



EDITO

Par Christophe Stocky

Directeur de la recherche d'Acciaierie Bertoli Safau Spa et responsable d'ABS Centre Metallurgique SAS.

2019, une année riche, si non économiquement, au moins scientifiquement.

Alors que l'année 2019 avait été annoncée comme l'année de tous les dangers avec néanmoins des espoirs de continuité de l'année exceptionnelle 2018, le ralentissement de l'économie européenne et française a été plus brutal que prévu en ce début d'année 2019. Un des moteurs de l'économie européenne qu'est l'Allemagne, a connu un calage lié en particulier à l'industrie automobile allemande face aux nouvelles exigences anti-pollution. Le repli économique de certains pays n'est pas sans conséquence sur les économies dont le modèle est fortement lié à l'export.

Gageons que cette nouvelle morosité ne viendra pas ternir les activités scientifiques et technologiques de l'année 2019. À l'image des résumés d'articles du présent A3TS Science et Technique provenant de 23 pays différents et qui continuent à faire avancer notre communauté, nous sommes en mesure de croire que 2019 sera dans la continuité des dernières années en terme de recherche et développement.

Ces efforts seront en 2019 portés par les dispositifs encore en place comme le dispositif Horizon 2020 ou des dispositifs plus locaux à l'échelle de notre pays. Ces dispositifs permettent à nos entreprises et à notre pays de rester parmi les leaders de la recherche et développement avec une part de l'effort de recherche parmi les plus hauts. Et nous pouvons nous en réjouir car la recherche et le développement est un des moyens de répondre aux grands défis sociétaux – comme ceux de l'énergie ou du climat. Et c'est ainsi que les traitements thermiques et les traitements de surface, contribuent comme le montre la synthèse des grandes tendances que vous trouverez dans le présent numéro à réduire l'impact de nos technologies sur les ressources et les rejets.

Pour l'A3TS se sera assurément encore une année riche avec son congrès qui aura lieu du 3 au 4 juillet 2019 et qui aura parmi ses 58 conférences, une représentation de divers pays européens. L'année 2019 sera également importante pour notre association qui fêtera ses 50 ans en mars 2019. Au-delà de ce virage symbolique, ce sera l'occasion de faire la rétrospective des facteurs et causes des grandes évolutions des technologies de traitements thermiques et de traitements de surface des dernières décennies.

En attendant de nous croiser et d'échanger lors de ses incontournables de l'année 2019, je vous souhaite une très bonne lecture.

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

LA VEILLE EN UNE PAGE

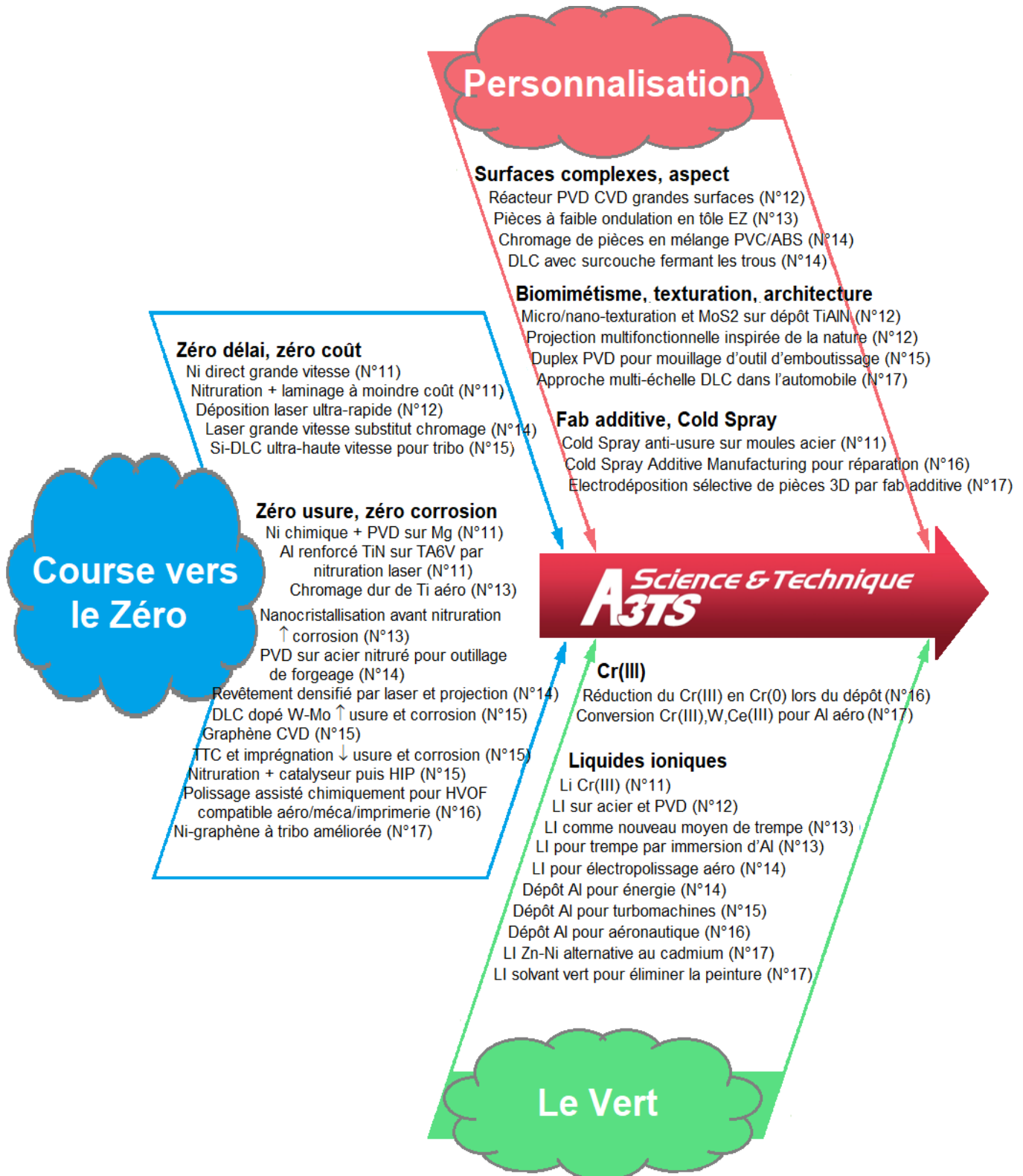
Quoi de neuf dans le dernier semestre: les plus assidus liront les analyses de la cinquantaine de publications. Pour ceux qui voudraient saisir l'essentiel rapidement, voici le plus important en une page, sélectionné par le Cetim:

	Très intéressant	Incontournable	
Procédé	Efficiéce améliorée	Propriétés améliorées	Applications améliorées
Revêtements chimiques	Progrès conversion Zn (transformation, inhibition, environnement)	Microstructure Ni-B pour tribo améliorée	Ag conducteur peu coûteux sur PUR ZnO antimicrobien
Revêtements électrolytiques	Electrodéposition sélective de pièces 3D par fabrication additive Electrodéposition Cu en milieu CO ₂ supercritique	Ni-graphène à tribo améliorée Co-Ni-P en milieu CO ₂ supercritique ↑ usure et corrosion	Meules diamantées par électrodéposition
Liquides ioniques	Zn-oxyde de cérium Al-W	Tenue corrosion à long terme d'Al réalisé par procédé ECX Epoxy-microsphères de silice incorporant un LI lubrifiant	Zn-Ni alternative au cadmium
Traitements thermiques / thermochimiques	Nitruration plasma de surfaces internes Nitruration Pirac peu coûteuse de TA6V	Aciers nitrocarburés et oxydés en glissement non lubrifié	Pompes à pistons: nitruration; DLC + WC Texturation+nitruration 316LM pour articulation de hanche et genou
DLC / dépôts sous vide / Duplex	Effet des contaminants en contact dépôt sec MoS ₂ /Ti	Fretting: DLC faible coefficient de frottement ; CrN faible usure ; Ni conductivité électrique plus stable	Approche multi-échelle de mise en œuvre de DLC dans l'automobile Délaminage induit par l'usure de composants auto revêtus DLC
Projection thermique / laser / Cold Spray	Modifications en proche surface de Cold spray et rechargement laser par usinage et galetage	Texturation laser ↑ tribo de l'inox 904L YSZ/MoS ₂ auto-lubrifiant par projection thermique et réaction hydrothermique	Carbone amorphe et texturation laser sur PEEK médical Texturation laser femto d'alliage Ti médical Laser ns et poudre BN pour 316L pour chimie et alimentaire
Traitements mécaniques	Paramètres clés du grenailage d'aciers doux	Finition cosmétique par modification texturale par nano-peening	
Traitement des alliages légers	Conversion chimique du Ti par phosphate de zinc		Dépôt CaP / implant Mg Conversion à base de Cr (III), tungstate, Ce (III) pour Al aéro
Peintures	SelfPaint: cabine à programmation automatique	Tanins de Zn et de Mg pigments anticorrosion de peintures époxys	Concept Paint Shop 4.0 pour l'automobile
Traitements des effluents	Pigment stable combiné boues rouges (Fe) et de galvanoplastie (Ni, Cr) Liquides ioniques comme solvant vert pour éliminer la peinture	Pigment d'oxyde de titane récupéré de déchets de peinture	Recyclage des résidus de peintures riches en zinc (maritime)

TRENDING THE TRENDS

Les incontournables dans la veille 2015-2019 (N° 11-17)

Ce graphe de synthèse représente les 40 articles incontournables des derniers N° d'A3TS Science & Technique selon les trois méga-tendances, les trois rêves du futur : la Course vers le Zéro, la Personnalisation, le Vert.



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 ».

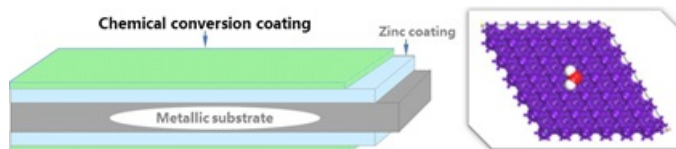
REVÊTEMENTS CHIMIQUES

Situation, opportunités et défis dans le domaine des traitements de conversion du zinc (Current status, opportunities and challenges in chemical conversion coatings for zinc)

Dawei Zhang, Sheming Jiang - University of Science and Technology Beijing; National Engineering Laboratory of Advanced Coating Technology for Metal Materials, Central Iron & Steel Research Institute, Beijing, CN

Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Volume 546, 5 June 2018, Pages 221-236

La sensibilité à la corrosion des matériaux base zinc dans un environnement agressif limite leurs applications. Un traitement de conversion innovant peut être une approche intéressante pour améliorer les performances anticorrosion du zinc. Cet article couvre les recherches récentes qui ont conduit aux progrès de cette technique (application de nouvelles méthodes, protection contre la corrosion, maîtrise et contrôle de la transformation, mécanismes d'inhibition du zinc par les revêtements). En s'appuyant sur de nombreuses sources les auteurs proposent une vision neutre des nouvelles réalisations. Les traitements de conversion acceptables pour l'environnement sont examinés en détail. La rentabilité et la productivité des processus sont également abordés. Enfin, les perspectives futures et les défis actuels sont passés en revue en identifiant les inconvénients de chaque technique tout en essayant d'envisager leurs futurs développements et orientations.



Effet de la microstructure sur la dureté et le frottement à sec de revêtements Ni-B (Effect of microstructure on the hardness and dry sliding behavior of electroless Ni-B coating)

SoupitakPal, Vikram Jayaram - Indian Institute of Science, Bangalore 560012, IN

Materialia, Volume 4, December 2018, Pages 47-64

Des essais de frottement à sec ont été réalisés par test de dureté Brinell (compression d'une bille) sur un acier EN31 pour évaluer quatre revêtements Ni-B traités ou non thermiquement : dépôt amorphe, 385°C/4h (totalement cristallin), 300°C/10h (mélange de Ni₃B amorphe et cristallin) et 300°C/48h (quantité mineure de phase amorphe avec Ni₃B cristallin et Ni métallique). Le comportement tribologique de chaque revêtement en fonction de sa microstructure a été analysé. Le comportement, l'usure et le comportement en frottement des revêtements dépend fortement de la fraction volumique et de l'échelle de longueur des phases de borure produites lors de la cristallisation du revêtement. La formation de précipités de borure nanocristallins est régie par le comportement lors de la transformation de la phase complexe du revêtement amorphe. La modulation de la composition locale dans la structure amorphe, induite par le processus de déposition, influence le développement de la microstructure du revêtement. Deux mécanismes d'usure dominant : oxydatif et adhésif. La transition de l'état d'usure oxydante à adhésive dépend de la microstructure du revêtement et de la pression de contact. Les effets synergiques de la fraction volumique et de la taille des phases de borure cristallin, de Ni métallique et de la phase amorphe restante sur la détermination de la dureté et du mécanisme d'usure ont été expliqués. Un guide basé sur la microstructure pour la conception d'un schéma de traitement thermique optimal a été proposé.

Optimisation de dépôts Ni-B autocatalytique basée sur l'optimisation de la rugosité de surface et du taux de revêtement (Optimization of electroless NiB deposition without stabilizer, based on surface roughness and plating rate)

C.C. Castro, V. Vitry- UMONS, 20 Place du Parc, 7000 Mons, BE

Journal of Alloys and Compounds, Volume 767, 30 October 2018, Pages 276-284

L'étude de la rugosité de surface et de la vitesse de déposition de revêtement NiB réalisés sans produit de stabilisation ainsi que l'optimisation de la composition du bain à l'aide d'un modèle expérimental sont présentées ici. Des expériences ont été effectuées en utilisant différentes combinaisons d'un agent complexant : l'éthylènediamine et d'un régulateur de pH : l'hydroxyde de sodium à différentes concentrations. Les expériences ont montré que l'addition d'hydroxyde de sodium permettait d'améliorer la vitesse de déposition tandis que

l'incorporation d'éthylènediamine affectait la rugosité du film dans les intervalles étudiés. La combinaison optimale de la composition du bain pour une rugosité minimale et une vitesse de dépôt maximale a été formulée. Pour obtenir un film d'épaisseur comprise entre 10,0 et 10,7 μm avec une rugosité (R_a) comprise entre 0,22 et 0,25 μm , les deux réactifs doivent être combinés aux concentrations suivantes : concentration en Ethylènediamine compris entre 120,0 et 128,7 gL^{-1} , concentration en NaOH comprise entre 151,7 et 160,0 gL^{-1} . Les revêtements obtenus ne présentent pas la morphologie typique des NiB (chou-fleur) en raison d'un mode de croissance différencié. La composition fait apparaître une teneur de 8% en poids de NiB. La dureté superficielle relevée est de 719 hv20. Une résistance à la corrosion élevée a été observée après 240h d'essai au brouillard salin. Globalement, il a été constaté qu'un pH élevé réduisait l'épaisseur du revêtement en améliorant le taux de déposition, qu'une concentration inférieure en éthylènediamine réduisait la rugosité du revêtement final, que l'absence d'agent stabilisateur générerait un nouveau mode de croissance et une nouvelle morphologie, que le revêtement sans stabilisant était moins dur et présentait une meilleure tenue à la corrosion.

Revêtements Ag sur polyuréthane présentant de bonnes propriétés mécaniques (Mechanically robust silver coatings prepared by electroless plating on thermoplastic polyurethane)

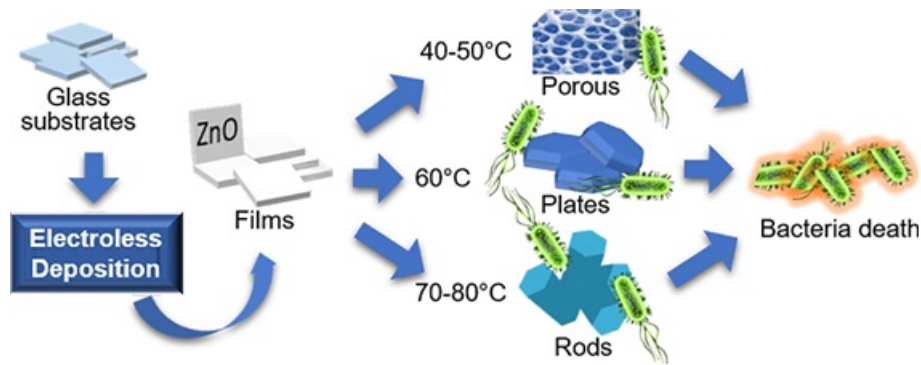
B. Vasconcelos, K. Vediappan - Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia ; CEMMPRE, Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes, University of Coimbra, PT
Applied Surface Science, Volume 443, 15 June 2018, Pages 39-47

Un traitement de surface simple et peu coûteux a été développé pour fonctionnaliser un thermoplastique polyuréthane (TPU) par un revêtement d'argent présentant une excellente adhérence et une faible résistivité. La fonctionnalisation de la surface du TPU a été réalisée en formant un réseau physique interpénétrant impliquant le TPU et de la polyvinylpyrrolidone (PVP), un polymère présentant une forte affinité avec les métaux. La présence de PVP sur la surface du TPU et sa stabilité en solution aqueuse ont été évaluées par réflectance totale atténuée (ATR - Attenuated Total Reflectance) spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et par des mesures d'angle de contact. Une corrélation avec la concentration en PVP et le temps de traitement a été établie. Une solution de Tollens modifiée a été utilisée pour développer un film d'argent sur le substrat TPU, en utilisant le procédé de déposition autocatalytique. Des films d'argent compacts d'une épaisseur moyenne de 12,5 μm et d'une résistivité de 8,57 microhms-centimètres ont été obtenus avec un temps de déposition de 24 heures. La force d'adhésion du film d'argent s'est avérée supérieure à 8,5 N/cm. La résistance à la fatigue des films d'argent a été étudiée en effectuant des séries d'essais de compression / étirement (150 cycles). Il a été conclu que les films conservaient des valeurs de résistance faibles, tout en présentant une sensibilité plus élevée à la compression qu'à l'étirement. De plus, les films conservent une bonne conductivité pour des déformations allant jusqu'à 400%. En raison de la forte affinité de nombreux métaux avec la PVP, cette technique d'activation pourrait être étendue au revêtement d'autres métaux et d'autres polymères, à condition qu'un solvant approprié soit utilisé.

