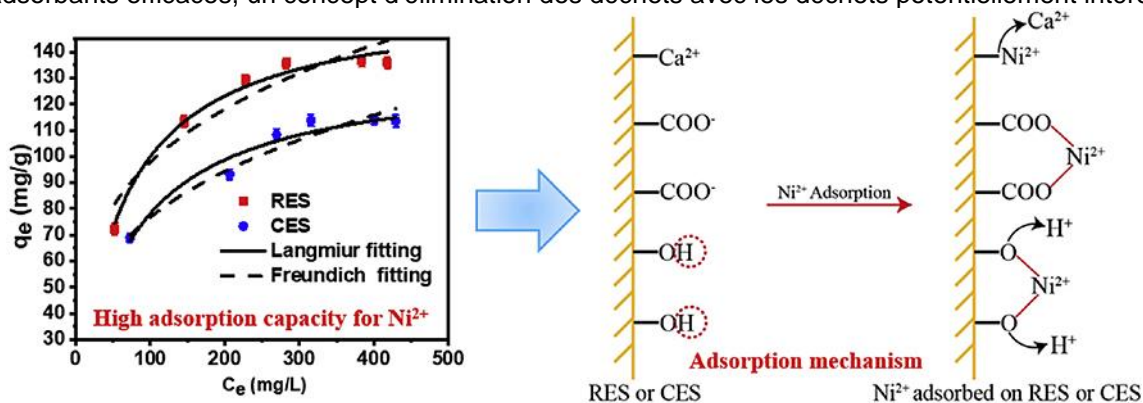


**Concept d'adsorption du nickel dans les eaux usées de TS par des boues de TS** (Superhigh adsorption of nickel from electroplating wastewater by raw and calcined electroplating sludge waste)

Guilong Peng, Shubo Deng - Tsinghua University, Beijing, CN  
Journal of Cleaner Production, Volume 246, 10 February 2020, 118948

Les boues brutes de (RES - raw electroplating sludge) et les boues calcinées de traitements de surface (CES - calcined electroplating sludge) ont été utilisées pour l'adsorption du nickel contenues dans les eaux usées de traitements de surface. Les CES ont été obtenues par traitement de calcination à 500°C. Les CES et les RES ont été caractérisées par fluorescence X (XRF), spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR), diffraction des rayons X (XRD). Les isothermes d'adsorption de Langmuir ont montré que les capacités maximales d'adsorption de Ni<sup>2+</sup> sur les CES et les RES étaient respectivement de 163,6 et 210,9 mg / g. Dans le traitement des eaux usées contenant du nickel, les RES présentent une capacité d'adsorption beaucoup plus élevée pour le Ni<sup>2+</sup> que les adsorbants couramment utilisés, y compris les charbons actifs (CAC - coal-based activated carbon), les résines échangeuses de cations (acide fort - D001), les résines échangeuses de cations (acide faible - D113 ) et les résines chélatrices (acide aminocarboxylique - D463). Les mécanismes d'adsorption du Ni<sup>2+</sup> sur les RES et les CES portent principalement sur l'échange d'ions et la complexation de surface. La grande quantité de Ca<sup>2+</sup> présents joue un rôle important dans l'adsorption de Ni<sup>2+</sup> via l'échange de cations, et les groupes hydroxyles et carboxyles sont également responsables de l'adsorption de Ni<sup>2+</sup>. Par conséquent, les déchets de boues de traitements de surface constituent

un adsorbant efficace pour l'élimination du Ni<sup>2+</sup> pour des concentrations en nickel élevées dans les eaux usées de traitements de surface. Cette étude fournit une nouvelle méthode d'utilisation des boues de traitements de surface comme adsorbants efficaces, un concept d'élimination des déchets avec les déchets potentiellement intéressant.



**RES: Raw electroplating sludge; CES: Calcined electroplating sludge**

**Membranes 3D à empreinte ionique Pd (II) stables et réutilisables pour l'adsorption efficace d'effluents de TS** (Stable, regenerable and 3D macroporous Pd (II)-imprinted membranes for efficient treatment of electroplating wastewater)

Jian Lu, Yingying Qin - Jiangsu University, Zhenjiang, CN  
 Separation and Purification Technology, Volume 235, 18 March 2020, 116220

L'élimination du Pd (II) issu des eaux usées de TS, extrêmement défavorable à la santé humaine, et sa réutilisation en tant que ressource représentent un enjeu majeur. Les membranes à empreinte ionique (IIMs - Ion-imprinted membranes) ont récemment attiré l'attention sur elles pour la séparation sélective des ions analogues. Une stratégie simple pour la fabrication de membranes Pd-IIM pour la séparation sélective du Pd (II) a été développée. Un substrat amélioré a été obtenu avec une structure macroporeuse tridimensionnelle sur polydiméthylsiloxane (PDMS). Ensuite, les Pd-IIMs ont été obtenus par une technique d'impression-modification sur les substrats PDMS. En présence de Co (II), Cu (II), Cd (II) et Ni (II), les Pd-IIMs présentent une adsorption sélective importante (3.32–5.06) et une permselectivité de (2.34–4.04). Les performances régénératrices sont également satisfaisantes (plus de 92% des capacités initiales après 5 cycles d'adsorption / désorption). Les Pd-IIMs peuvent être également réutilisées pour de l'adsorption chimique (bleu de méthylène).

