



EDITO

Par Frédéric RAULIN

Dans ce nouveau contexte industriel où il faut rester négatif (à la Covid-19) pour être positif, il est difficile de trouver sa voie. Nos sensibilités à envisager l'avenir sont perturbées et nous allons avoir besoin d'échanger pour ajuster nos perceptions. L'on constate que la demande d'un avenir plus écoresponsable devient une priorité.

Les ruptures technologiques des prochaines années demanderont une grande réactivité de nos industries, afin de mettre en phase les calendriers réglementaires et environnementaux avec celui des grands projets industriels pour y répondre. La communication industrielle sera un outil important pour l'organisation de nos métiers afin d'avancer rapidement ensemble vers des objectifs communs.

L'un des rendez-vous organisés par l'A3TS en 2022 seront les États généraux des Technologies sans Chrome VI les 30 et 31 mars 2022 à La Maison de la Mécanique à Courbevoie (92).

Les échéances des autorisations Reach pour les usages des sels de chrome hexavalent arrivent à terme en septembre 2024. Pour leur 7^{ème} édition, les États généraux de l'A3TS traiteront du niveau d'avancement des technologies alternatives au Chrome VI, avec, pour cibles majeures, les traitements des alliages légers et des aciers revêtus.

Les applications concernées sont le traitement des pièces en aluminium, la conversion des revêtements de cadmium, de zinc et de zinc allié, la métallisation des matières plastiques et la substitution des procédés de chromage hexavalent pour les applications décoratives et fonctionnelles.

Les acteurs institutionnels de nos professions décriront le chemin parcouru depuis septembre 2017, en faisant un point de situation le plus complet possible. Ils donneront leur vision à la date du congrès sur l'avenir des autorisations, en proposant des jalons pour baliser le chemin jusqu'à septembre 2024 et au-delà.

Ce sera aussi l'occasion, pour les industriels confrontés à cette mutation, de nous faire un retour d'expérience sur la montée en maturité des technologies de substitutions. Les centres de recherche et de transfert communiqueront également des informations sur les solutions les plus récentes.

Cette année verra également l'extension de nos débats à la métallisation des matières plastiques, procédés générant des flux importants de pièces, qui sont aussi très fortement impactés par ces autorisations. La parole sera donnée aux donneurs d'ordre afin de connaître le calendrier, leur perception sur le déploiement des nouvelles technologies et l'arrêt des procédés utilisant du Chrome VI.

Nous aurons plaisir à nous retrouver en présentiel et à prendre le temps, dans la foulée des conférences ou lors des pauses, d'échanger dans l'ambiance que l'A3TS a toujours su créer pour vous et pour vos entreprises.

Nous espérons vous revoir nombreux pour aborder ces échéances qui nous attendent.

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	Efficience améliorée	Propriétés améliorées	Applications améliorées
Revêtements chimiques	Activation HF de revêtements Ni-P sur Mg	Revêtements composites NiP polyalliés: tribologie (W, TiO ₂), anticorrosion (Cu)	
Revêtements électrolytiques		Revêtements à gradient fonctionnel (mécanique, thermique, électrique, tribologique)	Barrière thermo-swing PEO pour réduction des pertes de chaleur de pistons Al de moteurs à combustion
Liquides ioniques, sol-gel		Revêtements sol-gel hybrides anti-corrosion sur AA2024-T3 anodisé	Revêtements sol-gel Ta ₂ O ₅ et Ta ₂ O ₅ -Mg sur Ti-6Al-4V pour réponse biologique d'implants titane
Traitements thermiques/thermochimiques		Revêtements laser en alliages à haute entropie (rapport résistance / poids considérablement supérieur)	Texturation laser SLM + nitruration sur Ti-6Al-4V pour augmentation de cellules anti-inflammatoires
DLC/dépôts sous vide	Croissance de h-BN CVD de haute qualité et de grande surface sur acier inox	Couche intermédiaire MoSi et couche supérieure Si de protection contre l'oxydation sur un alliage Mo-9Si-8B	Revêtements durs PVD intelligents sur aciers à outil X37CrMoV5-1 (capteurs de température sur outils)
Projection thermique	Refusion laser d'un revêtement WC-CoCr HVOF	Influence de la méthode de projection plasma sur les propriétés physiques de revêtements YSZ	Revêtement Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ par projection plasma sur implant CoCrMo SLM pour performances tribologiques
Traitement des alliages légers	Aluminium anodisé nanoporeux revêtu d'un film céramique SiCN	Pulvérisation magnétron + oxydation sur magnésium AZ31 pour résistance à la corrosion et à l'usure	
Peintures	Revêtements de nanomatériaux organiques et inorganiques contre la croissance microbienne	Comportement en déformation de tôle prélaquée (résine époxy-polyester+ polyester modifiée Si)	Structures navales peintes assemblées par un adhésif sensible à la pression (zones non structurales)
Fabrication additive	Revêtement PEO d'Al ₂ O ₃ sur AISi10Mg SLM obtenu par fusion sélective laser	Revêtement en acier inoxydable riche en chrome par déposition laser à très grande vitesse (EHLMD), très résistant à la corrosion	Cold Spray sur FA polymère, pour galvanoplastie, ostéointégration, anti-salissure, antivirus
Traitements des effluents	Membranes polyéthersulfone/nanotube de carbone/alcool polyvinylique pour le traitement des eaux industrielles	Élimination des métaux lourds dans les eaux usées par des structures Sn(HPO ₄) ₂ sub-10 nm bioinspirées	

Publications

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

REVÊTEMENTS CHIMIQUES

Effet de différents additifs sur un dépôt chimique nickel-phosphore : caractérisation et résistance à la corrosion (testée dans du chlorure de sodium à 3% en masse) (Effect of additives on nickel-phosphorus deposition obtained by electroless plating: Characterization and corrosion resistance in 3%(mass) sodium chloride medium)

N. M'hanni (a), T. Anik (b) – (a) *Advanced Materials and Process Engineering Laboratory, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, BP 133, 14 000 Kenitra, Morocco* ; (b) *Regional Center for Education and Training Professions (CRMEF), Kenitra, Morocco*

Chinese Journal of Chemical Engineering, 20 April 2021

Des revêtements chimiques Ni-P ont été réalisés sur de l'acier doux. Les effets de trois dérivés du calix[4]arène (4 unités phénols) :

- le tétraméthyl ester-P-tertbutyl calix[4]arène (Calix1),
- le tétra acide-P-tertbutyl calix[4]arène (Calix2),
- le tétraméthyl ester P-tert-butyl-thicalix[4]arène (Calix3)