Croissance contrôlable de films ZnO et propriétés antimicrobiennes associées à leur la morphologie (Electroless controllable growth of ZnO films and their morphology-dependent antimicrobial properties)

M. A. Ruíz-Gómez, M. Z. Figueroa-Torres, - CONACYT-CINVESTAV-IPN Unidades Mérida y Saltillo; Universidad Autónoma de Nuevo León; Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Unidad Monterrey, MX
Journal of Hazardous Materials, Volume 347, 5 April 2018, Pages 39-47

Croissance de films de ZnO par simple voie de dépôt à basse température. Un procédé de dépôt chimique a été utilisé pour synthétiser, avec une morphologie contrôlée, du ZnO polycristallin sur des substrats de verre en tant que revêtements antimicrobiens. L'influence de la température de dépôt (T_{dep}) sur les propriétés physicochimiques et antimicrobiennes des films a été analysée. Les résultats montrent qu'un changement de température de dépôt affecte grandement la morphologie et le degré de cristallinité des films. La morphologie de la surface peut-être facilement ajustée en modifiant la température de dépôt. Des images au microscope à balayage électronique montrent que la surface du film est poreuse à une température de déposition allant de 40 et 50°C, alors qu'une morphologie en forme de plaques hexagonales prédomine à 60°C. Entre 70 et 80°C, on retrouve une structure en bâtonnets. Les films présentent une bonne transparence dans la région visible. Tous les films de ZnO montrent une activité antimicrobienne notable (une efficacité antimicrobienne élevée même après 15h de test dans l'obscurité) contre les bactéries de type Escherichia coli (E. coli) et Staphylocoque doré (S. aureus). Il a été constaté que l'efficacité antimicrobienne dépendait fortement de la morphologie et des propriétés structurales des films obtenus. La meilleure activité antimicrobienne a été relevée pour les films constitués d'une morphologie en forme de bâtonnet avec un degré élevé de cristallinité. La procédure utilisée dans cette enquête est fortement recommandée pour le développement de surfaces fonctionnelles.



REVÊTEMENTS ELECTROLYTIQUES

Electrodéposition sélective de pièces 3D réalisées par fabrication additive (Selective electroplating of 3D printed parts)

Kristin Angel, Harvey H. Tsang - ORAU Fellowship Program at Army Research Lab; Rochester Institute of Technology; Army Research Lab, Adelphi, US

Additive Manufacturing, Volume 20, March 2018, Pages 164-172

Les imprimantes 3D FFF (Fused Filament Fabrication) étaient initialement limitées aux thermoplastiques mais avec les nouveaux matériaux composites désormais disponibles sur le marché, il existe de nouvelles possibilités de réalisation de pièces par ces machines. En utilisant un filament composite conducteur, il est possible de fabriquer des composants électroniques, mais en raison des propriétés électriques relativement médiocres du filament, les pièces résultantes sont généralement très résistives. L'électrodéposition sélective sur ces pièces est une technique permettant d'incorporer des matériaux à haute conductivité sur des structures imprimées en 3D. Dans cet article, des filaments non conducteurs et conducteurs imprimés dans la même partie sont utilisés pour permettre une électrodéposition sélective directement sur les régions définies par le filament conducteur afin de créer des pièces métalliques par impression 3D. Cette technique est utilisée pour la création de multiples segments conducteurs distincts pour une même pièce avec plusieurs métaux afin, par exemple, d'incorporer un métal magnétique tel que le nickel et un autre hautement conducteur tel que le cuivre. Après la caractérisation du processus, et la description d'un dispositif électrique imprimé en 3D, un exemple est donné pour la réalisation d'un solénoïde présentant une résistance de 191nH et 18,7mΩ réduisant ainsi d'un ordre de grandeur de cinq la résistance par rapport à la valeur initiale de 3 kΩ.

Electrodéposition et caractérisation de revêtements composites Ni / graphène électrolytiques (Electrodeposition and characterization of electroplated Ni/Graphene composite coatings)

N. Chronopoulou, D. Vozios - National Technical University of Athens, GR

Materials Today : Proceedings, Volume 5, Issue 14, Part 1, 2018, Pages 27653-27661

Des revêtements de nickel pur et de nickel composite ont été produits en utilisant un bain de Watts contenant des plaquettes de graphène à 0,1 g/L (GnPs) en présence ou absence d'un tensioactif : le SDS (laurylsulfate de sodium ou dodécylsulfate de sodium) dans des conditions de courant continu et de courant pulsé. La morphologie de surface, l'orientation cristallographique, la microdureté ainsi que les mécanismes d'usure des revêtements produits dans des conditions de frottement à sec ont été étudiés. Les résultats ont montré que la présence d'additif dans le bain électrolytique conduisait à une distribution plus uniforme des plaquettes de graphène dans la matrice de nickel-métal. La présence d'additif combinée à l'imposition d'une fréquence de courant d'impulsion élevée s'accompagne de la prédominance d'une orientation cristalline mixte de Ni [110 + 111], tandis que pour tous les autres composites, une tendance à l'orientation cristalline suivant l'axe (111) a été révélée. La présence de plaquettes de graphène augmente les valeurs de microdureté des revêtements et améliore la résistance à l'usure par rapport aux revêtements de nickel pur produits dans les mêmes conditions.

Impact de l'agitation supersonique sur l'électrodéposition de cuivre en milieu CO₂ supercritique (The effects of ultrasonic agitation on supercritical CO₂ copper electroplating)

Ho-Chiao Chuang, Hsi-Min Yang - National Taipei University of Technology, TW

Ultrasonics Sonochemistry, Volume 40, Part A, January 2018, Pages 147-156

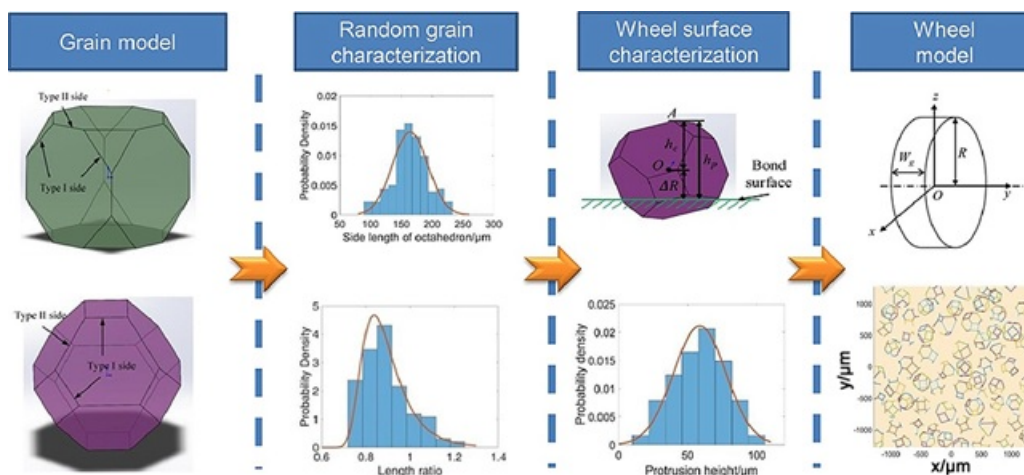
L'application d'ultrasons au procédé d'électrodéposition peut améliorer les propriétés mécaniques et la rugosité du revêtement, en effet, ce procédé permet d'affiner le grain. Cependant, jusqu'à présent, il n'y a pas eu de recherche

combinant les deux procédés conduites afin d'explorer leur effet conjoint sur le revêtement. Cette étude vise à utiliser les ultrasons (42 kHz) dans le procédé d'électrodéposition en milieu fluide supercritique CO₂ (SC-CO₂) pour étudier l'effet des puissances ultrasonores et des pressions supercritiques sur les propriétés des films de cuivre. Les résultats ont clairement montré qu'une irradiation ultrasonore plus élevée se traduisait par un meilleur rendement du procédé, un meilleur affinage du grain, une dureté plus élevée, une meilleure rugosité de surface et des contraintes internes plus élevée. Des analyses SEM ont été conduites afin de corroborer les données mesurées. Les paramètres optimaux ont été définis pour une pression de 2000 psi et une irradiation par ultrasons de 0,157 W/cm³. Par rapport au procédé d'électrodéposition classique, l'efficacité du courant peut être augmentée de 77,57% à 93,4%, la taille de grain diminue de 24,34 nm à 22,45 nm, la dureté augmente de 92,87 Hv à 174,18 Hv et la rugosité de surface diminue de 0,83 µm. à 0,28 µm améliorant ainsi significativement les propriétés mécaniques du revêtement.

Caractérisation et modélisation tridimensionnelles de meules diamantées (Three-dimensional characterization and modeling of diamond electroplated grinding wheels)

Li Changsheng, Sun Lin - Xi'an Jiaotong University, CN; The University of New South Wales, AU
International Journal of Mechanical Sciences, Volume 144, August 2018, Pages 553-563

Cet article présente une étude sur la caractérisation et la modélisation tridimensionnelles de la morphologie des grains abrasifs de diamant obtenus par électrodéposition. Les grains de diamant abrasifs ont été modélisés par un cubo-octaèdre caractérisé par l'intersection d'un octaèdre et d'un cube. Des caractérisations de haute précision de la densité et de la hauteur de grain ont été réalisées par microscopie confocale à balayage laser (MCBL). Compte tenu de la forme, de la taille, de la position et de la hauteur des grains abrasifs, un modèle géométrique a été établi. Les résultats montrent que la morphologie prévue des meules concorde bien avec celle mesurée expérimentalement. Le modèle permet une simulation cinématique précise pour la conception de processus de rectification de précision.



Électrodéposition de revêtements Co-Ni-P en milieu CO₂ supercritique présentant une excellente résistance à l'usure et à la corrosion (Fabrication of Co-Ni-P film with excellent wear and corrosion resistance by electroplating with supercritical CO₂ emulsion)

Can-sen LIU, Feng-hua SU - South China University of Technology; Guangdong University of Technology, CN
Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 28, Issue 12, December 2018, Pages 2489-2498

Pour éviter les mécanismes de fragilisation par l'hydrogène et afin d'améliorer les propriétés de anticorrosion et la résistance à l'usure des revêtements électrolytiques, une émulsion supercritique au dioxyde de carbone (Sc-CO₂) a été proposée pour réaliser des dépôts en alliage ternaire nanocristallin. Les propriétés microstructurales, corrosives et tribologiques de Co-Ni-P ont été étudiées et comparées à celles des revêtements obtenus par électrodéposition conventionnelle. Les résultats montrent que les films Co-Ni-P réalisés avec le procédé Sc-CO₂ présentent une microstructure plus compacte. Le plan d'orientation privilégié dans les procédés conventionnels : hcp (110) est ici modifié : hcp (100). La microdureté, la résistance à la corrosion et les propriétés tribologiques des films de Co-Ni-P sont considérablement améliorés par cette méthode.

LIQUIDES IONIQUES

Dépôts de zinc-cérium sur aciers au carbone à partir de liquides ioniques eutectiques profonds (Deposition of Zinc-Cerium Coatings from Deep Eutectic Ionic Liquids)

Miguel Marín-Sánchez, Elena Gracia-Escosa - CENIM-CSIC, Madrid ; Autonomous University of Madrid, ES Materials (Basel). 2018 Oct; 11(10): 2035

Ce travail concerne l'électrodéposition d'espèces de zinc et de cérium sur des substrats en acier au carbone à partir d'un bain de liquide ionique à base de chlorure de choline afin de développer un revêtement protecteur sacrificiel, autoréparable et présentant de bonnes propriétés anticorrosion. Pour la première fois, il a été démontré qu'il était possible d'électrodéposer des revêtements formés d'un matériau nano-composite (matrice de zinc renforcée d'un oxyde de cérium), à partir d'un simple mélange de liquides ioniques eutectiques profonds par addition de sels de zinc et de cérium. L'influence de la densité de courant sur la composition des revêtements et leur morphologie a été étudiée. La morphologie de surface, la composition chimique et l'état d'oxydation des revêtements obtenus ont été examinés par microscopie à balayage électronique (MEB), spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDX) et spectrométrie photoélectronique X (XPS). Entre 1,13 et 0,75 A/dm², des valeurs maximales de la quantité de cérium de 8,30 ± 1,36 at. %, sous forme d'oxydes 50,6% Ce₂O₃/49,4% CeO₂. En outre, des tests de caractérisation électrochimique et de corrosion ont été réalisés afin d'évaluer les propriétés anticorrosion des revêtements Zn-Ce électrodéposés. Le dépôt cathodique de Zn-Ce a été réalisé pour la première fois en utilisant le solvant eutectique profond (chlorure de choline-urée) comme électrolyte. Le cérium a été incorporé dans le revêtement sous forme d'oxyde ou d'oxyde mixte au sein de la matrice de Zn. La composition et la morphologie de la couche électrodéposée dépend de la densité de courant appliquée. Les tests ont montré des taux de corrosion similaires pour tous les types de revêtements réalisés. Les essais de rayures ont permis de montrer que l'oxyde de cérium migrerait alors vers les zones cathodiques à pH élevé développées à la surface du substrat en acier nu. Des études complémentaires sont encore nécessaires pour améliorer la protection contre la corrosion de ce type de revêtement.

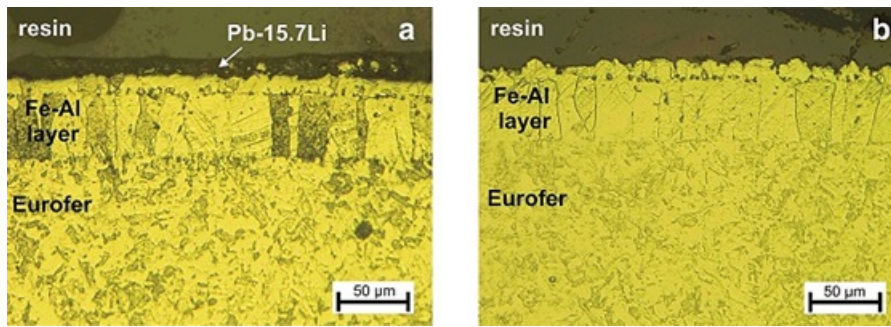
Corrosion rate values (i_{corr}) and corrosion potential values (E_{corr}) obtained from polarisation curves.

Coating	Zone	OCP (V)	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V)
Zn	General	-0.98	2.29×10^{-5}	-0.98
	I-Dark Grey	-0.99	1.67×10^{-5}	-0.99
	II a-Dark Blue	-0.94	1.78×10^{-5}	-0.93
Zn/Ce ₂ O ₃ -CeO ₂	II b-Dark Blue	-0.93	2.50×10^{-5}	-0.93
	III a-Light Grey	-1.02	1.62×10^{-5}	-1.02
	III b-Light Grey	-0.92	1.78×10^{-5}	-0.92

Tenue à la corrosion à long terme de revêtements à base d'Al réalisés par procédé électrochimique ECX et soumis à un écoulement de Pb-15.7Li (Long-term corrosion behavior of Al-based coatings in flowing Pb-15.7Li, produced by electrochemical ECX process)

Sven-Erik Wulf, Wolfgang Krauss - Karlsruhe Institute of Technology (KIT), DE

Les aciers RAFM tels que l'Eurofer sont considérés comme des matériaux entrant dans la structure des enveloppes de régénération des futures centrales électriques à fusion (DEMO). Certaines (par exemple HCLL, WCLL et DCLL) utilisent du Pb-15,7Li fluide comme matériel de régénération liquide. Dans ces concepts, le matériel de régénération sera en contact direct avec le matériau de structure à des températures de fonctionnement pouvant atteindre 550°C. Les aciers RAFM nus souffrent, dans ces conditions, d'une forte attaque par corrosion avec des vitesses de corrosion comprises entre 100 et 400 µm. Pour protéger les aciers RAFM nus, les revêtements à base d'Al sont considérés comme des barrières à la corrosion. Différents procédés de revêtement ont été mis au point par le passé, l'accent étant mis sur les procédés électrochimiques au cours de la dernière décennie. Le processus actuellement le plus prometteur est ce qu'on appelle le processus ECX. Basé sur l'électrodéposition de l'aluminium à partir d'un liquide ionique, il produit des films lisses et uniformes enrichis en Al. Ces revêtements ECX ont déjà montré une bonne résistance à la corrosion à court terme et à long terme (jusqu'à 4000 h) dans du Pb-15,7Li en écoulement. Dans la présente étude, le comportement à la corrosion à long terme des revêtements à base d'aluminium sur Eurofer réalisés par le procédé ECX a été étudié. Des durées d'exposition allant jusqu'à 10 000 heures dans du Pb-15,7Li en écoulement ont été atteintes dans des conditions de fusion appropriées, à savoir 550°C et avec une vitesse d'écoulement de 0,1 m/s. Par rapport à un acier nu, l'attaque par la corrosion est considérablement réduite (d'un facteur 20) et les taux de corrosion sont inférieurs à 20 µm/a. En outre, il a été constaté que le comportement à la corrosion est également supérieur au comportement à la corrosion des barrières à base d'Al produites par le procédé ECA (électrodéposition d'aluminium à partir de solvants organiques volatiles et inflammables) après une exposition à long terme.



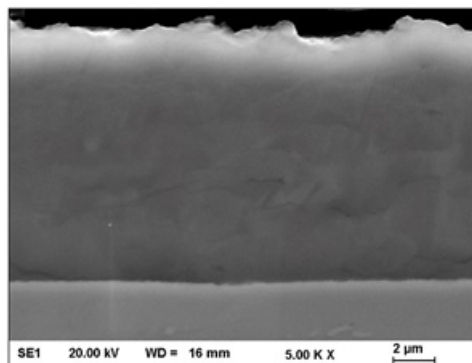
Etched cross sections of ECX coated Eurofer samples after 2224h (a) and 4026h (b) of exposure to flowing Pb-15.7Li.

Électrodéposition et caractérisation de dépôts Al-W réalisés à partir de liquides ioniques (Electrodeposition and characterisation of Al-W alloy films from ionic liquid)

D Höhlich, D Wachner - Chemnitz University of Technology, DE

IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 373, (2018) 012007

Des dépôts d'alliage Al-W ont été préparés par électrodéposition en utilisant une solution de liquide ionique EMIMCl-AlCl₃ (chlorure de 1-éthyl-3-méthylimidazolium anhydre avec du chlorure d'aluminium) dans un rapport de 1:1,5. L'hexachlorure de tungstène disponible dans le commerce a été utilisé en tant que précurseur du tungstène. Le métal est dissout dans le liquide ionique à des concentrations allant jusqu'à 0,06 mol/L de WCl₆. Le dépôt a été effectué dans un courant d'argon continu sur l'électrolyte à une température de 60°C avec une densité de courant de 1 A/m². Les alliages résultants présentent une teneur en tungstène supérieure à 20% en poids (3,5% en atome). La composition de phase des alliages Al-W a été observée par diffraction aux rayons X (XRD) et la composition chimique a été caractérisée par microscopie à balayage électronique (MEB) et spectrométrie à plasma à couplage inductif.



