



## **EDITO**

Par Jean-Marc POIRSON

### **DEVELOPPONS ET ACCOMPAGNONS L'INNOVATION !**

2018 en est dans son dernier quart de temps et globalement, pour l'industrie, cette année aura été un très bon millésime. Les outils de production auront eu un taux de charge élevé, d'autant plus que dans beaucoup de domaines on constate (ait ?) un retard au niveau des investissements. Et après ? Aucune entreprise ne peut sereinement envisager l'avenir sans conduire de façon soutenue des actions de recherche et développement.

La présente édition de Sciences et Techniques est un bon baromètre car elle met en évidence les avancées scientifiques et technologiques dans les domaines aussi variés que les tanins végétaux, les nanoparticules, les lasers à ultra courtes impulsions, les matériaux antibactériens, les DLC non hydrogénés, le cold spray, ... Les premiers pas de ces avancées technologiques sont souvent effectués dans des PME pour lesquelles se pose régulièrement la question de la croissance. En effet, il ne suffit pas d'avoir la bonne idée, de passer beaucoup d'énergie pour développer et finalement échouer dans la mise en œuvre à grande échelle. Et il faut bien le reconnaître, lors de cette étape, la France n'est pas la meilleure élève.

Dans un cas favorable, une start-up et autre spin off technologique, créée par un dirigeant fréquemment issu du monde scientifique, va tôt ou tard être confronté à la question du financement de la croissance de la société. Après avoir fait un tour de table auprès de la famille et des connaissances, il est la plupart du temps nécessaire d'élargir le cercle car les temps d'entrée sur le marché d'une nouvelle technologie sont généralement compris entre 5 et 10 ans. Les banques traditionnelles n'affectionnent pas particulièrement l'accompagnement de ces jeunes structures souvent perçues à haut risque.

A ce stade, une solution intéressante pour la start-up est de se tourner vers une ETI (Entreprise de Taille Intermédiaire), dont le domaine de compétence et d'intervention présentera une synergie vis-à-vis de sa propre activité. Une intervention de l'ETI sur les fonctions support permettra à la start-up de se concentrer sur les développements techniques. De même, l'utilisation du réseau commercial international de l'ETI aidera la start-up à diffuser son innovation et assoira sa position vis-à-vis de grands donneurs d'ordre. Néanmoins, l'intervention d'un « corps étranger », même si celui-ci est bienveillant, ce qui au passage est de l'intérêt de l'ETI, peut être perçu comme extrêmement intrusif par un créateur d'entreprise habitué à son total libre arbitre.

Le développement d'une start-up innovante peut être une belle et grande aventure mais la route est souvent semée d'embûches qu'il conviendra de surmonter. Dans tous les cas, l'ETI qui accompagne ne devra jamais oublier que les connaissances, et donc la valeur de la start-up, reposent sur une personne clé, qui est dans la plupart des cas le créateur / dirigeant. Afin de préserver les intérêts et motivations des deux parties, une prise de participation à hauteur de 50 % est une option intéressante dans une première étape.

Parmi les 591 000 entreprises créées en FRANCE en 2017, combien de pépites technologiques seront en mesure de créer les emplois de demain ? Les politiques publiques se doivent de favoriser autant que possible la réussite de ces start-up innovantes en créant des écosystèmes favorables.

Le rôle des associations de spécialité, et en premier lieu celui de l'A3TS, est également primordial pour promouvoir la diffusion des connaissances techniques et scientifiques.

C'est la raison d'être de Sciences et Techniques, et c'est aussi celle du congrès de l'A3TS, qui cette année à Bordeaux a remporté un vif succès. Nous nous devons de favoriser tous les moyens qui favorisent l'innovation et contribuent à développer l'activité, ainsi que la création d'emplois. Le partenariat de l'A3TS à la Biennale Manufacture des Surfaces de St-Etienne début octobre 2018, en est la parfaite illustration

# Sommaire

↳ Infos techniques	Page	↳ Projection thermique / laser	Page
↳ La veille en une page	Page	↳ Traitements mécaniques	Page
↳ Revêtements chimiques	Page	↳ Traitement des alliages légers	Page
↳ Revêtements électrolytiques	Page	↳ Peintures	Page
↳ Traitements thermiques / thermochimiques	Page	↳ Traitements des effluents	Page
↳ DLC / dépôts sous vide	Page	↳ Agenda	Page

## INFOS TECHNIQUES

**A3TS**  
2018

Programme



45<sup>e</sup> CONGRES  
DU TRAITEMENT THERMIQUE  
ET DES TRAITEMENTS  
DE SURFACE

13 et 14 juin 2018  
PALAIS DES CONGRES  
BORDEAUX



### CONGRES A3TS 2018 – 13 et 14 juin – BORDEAUX

#### 7 SESSIONS DE CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES REGROUPANT PLUS DE 45 INTERVENTIONS.

- TRAITEMENTS THERMOCHIMIQUES (5 conférences)
- TRAITEMENTS DES PIÈCES ISSUES DE FABRICATION ADDITIVE (6 conférences)
- MAÎTRISE DES DÉFORMATIONS LORS DES TRAITEMENTS THERMIQUES (9 conférences)
- REVÊTEMENTS ET TRIBOLOGIE (8 conférences)
- EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES TRAITEMENTS THERMIQUES (4 conférences)
- TRAITEMENTS DES ACIERS INOXYDABLES (7 conférences)
- TRAITEMENTS DE SURFACE : INCIDENCE DES ÉVOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES – INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES (8 conférences).

### EXTRAIT DE LA SESSION EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES TRAITEMENTS THERMIQUES

La session a réuni une très intéressante série de quatre conférences sur le sujet de la gestion de l'énergie dans les opérations de traitement thermique, chacune décrivant une approche particulière. Cette session a mis en évidence les différents leviers que peut actionner dispose un industriel pour optimiser sa facture énergétique, ces leviers faisant appel à des stratégies très différentes et souvent complémentaires. Le renouvellement des équipements thermiques en faisant appel à des technologies nouvelles fait bien entendu partie de la panoplie des moyens d'action. C'est ainsi que GRDF (Cyril CROCGAILLARD et Laurent ANTOINE) ont présenté la politique de GRDF en faveur de l'innovation dans les technologies gaz et les résultats du programme de qualification des brûleurs NOXMAT auto-récupérateurs.

Les solutions d'optimisation par la modélisation des échanges thermiques, le contrôle et la régulation, l'exploitation des données industrielles de terrain ont été développés par CMI (Jean-Christophe MITAIS). Chaque situation industrielle est ainsi être évaluée en faisant appel à des données industrielles afin de déterminer les nouvelles configurations d'exploitation thermique. Pierre-Jean MARCHAIS a détaillé les approches développées par MANNESMAN PRECISION TUBES pour l'amélioration de l'efficacité des fours de traitement thermique de tubes. Une approche très pragmatique, partant de la remise à plat des besoins réels avec remise en cause de choix anciens en matière de stratégie de chauffe a ainsi donné des résultats spectaculaires sur des installations existantes, et sans que soient engagés des investissements lourds.

Enfin, Daniel ZIMERMANN (AICHELIN Group) a présenté les évolutions en matière d'architecture de fours de traitement thermique dans le secteur automobile. L'intégration de ces installations de traitement thermique dans le site, en amont et en aval, est un puissant levier de progrès, les conditions de prix d'accès à l'énergie, différenciées suivant les zones géographiques, conditionnant la compétitivité de telle ou telle solution. L'intégration de technologies de valorisation de l'énergie résiduelle (technologies de type ORC,...) peut aussi être examinée lorsque le prix du kWh dépasse un certain seuil.

Le sujet de l'efficacité énergétique n'avait pas été traité ces dernières années dans le congrès A3TS. A l'issue de cette session, on a pu faire le constat que les industriels peuvent aborder le problème avec de multiples angles d'attaque et que des résultats tout à fait significatifs peuvent être obtenus rapidement sans que des investissements lourds soient toujours

nécessaires. Le partage d'expériences industrielles et de bonnes pratiques et des résultats associés est probablement déterminant pour accélérer les décisions, atteindre des gains significatifs en matière de consommation (gaz et/ou électricité) et ainsi contribuer à l'amélioration de la compétitivité des entreprises du secteur. Date est prise pour poursuivre les échanges sur ce thème lors du prochain congrès. Le projet de création d'une commission «énergie» au sein de l'A3TS a aussi été évoqué.

## EXTRAIT DE LA SESSION FABRICATION ADDITIVE

Le parachèvement des pièces issues de fabrication additive est un problème très important pour ce procédé, entraînant de nombreuses questions. Le succès des journées A3TS de Colmar dédiées aux «traitements sur pièces métalliques issues de fabrication additives» qui a réuni 130 personnes en décembre 2017 a conduit le conseil scientifique de l'A3TS à proposer une session spéciale de notre 45<sup>ème</sup> congrès à ce sujet. Il s'agissait de retrouver les conférences les plus marquantes pour suivre l'évolution des techniques après quelques mois, et de s'intéresser à des procédés en émergence. C'est une salle comble qui a accueilli la première conférence donnée par Éric NIVET du CETIM sur l'influence des traitements thermiques sur «les propriétés mécaniques d'un acier inoxydable 17-4PH issu de la fabrication additive LBM (Laser Beam Melting)».

Les caractérisations principales concernent les propriétés mécaniques dont celles de traction. Il s'agit de caractériser le comportement mécanique du matériau issu de la fabrication additive vis-à-vis des traitements thermiques de référence réalisés dans des conditions. Il y a beaucoup d'hétérogénéité inacceptables dans les résultats à la rupture, du fait de la présence de défauts (manque de matière, défaut de soudure). Des traitements thermiques adaptés, associés à une compression isostatique à chaud réduisent considérablement les défauts. Jean-Yves THIEULEUX (CURTISS) a ensuite présenté les «résultats en fatigue de l'application du shot et laser peening sur des éprouvettes de Ti-6AL-4V et 316L» issues de fabrication additive. Sans traitement de finition, les alliages de titane SLM montrent une amélioration de leur tenue à la fatigue lorsqu'ils subissent une «superfinition» ou lorsqu'ils sont usinés, avec pour cause des manques de fusion ou des particules infondues. Le traitement par shot peening sur des pièces brutes résulte presque toujours par augmenter les contraintes résiduelles de compression. Pour les échantillons d'acier inoxydable, on arrive même à des résultats avec entaille meilleurs que l'acier forgé (avec même une durée de vie infinie à 400 MPa). L'IRT M2P est également très présent dans le domaine du parachèvement des pièces de fabrication additive avec «l'architecture du projet AFTER ALM» présenté par Joffrey TARDELLI (IRT M2P). Ce projet regroupe 27 entreprises et 2 laboratoires académiques depuis novembre 2016 en développant parallèlement plusieurs techniques, utilisant entre autres des interventions mécanique, laser, chimique et électrochimique. Anthony SPICA (CIRIMAT Toulouse) en a présenté une illustration avec le polissage par plasma électrochimique d'alliages d'aluminium. Cette technologie peu connue combine une action physique liée à la formation d'un plasma autour de la pièce totalement immergée à une action électrochimique. Chloé ROTTY (post doc IRT M2P) et Estelle DRYNSKI (doctorante IRT M2P) ont ensuite présenté les travaux qu'elles ont mené à l'Institut UTINAM sur des «Solutions d'électropolissage sur des matériaux issus de fabrication additive». Bien que connue depuis longtemps, cette technologie n'avait pas fait l'objet de travaux depuis longtemps et le haut niveau d'exigence concernant le résultat final a conduit à une étude approfondie de nombreux paramètres, tant au niveau de la composition des électrolytes que de la conduite des procédés, et permet d'obtenir de très bons résultats en conférant des aspects lisses et brillants sur des échantillons de 316L. Ces travaux sont étendus à des aciers à base nickel et des alliages de titane. Les travaux de Jordan RIGAUD (LIEBHERR AEROSPACE) menés au CIRIMAT rappellent que l'optimisation des différents traitements thermiques repose sur une méthode d'analyse pertinente qu'il décrit comme une «Méthode originale d'optimisation de traitements thermiques post-fabrication sur la base d'une approche thermo-mécanique». Le comportement d'éprouvettes AS7G06 en flexion 4 points est utilisé pour définir les zones d'intérêt dans la métallurgie des différents modes d'élaboration, pour évaluer l'amplitude des couplages états mécaniques-transition de phase. C'est à Éric NIVET (CETIM) de conclure la session avec une «Analyse comparée de pièces en 17-4PH réalisées par différents fournisseurs en fusion laser sur lit de poudre». A partir d'un cahier des charge identiques proposé à cinq différentes plateformes de fabrication, les résultats sont analysés sur un très grand nombre de caractéristiques comme la macro et microstructure, la densité, la sensibilité au traitement thermique, les états de contraintes, les propriétés mécaniques...



## UNE NOUVELLE BIENNALE EST NEE A SAINT ETIENNE : MANUFACTURE DE SURFACES - 02-03/10/2018

Par Jean-Marc POIRSON

Sous l'impulsion de l'écosystème stéphanois l'idée d'une nouvelle biennale, dédiée à l'ingénierie des surfaces à vue le jour à la fin du printemps dernier. Rapidement il est apparu que la période la plus propice était les 2 et 3 octobre de la même année. Organiser un pareil évènement en un temps si court, autant dire que certains étaient sceptiques ; mais impossible n'est pas stéphanois ! Un tel évènement n'était pas concevable sans que l'A3TS n'apporte sa pierre à l'édifice, en l'occurrence ce fut Pierre Bruchet qui trouva l'idée séduisante.

Nous avions les idées, il fallait les femmes et hommes pour relever le défi.

Une équipe de choc fut constituée localement. La métropole de Saint Etienne et la région Auvergne Rhône Alpes nous accordèrent une grande confiance en contribuant financièrement à ce projet.

Dire que tout fut simple serait sans doute excessif ... mais au bout du compte les différents partenaires, institutionnels, scientifiques, enseignants et industriels, peuvent être fiers du résultat de cette première édition de la Biennale Manufacture des Surfaces. Comme l'a dit un participant « je pensais que c'était déjà la troisième ou la quatrième, sincèrement bravo ! »

Et il est vrai qu'avec plus de 600 participants nominatifs sur les 2 jours :

- 232 participants le 2 octobre pour les 12 conférences industrielles et scientifiques sur les surfaces dont la première conférence plénière sur les enjeux des traitements de surfaces dans l'industrie aéronautique présentée par Olivier Delcourt (A3TS)

- une centaine d'invités pour le lancement de l'Ecole Universitaire de Recherche Manutech Sleight

- plus de 40 personnes au petit déjeuner Mécaloire du 3 matin

- 273 personnes, dont 180 étudiants, pour la session formation du 3 octobre et l'exceptionnelle conférence de l'astronaute Jean François Clervoy

- Et enfin plus de 45 participants au meet up French Tech

Dès la première année, cet évènement associant tous les acteurs concernés par l'ingénierie des surfaces dans des domaines aussi novateurs que la texturation de surface par laser femto seconde, la fonctionnalisation des poudres, les interactions lumière/matière, l'influence des surfaces sur le vivant, ..., a démontré sa pertinence et sa raison d'être. Les échos et manifestations spontanés des participants « bravo » « félicitation » « conférence de haut niveau » « très belle organisation », ..., ne peuvent que nous encourager pour l'avenir.

Je suis heureux que l'A3TS ait pu être partenaire de Manufacture des Surfaces, Rendez-vous dans 2 ans !

# LA VEILLE EN UNE PAGE

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

Très intéressant	Incontournable
------------------	----------------

Procédé	Efficienc améliorée	Propriétés améliorées	Applications améliorées
<b>Revêtements chimiques</b>	Traitement thermique Ni-B, Ni-B-W, Ni-B-Mo Concentration en ions de bain Ni-P réduite	Ni-P-MoS <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> pour frottement, usure Ni-W-P/Ni-P nano-ZrO <sub>2</sub> anticorrosion	
<b>Revêtements électrolytiques</b>	Réduction du Cr(III) en Cr(0) lors du dépôt Cr-Ni sur acier	Cu-Ag antibactérien sur acier inoxydable	Cr(III) sur feuilles d'acier
<b>Liquides ioniques</b>		LI comme inhibiteurs de corrosion sur aciers	Dépôt LI d'aluminium pour l'aéronautique
<b>Traitements thermiques/thermochimiques/duplex</b>	Nitruration rapide d'alliages de titane par laser nanoseconde Formation de la phase S en nitruration ionique	Grenailage et nitruration ultra-BT vs tenue en fatigue	
<b>DLC/dépôts sous vide</b>		Cr dur PVD magnétron de résistance au grippage similaire au chrome dur électrolytique	CVD TiCN/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiN pour usinage à sec d'acier à ressort PACVD pour matrice de refoulement à froid NH-DLC pour injecteur
<b>Projection thermique / laser / Cold Spray</b>	Texturation laser pour améliorer l'adhérence en projection Cold-spray, arc, plasma atmosphérique	Polissage assisté chimiquement pour rugosité HVOF, compatible aéro / méca / imprimerie	Projection entre moule et PVD pour isolation Cold Spray Additive Manufacturing pour réparation
<b>Traitements mécaniques</b>	Grenailage US cryogénique		
<b>Traitement des alliages légers</b>	Ni-P-W avec CNF / Al (Carbon Nano fibers) Ni-B/Ni-P sur Mg Prétraitement avant électrodéposition/AlSi12 Electrodéposition de Ni / Al sans prétraitement	Cuivre super-hydrophobe / Al	Ag / Nano-TiO <sub>2</sub> améliorant l'effet antibactérien (médical) Al 2024 par Cold Spray sur Al 2024 T351 pour réparation aéro
<b>Peintures</b>	Organosilane tri-laminaire (Fe-W, oxyde de graphène, organosilane hydrophobe)	Tanins végétaux de Zn et Mg comme pigments anticorrosion Résine époxy à ténacité améliorée	Polymères organiques modifiés / acier E32 en milieu marin
<b>Traitements des effluents</b>	Extraction par solvant vert d'ions Ni des eaux usées de nickelage Phytoextraction du chrome d'effluents		

## 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 »

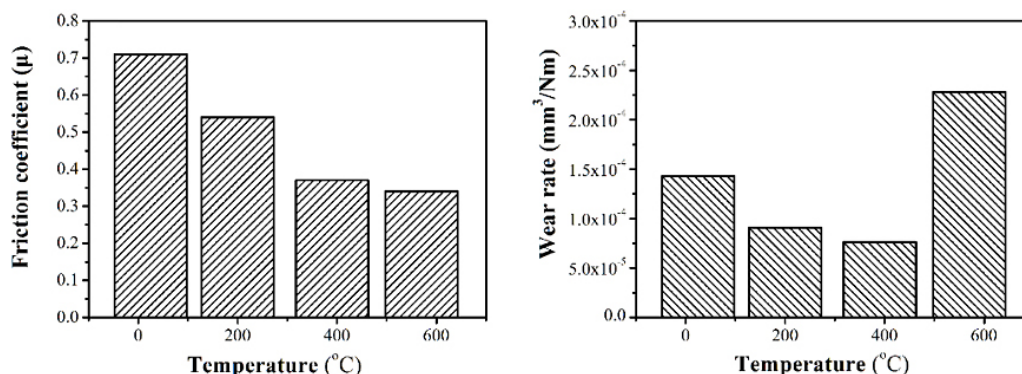
# REVÊTEMENTS CHIMIQUES

## Effet de la température sur le comportement au frottement et à l'usure des revêtements composites autocatalytiques Ni-P-MoS<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> (Effect of temperature on the friction and wear behavior of electroless Ni-P-MoS<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> self-lubricating composite coatings)

Sanming Du, Zhen Li, National United Engineering Laboratory for Advanced Bearing Tribology, Henan University of Science and Technology, Luoyang, CN

Tribology International, Volume 128, December 2018, Pages 197-203

Un revêtement composite Ni-P incluant du MoS<sub>2</sub> et du CaF<sub>2</sub> a été réalisé par dépôt auto-catalytique sur un substrat acier AISI 1045. L'effet de la température sur le comportement tribologique des revêtements composites a été étudié. Les résultats montrent que le comportement tribologique des revêtements dépend largement de la température. Le coefficient de frottement montre une tendance à la baisse avec l'augmentation de la température; le taux d'usure diminue d'abord puis augmente avec la température au delà de 570°C.