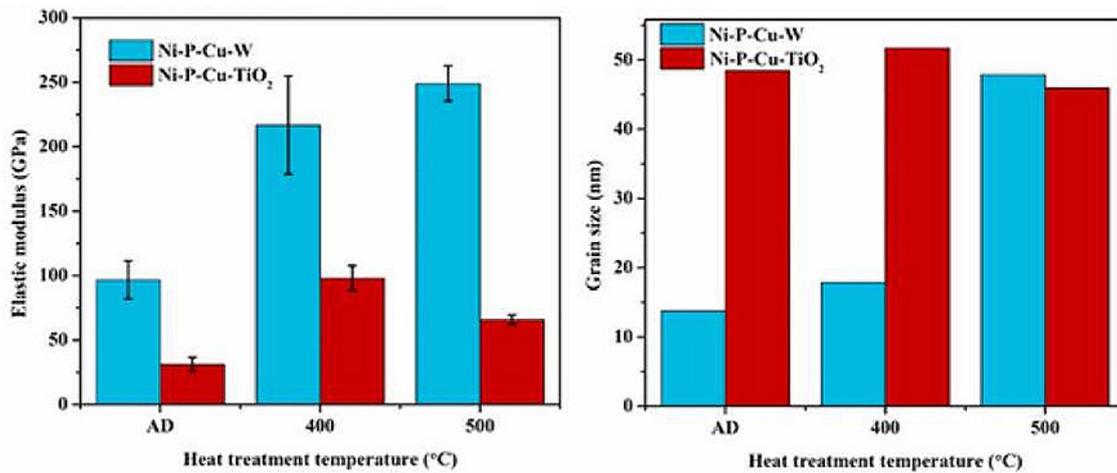
sur la vitesse de dépôt, la composition du dépôt et la morphologie de surface ont été étudiés. L'étude des mécanismes de croissance permet de fournir des informations utiles sur les propriétés de surface du dépôt. Il s'avère que ces additifs modifient la vitesse de déposition et le processus de cristallisation du nickel. En fait, le Calix1 et le Calix3 agissent comme des accélérateurs, tandis que le Calix2 agit comme un inhibiteur pour le nickel chimique. De plus, il est montré que le bain chimique est plus stable avec l'ajout de dérivés de calix[4]arène et les dépôts obtenus sont compacts et adhérents. Il est également observé que la teneur en nickel augmente avec les additifs. Les additifs influencent fortement le processus cathodique et affectent légèrement l'oxydation de l'hypophosphite. Enfin, il a pu être constaté que ces composés améliorent la tenue à la corrosion du revêtement Ni-P sur un substrat acier doux dans une solution de NaCl à 3% en masse.

Caractérisation de revêtements composites/poly-alliés base Ni-P (Characterization of Ni-P based poly-alloy and composite coatings involving nanoindentation and nanoscratch tests)

Supriyo Roy, Bal Mukund Mishra - *Department of Mechanical Engineering, Haldia Institute of Technology, Haldia 721657, India*

Materials Today Communications, Volume 29, December 2021

Les revêtements composites/alliés incorporant du tungstène et du dioxyde de titane sont habituellement utilisés dans les applications tribologiques. Au contraire, les revêtements incorporant des alliages de cuivre sont préférables pour les applications anticorrosion. Ainsi, dans le but de développer des revêtements poly-alliés et composites sur acier pour des applications tribologiques, deux revêtements quaternaires différents, à savoir Ni-P-Cu-W (poly-alliage) et Ni-P-Cu-TiO₂ (composite) ont été synthétisés et étudiés. La dureté et le module d'élasticité des revêtements ont été étudiés par nano-indentation. Ces propriétés sont les principaux indicateurs de la qualité des revêtements et sont également utiles pour la modélisation du frottement et de l'usure à l'échelle micro ou nanométrique. Les propriétés nano-tribologiques de ces revêtements ont été étudiées par des tests nano-scratch. L'impact de la température de recuit sur les propriétés nano-mécaniques et nano-tribologiques de ces revêtements a également été étudié. Les résultats ont révélé que la dureté et le module élastique du revêtement Ni-P-Cu-W ont atteint une valeur maximale de ~10,48 GPa et ~249,07 GPa respectivement après un recuit à 500°C en raison de l'accroissement des grains et de la formation de la phase Ni₃P. Le taux d'usure (~5,00×10⁻¹⁴ m²N⁻¹) et le coefficient de frottement (~0,29) les plus faibles ont été obtenus après un recuit à 500°C. En ce qui concerne le revêtement Ni-P-Cu-TiO₂, la dureté maximale (~0,79 GPa) et le module d'élasticité (~98,05 GPa) ont été obtenus à l'état recuit à 400°C. Le taux d'usure (~2.16×10⁻¹¹ m²N⁻¹) et le coefficient de frottement (~0,08) les plus faibles ont été observés après le recuit à cette température. Dans le revêtement composite, le chauffage à 400°C a provoqué la croissance des grains et la formation d'une phase Ni₃P stable, mais à une température encore plus élevée, elle s'est transformée en phase métastable et ces propriétés se sont détériorées. Globalement, le post-traitement thermique améliore les propriétés de manière plus significative pour les revêtements alliés que pour les revêtements composites.

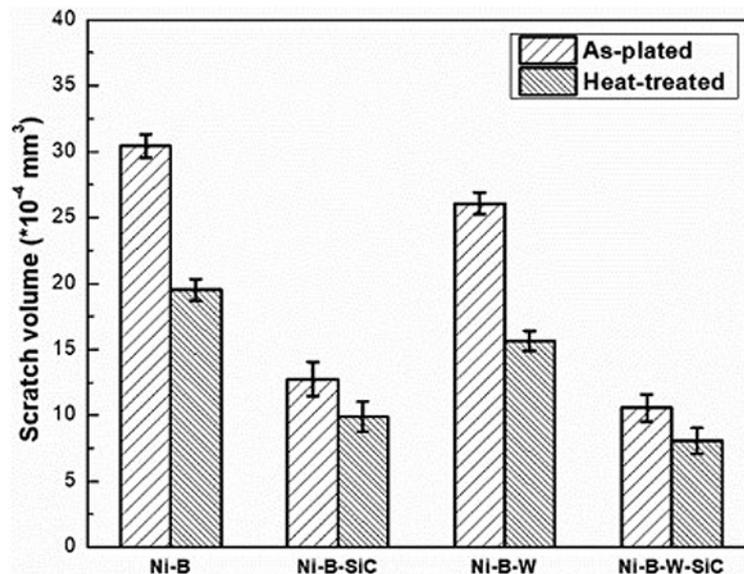


Évaluation de la microstructure et des caractéristiques mécaniques et tribologiques de nouveaux revêtements composites Ni-B-W-SiC chimiques au moyen d'un essai de rayure à plusieurs passages
 (Evaluation of microstructural, mechanical, and tribological characteristics of Ni-B-W-SiC electroless composite coatings involving multi-pass scratch test)