SEM image of the Al-W layer (1 A/dm², 60 °C, 100 rpm, 3600 s) with 20 wt% (3.5 at%) tungsten

Remplacement du cadmium par des procédés d'électrolyse en courant pulsé et liquides ioniques (Cadmium Replacement Using Pulse Plating and Ionic Liquids)

Projet Cruppail (No. 103530) co-fondé par Innovate UK <http://www.nocadmium.co.uk/>

Projet concernant la fabrication de pièces composants à haute valeur de composants pour les industries de l'aérospatiale, de la défense, de la construction, de l'énergie et de l'automobile. Ce projet vise le développement d'un revêtement Zn-Ni se présentant comme une alternative au cadmium. Basé sur l'utilisation des liquides ioniques couplée à l'électrolyse en courant pulsés, il intègre un système de contrôle dynamique de la réaction électrochimique, permettant une meilleure gestion du dépôt de métal et une performance de processus améliorée (efficacité énergétique et matérielle). Le projet répond aux défis techniques de l'industrie en liaison avec les directives Cd, REACH et RoHS. Le défi technique a été de produire un revêtement offrant la même finition de haute qualité que les revêtements Cd. De nombreuses technologies alternatives ne fonctionnent pas aussi bien que le Cd ou sont chères. Un procédé non aqueux peut être utilisé pour obtenir des revêtements de qualité supérieure grâce à l'utilisation de nouveaux liquides ioniques et de solvants eutectiques profonds produits par le groupe du professeur Karl Ryder à l'Université de Leicester. Le nouveau procédé sera mis à l'essai chez E.C. William's, une entreprise de métallisation basée à Birmingham, et sera soutenue par AGAS Electronic Materials, Env-Aqua Solutions et la Surface Engineering Association. Les revêtements produits dans le cadre de ce projet fourniront des joints de grain plus petits et un pouvoir lubrifiant supérieur, augmentant la longévité des revêtements.

Nouveau revêtement composite époxy lubrifiant à base de microsphères de silice creuses incorporant un liquide ionique (A Novel Sweating-Lubricating Epoxy Composite Coating Filled with Ionic-Liquid-Incorporated Hollow Silica Microspheres)

Yanji Zhu, Liyuan Sun - Northeast Petroleum University, Daqing; Tianjin University; Nanjing Tech University, CN
Tribology Transactions, March 2018

Les liquides ioniques (IL) sont des lubrifiants à hautes performances très prometteurs de par leurs capacités de lubrification et de résistance à l'usure remarquables en tribologie. Les auteurs ont synthétisé à haute température des microsphères creuses à base de SiO_2 (IL- SiO_2) à l'état solide (à la température ambiante), puis développé un nouveau revêtement composite époxy (EP) chargé de ces microsphères (IL- SiO_2 /EP). Les effets de l'IL- SiO_2 sur les propriétés mécaniques et tribologiques du revêtement IL- SiO_2 /EP ont été étudiés. Il a été constaté que le revêtement IL- SiO_2 /EP présentait un faible coefficient de frottement et une résistance à l'usure élevée. Lorsque le rapport IL dans les microsphères creuses en silice est de 58%, la résistance à la flexion et la dureté du revêtement IL- SiO_2 /EP dépassent celles du revêtement SiO_2 /EP et du revêtement EP pur. Lorsque la teneur en IL- SiO_2 est de 15% en poids dans le composite, le coefficient de frottement et le taux d'usure du revêtement IL- SiO_2 /EP sont tous deux minimisés et sont respectivement inférieurs de 46,2% et 81,6% à ceux du revêtement SiO_2 /EP. L'ajout d'IL a permis de faire face à l'augmentation de température dans le processus de friction. Les IL à l'état solide sont fondus par chaleur de frottement et chargés dans un liquide lubrifiant, puis libérés des microsphères creuses de silice sur les surfaces usées (rendant le processus comparable à la transpiration du corps humain). De plus, les IL à l'état liquide, associés aux débris de EP par liaison chimique, forment un film protecteur interne lubrifiant, continu et stable, pouvant directement protéger les surfaces usées de l'abrasion. Ce revêtement composite IL- SiO_2 /EP peut être utilisé pour concevoir de nouveaux revêtements fonctionnels lubrifiants.

TRAITEMENTS THERMIQUES / THERMOCHIMIQUES

Efficacité des revêtements et des traitements thermochimiques pour améliorer la résistance à l'usure des pompes à pistons axiaux (Efficacy of coatings and thermochemical treatments to improve wear resistance of axial piston pumps)

G. Schuhler, A. Jourani - Sorbonne Université, Université de technologie de Compiègne; UTC AEROSPACE SYSTEMS, Saint-Marcel, FR

Tribology International, Volume 126, October 2018, Pages 376-385

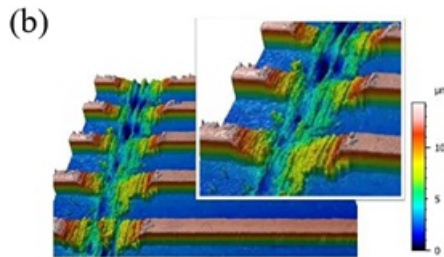
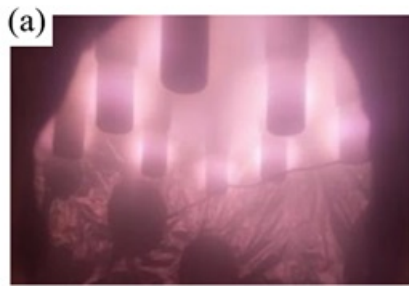
Une étude antérieure sur l'usure des pompes à pistons axiaux d'hélicoptère montrait que le principal mécanisme d'usure dans les contacts avec les plateaux oscillants était l'abrasion due à la disparition des carbures. Dans ce nouveau travail, les auteurs ont mené une étude comparative multitechnique de solutions visant à améliorer la résistance à l'usure de ces pièces. Les débris et les particules qui résultent des frottements polluent le fluide lubrifiant, ce qui entraîne une usure par abrasion dans la plupart des contacts. En conséquence, des traitements de surface sur l'acier du plateau oscillant sont proposés pour réduire l'usure. Une analyse expérimentale multitechnique des solutions en conditions sèches et lubrifiées a donc été conduite. Avec le lubrifiant, l'acier sans traitement souffre de l'élimination du carbure. Un revêtement PTFE permet de diminuer le coefficient de frottement mais se montre moins résistant lors des sollicitations en fortement. La nitruration augmente la résistance à l'usure, en particulier dans des conditions de lubrification correctes. Le revêtement (DLC + WC) est la solution la plus efficace en condition sèche. Il minimise le coefficient de frottement et le taux d'usure.

Etude de l'influence d'un traitement duplex sur les propriétés tribologiques d'un acier AISI 316 LM

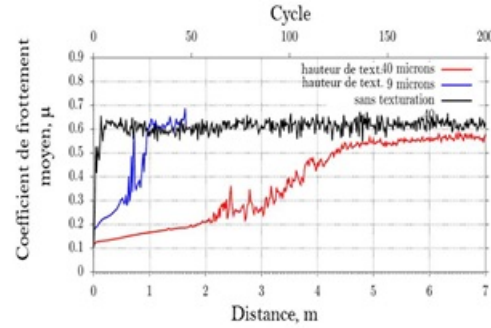
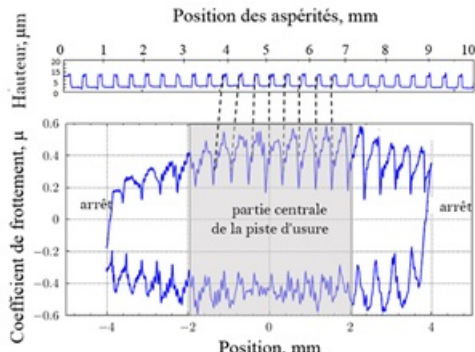
Anastasiia Pavlik, Andrea Cappella - Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3, Metz; Institut Jean Lamour (IJL), Université de Lorraine, Nancy, FR

JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Les aciers inoxydables possèdent une résistance mécanique importante, une conductivité thermique faible, une bonne résistance à la corrosion à froid en milieu humide ainsi qu'une bonne recyclabilité. L'acier inoxydable AISI 316 LM est particulièrement recherché dans la pratique chirurgicale pour sa résistance très élevée à la corrosion en milieu biologique. Toutefois, dans les conditions de ces applications, il peut être sujet à des contraintes tribologiques sévères pouvant conduire à de l'endommagement et de l'usure. Dans cette étude, nous proposons de combiner deux traitements de surface dans le but d'améliorer les propriétés tribologiques de résistance à l'usure de l'acier austénitique AISI 316 LM causée par le frottement à sec. Pour fonctionnaliser la surface d'un acier, il est possible de la structurer avec des aspérités à géométrie contrôlée ou de réaliser un traitement thermochimique par plasma de nitruration à basse température. Le procédé de texturation permet d'abaisser le coefficient de frottement dynamique, tandis que la nitruration améliore la dureté superficielle tout en conservant les propriétés de résistance à la corrosion. Ce traitement induit la formation d'une couche de diffusion nommée austénite expansée qui est le siège de fortes contraintes de compression donnant au matériau des propriétés tribologiques optimisées. Un tribomètre en configuration « bille sur plan » (ball-on-plate) a été utilisé pour les études de frottement à sec et à basse vitesse afin de caractériser l'influence des traitements duplex sur la durée de vie des aspérités, le coefficient de frottement et les mécanismes d'usure. Les essais tribologiques ont été effectués par mouvements rectilignes alternatifs afin d'imposer une unique direction cinématique de la bille par rapport à la géométrie des aspérités de surface. De plus, cette configuration est particulièrement adaptée aux mécanismes alternatifs des articulations, comme celles de la hanche et des genoux. Des gravures ioniques de l'acier AISI 316 LM sous mélange plasma Ar/H₂ (95/5 %) ont été effectuées grâce à un réacteur de type ECR. Différentes géométries de texture ont été réalisées en utilisant divers masques en acier percés par faisceau laser. La surface structurée se présente sous la forme d'une distribution régulière et unidirectionnelle de bandes (aspérités linéaires), dont la hauteur moyenne est de 15 ou 50 µm. Deux largeurs d'aspérités (100 et 250 µm) et trois distances entre aspérités consécutives (100, 200 et 300 µm) ont été étudiées. Ces paramètres géométriques caractérisent des densités de structuration différentes et, par conséquent, différentes longueurs réelles de piste d'usure. Les essais tribologiques ont été mis en œuvre à température ambiante sur des échantillons vierges et traités, contre une bille d'alumine sans lubrifiant. Les conditions expérimentales ont été paramétrées avec deux charges normales, de 5 et 10 N, pour différentes distances de glissement. Les mesures ont été effectuées pour la direction de glissement transversale à celle des aspérités. L'étude paramétrique de ce traitement duplex a permis de caractériser le rôle de la géométrie des motifs de texture superficielle obtenus (rapport d'aspect, taux de couverture) sur les propriétés de la couche nitrurée (épaisseur, rugosité de surface, taille des grains). Avec une charge de 10 N et sans nitruration, la présence de sillons a une forte incidence sur le coefficient de frottement : chute dont l'évolution est plus lente en présence d'aspérités de 40 µm de hauteur par rapport à celles de 10 µm de hauteur. Après un traitement duplex (texturation puis nitruration), le coefficient de frottement est réduit et le volume d'usure semble plus faible.



Plasma créé autour des antennes microondes dans le réacteur DECR (a);
Image de la surface texturée obtenue par interférométrie optique (b)



a) Evolution du coefficient de frottement lors d'un cycle

b) évolution du coefficient de frottement moyen due au frottement alternatif pour différents traitements.

Nitruration plasma de la surface interne de tubes inox (Plasma nitriding of the inner surface of stainless steel tubes)

Iñigo Braceras, Santiago Dominguez-Meister - ^a Tecnalia, San Sebastián; Tratamientos Térmicos TTT, S.A., Bergara; University of the Basque Country, Donostia - San Sebastián, ES
Surface and Coatings Technology, Volume 355, 15 December 2018, Pages 116-122

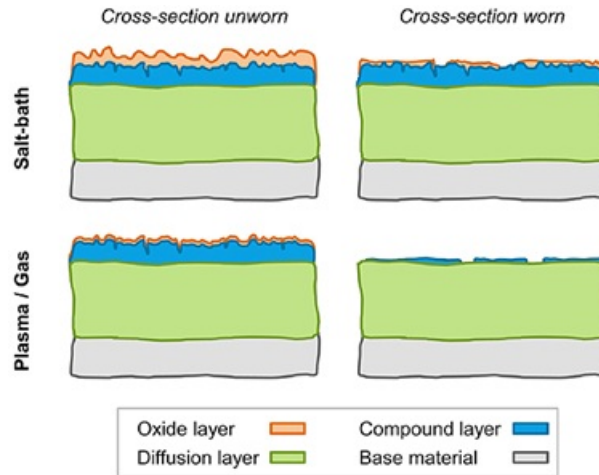
Les aciers inoxydables, en particulier les nuances austénitiques, présentent une bonne résistance à la corrosion mais des propriétés mécaniques médiocres. La nitruration peut augmenter la dureté de la surface mais généralement au détriment de la résistance à la corrosion. En outre, la nitruration des surfaces internes n'est pas simple, car le contrôle du plasma y est difficile. Ces travaux ont porté sur le développement d'un procédé de nitruration par plasma à haute densité à écran actif pour le traitement de la géométrie interne de tubes en acier inoxydable AISI 316L, tout en préservant la résistance à la corrosion. Les temps de traitement du procédé mis en œuvre sont courts. La structure et la composition des surfaces nitrurées ont été étudiées et la résistance à la corrosion des surfaces internes a été évaluée. À la suite de cette étude, une relation a été établie entre les paramètres de traitement au plasma, les caractéristiques géométriques et la résistance à la corrosion. De plus, des études électro-tribologiques ont été réalisées. Il a été observé que la résistance à l'usure s'est améliorée et que la RCE (résistance au contact électrique) est un bon indicateur des phénomènes d'usure se produisant tout au long du test et pourrait potentiellement constituer un outil de surveillance utile et simple de l'état de la surface et contribuer à la définition d'une durée de vie opérationnelle fiable. Dans le cadre de l'étude, un circuit électrique équivalent est proposé.

Propriétés de surfaces d'aciers nitrocarburés et oxydés et corrélation avec le comportement tribologique sous conditions de glissement non lubrifié (Properties of nitrocarburised and oxidised steel surfaces and the correlation with their tribological behaviour under unlubricated sliding conditions)

I. Velkavrh, F. Ausserer - V-Research GmbH; Lingenhölle Technologie GmbH, AT; Institute of Metals and Technology, Ljubljana, SI
Wear, Volumes 410–411, 15 September 2018, Pages 127-141

Sur les échantillons nitrocarburés au bain de sel (SNC), la couche d'oxyde la plus épaisse s'est formée. Dans la présente étude, des échantillons d'acier (DIN 31CrMoV9 1.8519) ont été traités initialement par nitrocarburation en bain de sel (SNC), gaz (GNC) et plasma (PNC), puis oxydés en vue d'une protection accrue contre la corrosion. L'épaisseur et la dureté de la couche d'oxyde, sa composition ainsi que la zone de diffusion ont été mesurées. Les topographies de surface et les microstructures ont été analysées par microscopie optique, microscopie à balayage laser et microscopie à balayage électronique (MEB). Les compositions chimiques détaillées des surfaces des échantillons ont été déterminées par spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDX), spectroscopie des électrons d'Auger (AES) et spectroscopie photoélectronique par rayons X (XPS). Des tests tribologiques permettant de caractériser le comportement à l'usure et à la friction des échantillons traités ont été réalisés dans des conditions de glissement non lubrifiées. Les résultats montrent que, bien que différents processus de nitrocarburation donnent des profils de dureté et d'épaisseurs de couche très similaires, leur

morphologie de surface et les propriétés de couches d'oxydes peuvent être très différentes. Sur les échantillons SNC, les couches d'oxyde les plus épaisses ont été formées. Leur composition chimique est différente de celles formées sur les échantillons GNC et PNC : Fe_3O_4 , FeO et Fe_2O_3 pour les échantillons SNC, Fe_2O_3 essentiellement pour les échantillons GNC et PNC. De plus, les échantillons traités SNC présentent la résistance à l'usure la plus élevée. De plus, c'est seulement sur ces échantillons que les couches d'oxyde n'ont pas été enlevées lors des tests tribologiques. Il est donc possible qu'il existe une corrélation entre les propriétés des oxydes et le comportement tribologique favorable des échantillons traités en bain de sel.



Amélioration des caractéristiques de surface du Ti-6Al-4V et du Timetal 834 par traitements de nitruration PIRAC (Improving the surface characteristics of Ti-6Al-4V and Timetal 834 using PIRAC nitriding treatments)

B. Attard, A. Leyland - University of Malta, MT; University of Sheffield; University of Manchester, UK; Israel Institute of Technology, IL

Surface and Coatings Technology, Volume 339, 15 April 2018, Pages 208-223

Malgré la popularité d'un certain nombre de techniques de diffusion thermochimique pour le titane, dans de nombreux cas, les procédés d'ingénierie de surface utilisés se présentent comme des options économiquement non viables pour l'industrie. Ce travail est centré sur l'application du revêtement PIRAC (Powder Immersion Reaction Assisted Coating), un procédé de nitruration relativement peu coûteux pouvant apporter une amélioration remarquable des caractéristiques de surface des alliages de titane. L'objectif de ce travail était de déterminer si le PIRAC pouvait être appliqué avec succès au Ti-6Al-4V et à l'alliage de titane haute performance Timetal 834. Pour étudier la réponse de ces matériaux à la nitruration PIRAC, des techniques telles que la diffraction aux rayons X, la mesure de dureté par micro-indentation, la profilométrie de surface, la microscopie optique et électronique, les tests d'adhérence par nano-rayures et les test d'usure par glissement-roulement sur plaque ont été mises en œuvre. Ces techniques ont mis en évidence une réponse nettement différente entre les deux alliages au traitement PIRAC. Dans le cas du Ti-6Al-4V on relève la formation d'une couche épaisse composée de Ti_2N et de TiN , alors qu'à la même température et pour la même durée de traitement, le Timetal 834 ne forme pas de phase Ti_2N notable, mais une couche mince de TiN avec une zone enrichie en azote sous-jacente. Cette différence inhérente à la capacité de nitruration influe sur la réponse métallurgique de chaque alliage. Malgré cela, les deux types de couches adhèrent bien aux substrats et les deux alliages présentent une dureté de surface et un comportement tribologique améliorés par rapport aux alliages non traités.