Les mécanismes de lubrification sont discutés. Les bonnes performances tribologiques des revêtements de 200°C à 570°C sont principalement dues à la formation d'un film lubrifiant sur la surface.

## Caractérisation de la microstructure et des propriétés des revêtements composites Ni-W-P/Ni-P nano-ZrO<sub>2</sub> (Characterization of microstructure and properties of electroless duplex Ni-W-P/Ni-P nano-ZrO<sub>2</sub> composite coating)

Hong Luo (a, c), Michael Leitch (b), a) University of Alberta, Edmonton, CA; b) RGL Reservoir Management Inc., CA; c) Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Dusseldorf, DE

Materials Today Physics, Volume 4, March 2018, Pages 36-42

Dans cette étude, un revêtement nanocomposite nano-ZrO<sub>2</sub> Ni-W-P/Ni-P a été réalisé par voie chimique.

Main bath composition and plating parameters for high phosphorus Ni-P-ZrO<sub>2</sub> coating.

Bath Compositions	Quality	Plating parameters
NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	15 g/L	pH: 5.0–5.5
NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	25 g/L	Agitation: 250 rpm
Lactic acid	20 ml/L	Temperature: 85 ± 1 °C
Citric acid	15–20 g/L	Time: ~60 min
Succinic acid	12–15 g/L	
ZrO <sub>2</sub> nanoparticles	5 g/L	
Pb <sup>2+</sup>	1 mg/L	

Les structure, morphologie et comportement anticorrosion ont été améliorés par inclusion de nanoparticules. Une évaluation par diffraction aux rayons X, microscopie à force atomique, microscopie à balayage électronique ainsi que par des méthodes électrochimiques (courbe potentiodynamiques et spectroscopie d'impédance électrochimique) a été réalisée. Les revêtements duplex présentent une microdureté plus élevée après différents traitements thermiques ainsi qu'une meilleure résistance à la corrosion que le revêtement Ni-P classique dans une solution H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub>. Ce nouveau type de revêtement Ni-P possède à la fois d'excellentes propriétés mécaniques et une bonne résistance à la corrosion, ce qui permettrait d'élargir son rayon d'application.

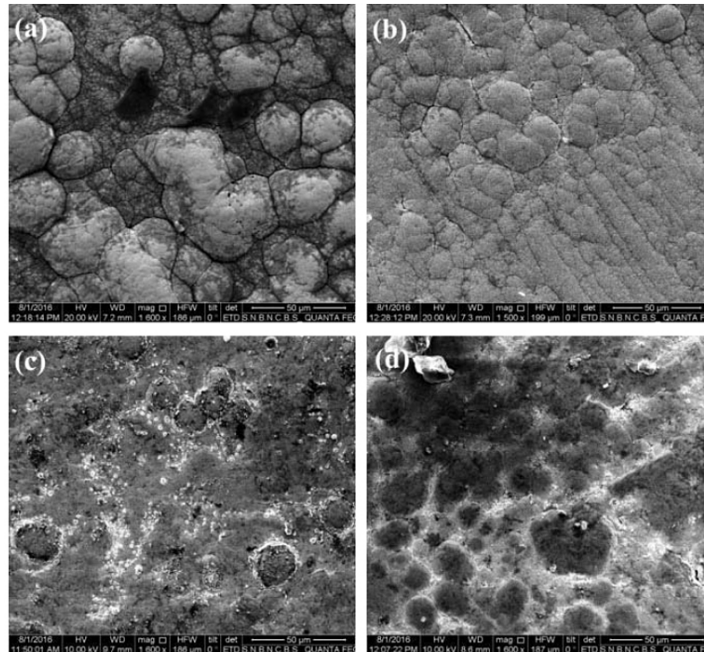
Equivalent circuit parameters for impedance spectra in 5 wt.% NaCl solution with saturation CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S at room temperature and normal atmospheric pressure.

Specimens	$R_s$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$CPE_1$ ( $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-n}$ )	$R_1$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$CPE_2$ ( $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-n}$ )	$R_{ct}$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$\Sigma\chi^2$
Ni-P coating	7.309	2.459E-4	885	2.534E-3	2301	2.831e-03
Ni-P/ZrO <sub>2</sub> coating	7.309	2.204E-4	1331	1.324E-3	3294	2.414e-03

### Effet du traitement thermique sur les caractéristiques des revêtements Ni-B, Ni-B-W et Ni-B-Mo (Effect of Heat Treatment on the Characteristics of Electroless Ni-B, Ni-B-W and Ni-B-Mo Coatings)

Arkadeb Mukhopadhyay, Tapan Kumar Barman, Jadavpur University, Kolkata, IN  
Materials Today Proceedings, Volume 5, Issue 2, Part 1, 2018, Pages 3306-3315

Dans le présent travail, des revêtements Ni-B, Ni-B-W et Ni-B-Mo ont été réalisés sur des éprouvettes en acier au carbone AISI 1040 avant d'être caractérisés.



Electroless Ni-B-Mo coatings (a) as-deposited; and heat treated at (b) 350°C; (c) 400°C; (d) 450°C.

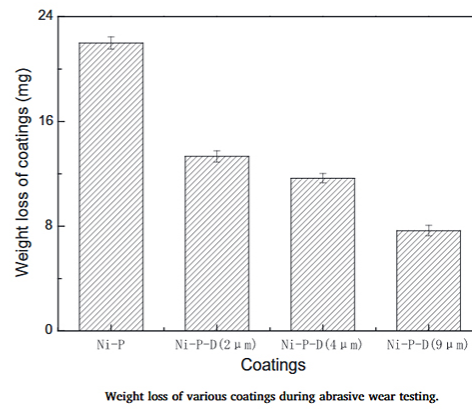
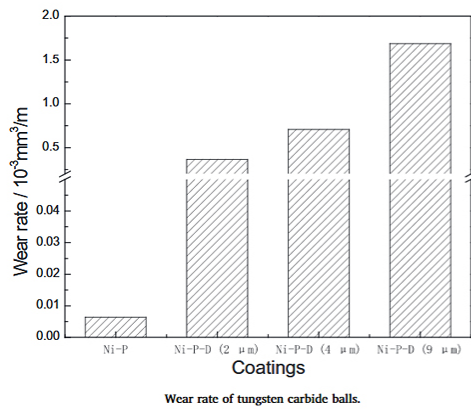
Un traitement thermique à 350 - 450° entraîne la cristallisation des dépôts avec la précipitation de Ni<sub>2</sub>B et Ni<sub>3</sub>B. Les nodules semblent se développer en présentant des joints de grains spécifiques lors du traitement thermique. L'addition de W à l'alliage Ni-B entraîne une diminution de la teneur en bore. L'inclusion de Mo ne provoque pas de modification significative de la teneur en bore et une diminution du pourcentage en poids de Ni est observée. La microdureté la plus importante est obtenue avec les revêtements Ni-B-W du fait d'un durcissement par précipitation et d'un renforcement de la solution solide. Cependant, cette microdureté est observée jusqu'à une température de traitement de 400°C alors que celle des revêtements Ni-B-Mo reste stable sur toute la plage de traitement. Ce sont donc les revêtements Ni-B-Mo qui présentent la plus grande stabilité thermique.

### Réalisation de revêtements Ni-P/diamant pour le frottement à sec et la résistance à l'usure par abrasion (Preparation of Ni-P-diamond coatings with dry friction characteristics and abrasive wear resistance)

Jian Wang (a), Yu-Mei Zhou(b) - a) Guangdong University of Technology, Guangzhou; b) Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, CN

International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Volume 70, January 2018, Pages 32-38

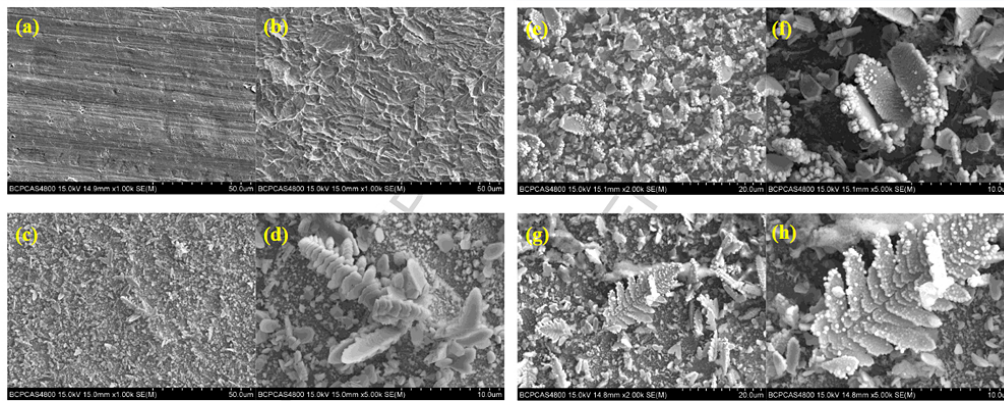
Des revêtements composites Ni-P contenant des particules de diamant de différentes tailles ont été préparés par voie chimique. Les effets de la taille des particules de diamant et du traitement thermique sur la microstructure, les propriétés mécaniques, le comportement en frottement à sec et la résistance à l'usure abrasive ont été étudiés. Suivant la méthode proposée, un revêtement d'épaisseur 30  $\mu\text{m}$  peut être obtenu. Les particules de diamant (2 à 9  $\mu\text{m}$ ) peuvent être dispersées de manière homogène dans les revêtements avec des fractions volumiques de 21% à 25%. Un traitement thermique à 400°C pendant 2 heures permet d'augmenter la dureté des revêtements jusqu'à environ 1200 HV. Les coefficients de frottement sont stables (plage de 0,4 à 0,52). L'addition de particules de diamant permet d'améliorer la résistance à l'usure de manière significative, et ce, proportionnellement à la taille des particules.



**Fabrication contrôlée de surface superhydrophobes présentant de bonnes performances autonettoyantes, antigivre, anticorrosion, anti-usure** (Controllable fabrication of superhydrophobic alloys surface on copper substrate for self-cleaning, anti-icing, anti-corrosion and anti-wear performance)

Yuanyuan Cheng, Shixiang Lu, Beijing Institute of Technology, Beijing, CN  
 Surface and Coatings Technology, Volume 333, 15 January 2018, Pages 61-70

Une surface d'alliages superhydrophobes CuZn<sub>5</sub> et AuZn<sub>3</sub> a été fabriquée sur un substrat en cuivre par traitement électrochimique, dépôt chimique et recuit. Les surfaces telles que préparées montrent une superhydrophobie remarquable avec un WCA (*water contact angle*) de 170° et un WSA (*water shedding angle*) d'environ 0°. Le processus de recuit donne lieu à la formation d'alliages et de ZnO et conduit à la formation d'architectures micro/nanométriques (importantes pour la superhydrophobie). La nouveauté est que cette méthode ne nécessite aucun solvant organique. Les surfaces CuZn<sub>5</sub> et AuZn<sub>3</sub> telles que préparées présentent des performances autonettoyantes, antigivre, anticorrosion et anti-usure significatives en vue d'applications industrielles.

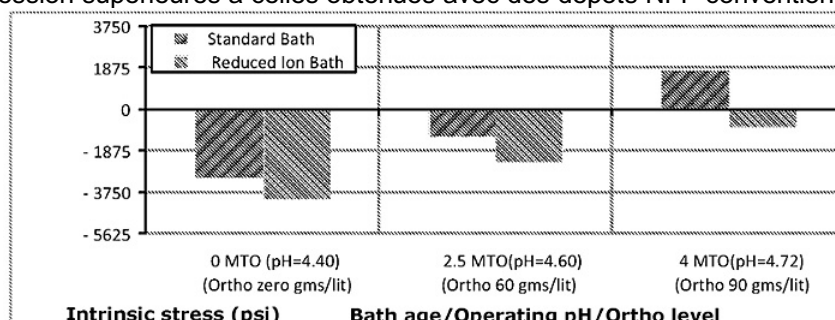


SEM images: (a) untreated copper sample, (b) copper sample after etching treatment, (c-d) sample after electrochemical deposition, (e-f) sample after electroless chemical deposition, and (g-h) sample after annealing, respectively.

**Mise en œuvre et propriétés d'un bain électrolytique au nickel-phosphore avec concentration en ions réduite** (Electroless nickel-phosphorous plating baths with reduced ion concentration and methods of use)

Inventeur(s) : Ruffini Alan J; Wojcik Matthew J. Dépositant(s) : Coventya Inc  
 Brevet n° : US2018209047 (A1), 2018-07-26

Composition d'un bain de pour former un revêtement auto-catalytique au nickel-phosphore sur un substrat revêtu de zincate alcalin comprenant de 1,0 g/L à moins de 5,0 g/L de nickel, de 25 g/L à 40 g/L d'un agent réducteur hypophosphoreux et de 0 à 120 g/L d'orthophosphite. Le bain avec une concentration d'orthophosphite proche de 120 g/L conduit à l'obtention d'un dépôt présentant des propriétés intrinsèques intéressantes, notamment des contraintes de compression supérieures à celles obtenues avec des dépôts NI-P conventionnels.



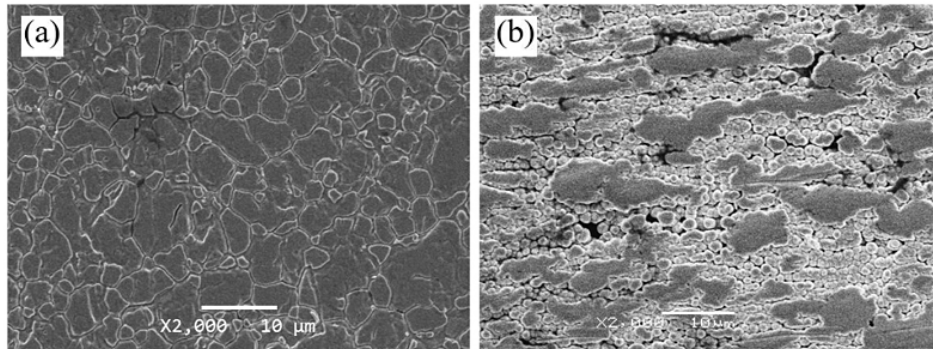


# REVÊTEMENTS ELECTROLYTIQUES

**Revêtement électrolytique cuivre-argent antibactérien sur acier inoxydable** (An electroplated copper–silver alloy as antibacterial coating on stainless steel)

Nicole Ciacotich (a,b), Rameez Ud Din (b); a) Elplatek A/S, b) TU Denmark, DK  
Surface and Coatings Technology, Volume 345, 15 July 2018, Pages 96-104

Le transfert et la croissance de microorganismes pathogènes doivent être évités dans de nombreux domaines, tels que le secteur clinique. L'un des éléments du transfert est l'adhésion des agents pathogènes à différentes surfaces et le but de la présente étude est de développer et d'étudier l'efficacité antibactérienne d'un revêtement d'alliage cuivre-argent sur acier inoxydable AISI 316L dans le but de développer des surfaces antibactériennes pour les secteurs de la santé. La caractérisation structurale du revêtement a montré l'existence d'une microstructure poreuse et d'un alliage homogène avec présence d'argent interstitiel.



Scanning electron microscopy of uncoated (a) and copper-silver coated (b) AISI 316 at 2000× magnification.

Le revêtement en alliage cuivre-argent présente de bonnes propriétés anticorrosion dans un environnement chloré. Les mesures ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) ont révélé une dissolution sélective et localisée des ions cuivre dans des conditions humides en raison de son couplage galvanique avec l'argent. Aucune bactérie vivante n'a adhéré aux surfaces de cuivre-argent lorsqu'elles ont été exposées à des suspensions de *S. aureus* et d'*E. Coli* à raison de 108 UFC/ml (UFC : unités formant colonies) alors que 104 UFC/cm<sup>2</sup> ont adhéré après 24 heures. De plus, l'alliage Cu-Ag a provoqué une réduction significative des bactéries dans les suspensions. L'activité antibactérienne du revêtement est supérieure à celle des surfaces électrolytiques de cuivre pur et d'argent. Par conséquent, les résultats ont montré que le revêtement électrolytique de cuivre-argent représente un moyen efficace et potentiellement rentable de limiter la propagation des agents pathogènes à la surface de l'acier.