Vaibhav Nemane, Satyajit Chatterjee - Discipline of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Indore, Simrol, Indore 453552, India

Materials Characterization, Volume 180, October 2021

Une étude sur la réalisation et les caractéristiques d'un revêtement composite Ni-B-W-SiC par voie chimique est présentée. Le rôle du tungstène dans la matrice de l'alliage Ni-B-W pour améliorer les performances mécaniques et tribologiques est bien connu. Ici, le composite est formé avec l'incorporation de carbure de silicium dans la matrice Ni-B-W et est systématiquement étudié en référence aux revêtements chimiques Ni-B, Ni-B-W et Ni-B-SiC. De nombreuses analyses (SEM, EDS, XRD...) ont été conduites afin de tirer des conclusions fiables concernant les caractéristiques morphologiques, les compositions et les structures de phase. Les revêtements ont également été soumis à un traitement thermique à 450°C pour des observations supplémentaires. La spectroscopie Raman a été utilisée pour confirmer la présence de particules de SiC dans la matrice des revêtements. Des évaluations tribologiques basées sur les résultats de tests de résistance à la rayure à passages multiples ont permis de mieux comprendre les caractéristiques des revêtements. La présence de carbure de silicium dans les matrices Ni-B et Ni-B-W conduisent à des améliorations notables de la microdureté, de la tenue à la rupture et de la résistance à la rayure. Ces propriétés s'améliorent encore avec le traitement thermique en raison de la formation de phases de borure de nickel plus dures Ni₃B et Ni₂B dans les matrices. Le revêtement Ni-B-W-SiC traité thermiquement s'est révélé supérieur en termes de microdureté moyenne (1141 HV_{0.1}) suivi de près par les revêtements Ni-B-SiC, Ni-B-W et Ni-B. Sous différentes valeurs de charge, le revêtement composite Ni-B-W-SiC traité thermiquement présente des valeurs plus élevées de résistance à la rayure et de tenue à la rupture, respectivement comprises entre 10.59 et 10.92 GPa et entre 4.60 et 4.99 MPam^{0.5}. Ces valeurs sont significativement plus élevées que celles de tous les autres revêtements étudiés ici. De la même manière, le revêtement Ni-B-W-SiC traité thermiquement s'est révélé supérieur en termes de caractéristiques mécaniques et tribologiques.

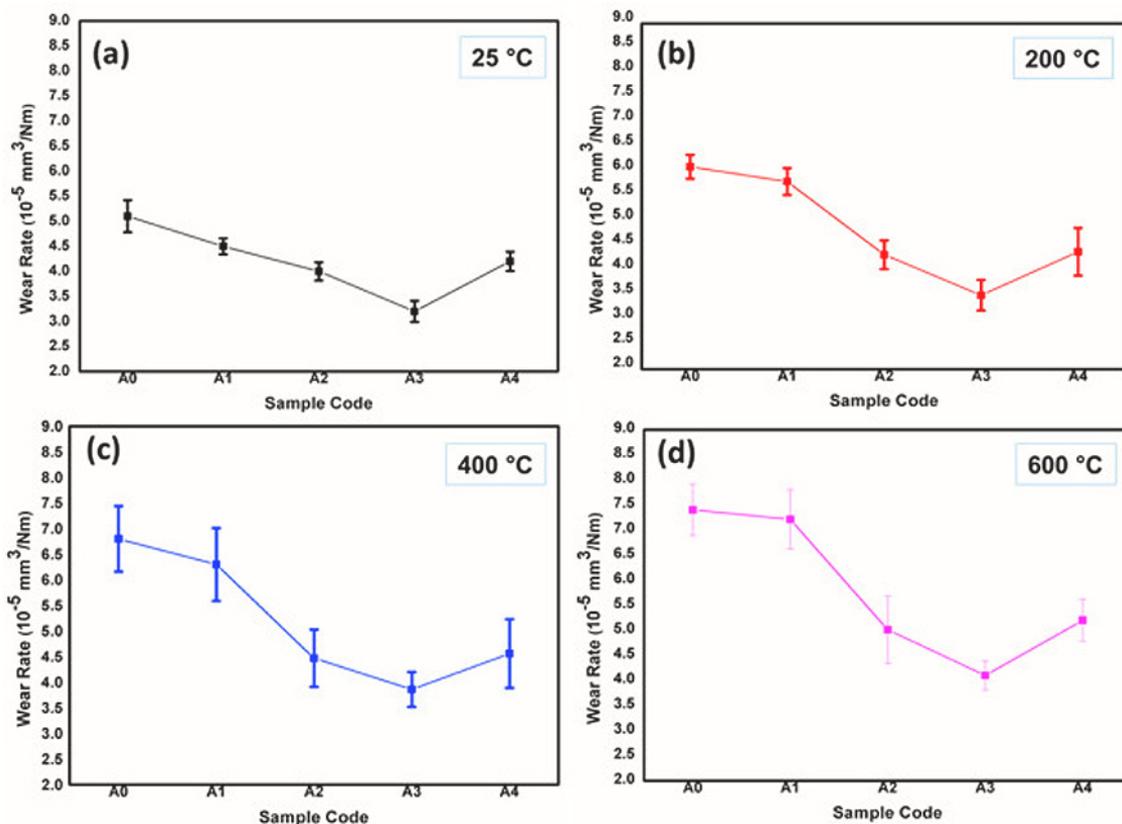


Comportement tribologique à haute température de revêtements chimiques NiB–Al₂O₃ (Evaluation of high temperature tribological behavior of electroless deposited NiB–Al₂O₃ coating)

Şeyma Ürdem, Erhan Duru - Sakarya University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Sakarya, Turkey

Wear, Volumes 482–483, 15 October 2021

Cet étude porte sur le comportement tribologique des revêtements NiB et NiB–Al₂O₃ sur des substrats en acier doux (St-37). Le niveau d'usure en fonction de la température a été utilisée pour évaluer le comportement tribologique des revêtements à haute température. Les effets de la concentration en Al₂O₃, de la configuration des essais d'usure et de la température d'essai sur les mécanismes d'usure prédominants des revêtements ont été discutés en détail. Les tests tribologiques ont été réalisés à 25°C, 200°C, 400°C et 600°C (bille sur disque sous une charge constante de 3 N). Les résultats expérimentaux montrent que le revêtement NiB–Al₂O₃ présentent un taux d'usure plus faible à toutes les températures de test utilisées et que l'ajout de nanoparticules d'Al₂O₃ améliore la résistance à l'usure. Les comportements tribologiques des revêtements ont été confirmés à l'aide d'analyses MEB, spectroscopie EDS et spectroscopie Raman.