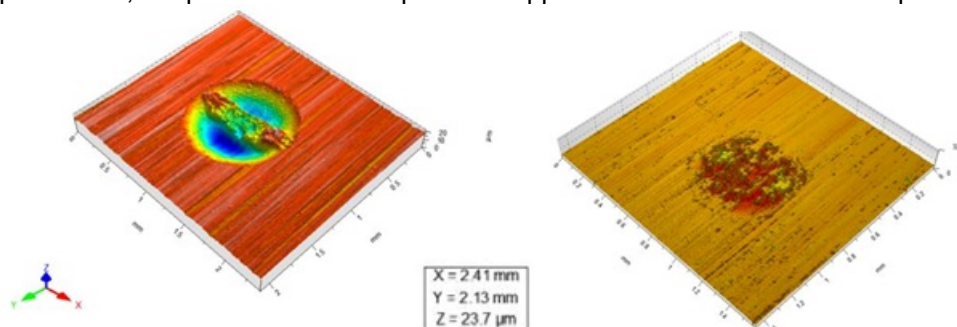
DLC / DEPOTS SOUS VIDE / DUPLEX

Comportement au fretting des dépôts DLC, CrN, alliage nickel et vernis de glissement selon ASTM G204

YM Chen, K. Leclerc - Cetim, Laboratoire Tribologie, Pôle Matériaux Métalliques et Surface, FR

JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Le fretting est un mode d'usure fréquent dans des composants mécaniques en déplacement à faible amplitude. Il peut entraîner des ruptures de câbles, des blocages d'actionneur, des destructions de roulement (effet faux Brinelling) et des déchaussements d'arbres cannelés et des défauts de contact électrique... Pour les pièces soumises à des contraintes cycliques, le fretting favorise l'initiation de fissure par fatigue (fretting fatigue). On observe la génération des particules fines souvent oxydées (fretting corrosion) autour de la zone de contact. Afin de trouver des solutions pour réduire l'usure par fretting, de nombreuses études ont été réalisées notamment avec des technologies de lubrification de traitements de surface selon le cas d'application concerné. Comme l'usure par fretting est fortement influencée non seulement par l'amplitude, la fréquence et la trajectoire du mouvement, la pression et la géométrie de contact, mais également par le matériau, la rugosité des pièces en contact et l'environnement autour (graisse, humidité)... il est donc difficile d'évaluer l'efficacité de chaque solution dans toutes les conditions susceptibles à avoir un risque de fretting. L'essai selon la norme ASTM G204 a choisi un mode de contact simple (bille/plan) et des domaines de fréquence et d'amplitude représentatives des zones critiques des applications mécaniques. Les derniers résultats montrent que l'effet significatif d'une variation de 10% de dureté de l'acier sur les résultats des essais, ce qui démontre une très bonne sensibilité de cet essai. Afin de proposer un moyen représentatif des applications mécaniques pour les fournisseurs de matériaux et de traitements de surface, le Cetim a mené une étude exploratoire. L'objectif de cette étude est de réaliser des essais selon la norme ASTM G-204 avec une référence type 100Cr6/100Cr6 et des solutions courantes comme les dépôts DLC, CrN, un superalliage à base nickel et un vernis de glissement. Les essais ont été réalisés sur le tribomètre Plint TE-77pion/plan en mouvement alternatif. Le mouvement est généré par un système à came pour garantir la constance de l'amplitude en fonction du frottement (par rapport au système électromagnétique). La charge est appliquée par un système mécanique ressort et bras-levier, ce qui évite également des variations à cause des perturbations électromagnétiques. La force de frottement est mesurée par un capteur piézo-électrique et l'usure par un capteur à laser. Les essais ont été faits en mode de contact bille/plan avec une charge de 25N, une amplitude de 50 μm et une fréquence de 13 Hz, et une durée de 21h20 (106 cycles) conformément à la norme ASTM JIFT 201816-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France G204-10. L'évolution du coefficient de frottement, l'usure linéaire et la résistance électrique du contact sont enregistrés au cours de l'essai. Deux essais ont été faits dans les mêmes conditions pour vérifier la répétabilité. Cinq couples de matériaux ont été testés dans cette étude avec la bille toujours en 100Cr6 et la plaque en 100Cr6, 100Cr6 + CrN, 100Cr6 + DLC, 100Cr6 + vernis de glissement, et en alliage à base nickel. On note que le niveau de coefficient de frottement avec le dépôt DLC (0.15) est bien inférieur à celui des autres couples (ordre de 0.5 à 0.6). Mais le volume usé de la plaque revêtue de CrN est nettement plus faible (10 fois moins que celle des plaques non revêtues) que celui des autres matériaux testés. Afin de suivre la vie du troisième corps à l'interface, la conductivité électrique du contact a été mesurée à l'aide d'un système qui applique une tension constante de 50 mV entre le pion et la plaque. On note des variations importantes de cette tension pour certain couple au cours de l'essai, qui pourrait correspondre à la quantité et à la nature de débris générés à l'interface. On note que la conductivité du contact est nettement moins perturbée avec plaque en alliage à base de nickel au cours de l'essai, alors que celle avec la plaque en 100Cr6 sans dépôt est variable avec une grande amplitude. Les résultats des essais montrent que les couples de matériaux testés dans ces conditions ont une bonne répétabilité. On note un très faible coefficient de frottement avec le dépôt DLC et une très faible usure avec le dépôt CrN. La conductivité électrique avec la plaque en alliage à base nickel est plus stable, ce qui est intéressant pour des applications aux contacts électriques.



Plaque 100Cr6

Plaque 100Cr6 + CrN

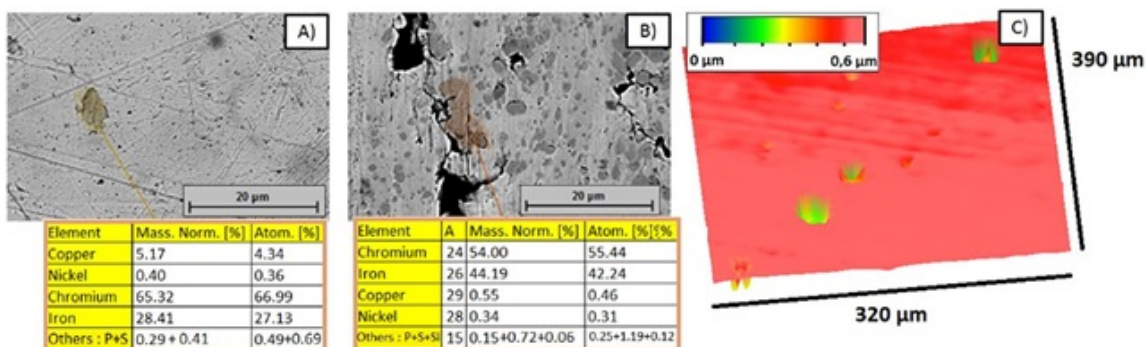
Comparaison de la trace d'usure de la plaque 100Cr6 sans et avec dépôt CrN

Une démarche expérimentale et numérique pour caractériser et augmenter la résistance à l'usure de pompes à pistons axiaux

G. Schuhler, A. Jourani - Sorbonne Université, Université de technologie de Compiègne; UTC AEROSPACE SYSTEMS, Saint-Marcel; CEREMA/DTecEMF, Margny-lès-Compiègne, FR

JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Les pompes à pistons axiaux permettent de convertir une puissance mécanique en une puissance hydraulique. Leur compacité et leur rendement d'environ 0,9 les rendent adaptées pour des applications d'actionnement, notamment en aéronautique. Cependant, l'usure de leurs composantes est responsable d'une baisse de performance et de durée de vie qui induit des activités de maintenance. Cette étude a pour but de caractériser les mécanismes d'usures dans des pompes issues d'hélicoptères et de proposer des solutions d'amélioration de leur résistance à l'usure en conséquence. Ce travail est centré sur les contacts entre patins et piste, pistons ou cage à rotule. Une analyse multi-technique combinant des observations MEB, analyses chimiques par EDX, et caractérisation de surface par profilomètre 3D est menée afin de mettre en évidence les mécanismes d'usures au sein des trois contacts. L'analyse au niveau du contact entre les patins et la piste révèle un régime de lubrification limite. Celui-ci est à l'origine d'une usure adhésive et de l'arrachement de carbures de la surface de la piste. Ces carbures génèrent de l'usure dans ce contact et sont transportés par le fluide jusqu'aux contacts patin/piston et patins/cage où ils participeront à une usure abrasive à trois corps.



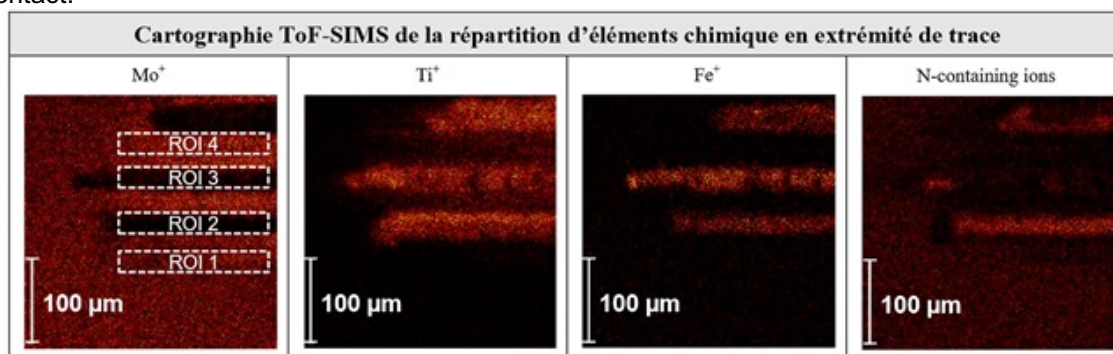
Clichés MEB, analyses EDX, profilométrie 3D : A) carbure de chrome incrusté dans un patin en alliage de cuivre, B) carbures de chrome arrachés d'une piste en acier inoxydable, C) Surface d'une piste et trous au niveau des carbures arrachés

Tribochimie dans un contact lubrifié par dépôt sec MoS₂/Ti : analyses par ToF-SIMS

G. Colas, A. Saulot - University of Toronto, CA; Univ BFC, CNRS, Institut Femto-St, Besançon; Univ Lyon, CNRS, LaMCoS ; Univ Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1, FR

JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Contrôler et prédire le comportement tribologique d'un lubrifiant afin d'assurer un faible frottement et une longue durée de vie requière la compréhension des phénomènes tribochimiques survenant au sein du contact. Notamment lorsqu'il s'agit de prédire le comportement tribologique en fonction de l'environnement de travail. Cependant, la plupart des études ne prennent pas en compte le rôle des contaminants (issus de la technique de fabrication par exemple) contenus dans le matériau au profit d'études traditionnelles comparatives du comportement tribologique en fonction de l'humidité dans l'air ou de la pression atmosphérique (ultravide, atmosphère ambiante, etc.). L'étude présentée ici se focalise sur la compréhension des processus tribochimiques intervenants dans un contact en acier AISI440C lubrifié par un dépôt mince, le MoS₂/Ti, et les contaminants contenus dans ces matériaux. La Spectrométrie de Masse d'Ion Secondaire en Temps de Vol (ToF-SIMS) est utilisée afin d'étudier l'évolution de la composition chimique moléculaire des surfaces avant et après frottement. Des essais interrompus sont alors réalisés sous ultravide, à une échelle macroscopique afin de rester au plus proche de l'application réelle. L'adsorption et la désorption de gaz durant le frottement sont étudiées par un spectromètre de masse afin d'assurer un suivi le plus complet possible des processus tribochimiques qui ont lieu dans le contact.



L'étude montre une compétition entre les matériaux à base Ti et MoS₂ dans la création des 3^{ème} corps via :

- une recristallisation du matériau à base MoS₂ et la création d'une phase MoS_xO_y issue de réactions chimiques avec les contaminants internes au dépôt (a priori l'eau);
- des réactions entre le Ti et avec les contaminants eau et azote (N₂) contenus eux aussi dans le dépôt. Un 3^{ème} corps bi-phasique est alors généré dans le contact.

La nature chimique de ce matériau est d'une grande similitude avec le 3^{ème} corps bi-phasique conférant faible frottement et faible usure au contact, tel qu'observé après frottement sous air humide et sous environnement azote sec (N₂). Cependant, sous ultravide, le comportement tribologique est mauvais du fait d'un volume trop faible de réactifs. L'étude démontre donc que la réponse tribochimique naturelle des matériaux dans des environnements dans lesquelles le frottement et l'usure sont faibles, peut être initiée via les contaminants internes contenus dans le volume de ces mêmes matériaux.

Intérêt d'une approche multi-échelle dans la mise en œuvre des films DLC dans l'automobile

Y. Gachon, C. Héau – IREIS, Andrézieux Bouthéon, FR

JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Les revêtements de carbone diamant amorphe (DLC) sont aujourd'hui utilisés de manière courante dans l'automobile notamment sur les pièces de distribution que sont les linguets et les poussoirs. Ces revêtements doivent s'insérer dans un système tribologique complexe et cela a nécessité une progression dans l'approche tribologique entre le banc de laboratoire et le banc d'organe. L'exposé montre la contribution respective de chacun des moyens d'essais dans le développement d'un film. Aujourd'hui ces méthodes d'essai vont toutes être réunies dans un laboratoire commun. Les films DLC sont en fait des structures multicouches avec une base métallique dopée ou non pour atténuer le gradient de dureté avec le substrat, une couche d'accroche (base semi-conducteur ou métal dopé carbone) et la couche carbonée de surface. La première étape du développement des DLC a consisté à optimiser les paramètres d'élaboration pour éviter les problèmes de fragilité intrinsèque du film ou de l'empilement. Cela peut se faire à l'aide de l'essai bille disque. Mais si on souhaite étudier la tenue à l'usure du film, il faut déjà changer ses habitudes d'essais. L'interaction avec le lubrifiant avait été négligée dans un premier temps, au motif que les réactions avec les additifs ne se produisent pas sur une couche carbonée. Les procédures d'essai précédemment définies ont mis en évidence que le tribofilm qui se forme sur l'acier pouvait provoquer une usure tribochimique du film DLC. Pour cela il a fallu intégrer des moyens d'essai permettant de balayer les différents régimes de lubrification imparfaite (limite et mixte). La stratégie de l'étape 1 a permis de faire un premier tri parmi les additifs mais la notion d'énergie d'activation des réactions chimiques a nécessité de mettre en œuvre des essais apportant davantage d'énergie dans le contact. Cela nécessite le passage au tribomètre bague/plan. La topographie de surface avait été évacuée dans un premier temps par la nécessité de polir les pièces à revêtir de DLC. La rugosité de la contre pièce va également avoir une influence dans le comportement du contact, notamment sur la formation des tribofilms sur la pièce antagoniste. Ces questions sont d'autant plus importantes avec l'entrée en jeu des films taC (tetraedral amorphous carbon) qui sont beaucoup plus durs que les films aCH. Cette fois il est également important d'intégrer toutes les composantes de défauts géométriques donc de passer à un banc d'organe. Ce dernier aspect est essentiel à titre de validation finale car le gain de frottement sur le système complet est souvent moins spectaculaire que sur l'essai laboratoire et il faut veiller aux interactions éventuelles avec le reste de l'environnement. La mise en œuvre des films DLC sur les pièces automobiles a fait appel à une large palette de moyens d'essais tribologiques.

Etude expérimentale du délaminage induit par l'usure pour des composants automobiles revêtus DLC

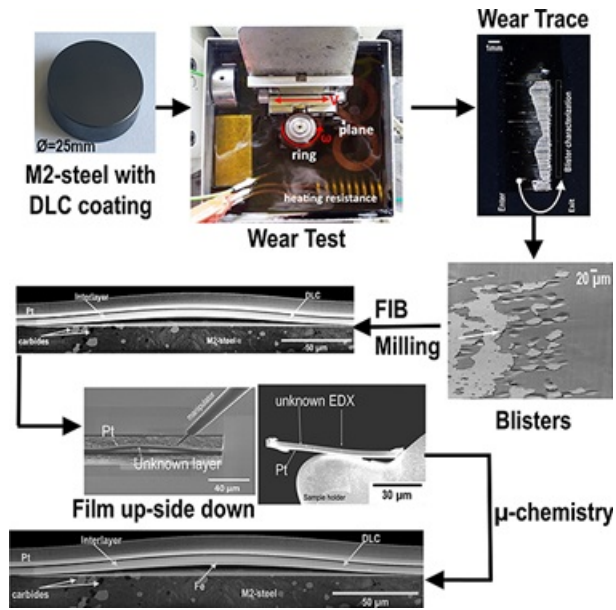
Experimental study of wear-induced delamination for DLC coated automotive components

Antonios Choleridis, Sergio Sao-Joao - Mines Saint-Etienne; Université Jean Monnet, Saint-Étienne; IREIS, Groupe HEF; LTDS, Ecole Centrale de Lyon; LAMCOS, INSA Lyon, FR

Surface and Coatings Technology, Volume 352, 25 October 2018, Pages 549-560

Les tendances de l'industrie automobile sont les suivantes : performances plus élevées, fiabilité améliorée, tolérances réduites et produits plus respectueux de l'environnement. Des composants mécaniques à résistance accrue à l'usure et présentant un frottement réduit aident à relever ce défi majeur. Les revêtements DLC) réalisés sur des composants mécaniques fonctionnant dans des conditions lubrifiées à des températures comprises entre 100 et 250°C réduisent efficacement le coefficient de frottement et assurent une protection contre l'usure. Cependant, le décollement et le cloquage induits par l'usure des revêtements durs constituent toujours un problème majeur dans l'industrie automobile. Il y a plusieurs questions ouvertes. Où commence le décollement ? Comment se propage la fissure à l'interface ? Quels sont les facteurs menant au délaminage ? Dans ce travail, les auteurs montrent comment la combinaison des dernières techniques expérimentales permet de répondre à ces questions et ainsi de mieux contrôler l'usure. La formation de cloques est influencée par la contrainte globale du revêtement et par la microstructure très locale du substrat. Une combinaison de mesures AFM, nano-indentation, sonde ionique focalisée (FIB - Focused ion beam), microscopie SEM-FEG et des mesures chimiques locales par EDX, permettent de mieux observer et de mieux comprendre le délaminage induit par l'usure. La nouvelle

disponibilité de telles études physiques et chimiques devrait améliorer les modèles mécaniques et physiques permettant de prévoir l'usure et d'améliorer l'adhésion des revêtements.



PROJECTION THERMIQUE / LASER / COLD SPRAY

Effet de la texturation laser sur les propriétés tribologiques de l'acier inoxydable 904L

H. Meliani, M. Assoul - Institut FEMTO-ST/UMR CNRS; Université Bourgogne Franche-Comté; ENSMM, Besançon
JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech
CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

La structuration de surface par laser est une technique prometteuse pour modifier les propriétés tribologiques d'un matériau. Plusieurs chercheurs ont démontré que ce procédé réduisait le coefficient de frottement et l'usure dans différentes applications. Cette méthode est utilisée, par exemple, pour améliorer la performance des outils de coupe en usinage. Différents types de structures comme des micro-trous et micro-lignes ont été étudiées. Cependant, peu de chercheurs ont travaillé sur l'effet des nanostructures obtenues par femto-seconde, comme celles appelées « ripples », sur les propriétés tribologiques. L'éprouvette texturée est en acier inoxydable grade 904L. La texturation a été réalisée avec un laser femto-seconde Ti-Saphir d'une énergie de 0,5 mJ/pulse, avec une durée d'impulsion de 130 fs, un taux de répétition de 5 kHz, une longueur d'onde de 800 nm et une polarisation linéaire du faisceau. Les « ripples » générées ont une fréquence d'ondulation moyenne de 650-730 nm et une profondeur moyenne de 220 nm. Elles ont été obtenues avec une fluence crête de 0,4 J/cm² et un rayon pour une fluence égale à 1/e² de la fluence crête, de 11 µm. Les essais tribologiques ont été effectués sur un tribomètre alternatif linéaire avec un pion de frottement en carbure de tungstène de diamètre 5 mm, une force normale de 2 N, une fréquence de 1 Hz et une longueur de glissement égale à 1 mm. Une série d'essais de frottement a été réalisée sous un régime lubrifié (huile Oil Form B2R) sur des zones texturées et non-texturées. Il a été possible d'une part, de mesurer l'évolution du coefficient de frottement au cours des cycles et, d'autre part, de quantifier le volume d'usure de la surface frottée. Les zones texturées conduisent à un coefficient de frottement plus faible que les zones non-texturées. Cette réduction pourrait s'expliquer par le rôle des « ripples », qui agiraient comme des réservoirs à lubrifiant. Concernant l'usure de la surface frottée, nous avons également observé une réduction significative : un volume d'usure de 21,5 10⁴ µm³ pour la surface texturée et 5,83 10⁴ µm³ pour la surface non texturée. Ce travail a permis de mettre en évidence l'effet de la nano-texturation laser sur les propriétés tribologiques dans un contact acier inoxydable 904L/carbure de tungstène. Cette amélioration de performances s'expliquerait par une lubrification continue des surfaces texturées grâce à la capacité des « ripples » à retenir le lubrifiant.