**Détermination du mécanisme de réduction du chrome(III) lors de l'électrodéposition de chrome** (Determination of the chromium(III) reduction mechanism during chromium electroplating)

Dimitri Del Pianta (a), Christine Gleyzes (b); a) CNRS/ Univ Pau & Pays Adour; b) Ultra Traces Analyses Aquitaine (UT2A), FR

Electrochimica Acta, Volume 284, 10 September 2018, Pages 234-241

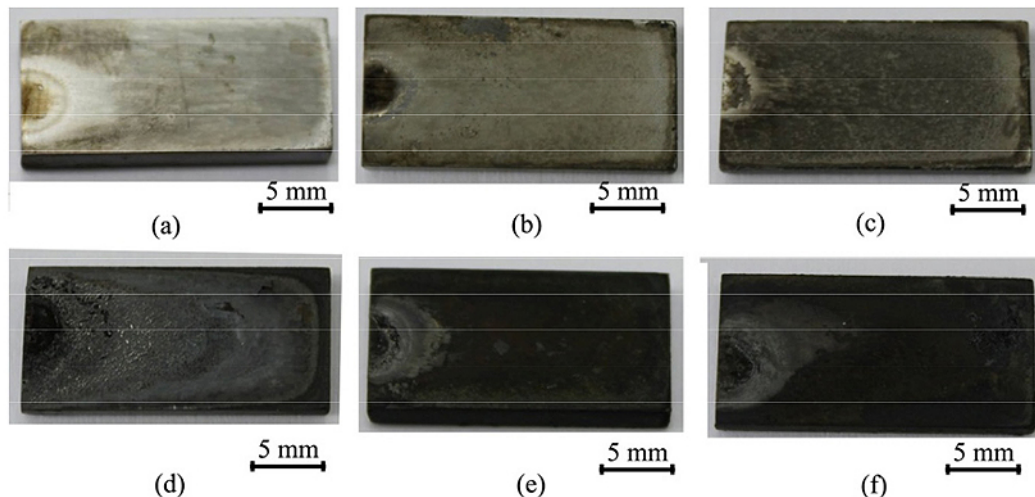
Le mécanisme de réduction de Cr (III) dépend de la nature de l'agent complexant présent dans les solutions d'électrodéposition. Dans les solutions d'eau pure et sans autres additifs, le Cr (III) est complexé avec des molécules d'eau, créant un complexe stable  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ .  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  pouvant être réduit en Cr (0) en deux étapes via une espèce intermédiaire de chrome (II). Cependant, cette réduction n'est pas quantitative et la maîtrise de la croissance du revêtement Cr (0) est complexe. L'ajout d'un agent complexant organique [L] permet la formation d'un complexe Cr (III) réductible. Les différents complexes obtenus par addition d'oxalate, de formiate ou d'acétate ont été caractérisés par spectroscopie UV-visible et HPLC-ICP / AES (chromatographie liquide haute performance-plasma à couplage inductif / spectroscopie d'émission atomique). La nature du ligand, le rapport  $[\text{Cr}]/[\text{L}]$  et le pH de la solution influencent le mécanisme de réduction du Cr (III). Indépendamment de la nature complexe, la réduction de Cr (III) en Cr (0) se produit en une étape avec les trois agents complexants étudiés. De plus, une réduction plus quantitative peut être obtenue en utilisant un agent complexant organique, des rapports faibles  $[\text{Cr}] / [\text{L}]$  et un pH d'environ 3,5.

Percentage of  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  remaining in solution for different  $[\text{Cr}]/[\text{L}]$  ratio and different pH

Complexing agent	Ratio $[\text{Cr}]/[\text{L}]$	pH = 2	pH = 3.5	pH = 5
Formate	1/1	61	41	30
	1/5	20	0	0
	1/10	0	0	0
Acetate	1/1	88	80	24
	1/5	71	0	0
	1/10	60	0	0
oxalate	1/1	39	5	0
	1/5	0	0	0
	1/10	0	0	0

**Revêtement d'alliages Cr-Ni sur acier T22** (Cr–Ni alloy coating electrodeposited on T22 steel)  
*Aumpava Kunyarong, Kittichai Fakpan; King Mongkut's University of Technology North Bangkok, TH*  
*Materials Today: Proceedings, Volume 5, Issue 3, Part 2, 2018, Pages 9244-9249*

Dans la présente étude, l'électrodéposition d'un alliage Cr-Ni a été réalisée sur un substrat acier T22 dans un bain contenant du chrome trivalent et des ions nickel divalents. Les effets des paramètres d'électrodéposition (variation de la densité de courant et procédé en deux étapes) et de la température de recuit sur la morphologie, la micro-dureté, la composition chimique et la tenue à la corrosion du revêtement ont été étudiés. La morphologie a été analysée par microscopie à balayage électronique et la composition chimique par spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie. Un test de polarisation potentiodynamique dans une solution à 3,5% de NaCl a été utilisé pour évaluer la tenue à la corrosion des revêtements. Les résultats expérimentaux ont montré que le Cr et le Ni ont été déposés avec succès sur de l'acier T22 en utilisant une densité de courant de 10 A/dm<sup>2</sup> à 30 A/dm<sup>2</sup>. Le processus en deux étapes a été appliqué avec succès, cependant, quelques fissures ont été observées sur la surface du dépôt. Une couche dense de dépôt a été obtenue par recuit à 700°C pendant 60 min permettant ainsi d'améliorer la résistance à la corrosion.



Appearance of Cr–Ni alloy deposits using (a) 10 A/dm<sup>2</sup>; (b) 30 A/dm<sup>2</sup>; (c) 10 A/dm<sup>2</sup> + 30 A/dm<sup>2</sup>; (d) 10 A/dm<sup>2</sup> with annealing; (e) 30 A/dm<sup>2</sup> with annealing and (f) 10 A/dm<sup>2</sup> + 30 A/dm<sup>2</sup> with annealing.

**Amélioration de la résistance à la corrosion d'acier doux par phosphatation zinc d'un revêtement électrolutique de zinc alcalin** (Improvement in Corrosion Resistance of Mild Steel Using Phosphate Conversion Coatings on Electro-Deposited Alkaline Zinc)

*R. Dinakaran, S.Karthikeyan; VIT University, Vellore, IN*

*Materials Today Proceedings, Volume 5, Issue 5, Part 2, 2018, Pages 13111-13118*

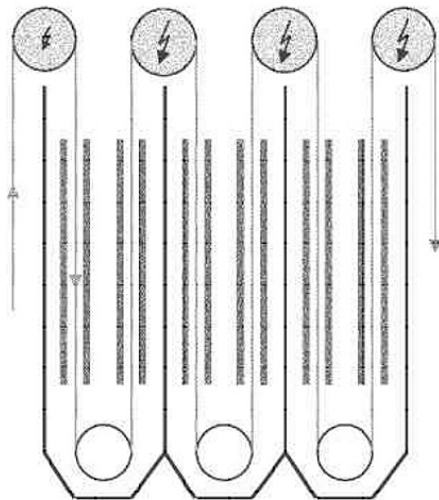
Étude des caractéristiques de revêtements zinc obtenus à partir de bain alcalin sans cyanures. Les tests d'impédance et de polarisation effectués montrent une augmentation exponentielle de la résistance à la corrosion sur un substrat en acier doux. Les études morphologiques (microscopie à balayage électronique) ont montré une structure nodulaire des particules de zinc et une structure lamellaire des particules de phosphate expliquant la faible micro-dureté de l'échantillon revêtu. L'analyse XRD (diffraction des rayons X) a révélé la nature amorphe du revêtement et la présence d'ions phosphate dans le ce dernier. Les résultats de ces mesures ont montré que le nouveau revêtement de conversion au phosphate est un candidat prometteur pour remplacer les traitements classiques au chromate hexavalent utilisés actuellement.

**Méthode d'électrodéposition sur feuilles d'acier** (Method for electroplating an uncoated steel strip with a plating layer)

Inventeur(s) : *Wijenberg Jacques; Wittebrood Adrianus*. Dépositant(s) : *Tata Steel Ijmuiden Bv*

Brevet n° : *WO2018087135 (A1)*, 2018-05-17

La présente invention concerne un procédé d'électrodéposition de feuilles d'acier non revêtue à partir d'un électrolyte au chrome trivalent, l'acier étant préalablement soumis à une étape de nettoyage et de décapage avant le procédé de déposition. L'électrodéposition est réalisée dans une unité comprenant une série de cellules consécutives. Durant la première étape du processus, un courant est appliqué à la feuille qui pénètre dans la première cellule, ce courant étant insuffisant pour déposer une couche à partir du Cr trivalent mais étant suffisant pour assurer sa protection cathodique. Dans une seconde étape du processus, un courant plus élevé est appliqué à la feuille afin de déposer une couche comprenant du chrome métallique, du carbure de chrome et de l'oxyde de chrome à partir de l'électrolyte Cr III.



# LIQUIDES IONIQUES

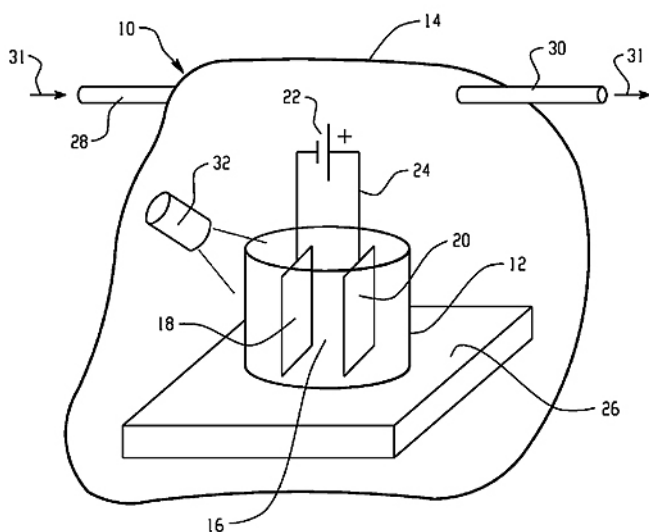
**Méthode et procédé d'électrodéposition d'aluminium dans des liquides ioniques** (Methods and materials for electroplating aluminum in ionic liquids)

Inventeur(s) : Lei Chen, Xiaomei Yu, William P. Fallon. Déposant(s) : Sikorsky Aircraft Corp

Brevet n° : US9903034B2, 2018-02-27

<https://patentimages.storage.googleapis.com/2e/fb/3c/2e5eef56e22426/US20150144495A1.pdf>

L'invention concerne un procédé de dépôt d'aluminium sur un substrat. Dans ce procédé, le substrat est disposé en tant que cathode dans une cellule électrochimique avec une anode et une solution d'électrodéposition comprenant un liquide ionique et une source d'aluminium. La teneur en eau résiduelle dans le bain d'électrodéposition est contrôlée par exposition à la lumière en présence d'un catalyseur de photo-oxydation pour décomposer l'eau ou les espèces associées à l'eau.



Referring now to the FIGURE, an exemplary system 10 with an electrochemical cell is schematically depicted. In the FIGURE, electroplating vessel 12 is disposed inside enclosure 14. An electroplating bath of liquid electrodeposition composition 16 comprising an ionic liquid and an aluminum salt is disposed in the vessel 12. A layer (not shown) of a liquid immiscible with the ionic liquid can be disposed on the surface of the liquid electrodeposition composition 16, as a barrier layer between the electrodeposition composition 16 and the gas space adjacent to it. Liquids used for such barrier layers include, for example, hydrocarbons such as hexane, or an ionic liquid that is immiscible with the ionic liquid in the electrodeposition composition 16. Examples of immiscible ionic liquids include phosphonium cations (e.g.,  $P_{66614}$ ), which can be paired with a hydrophobic anion such as bis{(trifluoromethyl)sulfonyl}amide. The substrate to be coated is disposed in the electroplating bath as cathode 18 along with anode 20. The cathode 18 and anode 20 are electrically connected to power source 22 through circuit 24. The vessel 12 is optionally provided with heat to provide proper conditions for the electroplating of aluminum, and is shown in the FIGURE disposed on heated plate 26. The enclosure 14 may optionally be equipped with gas inlet 28 and gas outlet 30 for flowing a dry purge gas 31 such as air/nitrogen to remove unwanted byproducts such as HCl, water vapor and oxygen from the enclosure.

**Analyse des mécanismes de lubrification induits par différents liquides ioniques sur des surfaces aciers** (Lubricating mechanism of cyano-based ionic liquids on nascent steel surface)

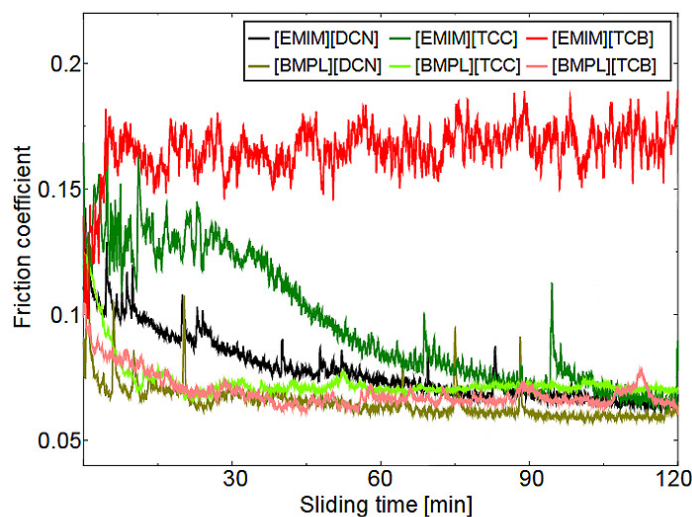
S.Kawada (a), S.Watanabe (b); a) Graduate School of Tokyo University of Science, JP; b) Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, SE

Tribology International, Volume 119, March 2018, Pages 474-480

Cette étude examine le mécanisme de lubrification des liquides ioniques base cyano sur des surfaces acier en utilisant les méthodes d'analyse suivantes : Q-MS, ToF-SIMS et TGA. Les liquides ioniques mis en œuvre sont les suivants :

- [EMIM] [DCN] : 1-Ethyl-3-methylimidazolium dicyanamide,
- [EMIM] [TCC] : 1-Ethyl-3-methylimidazolium tricyanomethane,
- [EMIM] [TCB] : 1-Ethyl-3-methylimidazolium tetracyanoborate,
- [BMPL] [DCN] : 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium dicyanamide,
- [BMPL] [TCC] : 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium tricyanomethane,
- [BMPL] [TCB] : 1-Butyl-1-methylpyrrolidinium tetracyanoborate.

[EMIM] [TCB] présente le coefficient de frottement le plus élevé, les autres présentant des coefficients très faibles inférieurs à 0,08.



The frictional behavior of each cyano-based ionic liquid

L'analyse Q-MS a montré la présence de cations lors des phases de dégazage alors qu'aucun composant anionique n'a été détecté. Les résultats de l'analyse ToF-SIMS ont montré, quant à eux, la présence d'anions sur les surfaces usées. L'analyse TGA est venue compléter ces observations et a permis de conclure que l'obtention de coefficients de frottements faibles nécessitait une tribo-décomposition du liquide ionique et l'absorption d'anions sur la surface des aciers.

**Étude sur la simulation de liquides ioniques base choline utilisés comme inhibiteurs de corrosion sur aciers doux en milieu acide** (Simulation Choline based ionic liquids as sustainable corrosion inhibitors on mild steel surface in acidic medium : Gravimetric, electrochemical, surface morphology, DFT and Monte Carlo simulation studies)

Chandrabhan Verma (a), I.B. Obot (b); (a) North-West University, Mmabatho, ZA; (b) King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, SA

Applied Surface Science, Volume 457, 1 November 2018, Pages 134-149

La tendance à l'adsorption des liquides ioniques base choline, à savoir le chlorure de 2-hydroxyéthyltriméthylammonium [Ch] [Cl], l'iodure de 2-hydroxyéthyltriméthylammonium [Ch] [I] et l'acétate de 2-hydroxyéthyltriméthylammonium [Ch] [Ac] sur une surface en acier doux plongée dans de l'acide chlorhydrique HCl à 1M a été démontrée en utilisant des approches expérimentales et théoriques.

Name and abbreviation	Chemical structure	Molecular informations
2-hydroxyethyl trimethylammonium chloride [Ch][Cl]		Mol. Formula: C <sub>5</sub> H <sub>14</sub> ClNO, Mol. wt.: 139.08
2-hydroxyethyl trimethylammonium iodide [Ch][I]		Mol. Formula: C <sub>5</sub> H <sub>14</sub> INO Mol. wt.: 231.01
2-hydroxyethyl trimethylammonium acetate [Ch][Ac]		Mol Formula: C <sub>7</sub> H <sub>17</sub> N O <sub>3</sub> , Mol. wt.: 163.12

L'analyse de la perte de poids a montré que les efficacités d'inhibition de [Ch] [Cl], [Ch] [I] et [Ch] [Ac] augmentent avec leurs concentrations. Les efficacités maximales relevées sont dans l'ordre :

[Ch] [Ac] (96,59%) > [Ch] [I] (96,02%) > [Ch] [Cl] (92,04%) à une concentration de  $17,91 \times 10^{-4}$  M.

The weight loss parameters ( $\pm$ SD) obtained for mild steel in 1 M HCl containing different concentrations of choline based ionic liquids.

Inhibitors	Conc. (molL <sup>-1</sup> )	Weight loss (mg)	C <sub>R</sub> (mg cm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )	Inhibition efficiency ( $\eta$ %)	Surface coverage ( $\theta$ )
Blank	---	176 ( $\pm$ 1.414)	5.866( $\pm$ 0.059)	----	
[Chl][Cl]	3.58 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	86( $\pm$ 1.414)	2.866( $\pm$ 0.047)	51.13	0.5113
	7.16 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	46( $\pm$ 0.707)	1.533( $\pm$ 0.023)	73.86	0.7386
	10.74 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	29( $\pm$ 0.707)	0.966( $\pm$ 0.023)	83.52	0.8352
	14.32 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	14( $\pm$ 0.707)	0.466( $\pm$ 0.023)	92.04	0.9204
	17.91 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	9( $\pm$ 0.707)	0.049( $\pm$ 0.023)	94.88	0.9488
[Chl][I]	3.58 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	68( $\pm$ 1.414)	2.266( $\pm$ 0.047)	61.36	0.6136
	7.16 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	33( $\pm$ 1.414)	1.100( $\pm$ 0.047)	81.25	0.8125
	10.74 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	22( $\pm$ 0.707)	0.733( $\pm$ 0.023)	87.5	0.875
	14.32 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	12( $\pm$ 0.707)	0.400( $\pm$ 0.023)	93.18	0.9318
	17.91 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	7( $\pm$ 0.707)	0.0387( $\pm$ 0.023)	96.02	0.9602
[Chl][Ac]	3.58 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	51( $\pm$ 1.414)	1.700( $\pm$ 0.047)	71.02	0.7102
	7.16 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	29( $\pm$ 0.707)	0.966( $\pm$ 0.023)	83.52	0.8352
	10.74 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	18( $\pm$ 0.707)	0.600( $\pm$ 0.023)	89.77	0.8977
	14.32 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	10( $\pm$ 0.707)	0.333( $\pm$ 0.023)	94.31	0.9431
	17.91 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	6( $\pm$ 0.707)	0.033( $\pm$ 0.023)	96.59	0.9659

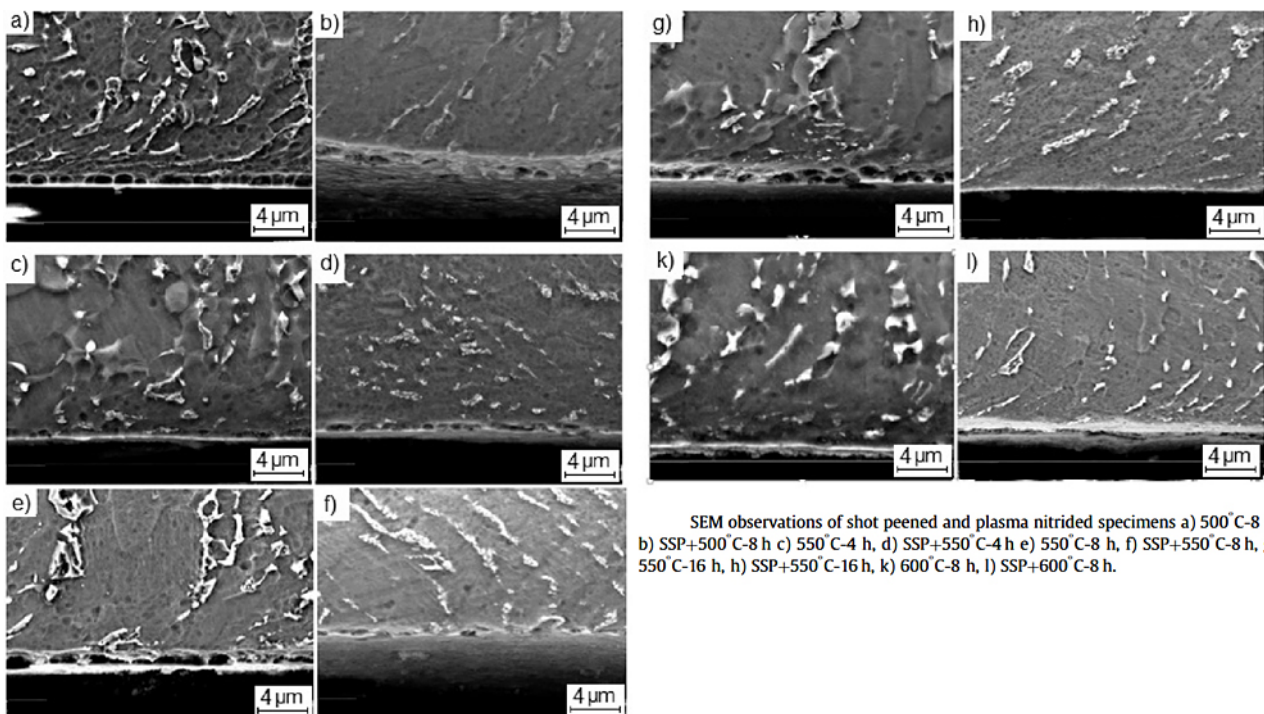
Outre la compréhension des mécanismes, les données issues des différentes analyses ont notamment montré que les molécules adsorbées [Chl] [Cl], [Chl] [I] et [Chl] [Ac] avec quatre chaînes hydrocarbonées hydrophobes limitait mes interactions entre l'environnement aqueux et la surface métallique et protégeait ainsi de la corrosion.