Optimisation d'un bain de revêtement Ni-B et effet de la concentration en DMAB sur la dureté et l'usure (Optimization of Ni-B coating bath and effect of DMAB concentration on hardness and wear)

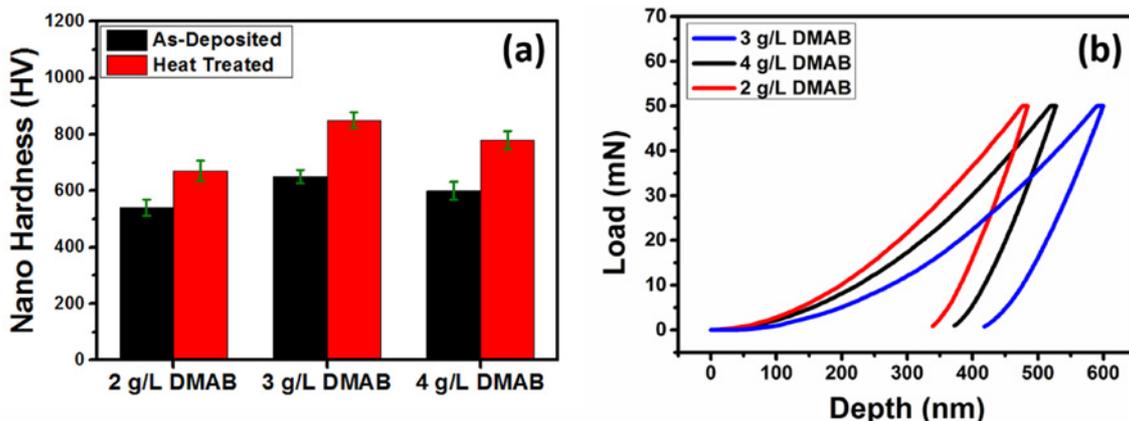
Erhan DURU (a), Fatih DOĞAN (b) - (a) Sakarya University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgy and Materials Engineering, 54187 Sakarya, Turkey ; (b) Sakarya University, Institute of Natural Sciences, Metallurgy and Materials Engineering, 54187 Sakarya, Turkey

Surfaces and Interfaces, Volume 22, February 2021

Dans cette étude, la quantité d'agent réducteur, la quantité de stabilisant, la température et la vitesse d'agitation du bain ont été examinés pour optimiser les revêtements Ni-B chimique. L'effet de la quantité d'agent réducteur sur la dureté et l'usure a également été étudié. Le pH des revêtements Ni-B (bain sans courant pendant 1 h) a été fixé à 6, les composants étant : le chlorure de nickel (NiCl₂.6H₂O), l'acétate de sodium (C₂H₃NaO₂) comme agent complexant, la thiourée comme stabilisateur (CH₄N₂S) et le DMAB (Diméthylamineborane (CH₃)₂NBH₂) comme agent réducteur. Les paramètres du bain ont été modifiés comme suit :

- quantité d'agent réducteur (2 g/L, 3 g/L et 4 g/L),
- température de bain (65°C, 70°C et 75°C),
- quantité de stabilisant (0,5 mg/L, 1 mg/L et 2 mg/L)
- vitesse d'agitation (250, 300 et 350 rpm).

Après avoir déterminé les conditions optimales, les effets de la quantité d'agent réducteur sur le revêtement ont été examinés. Les analyses MEB, XRD, le test de nanodureté Vickers et les mesures tribométriques ont été utilisés pour la caractérisation des revêtements. Dans les études d'optimisation, il a été observé que la morphologie du revêtement était type « chou-fleur » et que des structures colonnaires étaient formées (images en coupe transversale). Selon les résultats de l'optimisation des morphologies, les échantillons compacts et sans fissure ont été étudiés en termes de structure de phase, de dureté et de propriétés tribologiques. L'analyse XRD montre que les revêtements réalisés avec différentes quantités de réducteur (DMAB) sont amorphes, après recuit à 400°C pendant 2 h, des phases de borures de nickel (Ni_2B et Ni_3B) sont formées et augmentent l'orientation préférentielle (111) du plan cristallin. L'effet de la concentration en DMAB sur le revêtement a été examiné dans les conditions de déposition + recuit. La formation de borures de nickel après recuit augmente la dureté. L'effet de la concentration en DMAB sur le revêtement après recuit a été examiné et la quantité optimale se situe à 3 g/L pour une température de bain de 70°C : dureté 850 HV, coefficient de frottement 0,37, taux d'usure $2,92 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$). Ces résultats indiquent que ce type de revêtement peut être utilisé en milieu difficile.

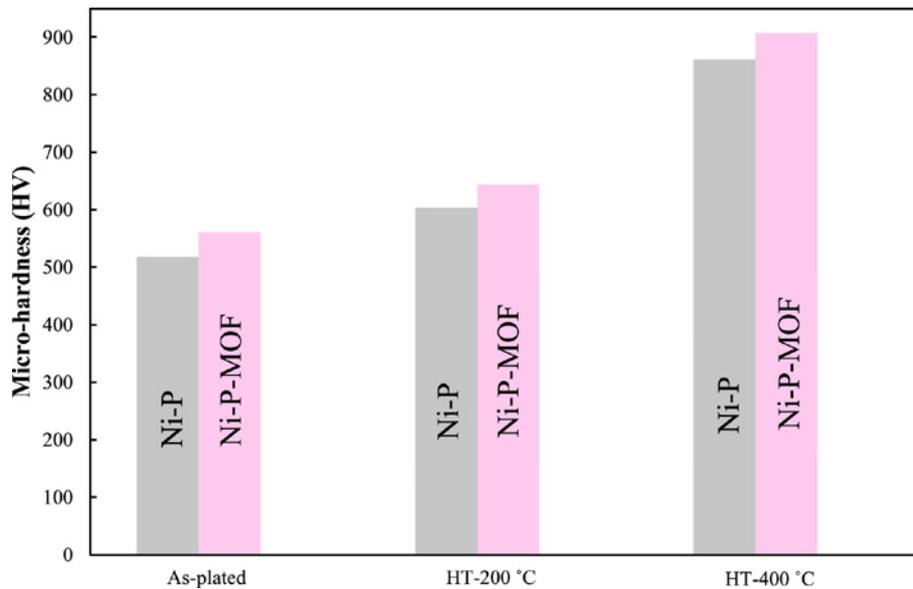


Tenue à la corrosion et propriétés mécaniques d'un revêtement nanocomposite Ni-P-MOF sur alliage de magnésium AM60B (Corrosion protection and mechanical properties of the electroless Ni-P-MOF nanocomposite coating on AM60B magnesium alloy)