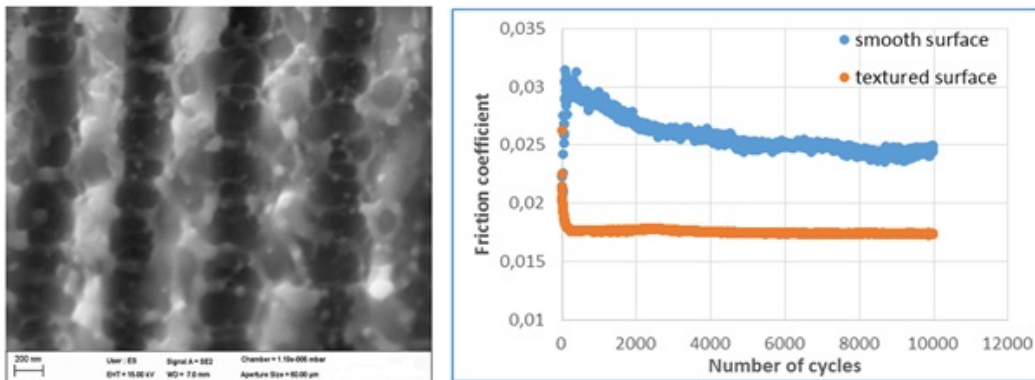


Image AFM des « ripples » produites sur l'acier inoxydable et évolution du coefficient de frottement en fonction du nombre de cycles.

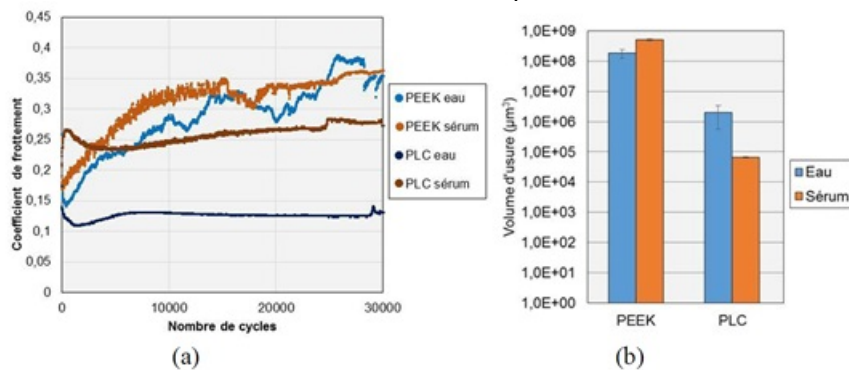
Amélioration des propriétés tribologiques du PEEK par combinaison d'un revêtement de carbone amorphe et de la texturation de surface par laser

J. Dufils, F. Faverjon - IREIS, HEF group; Université Jean Monnet, Saint-Etienne; Ecole Centrale de Lyon, LTDS, Écully

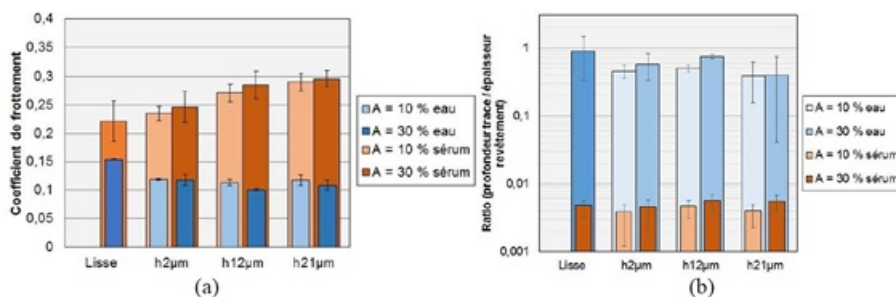
JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech
CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Le poly-aryl-éther-éther-cétone (PEEK) est un polymère thermoplastique qualifié de haute performance. Celui-ci suscite l'intérêt de la recherche et de l'industrie pour ses propriétés mécaniques remarquables et sa grande stabilité chimique. Malgré des propriétés mécaniques et chimiques notables, le PEEK reste relativement sensible à l'usure. Une manière efficace pour réduire l'usure et/ou le frottement d'un système mécanique à moindre coût est de réaliser un traitement de surface. Le dépôt de revêtements tels que les revêtements de carbone amorphe hydrogéné (a-C:H) à la surface des pièces mécaniques est un type de traitement de surface permettant de réduire l'usure et/ou le frottement. La réalisation d'une texturation de surface est un autre type de traitement de surface qui peut être utilisé pour contrôler l'usure et/ou le frottement des pièces mécaniques. L'objectif est alors de combiner le dépôt d'un revêtement dur de carbone amorphe hydrogéné et la réalisation d'une texturation de surface par laser sur PEEK en vue de l'amélioration des performances tribologiques du PEEK. Différents revêtements a-C:H ont été

déposés par PECVD sur PEEK. Parmi les revêtements réalisés, un revêtement a-C:H qualifié de polymer-like carbon (PLC), s'est montré particulièrement intéressant. Ce revêtement PLC permet de protéger le PEEK de l'usure lors d'essais tribologiques menés en milieu eau distillée et en milieu sérum bovin contre une bille en alumine. La présence de protéines dans le milieu sérum bovin s'est révélée être d'une grande influence sur le comportement tribologique du revêtement PLC en termes d'usure mais aussi de frottement. Un réseau hexagonal de cavités circulaires de diamètre 30 μm , de profondeurs variables h ($h = 2, 12$ ou $21 \mu\text{m}$) et de densités variables A ($A = 10$ ou 30%) a été texturé à la surface du PEEK à l'aide d'un laser femtoseconde avant de procéder au dépôt du revêtement PLC. En milieu eau distillée, une baisse du coefficient de frottement est observée quand la densité de surface texturée augmente. La présence de protéines dans le sérum bovin affecte grandement la manière dont la texturation influence les performances tribologiques du revêtement PLC déposé sur PEEK. Les différences de comportement en termes de frottement semblent être conditionnées par la formation d'un tribofilms sur la bille antagoniste. L'influence des protéines sur le comportement tribologique des revêtements texturés se manifeste aussi sur l'usure de ces derniers. L'usure du revêtement texturé diminue en eau distillée comparé au revêtement déposé sur PEEK lisse alors qu'en milieu sérum bovin, l'usure n'est inférieure à celle du revêtement déposé sur PEEK lisse que pour une densité de texturation de 10 %. Il a été montré que la présence de protéines dans le milieu favorise le piégeage et la rétention des débris d'usure dans les cavités mais cela n'a qu'un léger effet bénéfique sur l'usure. Pour les essais tribologiques réalisés, il a été montré que le dépôt d'un revêtement polymer-like carbon permet de protéger efficacement le PEEK de l'usure tout en réduisant le frottement. La réalisation d'une texturation sur le PEEK avant le dépôt du revêtement permet de réduire légèrement l'usure du revêtement. L'apport de la texturation en termes de frottement dépend fortement du milieu considéré.



(a) évolution du coefficient de frottement en fonction du nombre de cycles pour le PEEK non revêtu et le revêtement PLC sur PEEK en milieux eau distillée et sérum bovin, (b) volumes d'usure associés après 30 000 cycles



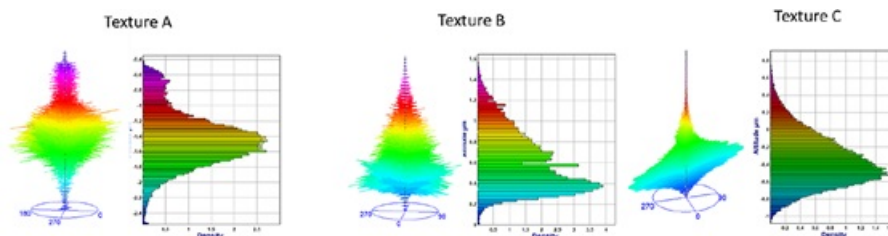
(a) Coefficients de frottement pour les différentes texturations en milieux eau distillée et sérum bovin, (b) rapports de la profondeur de la trace d'usure et de l'épaisseur du revêtement associés après 30 000 cycles

Effet de la texturation par laser femto seconde de l'alliage de titane sur la raideur de contact et les forces exercées par les cellules

H. Zahouan¹, V. Dumas - Université de Lyon, LTDS; Laboratoire Hubert Curien, UMR 5516 CNRS, St Etienne JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Les biomatériaux métalliques (encore appelés matériaux biocompatibles) représentent un enjeu économique et sociétal important. Du fait d'une part de l'augmentation de l'espérance de vie (plus de 21% de la population âgée de plus de 65 ans en 2020) et d'autre part de l'exigence de confort de vie, l'amélioration de la durabilité et de la fonctionnalité des implants médicaux est un champ d'investigation crucial. Les matériaux des implants doivent cependant avoir une biocompatibilité autant biologique que mécanique. Les alliages de titane offrent, de ce point de vue, un potentiel d'application important. Au fil des années et du retour d'expérience, les alliages de titane utilisés ont cependant fortement évolué. Plusieurs méthodes de traitements de surface, mécaniques ou chimiques, ont été développées pour rendre ce matériau bioactif et améliorer sa fixation biologique au tissu osseux. Cependant, la plupart de ces méthodes conventionnelles créent une texture grossière à la surface de l'implant (nonstructurée et incontrôlée), ceci rend difficile la compréhension du contact mécanique : cellule – substrat rugueux. Le laser femtoseconde fournit une méthode unique pour générer des topographies contrôlées multiéchelles sur des surfaces métalliques. Dans ce travail, des texturations au laser femto seconde ont permis d'identifier l'effet des échelles des motifs des textures sur la raideur de contact, le taux de portance et les forces

exercées par les cellules sur un substrat en titane texturé finement. Raideur de contact, taux de portance et forces de contact La plupart des cellules des tissus ne peuvent survivre en suspension dans un fluide. Leur devenir dépend donc des conditions d'ancrage à leur environnement. Or, le substrat solide sur lequel adhèrent les cellules peut être de nature très variée et ainsi avoir des propriétés mécaniques très diverses. Les interactions entre les cellules et leur support génèrent des forces contractiles qui sont transmises au substrat via des structures d'adhésion transcellulaires. La rigidité du substrat sur lequel les cellules adhèrent et se déplacent peut ainsi modifier ces interactions et induire une réorganisation interne de l'architecture cellulaire. Comprendre la façon dont les cellules s'adaptent à la rigidité de leur substrat d'adhésion est un domaine de recherche en pleine émergence grâce notamment au développement de techniques expérimentales permettant de changer la raideur de contact de la matrice et de mesurer précisément les interactions cellule-substrat. Au cours de la locomotion, la cellule est non seulement capable d'exercer des forces mais également de « sonder le terrain » et de répondre, à travers une réorganisation de son cytosquelette, à la résistance mécanique du matériau qu'elle rencontre, qu'il s'agisse d'un substrat synthétique, de la matrice d'un tissu ou encore des cellules voisines. La réponse mécanique des cellules à la raideur de contact de leur environnement induit un réarrangement de son architecture interne via des boucles de rétroaction entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, un peu à la manière d'un muscle qui adapte le travail à effectuer en fonction de la charge appliquée. L'amélioration de la surface des implants est essentielle pour réaliser une ostéointégration rapide. Techniquement, la création d'un motif précis sur une surface en alliage de titane est difficile. Ici, le laser femtoseconde a été choisi comme une technologie innovante pour texturer avec précision une topographie nano-micro. En ajustant les paramètres laser, trois textures biomimétiques ont été fabriquées sur la surface en titane : deux des texturations (A et B) sont composées d'une superposition de micro-cratères et de ripples (600nm) et la 3^{ème} texture (C) comporte uniquement des ripples. Le contrôle des paramètres laser permet de maîtriser le diamètre (30µm) et la profondeur (800nm) des micro-cratères ainsi que la localisation et l'orientation des ripples. La présence de textures multi-échelle modifie considérablement la distribution des contraintes et la raideur de contact au voisinage des surfaces en contact. La prise en compte de textures multi-échelles surfaciques à l'échelle microscopique constitue souvent une clé pour appréhender et modéliser un grand nombre de phénomènes de contact cellule/substrat observés à l'échelle de la cellule tels que le la raideur de contact normale et tangentielle, les forces de contact, le taux de portance, l'adhésion et le frottement. Ce travail porte sur la caractérisation multi-échelle des textures imprimées par laser femto seconde et la modélisation du contact élastique entre un plan de cellule et les textures (A, B & C). L'analyse de la topographie a permis de montrer la diversité morphologique des motifs imprimés sur la surface du titane, avec un caractère particulier des motifs en ripples dont la dimension fractale est plus élevée par rapport aux motifs en cratère. Les analyses montrent la décomposition multi-échelle des motifs sous forme d'un arbre morphologique qui tient compte de l'altitude des motifs et de leur densité, de leurs longueurs d'onde ainsi que de leur anisotropie. Pour identifier le rôle des échelles des textures sur la mécanique du contact cellule/substrat, un modèle élastique de contact surfacique a été développé pour étudier le contact entre un plan cellulaire (équivalent à une matrice extra cellulaire de module d'élasticité de 5 KPa) et le titane texturé avec différents motifs. Le modèle élastique utilise l'équation intégrale de Boussinesq avec un pas de chargement tous les 10 nanomètres. Pour chaque pas de chargement et après convergence du calcul, on détermine la force exercée par le plan cellulaire (de 10⁻¹¹ à 10⁻⁷ Newtons), le taux de portance et la raideur de contact. Le tracé de la force de contact en fonction du déplacement montre bien l'effet d'un changement d'échelle entre la texture à motifs en ripples et les surfaces à motifs en cratères (A, B). Ce changement d'échelle qui se produit pour un enfoncement de 270 nanomètres, a un effet sur la raideur de contact, les forces exercées par les cellules et le taux de portance. Cet effet d'échelle des motifs imprimés reste cohérent avec l'analyse morphologique qui montre un comportement différent pour les motifs en ripples dans les premières petites longueurs d'onde des motifs. Les approches développées dans cette étude montrent que la texturation laser de la surface du titane modifie significativement la mécanique du contact des cellules en fonction des échelles des motifs des textures. La méthode de texturation par laser femtoseconde offre une grande versatilité dans l'obtention des échelles de motifs des textures capables de modifier localement la raideur de contact, les forces ressenties par les cellules et la stimulation de la mécano-transduction cellulaire.



Arbre multi-échelle des motifs des textures laser (A, B & C)

Modification de surface d'un acier AISI 316L par laser nanoseconde avec des poudres de nitrure de bore

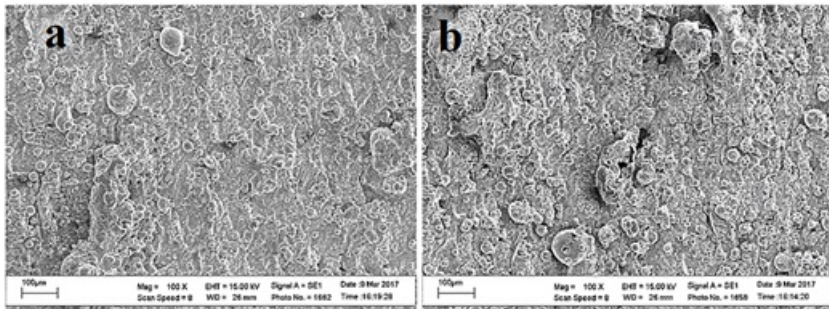
(Surface modification on AISI 316L stainless steels by nanosecond laser with boron nitride powders)

Pornsak Srisungsitthisunti, Sithipong Mahathanabodee - University of Technology North Bangkok, TH

Materials Today : Proceedings, Volume 5, Issue 3, Part 2, 2018, Pages 9461-9466

Les aciers inoxydables austénitiques AISI 316L sont largement utilisés dans la fabrication de produits chimiques et dans la fabrication d'aliments car ils possèdent une combinaison unique de propriétés de résistance mécanique et à la corrosion. Cependant, les applications des aciers inoxydables 316L sont limitées en raison de leur limite d'élasticité relativement basse et de leur faible dureté (200 HV). Les aciers inoxydables austénitiques ne peuvent

pas être durcis par transformation thermique. Par conséquent, ce travail étudie l'effet du traitement de surface par laser nanosecondes (50W, 50 mm/s) sur un acier inoxydable 316L avec revêtement en poudre de nitrure de bore (BN) afin d'améliorer sa dureté et sa résistance à l'usure. L'effet de chauffage par laser peut être contrôlé en ajustant la puissance du laser et la vitesse de balayage. L'épaisseur de la couche traitée au laser et la dureté le long de sa section ont été mesurées avec une machine à dureté Micro Vickers. Les résultats ont montré que le procédé au laser durcissait la surface supérieure jusqu'à une dureté de 290 HV sur une profondeur de 250 µm. La structure de la région traitée au laser est fortement affectée par les paramètres de balayage du laser et peut engendrer une diminution de la taille des grains sur les lignes de passage du laser. Les poudres de BN n'ont pas d'effet significatif sur la dureté. La région traitée au laser présente une redéposition de matériau sur la surface, conduisant à l'obtention d'une surface plus rugueuse et à une vitesse de corrosion plus élevée mesurée par un test potentiodynamique. Des travaux futurs utilisant la XRD pour évaluer les différentes compositions chimiques et phases du matériau de la région traitée au laser sont prévus. D'autres tests d'usure seront effectués pour examiner l'effet des poudres de BN sur la propriété de friction de la surface. En outre, les paramètres du laser doivent encore être optimisés pour améliorer les propriétés tribologiques et la résistance à la corrosion.