# TRAITEMENTS THERMIQUES / THERMOCHIMIQUES / DUPLEX

## Impact d'un grenailage de précontrainte et d'une nitruration plasma à ultra-basse température sur les alliages Ti-6Al-4V (Effect of severe shot peening and ultra-low temperature plasma nitriding on Ti-6Al-4V alloy)

Okun Unal (a), Erfan Maleki (b); a) Karabuk University, TR; b) Sharif University of Technology, IR Vacuum, Volume 150, April 2018, Pages 69-78

Dans cette étude, le comportement en fatigue de l'alliage Ti-6Al-4V soumis à une forte déformation plastique par grenailage et une nitruration au plasma a été étudié. Le grenailage mis en œuvre est soit conventionnel (A12-14) soit sévère (A28-30 et A34-36). La nitruration plasma est réalisée à 500°C, 550°C et 600°C avec des durées de 4, 8 et 16h. Le grenailage sévère conduit à la création de deux couches successives d'une épaisseur de 40 à 50 µm, à structure de grain ultrafine. La nitruration plasma crée une couche très mince composée de TiN et Ti<sub>2</sub>N à la surface. L'épaisseur de la couche est liée aux conditions de température et de durée. La microstructure est modifiée en éliminant l'homogénéité des phases α et β. Les auteurs ont relevé une amélioration de la tenue à la fatigue, particulièrement en faible nombre de cycles en soulignant que si le grenailage assure cette amélioration, la nitruration n'y contribue pas et lui est même défavorable.

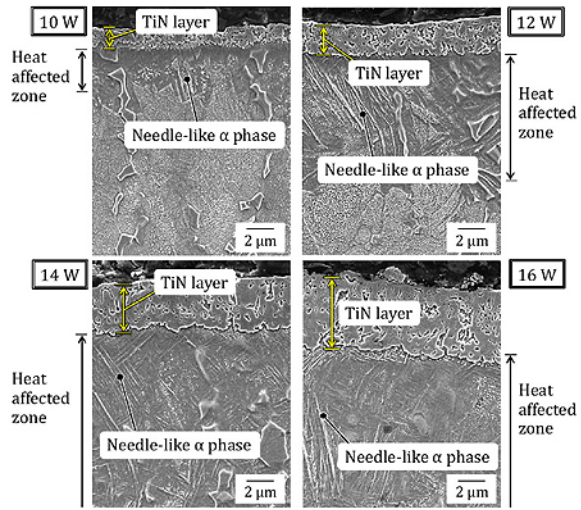
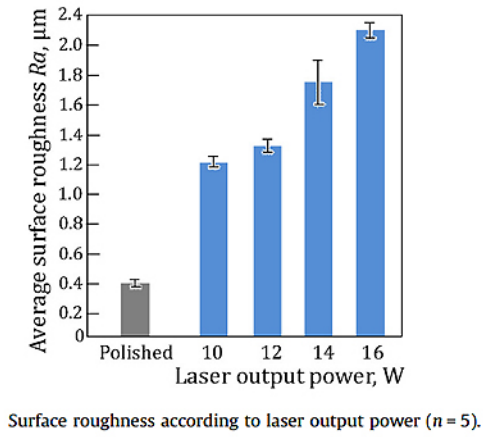


SEM observations of shot peened and plasma nitrided specimens a) 500°C-8 h, b) SSP+500°C-8 h c) 550°C-4 h, d) SSP+550°C-4 h e) 550°C-8 h, f) SSP+550°C-8 h, g) 550°C-16 h, h) SSP+550°C-16 h, k) 600°C-8 h, l) SSP+600°C-8 h.

## Nitruration rapide d'alliages de titane par laser fibre nanoseconde sous condition atmosphérique (Rapid surface nitriding of titanium alloy by a nanosecond fiber laser under atmospheric conditions)

Kazutoshi Katahira (a), Yusuke Tanida (b); a) Materials Fabrication Laboratory, RIKEN; b) Keio University, JP CIRP Annals, Volume 67, Issue 1, 2018, Pages 563-566

La surface d'échantillons Ti – 6Al – 4V a été nitrurée en utilisant un faisceau laser fibre nanoseconde Yb sous pression atmosphérique. La surface traitée présente une couche de matière fondue comprenant une structure dendritique TiN, une zone affectée thermiquement comprenant une phase α. La couche présente des caractéristiques optimales avec un traitement à une puissance de 12 W (meilleur compromis rugosité / détérioration de la phase α). Il en résulte une dureté de 12 GPa.



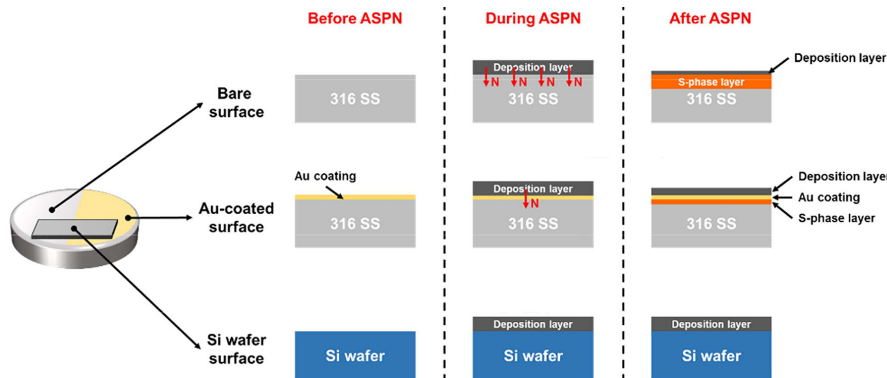
Cross-sectional images of samples treated at various laser output powers.

**Transfert de masse et formation des couches au cours d'une nitruration ionique avec écran actif d'aciers inox** (Nitrogen mass transfer and surface layer formation during the active screen plasma nitriding of austenitic stainless steels)

Kaijie Lin (a,b), Xiaoying Li (b); (a) Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, CN; (b) University of Birmingham, UK

Vacuum, Volume 148, February 2018, Pages 224-229

La nitruration ionique avec écran actif (ASPN - Active Screen Plasma Nitriding) a été largement appliquée pour améliorer diverses propriétés de surface des aciers inoxydables austénitiques, telles que la résistance à l'usure, la conductivité électrique et la résistance à la corrosion. Toute l'amélioration des propriétés de surface est due à la formation d'une phase unique à basse température de nitruration, appelée phase S. Un « modèle de diffusion – pulvérisation – dépôt – décomposition » a été établi pour expliquer la formation de la phase S. Cependant, le mécanisme de transfert de masse de l'azote vers le substrat pendant l'ASPN reste controversé. En comparant de manière complète la surface de trois surfaces différentes (surface en acier inoxydable 316L nu, surface en acier inoxydable 316L revêtu d'au et surface d'une couche Si) pendant les traitements ASPN, cet article étudie clarifie le mécanisme de transfert de masse.



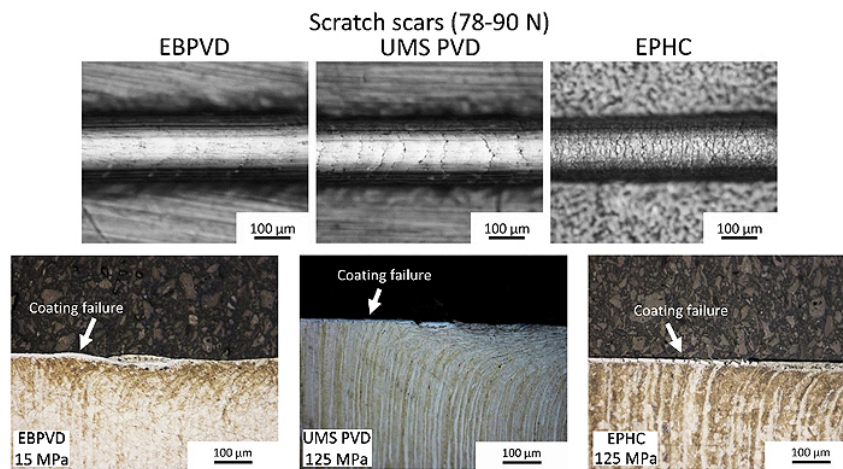
The schematic diagram of surface layer forming mechanisms of different



# DLC / DEPOTS SOUS VIDE

**Comparaison de la résistance à l'usure par grippage de revêtements Cr réalisés par PVD et chromage** (A comparison of the galling wear behaviour of PVD Cr and electroplated hard Cr thin films)  
 J.L. Daure (a), D.A. Stewart (b) - a) University of Nottingham; b) Rolls-Royce PLC, UK  
 Surface and Coatings Technology, Volume 350, 25 September 2018, Pages 40-47

Le chromage dur électrolytique (EPHC) est utilisé dans de nombreuses industries en tant que revêtement résistant à l'usure et à la corrosion. Cependant, la viabilité à long terme du procédé est menacée par la législation. Il a été démontré que le procédé PVD produisait des revêtements à base de chrome qui pourraient constituer une alternative possible à l'EPHC dans certaines applications. Cette étude examine la microstructure et les propriétés de deux revêtements de chrome PVD comme alternative possible à l'EPHC pour fournir une résistance au grippage. Les deux procédés étudiés sont l'EBPVD (Electron Beam PVD) et l'UMS (Unbalanced Magnetron Sputtering). Des essais d'usure ont été effectués conformément à la norme ASTM G98-17. Les résultats montrent que les deux revêtements PVD présentent une dureté, une rugosité de surface et une résistance aux rayures similaires. Cependant, la résistance à l'usure par frottement du revêtement déposé par UMS est environ dix fois supérieure à celle du revêtement EBPVD, et similaire à celle de l'EPHC. L'orientation cristalline des revêtements de chrome PVD semble jouer un rôle important dans l'influence de la résistance au grippage.



**Évaluation des paramètres de coupe optimaux d'outils revêtus CVD TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN pour le traitement d'aciers à ressorts** (Cutting Force Tool Tip Temperature and Surface Roughness during Dry Machining of Spring Steel)

Vasu M, Shivananda Nayaka H - Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Surathkal, Mangalore-575025, India  
 Materials Today : Proceedings 5 (2018) 7141–7149

Cette étude concerne l'usinage à sec des aciers à ressorts de type EN47 en utilisant un insert en carbure de tungstène revêtu CVD TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN. On s'intéressera ici à l'optimisation des paramètres de coupe permettant de conduire à la meilleure finition possible de la pièce, notamment sa rugosité mesurée à l'aide d'un appareil de mesure d'état de surface Mitutoyo. Une série d'expériences a été planifiée selon le plan orthogonal L27 de Taguchi jugé comme étant une méthodologie systématique et efficace pour l'optimisation des paramètres de process : profondeur de passe, vitesse de coupe, vitesse d'avance. Les différentes expérimentations conduites ont permis de conclure que les paramètres essentiels influençant la rugosité de surface, l'effort de coupe et la température sont, par ordre d'importance : *vitesse de coupe* > *profondeur de passe* > *vitesse d'avance*. Les paramètres optimaux sont les suivants :

Paramètre à optimiser	Paramètres d'optimisation		
	Profondeur de passe	Vitesse de coupe	Vitesse d'avance
Effort de coupe	0.25 mm	55.63 m/min	0.350 mm/tr
Rugosité de surface	0.75 mm	55.63 m/min	0.875 mm/tr
Température	0.25 mm	24.94 m/min	0.350 mm/tr

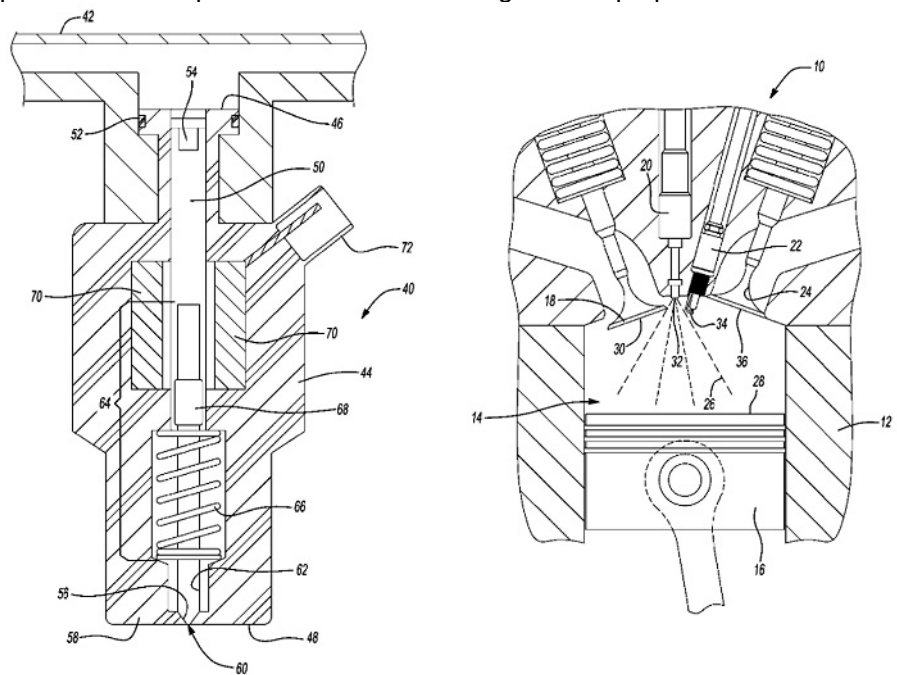
L'analyse au microscope à balayage électronique, a permis d'observer que la surface supérieure du matériau de l'outil se délaminaient et adhéraient à la surface usinée. Une importante rugosité est observée avec une vitesse de coupe de 24,94 m/min alors que la surface est plus lisse à 55,63 m/min en raison de la diminution du contact entre la pièce et l'outil.

**Méthode de traitement par PVD / CVD / PACVD (dépôt physique en phase vapeur / dépôt chimique en phase vapeur / dépôt chimique en phase vapeur assisté plasma) en vue de prolonger la durée de vie d'une matrice de refoulement à froid** (PVD/CVD/PCVD (physical vapor deposition/chemical vapor deposition/plasma chemical vapor deposition) coating treatment method with function of prolonging service life of cold-upsetting die)  
*Inventeur(s) : Song Yubin. Déposant(s) : Yuyao Zhengda Prec Products Machinery Co Ltd, CN*  
*Brevet n° : CN108103505 (A), 2018-06-01*

L'invention concerne un procédé de traitement de surface d'une matrice et décrit un procédé de traitement par revêtement PVD / CVD / PACVD (dépôt physique en phase vapeur / dépôt chimique en phase vapeur / dépôt chimique en phase vapeur par plasma) permettant de prolonger la durée de vie d'une matrice pour refoulement à froid. Le procédé de traitement comprend les étapes suivantes: 1) nettoyage; 2) séchage; 3), le chauffage; 4), revêtement: la surface de la matrice nettoyée et séchée revêtue de multiples revêtements durs contenant Ti, Si, Al, Zr, Cr et B par un dispositif de revêtement; 5), refroidissement de la filière; 6), trempe; 7), polissage. La surface de la matrice de refoulement à froid est revêtue des multiples revêtements composites avec une technologie comprenant des étapes de chauffage lent, de refroidissement par étapes, de revêtement et de trempe séquentielle. Selon les inventeurs, la technologie s'avère simple à mettre en œuvre et assure une grande efficacité. La matrice peut ainsi être produite à un coût inférieur, présente une dureté plus élevée et le nombre élevé de combinaisons de revêtement assure une durée de vie supérieure de l'outil par rapport à d'autres traitements.

**Revêtement DLC pour injecteurs essence sans plomb** (Diamond Like Carbon (DLC) coating for ethanol-blended fuel injector applications)  
*Inventeur(s) : Lukitsch Michael J; Liu Zhongyi. Déposant(s) : GM Global Tech Operations Llc, CN*  
*Brevet n° : US2018216593 (A1), 2018-08-02*

Une pièce ou un composant de véhicule comprend une surface configurée pour entrer en contact avec un carburant contenant de l'éthanol. La surface comporte une couche de carbone de type diamant non hydrogéné (NH-DLC) disposée sur la surface. La couche de NH-DLC présente une épaisseur comprise entre 100 µm et 100 nm. Le matériau NH-DLC a une teneur en carbone supérieure ou égale 90% (at%), une teneur en liaison hybride carbone-carbone sp<sup>3</sup> comprise entre 60% et 100% et une teneur en liaison hybride carbone-carbone sp<sup>2</sup> comprise entre 0% et 40%. Le matériau NH-DLC est sensiblement exempt d'atomes d'hydrogène. Des procédés de fabrication de la pièce ou du composant du véhicule sont également proposés.



# PROJECTION THERMIQUE / LASER / COLD SPRAY

**Revêtements par projection thermique** (Chapter 22 - Thermal Spray Coatings)

*Mitchell R. Dorfman, Sulzer Metco (US) Inc., Westbury, NY, US*

Handbook of Environmental Degradation of Materials (Third Edition), 2018, Pages 469-488

Dans le chapitre 22 de cet ouvrage dont la troisième édition est parue en 2018, M. R. Dorfman s'intéresse à la projection thermique destinée au surfacage et au re-surfacage des composants techniques.