Z. Rajabalizadeh, D. Seifzadeh - Applied Chemistry Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil 5619911367, Iran

Journal of Magnesium and Alloys, 7 October 2021

Des nanostructures organométalliques MIL-53 MOF base Al ont été synthétisée par voie hydrothermique puis co-déposée dans un revêtement de nickel chimique sur un alliage de magnésium AM60B en utilisant un prétraitement au Zr comme sous-couche (écologique). Les nanostructures MIL-53(Al) ainsi synthétisées se présentent sous la forme de cristaux semi-cubiques d'une surface de $985,72 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ et de diamètre de pore moyen de 2,00 nm. Bien que les couches adhésives normales et celles contenant des nanostructures aient une structure cristalline-amorphe, le revêtement nanocomposite présente une cristallinité moindre (analyse MEB). La rugosité moyenne de la surface de la couche était d'environ 309 nm et a diminué à environ 222 nm après l'incorporation du MOF. Les analyses XRD ont montré un élargissement du pic caractéristique du Ni après l'incorporation du MOF, probablement en raison de la diminution de la cristallinité. Pour les revêtements normaux et contenant du MOF traités thermiquement à 200°C, aucune transition de phase n'a lieu, mais de nouveaux pics sont apparus pour les revêtements traités thermiquement à 400°C en raison de la cristallisation et de la précipitation de la seconde phase. Les résultats des tests EIS ont montré une augmentation de la résistance de transfert de charge (de 19 à 29 $\text{k}\Omega \text{ cm}^2$) après l'ajout du MOF, ce qui se traduit par une amélioration de la résistance à la corrosion. Les valeurs de micro-dureté du revêtement composite avant et après le traitement thermique sont plus élevées celles du revêtement Ni-P. Enfin, le revêtement Ni-P-MOF présente un taux d'usure plus faible avant et après le traitement thermique en raison de l'amélioration de sa micro-dureté.



Effet de l'initiation d'un dépôt sur les propriétés d'un revêtement Ni-P chimique sur des alliages de magnésium ZK60 et ME20 (Effect of initial deposition behavior on properties of electroless Ni-P coating on ZK60 and ME20 magnesium alloys)

Li FENG, You-wei ZHANG - Beijing Spacecraft, China Academy of Space Technology, Beijing 100194, China
Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 31, Issue 8, August 2021, Pages 2307-2322

La composition des alliages de magnésium est fortement associée à l'initiation des revêtements Ni-P chimiques. Les résultats de cette étude indiquent que les différences de composition des alliages (ZK60 et ME20) influencent de manière significative le processus de dépôt initial, la force d'adhérence, la résistance à la corrosion et la structure cristalline des dépôts. Les précipités dans l'alliage ZK60 ont une activité chimique plus élevée après l'activation HF et impactent la vitesse de déposition initiale du revêtement. Le taux de déposition initial du revêtement sur l'alliage ME20 principalement de la densité du film MgF_2 formé par l'activation HF plutôt que des précipités. En raison des différences dans le processus d'initiation, le revêtement sur l'alliage ZK60 présente une adhérence plus élevée et une meilleure résistance à la corrosion que celui sur l'alliage ME20. Les revêtements sur les alliages ZK60 et ME20 ont principalement des structures cristallines, et le revêtement sur l'alliage ME20 présente également une légère structure microcristalline.

Corrosion potential and corrosion current density of Ni-P coating after plating for different time

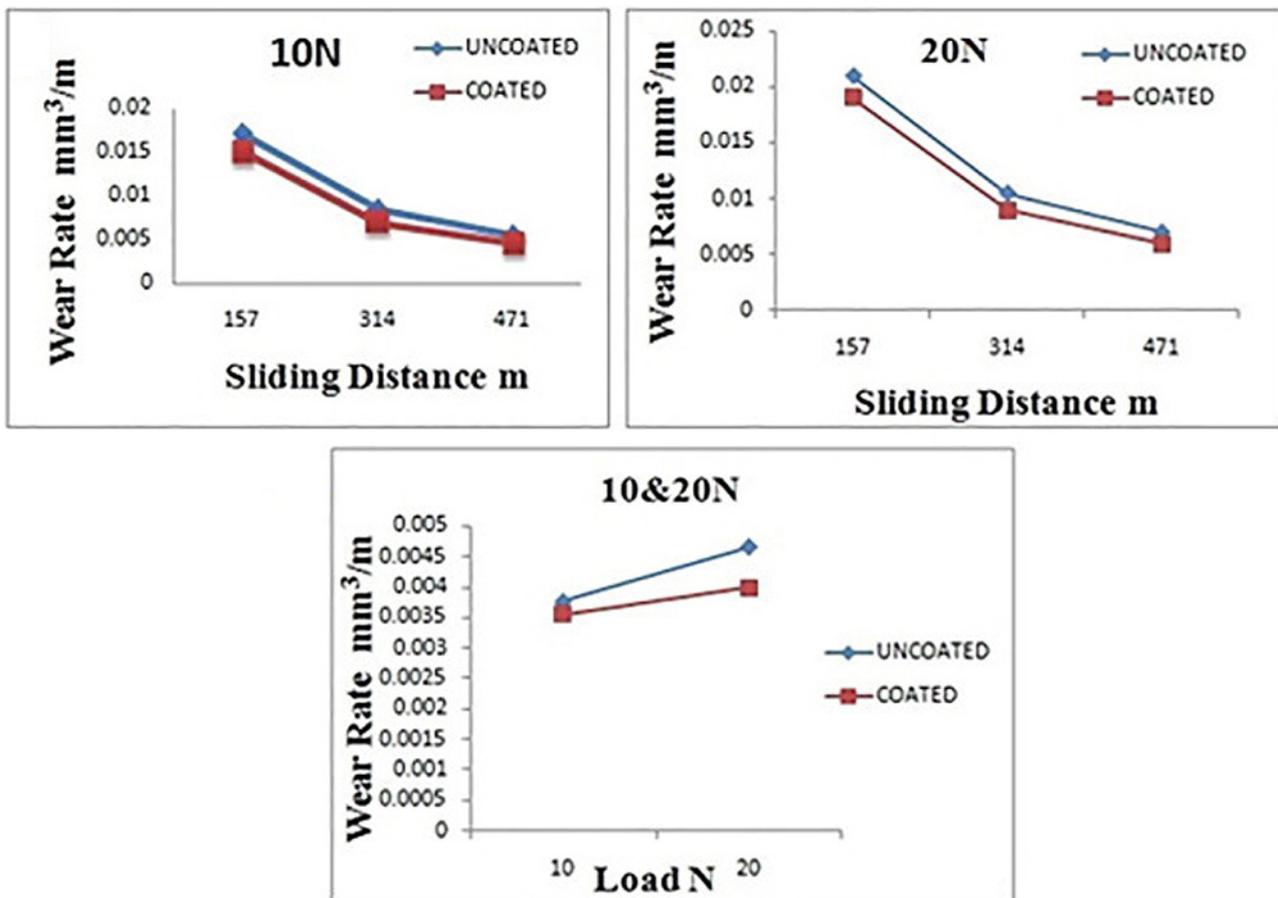
Time/min	ϕ_{corr} (vs SCE)/V		$J_{corr}/(10^{-5}A \cdot cm^{-2})$	
	ME20	ZK60	ME20	ZK60
10	-0.91	-0.86	2.51	1.63
20	-0.87	-0.82	1.67	1.35
30	-0.63	-0.60	0.74	0.68
40	-0.62	-0.48	0.65	0.49
50	-0.53	-0.39	0.56	0.46
60	-0.48	-0.39	0.54	0.37