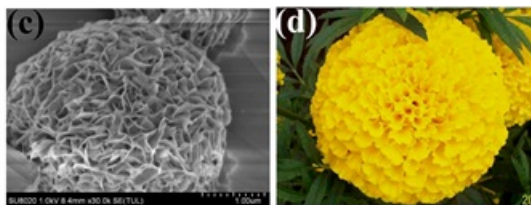
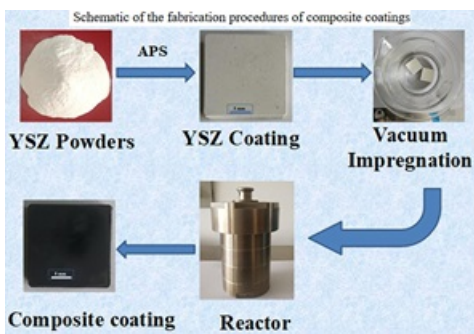
Scanning electron micrographs of laser-treated 316L (a) before corrosion; (b) after a corrosion test

Revêtements auto-lubrifiants YSZ/MoS₂ réalisés par projection thermique et réaction hydrothermique

(YSZ/MoS₂ self-lubricating coating fabricated by thermal spraying and hydrothermal reaction)

Shuangjian Li, Xiaoqin Zhao - Chinese Academy of Sciences, Lanzhou et Beijing; North Minzu University, CN Ceramics International, Volume 44, Issue 15, 15 October 2018, Pages 17864-17872

Les revêtements céramiques réalisés par projection thermique ont été largement utilisés dans les composants pour la protection contre le frottement et l'usure. Cependant, la faible capacité de lubrification limite grandement leur application. Ici, des revêtements composites à base de zircone yttrée (YSZ) / MoS₂ ont été fabriqués avec succès sur un substrat en combinant la pulvérisation thermique et une réaction hydrothermique. Les résultats montrent que les poudres synthétiques de MoS₂ sont composées de nombreuses feuilles ultra-minces (environ 7 ~ 8 nm) et que chaque feuille présente une structure lamellaire. Après l'imprégnation sous vide et la réaction hydrothermique, de nombreuses particules de MoS₂ se diffusent sous la forme de « fleurs » (semblable à un œillet d'inde) à l'intérieur du revêtement YSZ réalisé par projection plasma. Le point de croissance de ces « fleurs » est constitué des micro-pores intrinsèques au revêtement YSZ. Les essais de frottement et d'usure sous vide poussé indiquent que le revêtement composite a une durée de vie extrêmement longue (> 100 000 cycles) et possède un faible coefficient de frottement (inférieur à 0,1 et par conséquent plus faible que celui du revêtement YSZ). Parallèlement, le revêtement composite présente un taux d'usure extrêmement faible ($2,30 \times 10^{-7} \text{ mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$). L'excellent pouvoir lubrifiant et la résistance à l'usure sont attribués à la formation de films de transfert de MoS₂ et à la surface extrêmement lisse de ces revêtements. La méthode présentée est donc une combinaison entre pulvérisation thermique traditionnelle et chimiosynthèse, ce qui peut considérablement élargir les applications techniques des revêtements céramiques projetés.



(c) the composite coating and (d) photograph of a flower named marigold

TRAITEMENTS MECANIQUES

Fonctionnalisation de surface de finition cosmétique par modifications texturales et morphologiques induites par nano-peening

A. B. Levy, B.M. El Mansori - Saint-Gobain C.R.E.E, Cavailon; Arts et Métiers ParisTech d'Aix-en-Provence et de Châlons-en-Champagne,

JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

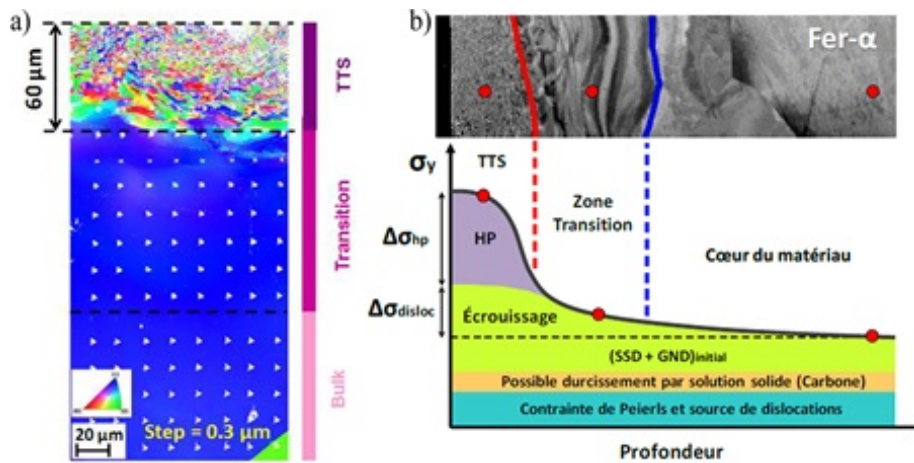
Le grenailage de finition (ou Cosmetic finishing) est une application récente du grenailage. Cette étape intervient en fin de processus industriel et permet, par exemple, de fonctionnaliser la surface en termes de propriétés optiques. De nombreux industriels cherchent à maîtriser la réflexion spéculaire des métaux tout en limitant la déformation des pièces. En ce sens, il est possible de texturer les surfaces via un procédé de « nano-peening » qui favorise l'obtention d'un ensemble d'état de surface répondant aux attentes de son fonctionnel cosmétique. Cet article s'attache à montrer le lien intrinsèque entre la réalisation d'une surface fonctionnelle et le procédé de grenailage au travers de la cratérisation des signatures surfaciques générées. Des particules en céramique parfaitement connues (densité, dureté, dimension...) permettront de réaliser le traitement des cibles. Les cibles en Al 6063 sont grenillées sous différentes conditions dans une grenailleuse à venturi. Les paramètres procédés tels que l'intensité Almen, le taux de recouvrement et la pression de grenailage sont déterminés. Toutes les données précédentes sont corrélées avec des mesures de brillance pour déterminer l'impact du mélange de média et des procédés machines sur la texture de la surface. Les surfaces, après opération de grenailage, sont caractérisées grâce à un suivi du gloss, de la rugosité et des observations. Cette étude a révélé qu'il était possible d'obtenir des surfaces cosmétiques uniques à partir d'un procédé de nano-peening. Ce dernier, par une optimisation fonctionnelle des paramètres du procédé, crée une texturation unique de la surface qui oriente la lumière à l'origine de ces rendues visuelles particulières. Ces travaux ont mis en lumière de manière indéniable la corrélation entre propriétés de la charge active et morphologie transmise à la cible.

Sur l'utilisation d'essais nanomécaniques pour analyser les évolutions de microstructure générées par des sollicitations de contact

G. Kermouche, G. Guillonnet - IMT Mines Saint-Etienne; Ecole Centrale de Lyon, LTDS; ENI de Saint-Etienne; McGill University, Montréal, CA

JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Les traitements de surface mécaniques, tels que le grenailage, le galetage, le martelage sont connus pour leur efficacité vis-à-vis de leur effet bénéfique sur la résistance à l'usure et à la fatigue. Ils reposent sur des chargements de contacts répétés (tribologiques) qui induisent des déformations plastiques sévères en sous-surface, générant ainsi des champs de contraintes résiduelles compressifs et un affinement local des grains (Surfaces Tribologiquement Transformées), ce qui conduit à un gradient significatif de propriétés mécaniques. Une méthodologie est ici proposée reposant essentiellement sur l'utilisation de tests nanomécaniques – micro-compression, nanoindentation – en complément de caractérisations microstructurales pour expliquer les changements de microstructure induits par de tels traitements. Cette méthodologie est appliquée à divers cas allant du grenailage sévère aux contacts frottants ou glissants. Les auteurs montrent que le grenailage sévère d'un fer pur peut générer un raffinement significatif de la taille de grain sur plus de 100 µm de profondeur. Le durcissement significatif a pu être mis directement en relation avec l'effet Hall-Petch. Dans le cas des contacts frottants, l'échauffement, associé à une augmentation de la vitesse de glissement, combiné à la déformation plastique de la sous-surface permet de créer de forts gradients de microstructures. La méthodologie proposée a permis d'identifier les phénomènes physiques – recristallisation, fragmentation de grains - conduisant à de tels résultats, dans le cas modèle d'un cuivre pur soumis à des contacts tribologiques à haute vitesse.

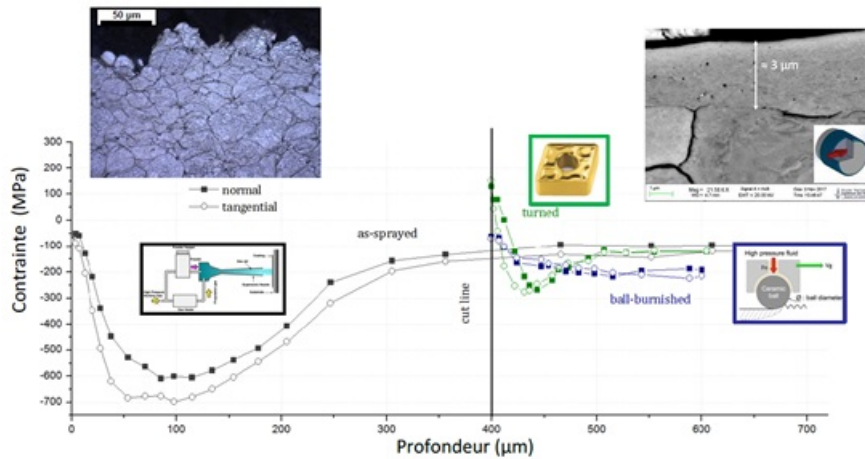


a) Coupe transverse d'un fer pur grenailé intensivement (cartographie EBSD et empreintes de nanoindentation),
 b) Mécanismes de durcissement de la sous-surface.

Modifications en proche surface de dépôts obtenus par fabrication additive

C. Courbon, A. Sova - ENISE, ECL, ENTPE, CNRS, LTDS UMR 5513, Saint-Etienne; EMSE Saint-Etienne
 JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech
 CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Le cold spray et le rechargement laser sont deux procédés extrêmement performants pour réaliser des dépôts fonctionnels sur divers substrats. Pour le premier, le matériau sous forme de poudre est accéléré au travers d'une buse supersonique qui propulse les particules avec une grande énergie cinétique sur le substrat. Selon la vitesse d'impact, l'encre s'effectue par une combinaison de déformation plastique et interaction chimique. En rechargement laser, le dépôt ne s'effectue pas par voie sèche mais les particules sont fondues par injection au centre du faisceau. L'adhérence du dépôt s'effectue alors plutôt par une action métallurgique avec des phénomènes très spécifiques à l'interface dépôt-substrat. La principale limite de ces technologies est leur capacité très réduite à générer directement une surface fonctionnelle. Dans la majorité des cas, ces dépôts se voient appliquer un procédé de finition ou de superfinition afin de définir la géométrie finale de la pièce et les propriétés de surface du dépôt. L'usinage par outil coupant et le galetage sont deux exemples. Ces procédés sont connus pour grandement modifier les propriétés de surface et proche surface comme la topographie, la microstructure et le niveau de contraintes résiduelles. Si la maîtrise des microstructures et des contraintes résiduelles après dépôt est un sujet majeur pour la communauté de la projection, très peu d'études se sont penchées sur les propriétés finales de la surface après usinage et superfinition. Ce travail propose donc une étude expérimentale visant à mettre en évidence l'influence de ces deux procédés sur les propriétés en proche surface, c'est-à-dire microstructure et contraintes résiduelles. Le matériau d'étude est ici un acier inoxydable martensitique 17-4PH approvisionné sous deux granulométries différentes en adéquation avec le mode de projection : 10 à 45 μm en cold spray – 45 à 90 μm en rechargement laser. Il a été déposé sur des cylindres D50 mm en aluminium 1050 (cold spray) et acier C45 (rechargement) pour former un dépôt d'environ 2,5 mm au rayon. La surface avant dépôt était directement issue de tournage, sans préparation supplémentaire. La projection par cold spray a été effectuée sous azote à 4MPa à une température de 650°C avec une buse type 40 située à 40 mm du substrat. Le rechargement a lui été mis en œuvre sur un laser YAG avec une puissance de 4kW sur un sport de 6 mm et avec une vitesse de balayage de 800mm/min. Ces dépôts ont ensuite été usinés avec des outils en carbure de tungstène revêtus Al₂O₃ sous émulsion dans les conditions suivantes : Vc = 50 m/min, f = 0.15 mm/tr, ap = 0.3 mm. Le galetage a ensuite été appliqué par une bille en céramique de 6 mm avec un effort normal de 250 N et les conditions suivantes : Vc = 50 m/min, f = 0.05 mm/tr. Les dépôts générés ont été analysés par microscopie électronique à balayage et les contraintes résiduelles déterminées par diffraction de rayons X sur un système PROTO avec un collimateur de 2 mm. Un polissage électrochimique a été appliqué sur un spot de 5 mm pour estimer le gradient sur la profondeur des échantillons. Les deux dépôts ont pu être usinés avec une configuration très proche de celle communément utilisée sur ce même matériau à l'état laminé. Si la rugosité peut être réduite à des Ra de 0.3-0.5 μm par galetage, l'usinage seul induit des contraintes résiduelles de traction dans le dépôt cold spray, malgré l'état initial fortement en compression après dépôt. Des contraintes de traction ont aussi été observées dans le dépôt issu du rechargement laser avant et après tournage. En revanche, appliquer une opération de galetage sur ces surfaces permet de modifier l'état de contrainte en compression, en surface mais également en profondeur. Une influence plus soutenue a été notamment mise en évidence sur le dépôt issu de rechargement contrairement au cold spray. En termes de microstructure, cette étude a montré que l'usinage et le galetage étaient capables de modifier l'extrême surface en générant une fine couche dans laquelle la microstructure est difficilement identifiable et se doit d'être plus finement étudiée afin de comprendre les mécanismes sous-jacents.



Comparaison entre la microstructure en proche surface sur le dépôt brut obtenu par Cold Spray puis après tournage et tournage-galetage.

La corrosion par piqûre annule-t-elle les bénéfices du grenailage ? (Do corrosion pits eliminate the benefit of shot-peening?)

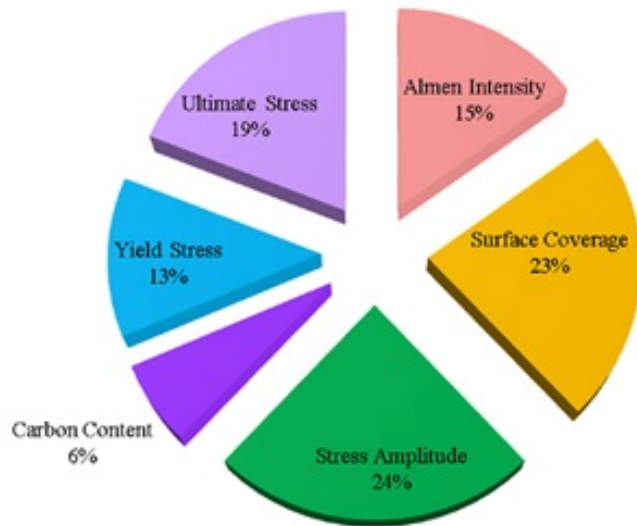
A. Turnbull, L. Crocker - National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex TW11 0LW, UK
International Journal of Fatigue, Volume 116, November 2018, Pages 439-447

L'impact des piqûres de corrosion sur l'effet bénéfique du grenailage d'acier 12Cr pour aubes de turbines à vapeur a été évalué sous conditions de charge. La limite de fatigue a été mesurée pour des creux d'une profondeur comprise entre 50 et 300 μm , caractéristique des profondeurs auxquelles on peut s'attendre dans une installation en exploitation raisonnablement bien gérée. Les mesures de diffraction aux rayons X (DRX) ont indiqué que la contrainte résiduelle en compression était proche de zéro à une profondeur d'environ 250 μm , mais qu'un avantage significatif de cette contrainte résiduelle sur la limite de fatigue était toujours conservé avec des creux d'une profondeur de 300 μm . La croissance des fissures dans les creux de corrosion est retardée par le grenailage jusqu'à une profondeur de fissure de 0,9 mm bien au-delà de la profondeur de contrainte résiduelle en compression. Une explication basée sur la contrainte à la propagation latérale de la fissure près de la surface et son impact sur le facteur d'intensité de contrainte à la base de la fissure est proposée. Les conclusions montrent que le grenailage offre des avantages en termes de résistance à la fatigue, même dans les creux de corrosion.

Prédiction de la tenue à la fatigue et analyse des paramètres clés du grenailage d'aciers doux au carbone (Fatigue behavior prediction and analysis of shot peened mild carbon steels)

Erfan Maleki, Okan Unal - Sharif University of Technology, IR; Karabuk University, TR
International Journal of Fatigue, Volume 116, November 2018, Pages 48-67

L'une des méthodes bien connues de déformation plastique sévère (SPD), le grenailage, est largement utilisée pour améliorer les propriétés mécaniques et le comportement en fatigue des matériaux métalliques. La présente étude a examiné expérimentalement les effets de différents traitements de grenailage conventionnel et sévère sur le comportement en fatigue de divers aciers au carbone (AISI 1045, AISI 1050). Une nouvelle approche alternative a été proposée, qui utilise le concept de réseau de neurones artificiels pour prédire la durée de vie en fatigue des aciers au carbone soumis à différents traitements de grenailage. Les résultats expérimentaux ont été utilisés pour développer le réseau. Une fois les résultats modélisés, il a été indiqué que l'approche basée sur les réseaux de neurones utilisée était largement compatible avec les méthodes expérimentales. Ensuite, une analyse paramétrique complète a été réalisée en prenant en compte l'influence des paramètres effectifs du grenailage sur le comportement en fatigue. On a ainsi pu remarquer que : l'optimisation des paramètres de déformation avait un effet important sur l'amélioration de la durée de vie en fatigue, parmi ces paramètres, c'est l'amplitude de contrainte qui a le rôle le plus important, la surface couverte à un impact deux fois plus important que l'intensité de grenailage (intensité Almen), la résistance à la rupture a une plus grande importance que les autres paramètres du matériau.