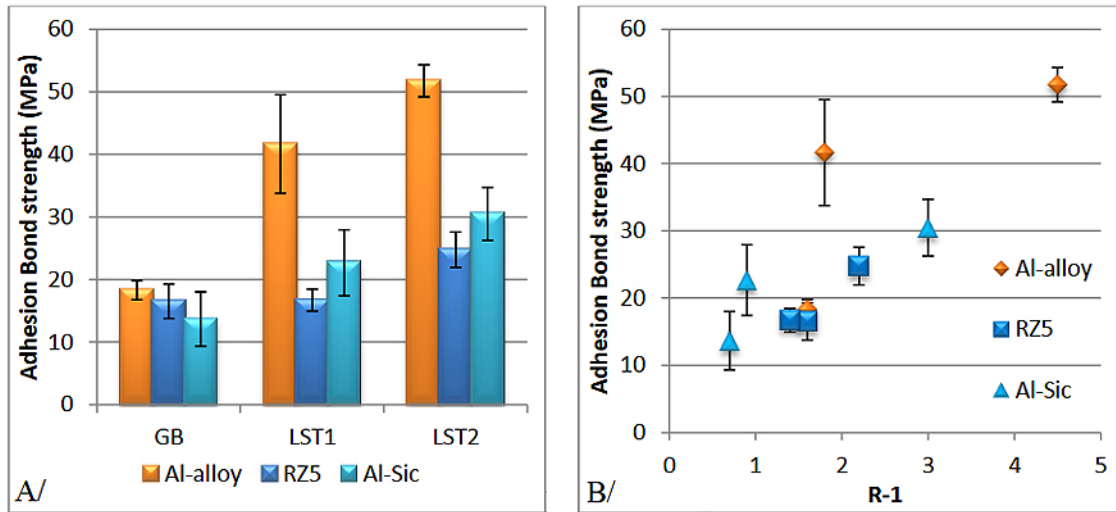
<b>22.1 Introduction</b>	<b>469</b>	22.4.6 Gas/Water Atomization	477
<b>22.2 Thermal Spray Basics and Processes</b>	<b>470</b>	22.4.7 Fused and Crushed	477
22.2.1 High Velocity Oxy-fuel Processes	470	22.4.8 Attrition Milling	478
22.2.2 Detonation Gun (D-Gun)	472	<b>22.5 The Function of a Coating and Its Applications</b>	<b>478</b>
22.2.3 Low Velocity Combustion	473	22.5.1 Turbine Applications	478
22.2.4 Twin Wire Arc Process	473	22.5.2 Coated Turbine Components	481
22.2.5 Plasma Deposition	473	<b>22.6 General Applications</b>	<b>482</b>
22.2.6 Low Pressure Plasma Spraying	474	22.6.1 Corrosion Control	482
22.2.7 Cold Spray	474	22.6.2 Salvage and Repair	483
<b>22.3 Materials Consumables</b>	<b>474</b>	22.6.3 Wear Coatings	483
22.3.1 Abradables	475	<b>22.7 Miscellaneous Applications</b>	<b>486</b>
22.3.2 Pure Metals, Alloys and Cermets	475	22.7.1 Metal Workings	486
22.3.3 Carbides	476	22.7.2 Traction	487
22.3.4 Ceramics	476	22.7.3 Dielectric Coatings	487
22.3.5 Self-fluxing Alloys and Blends	476	22.7.4 Release Coatings	487
22.3.6 Polymers	476	<b>22.8 Coating Selection</b>	<b>487</b>
22.3.7 Thermal Spray Wires (Arc and Combustion)	476	<b>22.9 Summary</b>	<b>488</b>
<b>22.4 Manufacturing Processes</b>	<b>476</b>	<b>References</b>	<b>488</b>
22.4.1 Spray Drying	476	<b>Further Reading</b>	<b>488</b>
22.4.2 Plasma Densification	476		
22.4.3 Chemical and Mechanical Cladding	477		
22.4.4 Sintering	477		
22.4.5 Blending	477		

**Texturation laser pour améliorer l'adhérence de surfaces revêtues par projection par Cold-spray, arc, plasma atmosphérique** (Laser surface texturing to enhance adhesion bond strength of spray coatings – Cold spraying, wire-arc spraying, and atmospheric plasma spraying)

*R. Kromer, S. Costil; ICB-LERMPS UMR 6303, Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, FR*

Surface and Coatings Technology, Volume 352, 25 October 2018, Pages 642-653

Le but de cette étude est de promouvoir une force de liaison importante avec les outils de texturation de surface laser pour différents revêtements déposés par des procédés de projection. Un laser pulsé nanoseconde a été utilisé (basse puissance : 20 W, haute fréquence : entre 10 and 100 kHz et longueur d'onde  $\lambda = 1064 \mu\text{m}$ ). Le potentiel de cette technologie est exploré. Plusieurs avantages sont mis en avant : absence d'inclusions de particules, zone thermiquement affectée limitée, qualité de contact de l'interface. La force d'adhésion a été améliorée et évaluée. La mécanique de rupture a été étudiée et les analyses montrent que la forme du motif de texturation a un impact sur la propagation des fissures. La texturation a été réalisée sur des substrats en alliages de métaux légers. Cette étude a mis en évidence le potentiel du laser pour améliorer la force de la liaison d'adhésion dans le domaine des dépôts secs.



A/ adhesion bond strength as a function of surface preparation: grit-blasting (GB), texture 1 (LST1) and texture 2 (LST2) - B/ adhesion bond strength as a function of the in-contact area ratio for Al (▲), Mg (■) and Al-SiC (◆) couples

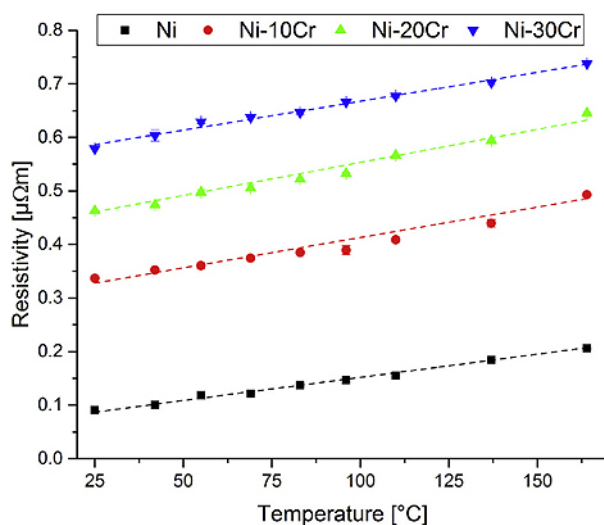
**Influence du Cr sur les propriétés thermoélectriques et mécaniques sur des couches mince NiCr synthétisées sur Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** (Influence of Cr-Content on the thermoelectric and mechanical properties of NiCr thin film thermocouples synthesized on thermally sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Wolfgang Tillmann (a), Volker Schöppner (b); a) TU Dortmund, b) Kunststofftechnik Paderborn, DE Thin Solid Films, Volume 663, 1 October 2018, Pages 148-158

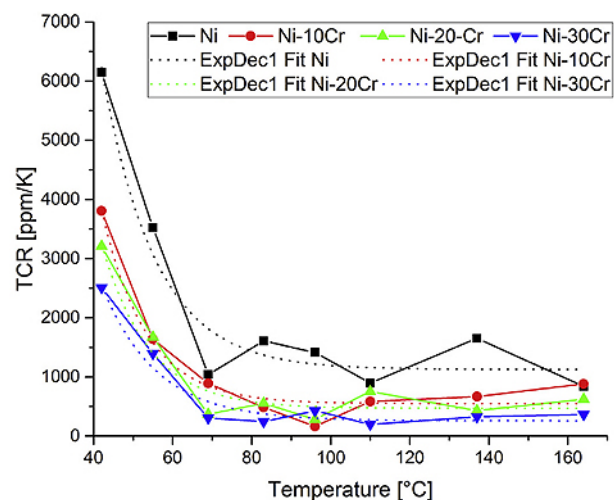
Des films minces Ni/Ni-Cr thermocouples ont été déposés par pulvérisation cathodique magnétron à courant continu sur des moules d'extrusion plastique. Une couche d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> déposée par projection thermique entre le substrat et les films Ni/Ni-Cr afin d'assurer l'isolation thermique et électrique. L'influence de la composition (10% en poids, 20% en poids et 30% en poids de Cr) sur les propriétés mécaniques et électriques a été analysée. Les auteurs ont observé que la résistance électrique augmentait avec la température et la teneur en Cr en raison de la diminution de la taille des cristallites. Une dureté plus élevée a été observée pour des teneurs en Cr importantes sur le revêtement Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. L'influence de la taille ainsi que de l'épaisseur des thermocouples a également été analysée. Indépendamment de la taille et de la teneur en Cr, tous les thermocouples présentent un coefficient de Seebeck comparable (environ 40 μV/K). Ce coefficient élevé est similaire à celui des thermocouples filaires, attestant d'un faible nombre de défauts dans les couches minces. La couche d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> permet de réduire l'influence de la température du substrat. Le revêtement céramique présente une isolation thermique de 20°C à 200°C.

Structural, mechanical, and electrical properties of the different as deposited Ni-xCr thin films.

Coating	Crystallite size [nm]	Residual stress (111) [MPa]	Critical scratch load L <sub>c2</sub> [N]	Hardness H [GPa]	Young's modulus E [GPa]	Resistivity [μΩm]	TCR [ppm/K]
Ni	62.4	1042 ± 57	48.3 ± 1.2	4.1 ± 1.1	142.3 ± 26.8	0.091 ± 0.002	6148
Ni-10Cr	33.8	923 ± 56	57.3 ± 1.7	6.8 ± 1.0	155.1 ± 27.1	0.337 ± 0.004	3806
Ni-20Cr	15.6	1386 ± 119	59.0 ± 4.3	8.1 ± 0.5	161.2 ± 14.0	0.463 ± 0.001	3208
Ni-30Cr	15.0	1082 ± 97	62.0 ± 3.7	7.9 ± 1.0	152.6 ± 14.8	0.579 ± 0.001	2507



Dependence of the resistivity of the Ni-xCr thin films on the temperature.



Change of the Temperature Coefficient of Resistance (TCR) with the temperature in dependence of the Cr- content.

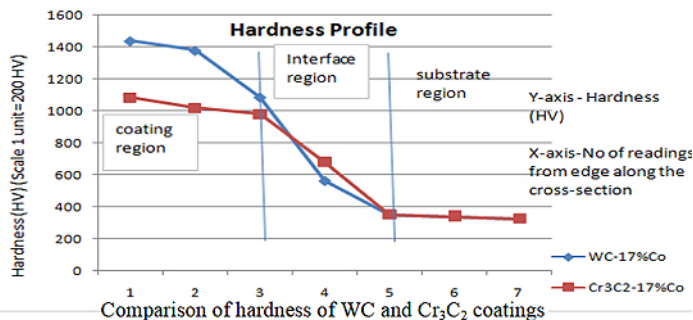
**Analyse comparative de la résistance à l'usure de revêtements HVOF sur acier 304 SS** (Comparative study of wear behaviour of Thermal Spray HVOF coating on 304 SS)

Archana Shriram Hajare, C.L.Gogte; *Engineering College, Aurangabad, IN*  
 Materials Today: Proceedings, Volume 5, Issue 2, Part 2, 2018, Pages 6924-6933

Les revêtements de carbure de tungstène et de carbure de chrome déposés par HVOF sont étudiés. Les deux revêtements ont le même liant avec un pourcentage égal. Les caractérisations mécaniques et structurales ont été effectuées à l'aide d'un microscope à balayage électronique, d'un diffractomètre à rayons X, d'une spectroscopie à dispersion d'énergie et d'essais d'usure Pin-on-Disc. Les résultats montrent que le taux d'usure du revêtement en carbure de tungstène à température ambiante est très inférieur à celui du revêtement en carbure de chrome à différentes charges. La conductivité thermique et la porosité du matériau de revêtement se sont avérées avoir une influence marquée sur le taux d'usure.

Chemical composition of WC and Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> coating.

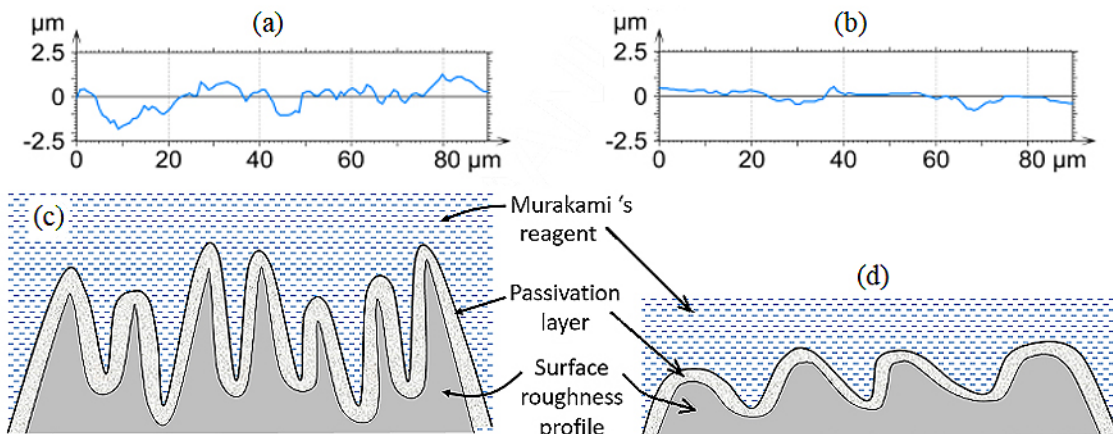
WC coating		Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> coating	
Element	% Wt	Element	%Wt
Tungsten	Balanced	Chromium	74
Cobalt	17	Cobalt	17
Carbide	5-6	Carbide	4-5
Fe	0.3	Fe	0.216
Ferric oxide	0.2	Silicon	0.252
		Aluminium	0.2
		Sulphur	0.01



**Nanofinition chimiquement assistée de dépôts WC-Co réalisés par HVOF** (High efficiency chemical assisted nanofinishing of HVOF sprayed WC-Co coating)

Gourhari Ghosh, Ajay Sidpara; *Indian Institute of Technology Kharagpur, IN*  
 Surface and Coatings Technology, Volume 334, 25 January 2018, Pages 204-214

Les revêtements par projection thermique sont largement utilisés pour améliorer la dureté de la surface et la résistance à l'usure des composants. Cependant, la rugosité de surface de ces derniers est supérieure à la limite acceptable pour de nombreuses applications (aérospatiale, automobile, imprimerie). Dans la présente étude, une stratégie de finition en plusieurs étapes a été mise en place pour améliorer l'état de surface d'un revêtement WC-Co réalisé par HVOF. Un premier polissage (SAG – Shape Adaptative Grinding) est effectué en utilisant un abrasif à base de zircone et d'alumine. La finition obtenue est différente pour WC et Co en raison de leur différence de dureté significative. Pour pallier à ce problème, ce polissage est assisté chimiquement en utilisant le réactif de Murakami. Une couche de passivation mince est formée sur le dessus du revêtement en raison des interactions chimiques. Cette couche présente une dureté nettement inférieure à celle du revêtement "brut" et facilite l'enlèvement de matière de façon uniforme. Les mesures effectuées par spectroscopie par rayons X confirment la présence de WO<sub>3</sub> dans la couche de passivation. Aucune fissure du WC n'est observée sur la surface traitée par SAG assisté par voie chimique. La rugosité de surface est réduite de 5,04 à 53 nm en utilisant cette stratégie qui permet également de réduire les temps de traitement.

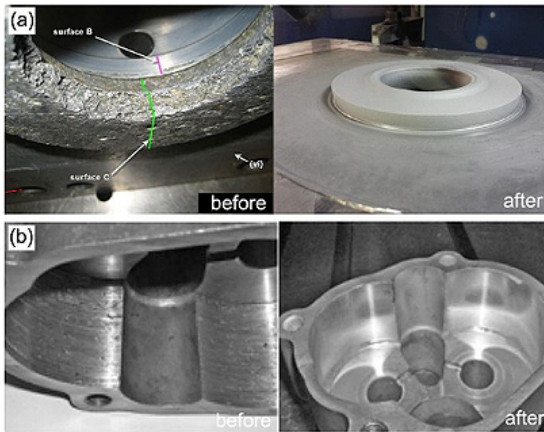


Extracted 2D surface profile curves of (a) ground surface, (b) Surface after SAG. Schematic diagram of formation of passivation layer on (c) ground surface, (d) surface after SAG.

**Fabrication Additive et réparation par Cold Spray. Notions essentielles et applications** (Cold spray additive manufacturing and repair: Fundamentals and applications)

Shuo Yin (a), Pasquale Cavaliere (b); Trinity College Dublin, IE; b) University of Salento, IT  
 Additive Manufacturing, Volume 21, May 2018, Pages 628-650

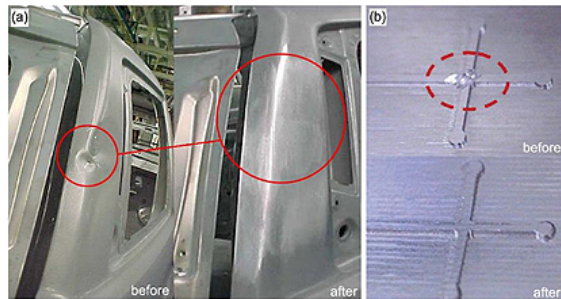
Le Cold Spray est une technologie de déposition à l'état solide qui a récemment été appliquée en tant que procédé de fabrication additive pour la réalisation de composants et la réparation de composants endommagés. En comparaison avec les procédés de fabrication additive à haute température, il a été démontré que la fabrication additive par Cold Spray permettait de conserver les propriétés initiales de la matière, produisant des dépôts sans oxyde et n'ayant pas d'impact négatif sur les matériaux sous-jacents pendant la fabrication. Par conséquent, le CSAM (Cold Spray Additive Manufacturing) attire l'attention des communautés scientifiques et industrielles. Bien que le CSAM soit une technologie de fabrication additive émergente, plusieurs groupes de recherche ont réalisé un ensemble de travaux et la technologie a été appliquée à divers secteurs de fabrication. Dans cet article un résumé et une analyse des principaux travaux réalisés à ce jour sont proposés.



Comparison between damaged and repaired components via CSAM: (a) internal bore surface of a navy valve actuator and (b) oil pump housing of Caterpillar engine



Restoration process of a mechanically damaged flap transmission tee box housing of an aircraft via CSAM



Comparison between damaged and repaired components via CSAM: (a) a large cast automotive part and (b) a mold

# TRAITEMENTS MECANIQUES

## **Étude des microstructures de déformation induites par grenailage ultrasonique en conditions cryogéniques d'aciers inoxydables austénitiques: effet sur les propriétés en fatigue**

Marc Novelli - Département de génie mécanique, École de technologie supérieure de Montréal, CA; Laboratoire d'étude des microstructures et de mécanique des matériaux, Université de Lorraine, FR

Thèse présentée en cotutelle le 16 novembre 2017, [http://espace.etsmtl.ca/2031/1/NOVELLI\\_Marc.pdf](http://espace.etsmtl.ca/2031/1/NOVELLI_Marc.pdf)

Le propos de cette étude repose sur l'analyse et la compréhension des microstructures de déformation induites par un traitement de grenailage ultrasonique, particulièrement sous conditions cryogéniques, sujet très peu exploré à ce jour. L'étude se concentre plus particulièrement sur les métaux susceptibles de subir une transformation martensitique (notamment 304L et 316L) et l'influence d'un tel traitement sur la tenue en fatigue cyclique. Pour ce faire, plusieurs nuances d'aciers inoxydables austénitiques présentant des stabilités différentes vis-à-vis de la transformation de phase ont été traitées à très basses températures et les propriétés obtenues ont été comparées à celles mesurées sur les échantillons traités à température ambiante.