Nano-revêtement SiC chimique sur alliage d'aluminium : évaluation de la résistance à l'usure et des caractéristiques (Electroless deposition of SiC Nano Coating on Aluminium alloy and evaluation of wear resistance and electroless characteristics)

K. Parthiban (a), Poovazhagan Lakshmanan (b) - (a) Mechanical Engineering, A.K.T Memorial College Of Engineering and Technology, Kallakurichi, Tamilnadu, India ; (b) Mechanical Engineering, Sri Sivasubramaniya Nadar (SSN) College of Engineering, Kalavakkam, Chennai, Tamilnadu, India
Materials Today Proceedings, Volume 46, Part 2, 2021, Pages 1096-1100

Le nickel chimique (ENi-P) et le carbure de silicium (SiC) font partie des principales techniques de revêtement de surface appliquées aujourd'hui dans l'industrie. De nombreuses caractéristiques physiques des revêtements chimiques telles que la dureté, l'uniformité du revêtement, la résistance à l'usure et la résistance à la corrosion les positionnent comme une solution efficace dans de nombreuses applications techniques. Dans cette étude, un tensioactif anionique typique, le Lauryl Sulphate de Sodium (SLS) et divers additifs chimiques passifs et nano-additifs

tels que le SiC ont été ajoutés au bain EN. L'effet des tensioactifs et des nano-additifs sur les propriétés de surface (usure, micro-dureté) et sur la microstructure du revêtement Ni-P/SiC ont été étudié. La microdureté a été mesurée à l'aide d'un appareil d'essai de dureté Vickers, la microstructure a été examinée à l'aide d'un microscope électronique à balayage et l'essai d'usure a été mesuré à l'aide d'une broche sur disque. Les résultats obtenus à partir des tests ci-dessus indiquent clairement que le surfactant et les additifs passifs améliorent la microdureté, la microstructure et le taux d'usure des revêtements ENi-P/SiC de manière significative.



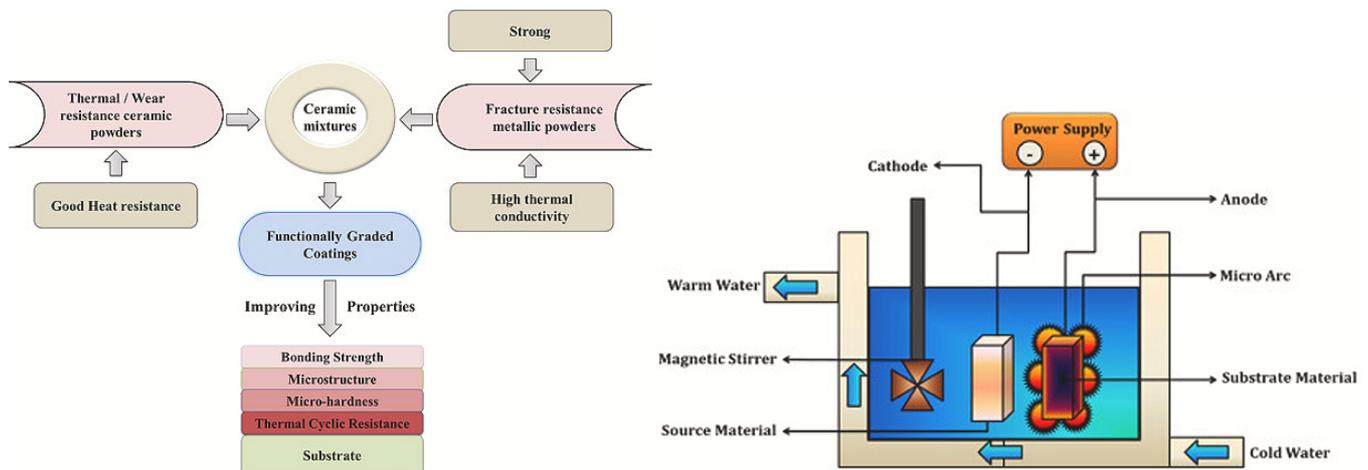
REVÊTEMENTS ELECTROLYTIQUES

Les revêtements à gradient fonctionnel : méthodes, propriétés et défis (A critical review on functionally graded coatings: Methods, properties, and challenges)

M. Sathish, N. Radhika – Department of Mechanical Engineering, Amrita School of Engineering, Amrita Vishwa Vidyapeetham, Coimbatore 641112, India

Composites Part B : Engineering, Volume 225, 15 November 2021

Les revêtements de surface sur substrats métalliques constituent un défi permanent pour les chercheurs en raison des exigences contradictoires des propriétés recherchées. Ces dernières années, en raison de leurs propriétés mécaniques, thermiques, électriques et tribologiques dans de nombreuses applications d'ingénierie avancée, les revêtements à gradient fonctionnel (FGC - Functionally Graded Coatings) sont devenus un objet de fascination pour les chercheurs du monde entier afin d'obtenir des revêtements répondant à des exigences variées. Les revêtements à gradient fonctionnel constituent un nouveau type de composites traditionnels dans lesquels les phases ne sont pas distribuées de manière égale pour former une structure à gradient lisse ; ainsi, les revêtements à gradient ont montré une nouvelle voie de recherche. Cet article examine de manière critique les différentes techniques de traitement des FGC en décrivant les problèmes fondamentaux et le potentiel de ces processus sur la base de la littérature existante. Cet article présente également les applications potentielles les plus importantes et les défis futurs de ce type de revêtements. Les conclusions constituent une ligne directrice qui permet aux personnes intéressées par ce domaine de prendre des décisions éclairées.