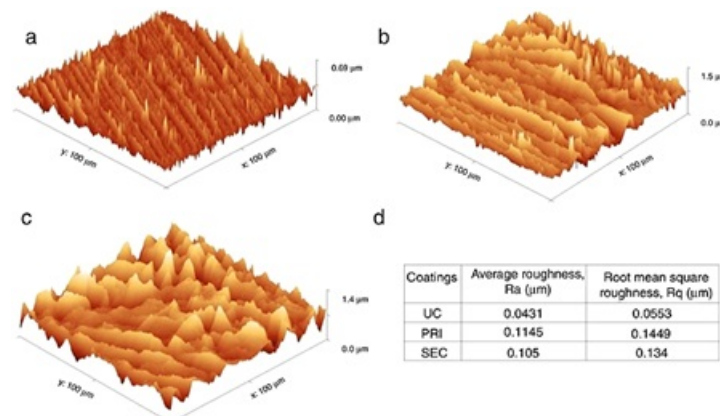
Relative importance (%) of input parameters on the value of fatigue life

TRAITEMENT DES ALLIAGES LEGERS

Revêtements CaP sur magnésium par conversion chimique pour implants orthopédiques. Propriétés de surface et résistance à la corrosion (Fabrication of calcium phosphate coating on pure magnesium substrate via simple chemical conversion coating: surface properties and corrosion performance evaluations)

Mohd Amin Farhan Zaludin, Zul Azhar Zahid Jamal - Universiti Malaysia Perlis (UniMAP), MY
Journal of Materials Research and Technology, 20 August 2018

L'objectif principal des travaux en cours était de fabriquer un revêtement de phosphate de calcium (CaP) sur un substrat de magnésium présentant une pureté de 99,9%, au moyen d'une méthode de conversion chimique et d'évaluer les propriétés de surface et les performances anticorrosion des substrats revêtus. La méthode de conversion chimique a été réalisée en immergeant les échantillons dans un bain de phosphatation primaire puis en effectuant un traitement secondaire dans des solutions alcalines. Les échantillons revêtus issus des revêtements primaires (PRI) et secondaires (SEC) ont été soumis à une analyse morphologique et topographique. La tenue à la corrosion a été évaluée par polarisation potentiodynamique (PDP) et spectroscopie à impédance électrochimique (EIS). Les revêtements PRI et SEC sont composés respectivement de phosphate de calcium déshydraté (DCPD) et d'hydroxyapatite (HA). Les deux revêtements permettent d'améliorer la résistance à la corrosion du substrat de Mg. Les potentiels de corrosion des substrats sont améliorés. L'EIS montre que la résistance à la polarisation, R_p , est améliorée d'environ 40 fois pour le PRI et 2 fois pour le SEC par rapport aux échantillons non revêtus. De plus, le PRI présente une meilleure résistance à la corrosion que le SEC en raison de sa faible porosité et d'une épaisseur plus importante du revêtement. En effet, le traitement alcalin rend le SEC plus vulnérable à la corrosion à cause d'une érosion entraînant un amincissement du revêtement et sa porosité. Cependant, le revêtement secondaire s'avère nécessaire pour convertir le DCPD en HA stable. Les paramètres de traitement semblent être un facteur décisif pour la performance anticorrosion. Les travaux futurs devront être axés sur l'optimisation de ces paramètres.



Topographical features of (a) UC, (b) PRI, (c) SEC samples and (d) Ra and Rq values of each sample.

Impact du vieillissement et du vide poussé sur des revêtements sol-gel Zr_4/Cr_3 sur alliages d'aluminium (Effects of vacuum and ageing on Zr_4/Cr_3 based conversion coatings on aluminium alloys)

Kalaivanan Thirupathi, Pál Bárczy - University of Miskolc, Miskolc; MATMOD Ltd; Hungarian Academy of Science, Debrecen; Admatix Ltd, HU

Applied Surface Science, Volume 441, 31 May 2018, Pages 1043-1047

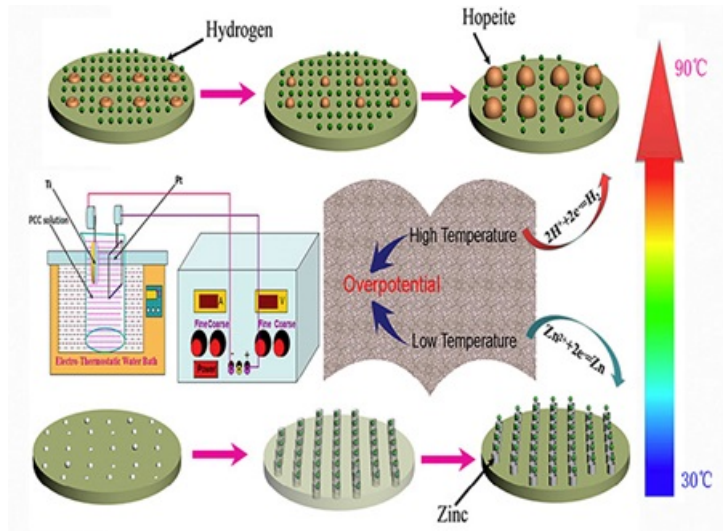
Cette étude porte sur l'analyse de l'impact du vieillissement et du vide poussé sur des revêtements de conversion à base de Zr_4/Cr_3 respectueux de l'environnement. Le revêtement fraîchement formé subit plusieurs modifications au cours du vieillissement et de l'exposition au vide poussé. Sur la base des données actuelles, les auteurs ont travaillé sur un revêtement sol-gel formé sur des alliages AA6082 et AA7075. Une analyse SNMS (Secondary Neutral Mass Spectroscopy) révèle que des modifications au niveau des éléments entraînent un rétrécissement du revêtement. La plupart des ions Zr présents dans le revêtement sous forme de soluté disparaissent sous l'effet d'un vide poussé. Les atomes de Cr, Zr et O restants existent à l'état gélatineux (au cours du vieillissement, les ions passent de l'état soluté à l'état gélatineux). De plus, il a été constaté que le dépôt d'ions est directement influencé par les substrats et leurs constituants. L'ampleur de la dissolution de l'aluminium dans le bain de conversion détermine le dépôt des ions Zr et Cr. Pour un métal fortement allié tel que AA7075, la vitesse de dissolution est perturbée par le cuivre et le zinc.

Effet de la température et de la tension sur des traitements de conversion du titane (Effects of temperature and voltage on formation of electrolysis induced chemical conversion coating on titanium surface)

Xing-chuan Zhao, Shuang-feng Dong - Liaocheng University, CN

Surface and Coatings Technology, Volume 354, 25 November 2018, Pages 330-341

L'élaboration de revêtements de phosphate de zinc par conversion chimique (PCC) présente un potentiel intéressant dans le domaine biomédical. Cependant, ces revêtements sont difficiles à réaliser sur substrats titane par les méthodes traditionnelles en raison de la présence d'une couche d'oxyde passif à sa surface. Dans cette recherche, un revêtement sur Ti a été préparé au moyen d'une phosphatation induite par électrolyse (EPCC). Les effets de la température et de la tension sur la formation, la microstructure, les propriétés et les mécanismes de dépôt des revêtements ont été étudiés. Les résultats montrent que la température et la tension jouent un rôle important dans la détermination de la composition de phase et de la structure cristalline des revêtements. Les revêtements obtenus par les traitements EPCC à 30°C sont principalement constitués de Zn tandis que ceux réalisés à 90°C sont principalement composés d'hopeite (phosphate de zinc hydraté $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$). Les résultats montrent également que le mécanisme de formation de différents revêtements peut être attribué à l'influence des paramètres de traitement sur le potentiel hydrogène. En outre, la résistance à la corrosion des revêtements EPCC est améliorée en augmentant la température et en diminuant la tension.



Formulation d'un nouveau traitement de conversion exempt de Chrome pour application sur alliage d'aluminium aéronautique (Correlation between morphology and electrochemical behavior of chromium-free conversion coatings for aluminum alloys corrosion protection)

Quentin Boyer, Maria R. Ortega Vega - CIRIMAT, Université Paul-Sabatier, Toulouse, FR; LAPEC, Federal University of Rio Grande do Sul, BR

Surface and Coatings Technology, Volume 351, 15 October 2018, Pages 115-127

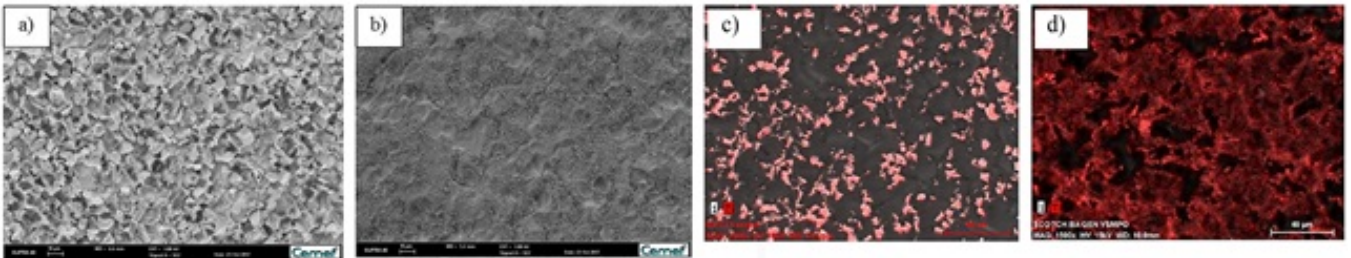
Des revêtements de conversion à base de chrome (III), de tungstate et de cérium (III) sur du AA2024-T3 ont été comparés en termes de morphologie et de comportement électrochimique. La durabilité des revêtements a été étudiée dans des conditions de brouillard salin neutre et dans un électrolyte faiblement agressif composé de 0,1 mol/L de Na_2SO_4 et de 10^{-3} mol/L de NaCl. Afin de mieux appréhender les phénomènes de dégradation, les réactions de surface et d'interface ont été étudiées notamment par spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE). Le rôle de la couche d'oxyde interfaciale native a été particulièrement mis en évidence, sa résistance étant la plus élevée au début de l'exposition. Il a été démontré que la dégradation de l'effet de barrière de cette couche interfaciale était étroitement liée aux performances de la couche de conversion, à la fois en termes de protection passive et de réservoir d'inhibiteur de corrosion. Enfin, le couplage des analyses SIE et des observations microscopiques a permis d'obtenir une interprétation précise des forces et des faiblesses d'un tel système. Ce diagnostic est une étape importante dans l'optimisation des systèmes sans chrome.

Influence d'un traitement de surface par voie chimique sur un alliage de titane TA6V

C. Perderiset, F. Georgi - MINES ParisTech, CEMEF Sophia Antipolis; Safran Aircraft Engines, Moissy Cramayel JIFT 2018, 30^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie, 16-18 Mai 2018, Mines ParisTech CEMEF, Sophia Antipolis France https://jift2018.sciencesconf.org/data/pages/recueil_des_resumes_jift2018.pdf

Depuis toujours, les secteurs de pointe tels que l'automobile ou l'aéronautique cherchent à alléger leurs structures afin de limiter la consommation en carburants, sans perdre en performances mécaniques. Dans cette optique, les matériaux composites sont de plus en plus utilisés pour des applications structurales. Parmi ces applications, le moteur LEAP récemment codéveloppé par Safran Aircraft Engines et General Electric intègre le collage structural d'un renfort en titane TA6V sur le bord d'attaque d'une aube fan composite à l'aide d'un primaire et d'un adhésif. Préalablement au collage structural, une attaque chimique de la surface du titane est systématiquement réalisée. L'étude s'intéresse à l'influence du procédé de mise en forme de ces renforts sur la microstructure observée après décapage chimique en milieu alcalin. Celle-ci a été caractérisée par des techniques déjà utilisées dans la littérature : MEB-FEG, EDS, XPS et rugosimétrie optique. Au vu de la différence microstructurale importante observée, la seconde partie de cette étude a consisté à caractériser la couche d'oxyde fragile et formée sur le

titane après décapage, retirée par le biais d'un scotch en s'inspirant de la norme NF EN ISO 2409. Deux renforts en titane TA6V ont été obtenus respectivement par formage pour l'un et par forgeage pour l'autre, à partir de semi-produits différents en provenance du même fournisseur. Il a été remarqué une importante différence d'aspect de surface entre ces deux renforts ayant pourtant subi le même traitement de décapage en milieu alcalin. Les oxydes créés en surface présentent des morphologies différentes, l'une plutôt grossière en forme de « pétales » et l'autre avec un aspect un peu « poudreux ». Les observations à plus fort grossissement ont révélé qu'il s'agit dans ce deuxième cas d'une morphologie lamellaire très fine, alternativement composée de lamelles en relief (~ 30 nm) espacées de ~ 300 nm. Cette morphologie résulte de la structure partiellement lamellaire du TA6V et d'une attaque différentielle des deux phases. Pour l'étude de l'oxyde sur scotch normalisé, le ruban adhésif a été appliqué manuellement puis retiré des surfaces oxydées. Le taux surfacique et la morphologie des particules de titane ont été analysés par Microscopie Electronique à Balayage (MEB). Les particules observées ne présentent pas la même morphologie. 63% de la surface du scotch est recouverte de titane pour le renfort forgé contre 23% pour le renfort formé. Ces travaux ont révélé les différences de microstructures induites par les procédés de mise en forme du TA6V. Ceci influe directement sur la morphologie de la surface oxydée après décapage alcalin. Ainsi, le renfort formé qui donne une microstructure plus rugueuse conduit après décapage à un retrait de grosses particules de titane en faible proportion sur le scotch, différent de celui du renfort forgé (fines particules de titane mais en plus grande proportion surfacique). Ce travail présente l'originalité d'aborder l'influence du procédé de mise en forme du TA6V. Dans la suite, les propriétés finales d'adhésion seront étudiées en lien avec ces paramètres.



Différence d'aspect après décapage observée entre un renfort a) formé et b) forgé (la barre d'échelle représente 10 µm)

Particules sur le scotch : c) le renfort formé et d) le renfort forgé

PEINTURES

Développement du concept Paint Shop 4.0 pour l'industrie automobile (Automotive Paint Shop 4.0)

Sara Bysko, Jolanta Krystek - Silesian University of Technology, PL
Computers & Industrial Engineering, 27 November 2018

Ce document porte sur la recherche et le développement d'un nouveau concept d'atelier de peinture pour l'industrie automobile, fondé sur les idées d'Industrie 4.0 et de Digital Factory. Le projet Paint Shop 4.0 a été réalisé pour le compte d'un constructeur allemand, en coopération avec ProPoint Sp. zoo. Sp. k. et des partenaires industriels. L'objectif principal de cette recherche est de réduire le principal goulot d'étranglement dans le fonctionnement d'un atelier de peinture, qui est causé par les fréquents changements de pistolets à peinture. Un nouveau type de problème de séquençage est étudié à la fois d'un point de vue algorithmique et pratique. Le concept de « problème de séquençement de véhicules » se concentre sur la détermination de la séquence avant le début de la production, sans possibilité de modification ultérieure de cette séquence. Le nouveau problème consiste en un séquençage des véhicules en temps réel utilisant un « tampon » pour prendre en compte les changements dynamiques. Le travail commence par l'identification et l'analyse des causes du problème émergent. Ensuite, à l'aide d'outils tels que Virtual Engineering et Virtual Commissioning, les tâches suivantes sont effectuées : modélisation d'une ligne de production existante avec une « mémoire tampon », validation du modèle et développement de méthodes permettant d'améliorer le processus de séquençage. Deux schémas heuristiques basés sur un ensemble de règles simples et une heuristique plus avancée sont proposés. Leur efficacité a été testée lors de simulations, sur la base de données réelles et comparée aux solutions actuelles du secteur. Les nombreuses expériences de calcul montrent que les propositions basées sur les méthodes heuristiques sont plus performantes que les méthodes connues dans la littérature en termes de mise en adéquation avec les exigences du secteur. Cela indique qu'il est possible d'améliorer l'efficacité du séquençage et, par conséquent, un système de contrôle intelligent de la « mémoire tampon » est proposé. La validation de la solution proposée dans un environnement virtuel ouvre la voie à la mise en œuvre future du concept Paint Shop 4.0 dans une usine.

Algorithmes de programmation dynamiques accélérés pour le reséquençage de voitures dans les ateliers de peinture automobile (Accelerated dynamic programming algorithms for a car resequencing problem in automotive paint shops)

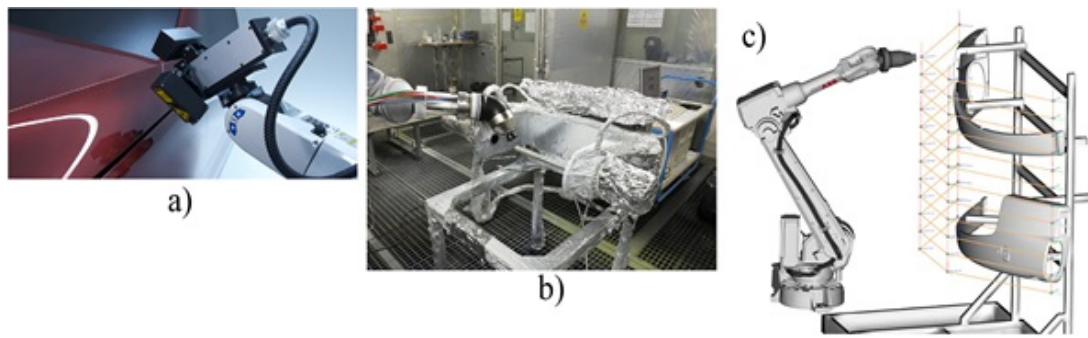
Sungwon Hong, Jinil Han - Seoul National University; Ajou University, Suwon, KR
Applied Mathematical Modelling, Volume 64, December 2018, Pages 285-297

Dans cet article, un problème de reséquençage de voitures (CRP) pour les ateliers de peinture automobile est considéré : un ensemble de voitures acheminées depuis un atelier situé en amont vers l'un des multiples convoyeurs est récupéré de manière séquentielle avant l'opération de peinture. L'objectif du CRP est de trouver une séquence de récupération de voiture minimisant le coût de basculement dépendant de la séquence, qui correspond au coût encouru lorsque deux voitures consécutives ne partagent pas la même couleur. Pour ce problème, des algorithmes de programmation dynamique accélérée (ADP) sont proposés qui utilisent des limites inférieures combinatoires fortes et des limites supérieures effectives dans un cadre de programmation dynamique standard, dépassant ainsi les performances des algorithmes existants. Les tests de ces algorithmes conduits sur un large éventail de cas concrets ont confirmé qu'ils sont plus efficaces que les approches existantes et qu'ils sont également plus facilement applicables dans la pratique. Ils montrent notamment qu'un reséquençage efficace permet de minimiser les coûts d'installation dans les ateliers de peinture automobile.

SelfPaint : une cabine de peinture à programmation automatique (SelfPaint-A self-programming paint booth)

Fredrik Edelvik, Oliver Tiedje - Fraunhofer-Chalmers Centre, Göteborg, SE; Fraunhofer IPA; Fraunhofer ITWM, DE
Procedia CIRP, Volume 72, 2018, Pages 474-479

Dans cet article, le concept d'une cabine de peinture à programmation automatique a été introduit, il s'agit d'une approche unique proposée par le Fraunhofer et visant à automatiser la préparation du produit dans les ateliers de peinture en générant automatiquement des trajectoires de robots et des conditions de processus garantissant la couverture en peinture souhaitée. L'approche combine une technologie de simulation de pointe, un contrôle de qualité en ligne grâce à une nouvelle technologie de mesure de l'épaisseur en térahertz et une technologie de traitement de surface. Les avantages de cette approche sont un temps de préparation du produit réduit, une qualité accrue et une consommation réduite de matériau et d'énergie. La peinture d'un garde-boue de tracteur a été utilisée pour démontrer l'approche. Les travaux futurs consisteront notamment à affiner les différentes technologies et à établir des interfaces robustes pour gérer l'échange de données entre les modules. Un prototype physique sera également construit à des fins de démonstration. La configuration en nuage facilite la portabilité du système. L'automatisation des petites séries sera facilitée et la peinture manuelle pourra donc être remplacée dans une plus large mesure par des solutions robotisées.