Les structures de déformation obtenues sous condition cryogénique ont été reliées à la tenue mécanique sous sollicitations cycliques en flexion rotative. Comparé à un traitement réalisé à température ambiante, un grenailage cryogénique permet une baisse la rugosité de surface et la production de contraintes résiduelles de compression plus élevées par la présence de martensite. Cependant, une plus grande relaxation de ces dernières, associée à une réduction de l'épaisseur durcie suite à traitement cryogénique, n'ont pas permis d'augmenter la résistance à la fatigue en comparaison des éprouvettes traitées à température ambiante.

Néanmoins, le potentiel d'un grenailage ultrasonique sur l'amélioration de la tenue en fatigue à été mis en avant par l'étude des faciès de rupture. Un échantillon traité cryogéniquement et ayant présenté une faible durée de vie a montré un faciès de rupture comprenant de multiples amorces de fissures toutes localisées en surface. Comparativement, un seul site d'amorçage localisé en sous-couche a été observé sur une éprouvette ayant une durée de vie plus importante qu'un échantillon traité sous température ambiante. Ainsi, si l'implication des défauts de surface peut être limitée en diminuant d'avantage la rugosité de surface par une prolongation de la durée de traitement sous température cryogénique, l'amorce d'une fissure peut être repoussée en sous-couche prolongeant considérablement la durée de vie du matériau sollicité.

# TRAITEMENT DES ALLIAGES LEGERS

**Une nouvelle approche pour la réalisation de dépôts Ni-P-W contre l'usure et la corrosion avec co-dépôt de nanoparticules CNF (Carbon Nano Fibers)** (A novel approach for wear and corrosion resistance in the electroless Ni-P-W alloy with CNFs co-depositions)

A.Akyol, H.Algul; Sakarya University, TR

Applied Surface Science, Volume 453, 30 September 2018, Pages 482-492

Dans cette étude, des dépôts composites de Ni-P-W-CNF ont été réalisés par voie chimique sur un substrat en aluminium. Les compositions sont données dans les tableaux suivants.

Table 1. Bath composition and deposition conditions for Ni-P-W- CNF nanocomposites

Nickel Sulphate (source of nickel)	200 g/L
Sodium Hypophosphite (reducing agent and P source)	12 g/L
Sodium Citrate (complexing agent)	16 g/L
Ammonium Chloride (accelerator)	14 g/L
Citric Acid (complexant)	8 g/L
Sodium Tungstate (source of tungsten)	60,80 and 100 g/L
CNFs concentration (reinforcement for composite)	50 and 100 mg/L
pH	8-9
Bath Temperature	90 °C
Deposition Time	1 h

Table 2. The composition of electrolytes and the related codes of deposited Ni-P-W and nano composites

Composition of deposition bath
Ni-P-W (60 g/L Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> )
Ni-P-W (80 g/L Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> )
Ni-P-W (100 g/L Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> )
Ni-P-W (100 g/L Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> and 0.1 g/L CNFs)
Ni-P-W (100 g/L Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> and 0.2 g/L CNFs)

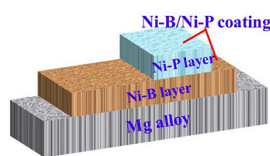
L'objectif principal, outre la réalisation du dépôt, était de caractériser la morphologie, le comportement tribologique et la tenue à la corrosion. Ces analyses ont été caractérisées par microscopie à balayage électronique, analyse par diffraction aux rayons X et spectroscopie Raman. Les effets des CNF et du tungstène sur la résistance à l'usure et la tenue à la corrosion sont discutés. La meilleure résistance à l'usure et à la corrosion sont obtenues par co-dépôt autocatalytique Ni-P-W-CNF contenant 100 g/L de Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> et 0,2 g/L de CNF dans le bain.

**Réalisation et caractérisation d'un dépôt Ni-B/Ni-P sur alliage AZ91D Mg à partir de bains sans fluorure** (Electroless deposition and characterization of a double-layered Ni-B/Ni-P coating on AZ91D Mg alloy from eco-friendly fluoride-free baths)

Jun Zhang (a), Zhi-Hui Xie (b); a) Hunan University, Changsha; b) China West Normal University, Nanchong, CN

Surface and Coatings Technology, Volume 342, 25 May 2018, Pages 178-189

Les dépôts de Ni chimique ont suscité beaucoup d'intérêt pour la protection des alliages de magnésium en raison de leurs bonnes performances en tenue à la corrosion. Dans cette étude, un revêtement bi-couche Ni-B/Ni-P sur un alliage AZ91D a été réalisé.



Process*	Chemicals	Concentration	Condition
Ultrasonic degreasing	Acetone		10 minutes 298 ± 2 K
Alkaline cleaning	NaOH	50 g dm <sup>-3</sup>	10 minutes
	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	10 g dm <sup>-3</sup>	333 ± 2 K
Pickling	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (85%)	600 cm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	1 minutes
	HNO <sub>3</sub> (68%)	30 cm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	298 ± 2 K
Activation 1	K <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	160 g dm <sup>-3</sup>	2.5 minutes
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	20 g dm <sup>-3</sup>	313 ± 2 K
	KF·2H <sub>2</sub> O	11 g dm <sup>-3</sup>	
Activation 2	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	180 g dm <sup>-3</sup>	2.5 minutes
	NH <sub>4</sub> HF <sub>2</sub>	95 g dm <sup>-3</sup>	298 ± 2 K
Alkaline electroless	NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	25 g dm <sup>-3</sup>	348 ± 2 K
Ni-B plating	H <sub>2</sub> NCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	50 cm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>	pH = 11.0
	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Na <sub>3</sub> O <sub>7</sub> ·2H <sub>2</sub> O	30 g dm <sup>-3</sup>	
	NaOH	90 g dm <sup>-3</sup>	
	NaBH <sub>4</sub>	0.8 g dm <sup>-3</sup>	
	CS(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	1 mg dm <sup>-3</sup>	
Acidic electroless	NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	20 g dm <sup>-3</sup>	358 ± 2 K
Ni-P plating	NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	20 g dm <sup>-3</sup>	pH = 5.5
	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> ·H <sub>2</sub> O	5 g dm <sup>-3</sup>	
	CS(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	1 mg dm <sup>-3</sup>	
	NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O (25%)	Adjust	

\* Rinse with running ultrapure water between each step

La morphologie, la composition et la structure des revêtements ont été caractérisées par microscopie à balayage électronique (MEB), analyse dispersive en énergie (EDS), spectroscopie photoélectronique par rayons X (XPS) et cristallographie aux rayons X (DRX). Plusieurs techniques électrochimiques ont également été utilisées :

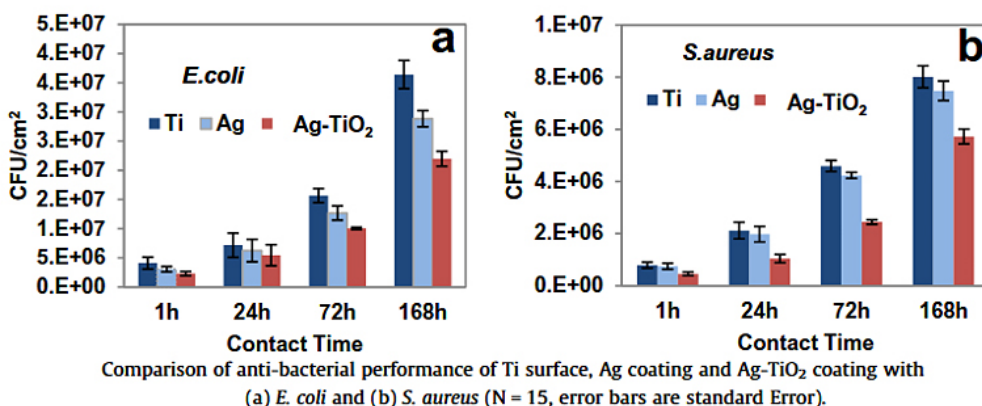


voltammétrie a balayage linéaire, chronoampérométrie et spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) pour analyser le processus de déposition et démontrer l'amélioration de l'inhibition de la corrosion. Le dépôt de Ni est initié par la réaction de déplacement entre le Mg et les Ni<sup>2+</sup>, suivie d'une réaction de déplacement simultané et d'un dépôt chimique auto-catalytique sur les noyaux de Ni formés. Une fois que la surface de la matrice est entièrement recouverte par le film de Ni, le dépôt se fait par réaction autocatalytique totale. Le nouveau revêtement duplex présente également une amélioration remarquable de la microdureté par rapport à un revêtement Ni-P simple.

**Réduction de l'adhérence bactérienne sur des revêtements Ag-TiO<sub>2</sub>** (Reduction of bacterial adhesion on Ag-TiO<sub>2</sub> coatings)

Chen Liu (a), Buyun Zhao (b); a) Capital Medical University, Beijing, CN; b) University of Cambridge, UK  
Materials Letters, Volume 218, 1 May 2018, Pages 334-336

On sait que les revêtements nano-composites Ag-TiO<sub>2</sub> présentent un effet synergique sur l'activité antibactérienne, cependant, on en savait peu sur le mécanisme de cet effet et sur les façons de l'améliorer. Dans cet article, une gamme de revêtement nanocomposites Ag-TiO<sub>2</sub> avec différentes teneurs en TiO<sub>2</sub> a été préparée sur un substrat en titane en utilisant une technique de dépôt chimique et les performances antibactériennes des revêtements ont été évaluées sur E. coli et S. aureus. Ce travail a démontré pour la première fois que l'incorporation de nanoparticules de TiO<sub>2</sub> dans la matrice d'Ag avait non seulement favorisé de manière significative la libération d'ions Ag, mais avait également augmenté de manière significative l'énergie de surface des donneurs d'électrons, ce qui conduit à l'amélioration de l'effet antibactérien de ces revêtements.



**Réalisation d'un dépôt de cuivre super-hydrophobe et brillant sur substrat aluminium** (Fabrication of a superhydrophobic and high-glossy copper coating on aluminum substrates)

Hao Yang (a), Jing Miao (b); a) Wuhan Institute of Technology b) Shenzhen Institute of Advanced Technologies, CN

Applied Surface Science, Volume 433, 1 March 2018, Pages 1192-1196

Dans cette étude, une méthode simple a été développée pour préparer un revêtement de cuivre super-hydrophobe et brillant sur des substrats en aluminium. Les revêtements sont réalisés par voie chimique et modifiées avec de l'octadécane-thiol. La mouillabilité et le brillant peuvent être ajustés par la concentration du précurseur. Avec l'augmentation de la concentration en CuSO<sub>4</sub>, la rugosité de la surface du revêtement augmente, entraînant une augmentation de l'angle de contact et une diminution de la brillance. Lorsque la concentration de CuSO<sub>4</sub> est de 30 mmol/L, le revêtement présente une structure sub-micro/nano binaire dans laquelle des protubérances de 20 à 30 nm se développent sur des matoïdes de 300 à 500 nm. Une telle morphologie confère au revêtement des propriétés superhydrophobes (WCA - water contact angle supérieur à 150°) et de brillance (> 100 GU - Gloss Units) intéressantes.

Various parameters of the as-prepared copper coatings.

sample	concentration	Ra-5 μm	particle size	static contact	contact angle	glossiness
	(mmol/L)	(nm)	(nm)	angle (°)	hysteresis (°)	(60°)(GU)
S1	10	23.8	165.973	132.6	25.4	143
S2	20	21.7	177.416	142.6	15.7	121
S3	30	28.0	212.479	153.6	3	104
S4	40	54.3	255.897	154.2	2.6	58.2
S5	50	92.6	558.837	154.7	2.3	25.5
S6	100	183	723.240	156.5	1.8	7.7

**Prétraitement mécanique avant électrodéposition de l'alliage d'aluminium AlSi12** (Mechanical pretreatment before electroplating of aluminium alloy AlSi12)

E.Uhlmann, R.Jaczkowski - Technische Universität Berlin, DE

Surface and Coatings Technology, Volume 352, 25 October 2018, Pages 483-488

La complexité des chaînes de prétraitement et de revêtement diffère en fonction des matériaux traités. Il est particulièrement difficile de revêtir les alliages d'aluminium-silicium. Lors du prétraitement conventionnel de ces alliages, la phase de silicium s'enrichit à la surface des pièces et doit être éliminée lors d'une étape de traitement supplémentaire utilisant de l'acide nitrique. Cette étude compare les procédés de prétraitement mécaniques alternatifs pour les pièces en AlSi12 avant électrodéposition. Les procédés étudiés sont le meulage conventionnel, le meulage double face avec cinématique plane, le rodage et la projection de glace. Après la structuration, les pièces sont nettoyées par projection de neige carbonique. L'étude des différentes structures de surface obtenues et de leurs propriétés (rugosité, tension superficielle, mouillage) a permis de déterminer leur efficacité sur l'adhérence du revêtement (modélisation empirique). Les résultats montrent que les procédés chimiques conventionnels utilisés dans la phase de prétraitement pourraient être substitués favorablement.

Benchmark of the surface parameters in dependence on the used processes and the most suitable surface parameters for a subsequent coating with mean value (MV) and standard deviation (SD)

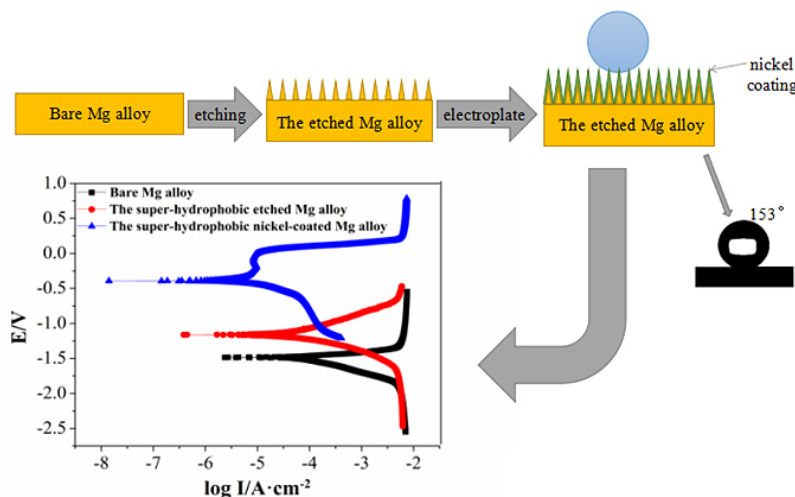
Process	Rough-ness value Ra [µm]				Roll-off angle α [°]				Contact angle θ <sub>water</sub> [°]			
	Benchmark		Most Suitable		Benchmark		Most Suitable		Benchmark		Most Suitable	
	MV	SD	MV	SD	MV	SD	MV	SD	MV	SD	MV	SD
Initial	0.2	0.1			19.1	2.2			70.3	3.8		
Single sided lapping with conditioning ring	3.4	1.6	5.8	0.3	70.4	8.7	87.3	4.6	103.0	2.1	99.5	1.5
Double face grinding with planetary kinematic	0.8	0.2	1.2	0.3	14.6	5.1	24.4	3.0	99.9	1.8	97.6	2.5
Face grinding	1.8	0.1	1.9	0.1	32.2	11.7	45.1	0.5	77.8	17.8	58.9	2.1
Kinematically modulated face grinding	1.0	0.1	1.2	0.3	44.5	1.5	45.6	2.0	78.4	1.6	77.3	3.8
Dry ice blasting	2.3	1.5	5.4	0.3	55.1	7.8	66.4	3.7	89.2	15.2	77.7	1.2

**Réalisation simple d'un revêtement nickel super-hydrophobe sur un alliage de magnésium avec amélioration de la résistance à la corrosion** (Facile formation of super-hydrophobic nickel coating on magnesium alloy with improved corrosion resistance)

Ying Wang (a, b, c), Zhengpeng Gu (a); a) Changzhou University; b) Jiangsu University; c) Tsinghua University, Beijing, CN

Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 538, 5 February 2018, Pages 500-505

La mauvaise tenue à la corrosion anticorrosion des alliages de Mg limite leur application. Dans cette étude, un revêtement de nickel super-hydrophobe d'un alliage de Mg présentant de bonnes propriétés anticorrosion a été réalisé par décapage, électrodéposition et modification chimique à l'acide stéarique. La microscopie à balayage électronique, la diffraction des rayons X, la spectrométrie à dispersion d'énergie et la spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier ont été utilisées pour étudier la microstructure et la composition chimique du revêtement. Des méthodes électrochimiques ont permis d'analyser les propriétés anticorrosion du revêtement et des mesures de l'angle de contact ont été effectuées. Les tests anticorrosion ont été réalisés dans une solution à 3,5% en poids de NaCl.