Effet du polissage électrolytique plasma sur l'évolution microstructurale et les propriétés en traction de l'acier inoxydable 316L (Effect of electrolytic plasma polishing on microstructural evolution and tensile properties of 316L stainless steel)

Gangqiang Ji (ab), Huanwu Sun (ac) - (a) College of Mechanical and Vehicle Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, PR China ; (b) Engineering Training Center, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, PR China ; (c) National Demonstration Center for Experimental Coal Resource and Mining Equipment Education, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, PR China

Surface and Coatings Technology, Volume 420, 25 August 2021

Le polissage électrolytique au plasma (EPP) est une technique avancée de finition de surface de haute qualité pour les matériaux en métal et en alliage. L'acier inoxydable austénitique 316L (SS) est largement utilisé dans diverses applications industrielles en raison de ses excellentes performances globales. Par conséquent, il est largement étudié pour améliorer ses propriétés par des moyens et méthodes spécifiques et étendre son champ d'application. Dans cet article, l'influence de l'énergie dynamique générée par l'EPP sur l'évolution microstructurale et les propriétés en traction d'un acier inoxydable 316L usiné est étudiée. Une diminution de la rugosité de surface (de 0,103 μm à 0,046 μm), de la taille moyenne des grains (de 5,65 μm à 5,21 μm) et des joints de grains à faible angle (LAGB) est observée, ainsi qu'une augmentation de la densité de dislocation. Après EPP, on constate que l'orientation (101) des grains. La variation du facteur de Schmid (de 0,475 à 0,45) montre une réduction de la déformabilité plastique du matériau. La limite d'élasticité et la résistance à la traction du matériau sont augmentées de 8,98% et 4,32%, approximativement, après le traitement EPP. L'énergie dynamique générée pendant le processus EPP peut induire un effet de cavitation, provoquant : la rupture de l'enveloppe vapeur-gaz, un bombardement plasma à haute énergie et le développement d'une contrainte de recuit à l'intérieur du matériau, ce qui entraîne une évolution microstructurale de l'acier inoxydable 316L. On retiendra globalement que :

- l'EPP n'a aucun effet négatif sur les propriétés de surface tout en réduisant la rugosité de surface de l'acier

inoxydable 316L usiné,

- la taille moyenne des grains de surface est réduite après l'EPP,
- l'EPP peut être une méthode efficace pour améliorer la distribution des joints de grains et la densité des dislocations,
- les propriétés de traction de l'acier sont améliorées,
- l'énergie dynamique pourrait être le facteur principal de l'évolution de la microstructure de surface.

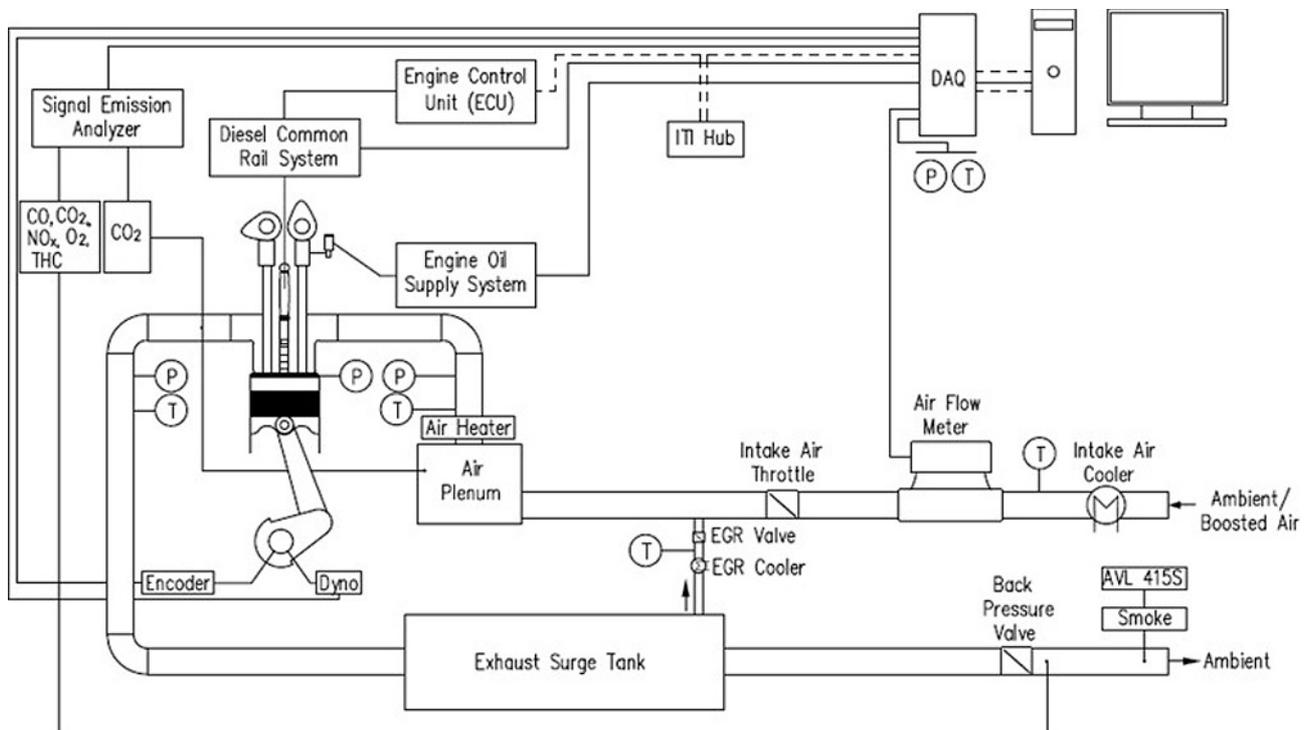
Barrières thermiques réalisées par PEO pour réduire les pertes de chaleur dans les moteurs à combustion

(Plasma electrolytic oxidation thermal barrier coating for reduced heat losses in IC engines)

Abdelrahman Hegab, Kamal Dahuwa - Department of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering, University of Nottingham, Nottingham NG7 2RD, UK