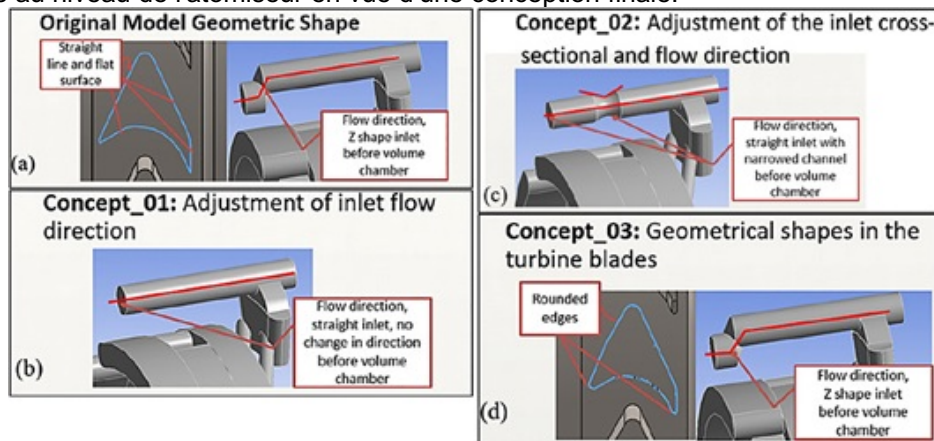
a) Terahertz thickness measurement system with a sensor-controlled external measurement head.
 b) Measurements of particle size distribution from an Electrostatic Rotary Bell Sprayer using laser diffraction.
 c) A digital twin of the laboratory setup with two fenders on the rack was built-up in the IPS Virtual Paint software.

Conception et analyse CFD d'une buse de projection de peinture sur palier pneumatique (CFD-based design and analysis of air-bearing-supported paint spray spindle)

Ali Khaghani, Kai Cheng - Brunel University London, UK

Nanotechnology and Precision Engineering, Volume 1, Issue 4, December 2018, Pages 226-235

Une approche scientifique analytique est présentée pour la conception et l'analyse d'une buse de pulvérisation de peinture entraînée par une turbine à air. Elle est utilisée pour améliorer le concept existant. La buse actuelle, disponible sur le marché, a une vitesse maximale de 100 000 tr/min. Les exigences croissantes (qualité/productivité) du secteur automobile nécessitent de concevoir et de développer une buse de pulvérisation susceptible de tourner à une vitesse de 145 000 tr/min ou plus. Une simulation basée sur la dynamique des fluides computationnelle (CFD) a été appliquée dans une approche englobant la pression d'alimentation en air, la vitesse de rotation de la turbine, ainsi que les réactions (couple/force) sur les aubes de turbine. Les résultats montrent que la pression et la vitesse de l'air alimentant la turbine sont des facteurs déterminants pour la stabilité de la rotation de la turbine. La forme géométrique des aubes a également été étudiée car elle influence grandement la pression d'air tangentielle à la surface des aubes et augmente relativement l'amplitude couple/force latéral. Trois types de géométries ont été proposés. Des recherches futures se concentreront sur l'étude de la force motrice et de la mesure du couple au niveau de l'atomiseur en vue d'une conception finale.



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

Ariane V. Zmozinski, Rafael S. Peres - Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 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

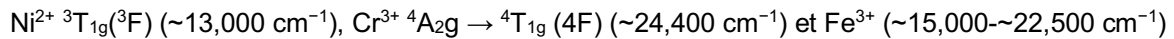
Les tanins végétaux sont des polyphénols naturels, non toxiques et hydrosolubles, présents dans les racines, les branches, les feuilles, les fleurs, les fruits et les graines de divers arbres. Ils peuvent éliminer la rouille et empêcher la corrosion. La solubilité élevée des tanins dans l'eau pouvant nuire en anticorrosion, une réduction de la solubilité est nécessaire. Dans ce travail, deux pigments anticorrosifs à base de tanin ont été synthétisés par réaction du tanin noir de l'acacia avec des sels de zinc et de magnésium pour former respectivement du tannate de zinc et du tannate de magnésium. La synthèse pigmentaire a été vérifiée 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 à la corrosion a été évaluée par spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) et tests au brouillard salin. Des tests de corrosion ont montré que le tannate de zinc était un excellent pigment anticorrosion dans un milieu salin neutre, ce qui en fait une option écologique pour les revêtements anticorrosifs.

GESTION / VALORISATION DES DECHETS

Valorisation des déchets : synthèse de pigments céramiques à partir de boues rouges et boues de galvanoplastie (Synthesis of ceramic pigments from industrial wastes: Red mud and electroplating sludge)

J. Carneiro, D. M. Tobaldi - University of Aveiro, CICECO, PT
Waste Management, Volume 80, October 2018, Pages 371-378

Le management des déchets industriels a évolué au cours des dernières décennies. D'un problème économique et environnemental important, ils sont passés à une potentielle matière première. Dans ce travail, la synthèse d'un pigment stable a été réalisée en combinant deux déchets dangereux : les boues rouges (RM) riches en Fe et les effluents de galvanoplastie (ES) riches en Ni/Cr. Les déchets ont été mélangés dans différentes proportions et calcinés à 1200°C. Des pigments noirs et bruns ont été obtenus à partir du mélange RM/ES dans des proportions pondérales de 1:3 et 1:1 respectivement. La couleur des pigments est due aux spinelles chrome-fer-nickel, basées sur les transitions :

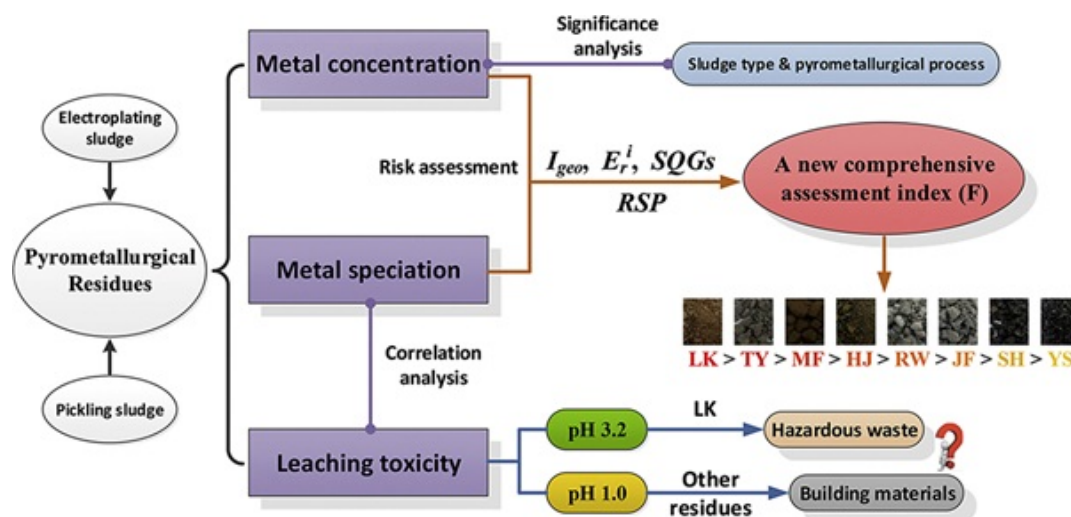


La coloration et la stabilité thermique obtenues sur divers émaux céramiques de tels pigments synthétisés à partir de déchets industriels offrent une excellente alternative aux produits commerciaux.

Évaluation des risques pour l'environnement liés aux résidus pyrométallurgiques provenant des boues de traitements de surface (électrodéposition et de décapage) (Environmental risk assessment of pyrometallurgical residues derived from electroplating and pickling sludges)

Cailing Zhou, Shifu Ge - Southeast University, Nanjing; Solid Waste Supervision and Administration Center of Jiangsu Province, Nanjing, CN
Journal of Cleaner Production, Volume 177, 10 March 2018, Pages 699-707

Les résidus pyrométallurgiques provenant de l'élimination des boues des industries de traitements de surface : électrodéposition et décapage (REPS), y compris les boues de cuivre (RCS), sont souvent recyclés en tant que matériaux de construction en Chine. Bien qu'il soit très important d'évaluer le risque environnemental lié à ces résidus, peu d'études ont été réalisées. Dans ce travail, les REPS et les RCS ont été analysés sous différents aspects : spéciation des métaux, concentration, toxicité par lessivage et évaluation des risques (I_{geo} , PER, RSP et SQGs). L'analyse PER a montré que les blocs frittés et les résidus incinérés contenaient plus de métaux potentiellement toxiques (PTM) que le laitier. Une analyse a conduit les auteurs à estimer que la concentration en Cu dans les résidus pyrométallurgiques était étroitement liée au type de boue et au processus de traitement de surface alors que les concentrations en chrome (Cr) et nickel (Ni) étaient principalement liées au processus d'élimination. Les concentrations des autres PTM ne seraient pas corrélées avec le type de boue ou le processus de traitement. Les analyses de toxicité par lessivage ont indiqué que les résidus d'incinération étaient des déchets dangereux selon la norme chinoise et que les matériaux de construction fabriqués à partir de tels résidus ne seraient pas qualifiés pour les environnements extrêmes. De plus, les analyses ont révélé la spéciation et la concentration du Cu et du cadmium (Cd) étaient inversement proportionnelles à la toxicité, et que la spéciation résiduelle n'était pas le seul facteur déterminant la stabilité du métal. Ainsi, une nouvelle valeur d'évaluation globale relative (F), combinant la concentration en métal et la spéciation, a été introduite pour évaluer le risque environnemental des résidus pyrométallurgiques. Cette nouvelle valeur F serait plus fiable que les résultats des évaluations existantes : I_{geo} , PER, RSP et SQGs. Un tel indice indique que les résidus pyrométallurgiques issus des procédés d'incinération et d'élimination par frittage présentent un risque environnemental très élevé.



Propriétés de surface de l'oxyde de titane recyclé récupéré à partir de déchets de peinture (Surface properties of recycled titanium oxide recovered from paint waste)

Mikael C. F. Karlsson, Zareen Abbas - Chalmers University of Technology; University of Gothenburg; RISE Research Institutes of Sweden, SE; AkzoNobel Decorative Paints, UK
Progress in Organic Coatings, Volume 125, December 2018, Pages 279-286

Un pigment rutil revêtu d'oxyde d'aluminium a été extrait d'une matrice de peinture au moyen d'un processus de recyclage thermique. L'objectif était d'étudier l'effet du processus de recyclage sur les propriétés de surface du pigment. Le pigment a été analysé par diffraction aux rayons X (XRD), mesures de surface (BET), diffraction laser pour analyse granulométrique et spectroscopie photoélectronique par rayons X (XPS) avant et après le processus de recyclage. Des études sur le potentiel zêta et la charge de surface ont également été effectuées. Il a été conclu que le noyau cristallin du matériau rutil et le revêtement d'oxyde d'aluminium du pigment étaient encore intacts après le processus de recyclage. La principale différence marquante concerne la charge de surface avant et après le processus de recyclage. La distribution granulométrique du pigment recyclé est légèrement plus étendue que celle du pigment vierge. La magnitude mesurée en potentiel zêta du pigment recyclé est inférieure à celle du pigment vierge. On pense que cette différence est causée par une modification de la concentration d'hydroxyle en surface. Les titrages de charge de surface ont montré des différences entre le pigment vierge et le pigment recyclé en pH alcalin et à faible concentration en sel. À des concentrations de sel plus élevées (NaCl 100 mM), la différence de charge de surface des deux échantillons est négligeable. Globalement, le processus de recyclage a des effets mineurs sur le pigment recyclé. Les propriétés de surface entre le pigment vierge et le pigment recyclé semblent très similaires. Cela montre que la calcination est un bon moyen de recyclage des pigments. Cependant, la présence de sels, ainsi que le changement de l'état d'hydroxylation de la surface, suggèrent que le pigment aurait besoin d'une purification et d'un prétraitement supplémentaires avant d'être introduit en remplacement du pigment vierge.

Élimination des peintures alkydes : liquides ioniques vs VOC (Alkyd paint removal: Ionic liquid vs volatile organic compound)

Ariyanti Sarwono, Zakaria Man - Centre of Research in Ionic Liquids (CORIL), Universiti Teknologi PETRONAS (UTP), Perak, MY; COMSATS Institute of Information Technology, Lahore, PK; University of Science and Technology, Bannu, PK; Balochistan University of IT, Quetta, PK
Progress in Organic Coatings, Volume 122, September 2018, Pages 79-87

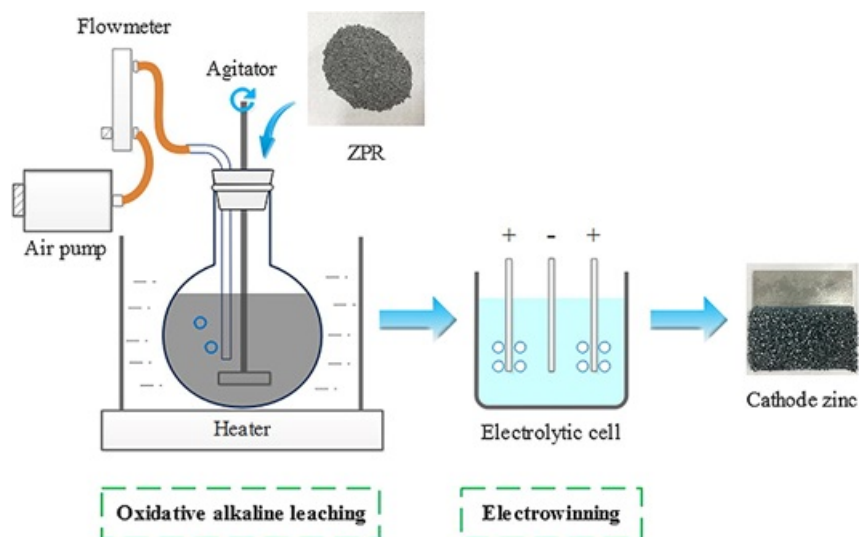
L'évolution vers une technologie plus sûre pour enlever la peinture d'un substrat nécessite de passer de composés organiques volatils dangereux à d'autres solvants plus écologiques. Les liquides ioniques (IL) ont été considérés comme des solvants relativement verts et utilisés dans de nombreuses applications. Ce travail se concentre sur l'étude de cinq IL à base d'imidazolium en tant que solvants alternatifs écologiques pour l'élimination de peintures alkydes. L'effet de divers anions tels que le dicyanamide [DCA], le bis (trifluorométhanesulfonyl) imide [NTf₂], l'hydrogénosulfate [HSO₄], l'acétate [OAc] et le chlorure [Cl] a été étudié. Pour l'analyse comparative et la comparaison, trois solvants organiques volatils tels que le toluène, l'acétonitrile et l'éthanol ont été utilisés. Les images microscopiques ont montré que l'anion [DCA] avait un impact significatif sur l'élimination de l'alkyde. En outre, [Bmim] [DCA] présente le pourcentage de « gonflement » le plus élevé, soit 23%. La viscosité, la taille de l'anion et les interactions peinture alkyde-IL jouent un rôle important dans l'efficacité de l'élimination. Le temps d'immersion prolongé dans [Bmim] [DCA] diminue la force d'adhérence jusqu'à 83,3% et favorise ensuite le détachement de la peinture du substrat. Les résultats expérimentaux (conduits uniquement sur substrat bois) démontrent une application prometteuse de l'IL comme solvant vert pour l'élimination de la peinture.

Procédé simple et efficace de recyclage des résidus de peintures riches en zinc (A simple and effective process for recycling zinc-rich paint residue)

Peng Xing, Baozhong Ma - University of Science and Technology Beijing, CN
Waste Management, Volume 76, June 2018, Pages 234-241

L'industrie et des infrastructures maritimes sont de grandes consommatrices de peintures riches en zinc (ZP) pour la protection des structures en acier contre la corrosion. En conséquence, leur utilisation génère une quantité croissante de résidus de peinture riches en zinc (ZPR). Le ZPR est classé comme déchet dangereux dans la plupart des pays industrialisés, mais il contient des quantités considérables de composés organiques à haut pouvoir calorifique et d'espèces de zinc potentiellement recyclables. La plupart des ZPR générés ne sont pas correctement traités et cette étude présente un processus simple et efficace pour le recyclage de ces derniers. Le zinc présent dans le ZPR est récupéré par voie hydrométallurgique au travers d'une lixiviation alcaline oxydative et d'une électrolyse. Les résultats ont montré que le rapport de lixiviation du zinc était supérieur à 98% à 95°C, dans une concentration de NaOH de 250 g/L, avec un rapport liquide/solide de 10:1, un débit d'air de 0,6 L/min et un temps de lixiviation de 1,5 h. La concentration minimale appropriée de zinc pour l'extraction par voie électrolytique a été établie à 10 g/L. L'ajout de 50 mg/L de gélatine à l'électrolyte permet de considérablement affiner le grain et la densité de courant optimale a été estimée à 200A/m². Parallèlement, il a été remarqué que l'introduction d'air facilitait considérablement la lixiviation. Des poudres de zinc d'une pureté de 99,8% ont été obtenues. Un rendement important (92,7%) a été relevé avec une consommation d'énergie de 2330,3 kWh par tonne de zinc produite. La composition et l'analyse thermique du résidu de lixiviation suggèrent que le traitement simultané dans

un four à ciment peut convenir à l'élimination du résidu de lixiviation des ZPR. Les résultats expérimentaux montrent que le procédé proposé est prometteur pour le recyclage des résidus de peinture riches en zinc.



AGENDA

16 mai 2019 – Section France-Nord/Belgique - FAMARS

LES BASES DE CHOIX DU TRAITEMENT THERMIQUE – Fondamentaux et applications

En savoir + : [Programme + bulletin d'inscription](#)

5-7 juin 2019 - BARDOLINO – Italy

ECHT 2019

Heat Treatment & Surface Engineering for Automotive

En savoir + : [Call for papers](#)

10-11 octobre 2019 – ALBI

MOULES & OUTILS 2019

Organisé par A3TS / CEM / ICA – IMT MINES ALBI

En savoir + : [Appel à conférences et dépôt de proposition de conférences en ligne](#)

10 octobre - Section Est-Alsace – DOLE

Hygiène et sécurité dans les ateliers de traitement thermique et de surface

En savoir + : [prochainement...](#)

7 et 8 novembre 2019 – CITE DES CONGRES DE NANTES

ETATS GÉNÉRAUX DES TECHNOLOGIES SANS CHROME VI

Comment concilier performances, innovations et réglementations dans les traitements de surfaces et peintures : Alliage Léger et Acier

En savoir + : [Appel à conférences et dépôt de proposition de conférences en ligne](#)

Jeudi 21 novembre 2019 – ENSIL LIMOGES

Cuivre 2019

[Appel à conférences et dépôt de propositions de conférences en ligne](#)

10 et 11 décembre 2019 - METZ CONGRES

Traitements et parachèvements des pièces métalliques issues de fabrication additive

/ Treatments and finishing of metallic parts produced by additive manufacturing

En savoir + : [prochainement](#)

25-27 mars 2020 - Organized by A3TS / VWT - ANVERS – Belgique

ECHT 2020

Carburizing, Carbo-nitriding and C-based Surface Engineering Including Opportunities for Industrie 4.0

En savoir plus: 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 - Email : a3ts@a3ts.org