WCA and SA values of the as-prepared samples

Sample	WCA/°	SA/°
the bare Mg alloy	68.5	/
the bare Mg alloy modified with stearic acid	130	/
the etched Mg alloy	0	/
the etched Mg alloy modified with stearic acid	151	7.6
the nickel-coated etched Mg alloy	0	/
the nickel-coated etched Mg alloy modified with stearic acid	153	7.2

 $E_{\text{corr}}$ ,  $i_{\text{corr}}$  and corrosion rate of the nickel-coated etched Mg alloy modified with stearic acid with different immersion times in 3.5% NaCl solution

Immersion time/h	$E_{\text{corr}}/V$	$i_{\text{corr}}/\mu A$	Corrosion rate/mm/year
0	-0.39377	1.01730	0.045432
12	-0.50784	2.86127	0.12778
24	-0.51288	3.08945	0.13797
48	-0.68903	5.26832	0.23527

**Développements récents dans le domaine de la modification de surface à grande vitesse dans l'industrie de la finition des métaux - Electrodeposition de nickel nanocristallin directement sur l'aluminium sans prétraitement** (Chapter 16 - Recent Developments in High-Speed Surface Modification in Metal Finishing Industry—Electrodepositing Nanocrystalline Nickel Directly on Aluminum Without Any Pre-treatment - A Review)  
 Mohammad S.Hussain - Birmingham City University, UK

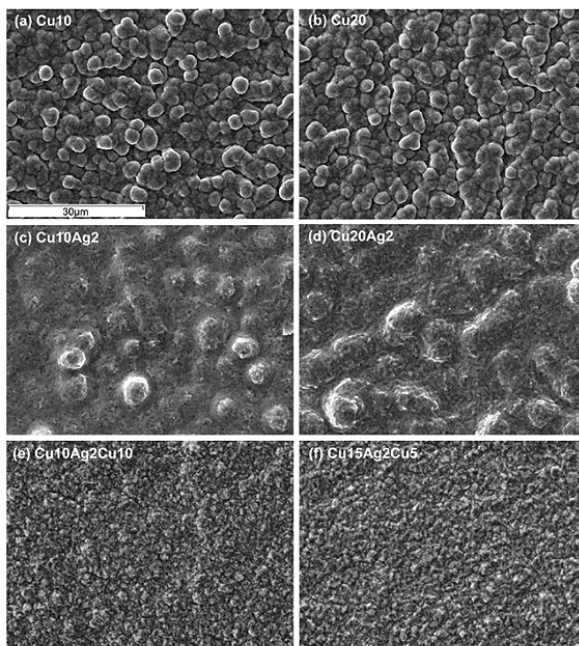
Nanomaterials in Chromatography. Current Trends in Chromatographic Research Technology and Techniques, 2018, Pages 417-434

Dans le chapitre 16 de cet ouvrage, l'auteur s'intéresse à l'électrodeposition de nickel nanocristallin sur aluminium sans prétraitement. Le chapitre commence par passer en revue les procédés mis au point depuis 1927 et confirme que presque toutes les techniques efficaces mises en œuvre incluent une méthode d'élimination de la couche d'oxyde préalable. Il explique ensuite comment un flux turbulent d'électrolyte chaud entre les électrodes augmente la diffusion thermique d' $Al^{3+}$  et  $O^{2-}$  à la surface de l'aluminium, augmentant ainsi le potentiel chimique, la diffusion ionique conduisant alors à une morphologie de surface conductrice irrégulière. L'auteur décrit une méthode en une étape consistant à faire circuler à grande vitesse un électrolyte de nickel chaud sans additifs pour produire du nickel nanostructuré. Les facteurs influençant les développements dans ce domaine émergent sont discutés.

**Protection contre la corrosion l'alliage de magnésium AZ31 par électrodeposition de cuivre avec argent additionnel** (Corrosion protection utilizing Ag layer on Cu coated AZ31 Mg alloy)

Nguyen Van, Phuong (a), Min-Sik Park (b); a) Korea Institute of Materials Science; b) KMW Inc., KR  
 Corrosion Science, Volume 136, 15 May 2018, Pages 201-209

Cette étude concerne la protection contre la corrosion par une couche de cuivre électrolytique sur un alliage magnésium AZ31 avec et sans couche d'argent supplémentaire. La seule couche de cuivre électrodeposée à partir d'un bain de pyrophosphate de cuivre présente une structure nodulaire et des fissures entre les nodules, ce qui entraîne un rapide processus de corrosion par piqûres. L'électrodeposition d'une couche d'argent intermédiaire entre deux couches de cuivre diminue le nombre d'imperfections et modifie la structure du cuivre déposé du type nodulaire au type particules fines, ce qui conduit à une nette amélioration de la tenue à la corrosion. Cette étude a en outre révélé que le revêtement triple couche de Cu/Ag/Cu présentait la protection anticorrosion la plus efficace de l'alliage AZ31.



Corrosion potential ( $E_{\text{corr}}$ ) and corrosion current density ( $i_{\text{corr}}$ ) of bare and coated AZ31 Mg alloy with single Cu layer or multi-layer coatings of Cu/Ag and Cu/Ag/Cu.

Sample	$E_{\text{corr}}$ (V vs. SCE)	$i_{\text{corr}}$ ( $\times 10^{-5} A cm^{-2}$ )
AZ31	$-1.53 \pm 0.04$	$19.6 \pm 1.0$
Cu10	$-1.34 \pm 0.02$	$74.0 \pm 8.0$
Cu20	$-0.24 \pm 0.05$	$4.29 \pm 0.50$
Cu10Ag2	$-0.37 \pm 0.02$	$5.17 \pm 0.26$
Cu10Ag2Cu10	$-0.23 \pm 0.02$	$0.92 \pm 0.05$
Cu20Ag2	$-0.31 \pm 0.01$	$2.86 \pm 0.15$

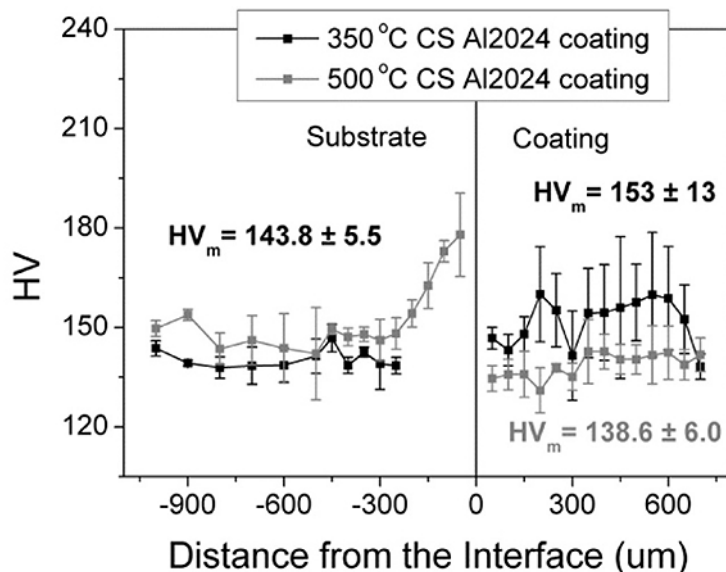
Surface morphologies of (a, b) single-layer of Cu, (c, d) double-layer of Cu/Ag and (e, f) triple-layer of Cu/Ag/Cu electrodeposited on AZ31 for different deposition times.

## Effet d'une élévation de température sur la microstructure et les propriétés mécaniques de revêtements Al 2024 réalisés par Cold Spray (Effect of higher deposition temperatures on the microstructure and mechanical properties of Al 2024 cold sprayed coatings)

Paloma Sirvent (a), Simone Vezzù (b); a) Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, ES; b) Veneto Nanotech scpa, Nanofab Laboratory, IT

Surface and Coatings Technology, Volume 337, 15 March 2018, Pages 461-470

Cette étude concerne l'effet de la température sur la qualité et les propriétés des revêtements en alliage d'aluminium 2024 déposés par Cold Spray sur un substrat de même type (aluminium 2024 T351) pour la réparation de composants aéronautiques. Les revêtements ont été réalisés à une température conventionnelle de 350°C et à une température non conventionnelle de 500°C. Des analyses de la microstructure et de la micro-dureté ont été effectuées. Les deux revêtements présentant une faible porosité et une bonne interface entre le substrat et les particules. L'augmentation de température n'induit pas de modification de phase. Le revêtement traité à 500°C présente des valeurs de dureté inférieures à celles obtenues pour le revêtement traité dans des conditions classiques. Cependant, l'étude indique qu'une projection à 500°C pourrait suffire pour maintenir et réviser les composants en aluminium utilisés dans l'industrie aéronautique.

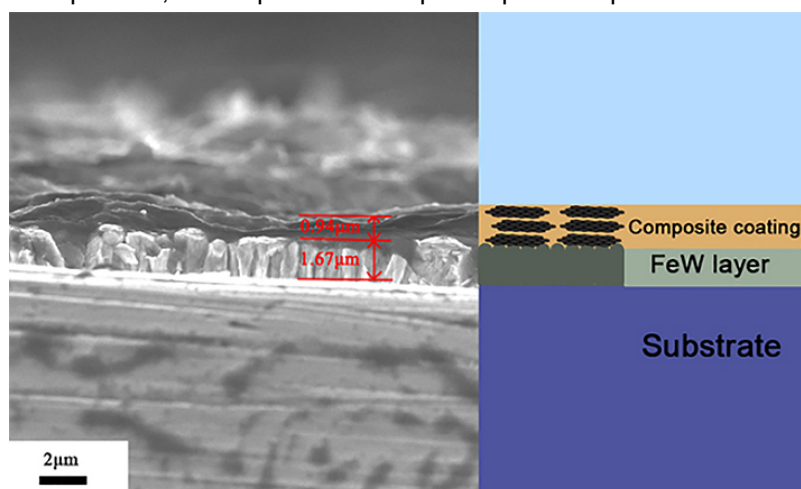


Vickers microhardness (HV) profile measured on the transversal cross-section of the Al 2024 coatings processed at 350 and 500 °C. The average value of HV ( $HV_m$ ) of the substrate and coatings are indicated.

# PEINTURES

**Revêtements organosilanes à structure trilaminaire pour la protection contre la corrosion** (Trilaminar structure hydrophobic graphene oxide decorated organosilane composite coatings for corrosion protection)  
*Jiafeng Liang (a,b), Yunhan Ling (b); a) China University of Geosciences; b) Tsinghua University, Beijing, CN*  
Surface and Coatings Technology, Volume 339, 15 April 2018, Pages 65-77

Des revêtements organosilanes hydrophobes décorés à base d'oxyde de graphène ont été préparés pour empêcher les molécules d'eau et les ions corrosifs d'atteindre le substrat métallique et retarder ainsi les réactions de corrosion. La structure trilaminaire du revêtement est composée d'une couche d'alliage amorphe Fe-W, d'une couche d'oxyde de graphène réticulée au silane et d'une couche d'organosilane hydrophobe formées respectivement par électrodéposition, électrophorèse et dépôt en phase vapeur.



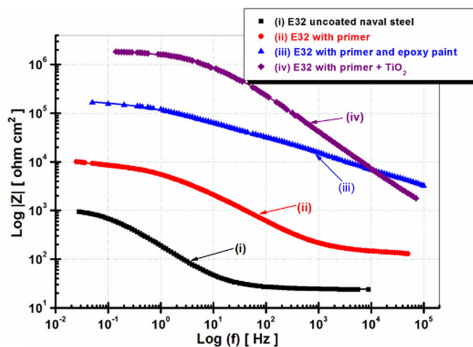
La morphologie du revêtement a été observée par microscopie à balayage électronique, le comportement électrochimique a été analysé par spectroscopie d'impédance électrochimique et des courbes de polarisation potentiodynamique ont été établies dans une solution à 3,5% en poids de NaCl. Les résultats ont montré que les revêtements composites à structure trilaminaire ont été réalisés avec succès et qu'ils présentent une excellente tenue à la corrosion. Les liaisons covalentes Si-O-C observées par analyse par spectromètre photoélectronique à rayons X montrent une force de liaison améliorée entre le silane et les feuilles d'oxyde de graphène. Les revêtements composites présentent de bonnes propriétés hydrophobes, l'angle de contact atteint est de 141,7°.

**Performances anticorrosion de polymères organiques modifiés sur un acier E32 en milieu marin**  
(Anticorrosion performances of modified polymeric coatings on E32 naval steel in sea water)  
*Lidia Benea, Laurentiu Mardare; Dunarea de Jos University of Galati, RO*  
Progress in Organic Coatings, Volume 123, October 2018, Pages 120-127

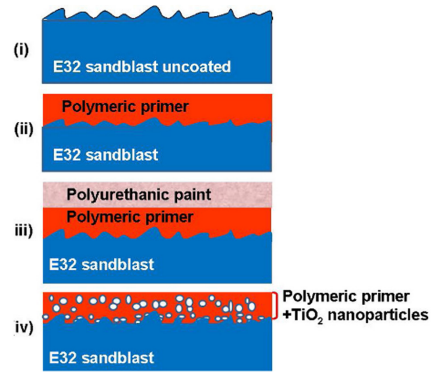
Les revêtements polymères sont utilisés pour protéger les surfaces métalliques contre la corrosion en environnement marin. La nouveauté de cette recherche réside dans l'évaluation comparative de la résistance à la corrosion de quatre types de surfaces : acier faiblement allié E32 sans revêtement protecteur, acier E32 avec primaire polymère, acier E32 avec primaire polymère et couche de peinture époxy et acier E32 avec primaire polymère incluant des nanoparticules de TiO<sub>2</sub> de diamètre moyen de 200 nm. Tous les échantillons ont été soumis à la corrosion dans de l'eau de mer de la mer Noire, au terminal pétrolier de Năvodari. Les propriétés de anticorrosion ont été évaluées par méthodes électrochimiques classiques. Les résultats des tests électrochimiques indiquent que les nanoparticules de TiO<sub>2</sub> mélangées dans un apprêt polymère en tant que revêtement nanocomposite ont considérablement amélioré les performances anticorrosives de l'acier E32.

Types of samples and coatings to evaluate the corrosion resistance in marine environment.

Surface code	Description	Coating thickness
i	Unprotected E32 steel,	-
ii	E32 coated with bi - component polymeric primer,	80 $\mu\text{m}$
iii	E32 coated with bi - component polymeric primer over which epoxy paint was added,	140 $\mu\text{m}$
iv	E32 steel coated with polymeric primer in which $\text{TiO}_2$ nanoparticles were added,	80 $\mu\text{m}$



Electrochemical impedance spectroscopy diagrams in Bode representation as impedance modulus  $Z$  vs. log frequency for: (i) E32 uncoated, (ii) E32 coated with primer, (iii) E32 primer coated and epoxy painted, and (iv) primer mixed with  $\text{TiO}_2$  nanoparticles in sea water. The plain symbols represent the experimental data, while the lines represent the fitting diagrams.



Schematic presentation of the samples and protection layers studied.

**Augmentation du marché des peintures automobiles de 5,7% par an à l'horizon 2022** (Global automotive paint market likely to exhibit a CAGR of 5.7% during 2017-2022)

*Coatings World, Breaking news*

[https://www.coatingsworld.com/issues/2018-03-01/view\\_breaking-news/global-automotive-paint-market-likely-to-exhibit-a-cagr-of-57-during-2017-2022/35544](https://www.coatingsworld.com/issues/2018-03-01/view_breaking-news/global-automotive-paint-market-likely-to-exhibit-a-cagr-of-57-during-2017-2022/35544)

Les ventes mondiales de peinture automobile augmentent en raison de la hausse de la production de véhicules et de la forte croissance du secteur automobile dans des pays comme la Corée du Sud, l'Inde, le Mexique, la Chine et le Brésil. En outre, les tendances à la hausse en matière de rénovation et de restauration de véhicules automobiles devraient refléter les ventes sur le marché des pièces d'automobile. En ce qui concerne l'analyse récente de Persistence Market Research, on s'attend à ce que l'implémentation rapide des technologies de projection thermique et des revêtements poudre, fortement développées, favorisent l'augmentation des ventes du marché mondial des peintures automobiles. On estime que le marché global atteindra environ 11 966,1 millions de dollars d'ici à la fin de 2022 et que le taux de croissance annuel moyen devrait atteindre 5,7% au cours de la période 2017-2022.

**Tannates de zinc et de magnésium utilisés comme pigments anticorrosion dans les peintures époxy** (Zinc tannate and magnesium tannate as anticorrosion pigments in epoxy paint formulations)

*Ariane V. Zmozinski (a), Rafael S. Peres (b); (a) Universidade Federal do Rio Grande do Sul; (b) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS, BR*  
*Progress in Organic Coatings, Volume 121, August 2018, Pages 23-29*

Les tanins végétaux sont des polyphénols naturels, non toxiques et hydrosolubles présents dans les racines, les branches, les feuilles, les fleurs, les fruits et les graines de divers arbres. Les tanins peuvent éliminer la rouille et empêcher la corrosion. La solubilité élevée des tanins dans l'eau pouvant altérer leur utilisation en tant que pigment anticorrosion, une réduction de leur solubilité est nécessaire avant utilisation. Dans ce travail, deux pigments anticorrosifs à base de tanins ont été synthétisés par réaction avec des sels de zinc et de magnésium pour former respectivement du tannate de zinc et du tannate de magnésium. La synthèse des pigments a été contrôlée par analyse thermogravimétrique (TGA) et spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). Des revêtements époxy contenant les deux tannates ont été formulés et leur performance en termes de résistance à la corrosion a été évaluée par Spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) et tests au brouillard salin. Les tests ont montré que le tannate de zinc était un excellent pigment anticorrosion dans les milieux salins neutres, ce qui en fait une option écologique pour les revêtements anticorrosifs.

**Handbook Dégradation des matériaux en service - Revêtements et peintures anticorrosion** (Handbook of Environmental Degradation of Materials - Chapter 21 - Corrosion Resistant Coatings and Paints)

*Rudolph G. Buchheit - The Ohio State University, Columbus, OH, United States*

*Handbook of Environmental Degradation of Materials (Third Edition), 2018, Pages 449-468*

Dans cette troisième édition de son Handbook, R. G. Buchheit a consacré le chapitre 21 aux revêtements et peintures anticorrosion. La technologie a évolué régulièrement, ce qui a permis de créer une vaste gamme de produits pour protéger de nombreux substrats dans de nombreuses conditions différentes. La technologie de revêtement est parvenue à maturité, mais le domaine continue d'évoluer au fur et à mesure que de nouveaux substrats sont développés et mis à la disposition des applications. Le désir de réduire le risque de toxicité et la pollution a fortement influencé la technologie. Cela a entraîné l'apparition de nouveaux systèmes de revêtement et de nouvelles méthodes d'application. Ce chapitre se concentre sur les problèmes liés aux revêtements de protection et aux peintures pour les métaux de structure et les alliages dans les applications à grand volume.

21.1 Scope	450	21.5.5 Corrosion Initiation and Propagation	459
21.2 Corrosion Protection by Coatings and Paints	450	21.6 Factors Affecting Coating Degradation	460
21.2.1 Corrosion Fundamentals	450	21.6.1 Light	460
21.2.2 Barrier Protection	450	21.6.2 Temperature	460
21.2.3 Anodic Protection and Active Corrosion Protection	452	21.6.3 Mechanical Action	460
21.2.4 Cathodic Protection	452	21.6.4 Chemicals	460
21.2.5 Zinc-Rich Paints (ZRPs) (Banov, 1973; Nevison, 1987; Payne, 1961; Schweitzer, 2001)	452	21.6.5 Weathering	460
21.2.6 Role of Adhesion	453	21.7 Corrosion Under Coatings	461
21.3 Engineering Alloys and Their Need for Corrosion Resistant Coatings	454	21.7.1 Blistering	461
21.3.1 Steel	454	21.7.2 Filiform Corrosion	461
21.3.2 Aluminum	454	21.8 Coating Degradation and Evaluation Methods	462
21.3.3 Magnesium	454	21.8.1 Simulated Service Testing	462
21.3.4 Galvanized Steel	455	21.8.2 Accelerated Exposure Testing (Appleman, 1990; Forshee, 1993a; Forshee, 1993b; Johnson and McIntyre, 1996)	463
21.4 Characteristics and Uses of Corrosion Resistant Paint and Coatings (Banov, 1973; O'Reilly and Pringle, 1976; Payne, 1961; Tator, 1987)		21.8.3 Proof Testing	464
21.4.1 Components of Corrosion Resistant Paint	455	21.8.4 Electrochemical	464
21.4.2 Corrosion Inhibiting Pigments	455	21.9 Key Applications	464
21.4.3 Alkyd, Modified Alkyd, and Polyester Resins	455	21.9.1 Paints for Marine Service	464
21.4.4 Epoxy Resins	456	21.9.2 Paints for Automotive Service (Organic coatings and linings; Turner, 1976)	465
21.4.5 Vinyls	457	21.9.3 Paints for Architectural Service (Gay and Whitehouse, 1976; Slater, 1987)	465
21.4.6 Chlorinated Rubbers	457	21.9.4 Paints for Aircraft (Bauccio, 1987; Gay and Whitehouse, 1976)	466
21.4.7 Polyurethanes	457	21.9.5 Coatings for Buried Pipelines (Allen and Lewis, 1976; Siegfried, 1987)	466
21.4.8 Acrylics	458	21.10 Environmental Hazards	467
21.4.9 Phenolic Resins	458	21.10.1 Lead	467
21.5 Application Methods and Surface Preparation	459	21.10.2 Volatile Organic Coating (VOC) Emissions	467
21.5.1 Coating Failure	459	21.10.3 Chromates (Kendig and Buchheit, 2003)	467
21.5.2 Defects	459	References	467
21.5.3 Water Uptake (Bellucci and Nicodemo, 1993; VanWesting et al., 1994a)	459	Further Reading	468
21.5.4 Loss of Adhesion	459		

**Résines époxy graphène/POSS multifonctionnelles adaptée à la protection des avions contre les coups de foudre** (Multifunctional graphene/POSS epoxy resin tailored for aircraft lightning strike protection)  
 Marialuigia Raimondo (a), Leila Bonnaud (b); (a) University of Salerno, IT; (b) Center of Innovation and Research in Materials & Polymers (CIRMAP), Materia Nova Research Center & University of Mons, BE  
 Composites Part B: Engineering, Volume 140, 1 May 2018, Pages 44-56

Cette étude présente une première tentative réussie pour obtenir une cartographie de la conductivité à l'échelle nanométrique d'une nouvelle résine époxy ignifuge graphène/POSS (Silésquioxanes Oligomériques Polyhédriques) multifonctionnelle. Le matériau multifonctionnel, spécialement conçu pour répondre aux exigences aéronautiques, telles que la stabilité thermique, la résistance au feu, les performances mécaniques et la conductivité électrique, s'est avéré un candidat prometteur dans le domaine des composites aéronautiques et aérospatiaux. Les résultats mettent également en évidence la grande potentialité de la technique TUNA (Tunneling Atomic Force Microscope) pour analyser les réseaux conducteurs au niveau des nanodomains. Grâce à l'acquisition simultanée d'images topographiques et de courant, cette technique permet une corrélation directe entre la topographie locale et les propriétés électriques des échantillons.

**Développement d'une peinture anticorrosive utilisant une résine époxy modifiée à terminaison carboxyle et présentant une ténacité améliorée** (Development of anti-corrosive paint with improved toughness using carboxyl terminated modified epoxy resin)  
 Rashmi David (a), S. K. Singh (b); (a) Indian Institute of Technology Bombay; (b) Naval Materials Research Laboratory, IN  
 Progress in Organic Coatings, Volume 120, July 2018, Pages 58-70

Les résines époxy, bien qu'ayant une excellente adhérence sur divers substrats, présentent une bonne résistance à la corrosion et aux produits chimiques, mais sont moins adaptées aux applications à hautes performances, car leur ductilité reste faible. Dans la présente étude, des modificateurs de polyéthylène glycol adipate à terminaison carboxyle (CTPA) et de succinate de polyéthylène glycol à terminaison carboxyle (CTPS) ont été synthétisés puis utilisés pour modifier des résines époxy et augmenter leur ténacité. L'étude a montré que dans les deux cas, une addition de 5% en poids conduisait à augmenter la ténacité et renforçait la protection contre la corrosion (brouillard salin et exposition à l'eau de mer). Cependant, la résine époxy modifiée avec 5% en poids de CTPS a donné de meilleures performances. Elle a ensuite été pigmentée avec un mélange de phosphate de zinc et d'oxyde de fer rouge. L'étude a montré que la résine époxyde modifiée avec 5% en poids de CTPS + 30% en volume de pigments donnait de bons résultats en termes de ténacité, adhérence et résistance à la corrosion lorsqu'elle était appliquée sur des panneaux en acier doux.

### **Influence d'un alliage TP/TP sur la ténacité d'une résine époxy**

*Baghouil, Sarah - Ecole polytechnique de Louvain, Master : ingénieur civil en chimie et science des matériaux*  
Digital Master Thèses, 2017, <https://dial.uclouvain.be/memoire/ucl/en/object/thesis%3A12962>

Les résines époxy sont grandement employées, tant comme matériaux fonctionnels que structuraux. Elles trouvent ainsi application de la peinture à la construction en passant par l'électronique. La polyvalence de ces résines découle de leurs nombreuses propriétés intéressantes telles leurs bonnes résistances chimique et thermique. Néanmoins, leur fragilité constitue leur point faible, ce qui a amené nombre de recherches à étudier ces résines dans le but d'améliorer leur ténacité, autrement dit leur résistance à la propagation de fissures. Dans la même optique, ce travail a pour objectif d'améliorer la ténacité d'une résine époxy.

Pour cela, un alliage de thermoplastiques est ajouté à la résine sous forme de film. La résine époxy en question est la RTM6. Les thermoplastiques utilisés sont un phénoxy : le PKHH, un polyétherimide : le PEI Ultem 1000 et un polyéthersulfone à terminaison hydroxyle : le PESOH. Ces thermoplastiques purs ainsi que des alliages de PEI/PKHH et de PESOH/PKHH sous forme de films sont ajoutés à la résine pour investiguer leur influence sur la ténacité de cette dernière. Dans une étude préliminaire, les mélanges de thermoplastiques sont caractérisés morphologiquement et thermiquement. Ces analyses dévoilent des mélanges biphasiques non homogènes avec un signe de miscibilité partielle.

Dans un deuxième temps, le comportement des thermoplastiques dans la résine est étudié. Des mesures d'interdiffusion de filaments de thermoplastiques chauffés dans une goutte de résine montrent qu'une vitesse de chauffe de 2°C/min est la mieux adaptée. Enfin, des tests de flexion à trois points montrent que l'ensemble des films ajoutés permet une amélioration de la ténacité de la résine, le meilleur résultat étant obtenu pour un alliage de PESOH/PKHH en proportions 50/50. Des analyses SEM montrent pour finir que les films apportent une rugosité qui freine la propagation de la fissure et qui explique l'augmentation de la ténacité mesurée.



# TRAITEMENTS DES EFFLUENTS

**Extraction par solvant des ions nickel des eaux usées de nickelage chimique en utilisant un mélange binaire D2EHPA-octanol** (Solvent extraction of nickel ions from electroless nickel plating wastewater using synergistic green binary mixture of D2EHPA-octanol system)

*Raja Norimie Raja Sulaiman, Norasikin Othmana; Universiti Teknologi Malaysia, MY*

Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 6, Issue 2, April 2018, Pages 1814-1820

Une étude sur l'extraction par solvant « vert » des ions Ni issus des eaux usées de nickelage a été réalisée en utilisant une phase organique contenant un mélange binaire d'acide di-(2-éthylhexyl) phosphorique (D2EHPA) et d'octanol dans de l'huile de palme. Plusieurs paramètres ont été étudiés (effet des diluants, concentrations des agents de décapage...) et des conditions optimales ont été déterminées.

Carrier	Type	Extraction (%)	Stripping agent type	Extraction (%)
D2EHPA	Phosphoric acidic	60	Hydrochloric acid	100
LIX63	Chelating acidic	45	sulfuric acid	99
Cyanex 302	Phosphinic acidic	4	nitric acid	100
TDA	Basic	0		
Octanol	Solvating	0		
TBP	Solvating	0		

Effect of several types of single carrier towards nickel extraction (Experimental conditions):  
[Nickel]: 500 ppm; pH: 4.8; carrier concentration: 1.0M;  
diluent: kerosene; aqueous waste volume: 10 mL;  
organic volume: 10 mL; temperature: 25±1°C;  
duration time: 18 hours; agitation speed: 320 rpm

Effect of several types of stripping agents towards nickel extraction (Experimental conditions):  
[Nickel]: 500 ppm; pH: 4.8; [D2EHPA]: 1M;  
[octanol]: 10% (v/v); aqueous nickel: 10 mL;  
organic volume: 10 mL; temperature: 25±1°C;  
duration time: 18 hours; agitation speed: 320 rpm;  
diluent: kerosene

Effect regeneration of organic phase towards synergistic nickel extraction.

Run/Diluent type	Palm oil	
	Extraction (%)	Stripping (%)
1	69	100
2 (1 <sup>st</sup> recycle)	70	100
3 (2 <sup>nd</sup> recycle)	69	100
4 (3 <sup>rd</sup> recycle)	64	100
5 (4 <sup>th</sup> recycle)	59	100

Selon les auteurs, grâce à cette méthode, l'extraction des ions nickel peut être améliorée jusqu'à 90% dans des conditions optimales de 0,7 M de D2EHPA et 15% (v/v) d'octanol dans l'huile de palme.

**Élimination des composés organiques et du Cu<sup>2+</sup> des eaux usées d'électrodéposition par bioaugmentation** (Enhanced organics and Cu<sup>2+</sup> removal in electroplating wastewater by bioaugmentation)

*Qinxue Wen (a), Xinqi Li (b); a) Harbin Institute of Technology; b) Shandong Locomotive Vehicle Co., Ltd, CN*  
Chemosphere, Volume 212, December 2018, Pages 476-485

Afin d'améliorer l'élimination de matières organiques issues des bains d'électrodéposition, ainsi que les ions Cu<sup>2+</sup> générés par les différentes réactions, un procédé de bioaugmentation a été proposé. Un bioréacteur à membrane hydrolytique/anoxique/oxique est utilisé. Dans les conditions optimales, la capacité d'adsorption de Cu<sup>2+</sup> est de 45,68 mg/g.

**Phytoextraction du chrome issu des effluents d'électrodéposition par *Tagetes erecta* (L.)** (Phytoextraction of chromium from electroplating effluent by *Tagetes erecta* (L.))

*Karuppiah Chitrprabha, SarahSathyavathi - Lady Doak College, Madurai, IN*

Sustainable Environment Research, Volume 28, Issue 3, May 2018, Pages 128-134

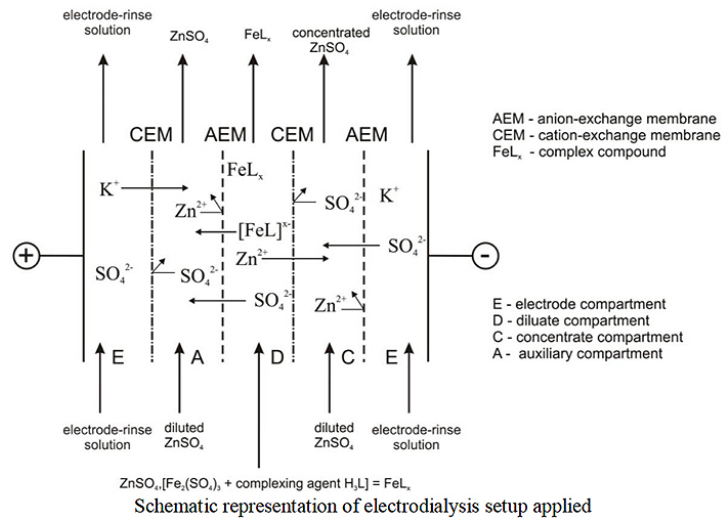
Pour remédier aux problèmes liés aux polluants métalliques issus des industries de traitement de surface, la « phytoremédiation » peut représenter une voie intéressante comme l'a montré une analyse probabilistique. Des changements physiologiques induits par le Cr ont été observés sous la forme d'une diminution significative de la teneur en chlorophylle ( $P \leq 0,004$ ) et d'une augmentation significative de la biomasse ( $P \leq 0,002$ ) du jour 7 au jour 35, les échantillons ayant été exposés à 2, 4 et 6 mg.kg<sup>-1</sup> d'effluents de chrome. Le *Tagetes erecta* (œillet d'Inde) utilisé en association avec des rhizobactéries (*Bacillus cereus*-CK 505 et *Enterobacter cloacae*-CK 555) s'est avéré capable d'accumuler des niveaux élevés de Cr (94%) sur une courte période de 35 jours.

**Récupération sélective de zinc à partir des eaux usées d'électrodéposition par électrodialyse améliorée par la formation de complexes** (Selective zinc recovery from electroplating wastewaters by electrodialysis enhanced with complex formation)

*Dorota Babilas, Piotr Dydo; Silesian University of Technology, PL*

Separation and Purification Technology - Volume 192, 9 February 2018, Pages 419-428

Dans ce travail, l'électrodialyse améliorée par une méthode de formation de complexes a été étudiée pour la récupération sélective du zinc issu des eaux usées de bains d'électrodéposition. Les effets de l'agent chélatant (acide lactique, malique et citrique) et du type membrane échangeuse d'ions utilisée (hétérogène et homogène) sur les flux molaires de zinc et de fer ont été évalués et les coefficients de sélectivité des ions zinc ont été déterminés.



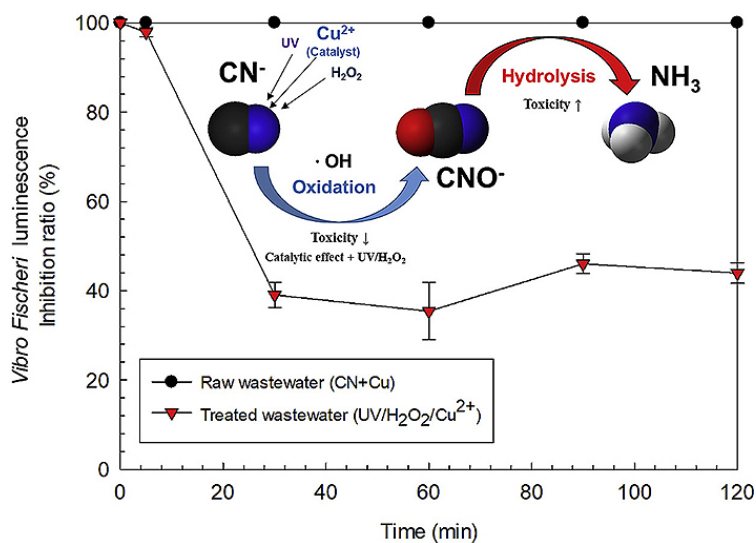
Les conditions optimales ont été identifiées. L'acide citrique s'est révélé être le meilleur agent complexant. De plus, les membranes hétérogènes échangeuses d'ions permettent la récupération la plus sélective du zinc. L'efficacité de la méthode proposée a été validée dans une expérience en laboratoire. L'électrodialyse améliorée a permis une séparation efficace des ions zinc à partir du fer. La méthode, dans la gamme des paramètres étudiés, permet d'atteindre un taux de récupération du zinc de 86,6%.

### Mécanisme de dégradation des cyanures contenus dans l'eau à l'aide d'un système UV-LED/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu<sup>2+</sup>

(Degradation mechanism of cyanide in water using a UV-LED/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu<sup>2+</sup> system)

Tae-Kyoung Kim (a), Areum Jo (b); a) Seoul National University; b) Nat Institute of Environmental Research, KR Chemosphere, Volume 208, October 2018, Pages 441-449

Un système UV-LED/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu<sup>2+</sup> a été utilisé pour éliminer le cyanure généralement contenu dans les eaux usées des systèmes d'électrodéposition. Les résultats ont montré les effets combinés de la photolyse UV-LED, du peroxyde d'hydrogène et des ions Cu<sup>2+</sup> donnait de très bons résultats, le cyanure ayant été totalement éliminé en 30 minutes. Dans la combinaison H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu<sup>2+</sup>, ce sont les ions Cu<sup>2+</sup> qui présentent la plus grande efficacité sur l'élimination du cyanure. La plus forte cinétique d'élimination ( $k = 0,179 \text{ min}^{-1}$ ) a été atteinte à pH 11 et la plus faible à pH 12,5 ( $k = 0,064 \text{ min}^{-1}$ ) en raison de l'hydrolyse du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ( $pK_a(\text{H}_2\text{O}_2) = 11,75$ ). Le taux d'élimination du cyanure a pu être amélioré par l'addition d'ions Zn<sup>2+</sup> (de 0,179 à 0,457  $\text{min}^{-1}$ ), alors que la coexistence d'ions Ni<sup>2+</sup> ou Cr<sup>6+</sup> avec des ions Cu<sup>2+</sup> réduit ce taux. La formation de radicaux OH dans le système UV-LED/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu<sup>2+</sup> a été vérifiée en utilisant une sonde fluorescente aminophénylique (APF). Les ions cyanates et l'ammoniac ont été détectés en tant que sous-produits de la décomposition du cyanure. Enfin, une réduction de la toxicité aiguë de 64,6% a été obtenue dans le système en seulement 1 heure, malgré une concentration initiale élevée de cyanure (100 mg/L). De tels systèmes, économes en énergie, peuvent constituer une méthode alternative à l'élimination du cyanure des eaux usées.



# AGENDA

28 novembre 2018 - ICAM de LILLE – Section France Nord Belgique  
**QUELLES MESURES DE DURETÉ POUR QUELS TRAITEMENTS THERMIQUES ET/OU DE SURFACE ?**

5 et 6 décembre 2018 - PALAIS DES CONGRES BEAUMONT – PAU – Section Sud-Ouest  
**LA PROJECTION THERMIQUE ET AUTRES REVÊTEMENTS PAR VOIE SÈCHE DANS L'INDUSTRIE**

14 mars 2019 – Université Polytechnique des Hauts de France –VALENCIENNES  
**LES BASES DE CHOIX DU TRAITEMENT THERMIQUE, FONDAMENTAUX ET APPLICATIONS.**

20 mars 2019 – CNAM PARIS

**1 JOURNÉE DE CONFERENCES** – L'APPORT DES TRAITEMENTS SUR LE COMPORTEMENT EN FATIGUE ET CORROSION

**1 SOIREE FESTIVE 50<sup>ème</sup> Anniversaire de l'A3TS**

CONFERENCE-DEBAT SUR LES GRANDES EVOLUTIONS DES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENTS THERMIQUES ET DE TRAITEMENTS DE SURFACE, FACTEURS ET CAUSES.

16 et 17 octobre 2019 – CITE DES CONGRES DE NANTES

**3ème EDITION – SOLUTIONS PEINTURE POUR LES FILIÈRES DES TRANSPORTS –**

**Aéronautique, Automobile, Ferroviaire, Navale – DE L'ENERGIE, DE LA DEFENSE, DES BIENS D'EQUIPEMENTS INDUSTRIELS.**

*En savoir plus: [www.a3ts.org](http://www.a3ts.org)*



**Association de Traitement Thermique et de Traitement de Surface**  
71 rue La Fayette 75009 Paris  
Tél. : 01 45 26 22 35 - 01 45 26 22 36 - Fax : 01 45 26 22 61  
[www.a3ts.org](http://www.a3ts.org) - Email : [a3ts@a3ts.org](mailto:a3ts@a3ts.org)