Applied Thermal Engineering, Volume 196, September 2021

Les travaux portent sur le développement et les essais sur moteur d'un nouveau revêtement barrière thermique de type « thermo-swing » pour réduire le transfert de chaleur de la paroi et augmenter le rendement thermique dans les futurs moteurs diesel utilisant des pistons en alliage d'aluminium. De tels revêtements de faible conductivité thermique et de faible capacité thermique, ont récemment été proposés pour réaliser une barrière thermique dynamique qui modifie rapidement la température de la surface supérieure de la couronne du piston en réponse à la température des gaz dans le cylindre. Le nouveau revêtement testé dans cette étude a été obtenu par PEO (oxydation par plasma électrolytique) optimisé, avec une couche supérieure de Si appliquée ensuite pour piéger l'air dans les pores du revêtement. Des mesures laser ont été effectuées pour quantifier les propriétés thermiques du revêtement et fournir les données empiriques nécessaires à une future simulation thermique. Des revêtements de différentes caractéristiques ont été testés dans un moteur diesel monocylindre thermodynamique, instrumenté pour des mesures précises de la pression dans le cylindre, de la consommation de carburant et des émissions en cas de panne du moteur. Le revêtement optimal appliqué a permis d'améliorer le rendement thermique jusqu'à 3%. Le revêtement a réduit le transfert de chaleur pendant la combustion, ce qui a entraîné une augmentation des NOx en sortie de moteur. En retardant légèrement la phase de combustion par rapport à l'optimum, l'augmentation des NOx a pu être atténuée tout en conservant l'essentiel de l'avantage en termes de consommation de carburant et de réduction du transfert de chaleur. Les émissions d'autres polluants (CO, hydrocarbures imbrûlés et suie) ont été moins affectées dans les conditions de charge partielle testées.

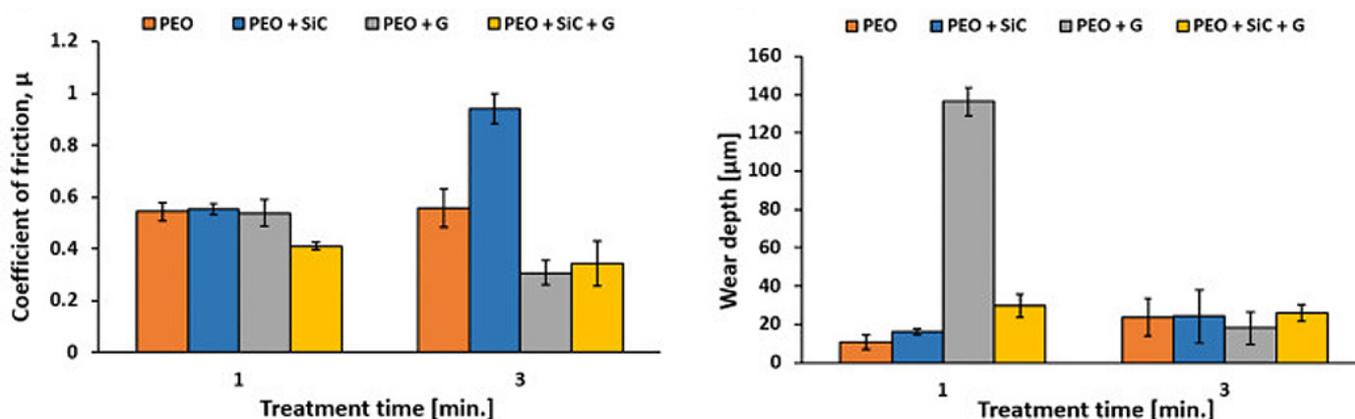


Effet de particules de SiC et de borosilicate sur la corrosion et le comportement tribologique d'un alliage de magnésium AZ91D revêtu par PEO (Effect of SiC and borosilicate glass particles on the corrosion and tribological behavior of AZ91D magnesium alloy after PEO process)

L. Pezzato (a), L. Lorenzetti (b) – (a) Department of Industrial Engineering, University of Padova, Via Marzolo 9, 35131 Padova, Italy ; (b) Department of Industrial Engineering, University of Bologna, Viale del Risorgimento 4, 40136 Bologna, Italy

Surface and Coatings Technology, Volume 428, 25 December 2021

Dans cette étude, des revêtements par oxydation par plasma électrolytique (PEO) ont été réalisés sur un alliage Mg AZ91D, en utilisant comme électrolyte une solution aqueuse contenant à la fois des silicates et des phosphates. Des particules de SiC ou des particules borosilicate ou une combinaison de celles-ci ont été mises en suspension dans l'électrolyte. Les échantillons ont été caractérisés par MEB, XRD et XPS afin d'étudier la morphologie, l'épaisseur, l'adhérence, la structure et la composition des revêtements ainsi que la distribution des particules. Le tenue à la corrosion a été analysée par courbes de polarisation spectroscopie EIS. La résistance à l'usure a été évaluée par frottement à sec par rapport à l'acier à roulement AISI 52100. Les résultats ont montré que des particules de SiC et de borosilicate étaient incorporées dans les couches PEO. Les particules de borosilicate contribuent à améliorer la résistance à la corrosion, tandis que les particules de SiC l'ont diminuée. D'autre part, les particules de SiC ont amélioré la résistance à l'usure entraînant une augmentation du coefficient de frottement. La meilleure combinaison de propriétés a été obtenue avec l'ajout de borosilicates pendant 3 min de traitement. De cette façon, la résistance à la corrosion et à l'usure a été augmentées, en minimisant les effets indésirables des particules de SiC sur la tenue à la corrosion et le coefficient de frottement.



Effets de la force du champ magnétique dans la préparation des revêtements PEO : nouvelle méthode pour améliorer la résistance à la corrosion du magnésium (Effects of magnetic field force in preparation of plasma electrolytic oxidation coatings: A novel method to improve the corrosion resistance of magnesium)

Weikang Xu, Zhidan Liu - Department of Scientific Research, National Engineering Research Center for Healthcare Devices, Guangdong Key Lab of Medical Electronic Instruments and Polymer Material Products, Guangdong Institute of Medical Instruments, Institute of Health Medicine, China

Journal of Alloys and Compounds, Available online 14 November 2021

La porosité des revêtements PEO constitue une limite de cette la technique pour améliorer la résistance à la corrosion du magnésium (Mg) et de ses alliages. Dans cette étude, un double champ magnétique a été ajouté processus et les effets de la force du champ magnétique (MFF) a été analysé notamment dans le processus de formation des particules dans les électrolytes, la croissance du revêtement PEO sur Mg, et la croissance du revêtement à l'étape de l'arc uniquement. Les résultats indiquent que la MFF a grandement amélioré la composition dans les électrolytes, réduisant l'énergie de formation du revêtement PEO en augmentant la conductivité de l'électrolyte, réduisant ainsi la tension de claquage, puis réduisant la porosité (diminuant de 17,52% à 0,58%) et l'angle de contact des revêtements PEO. Par rapport à un PEO non magnétique, la densité de courant de corrosion du groupe MFF est diminuée d'un ordre de grandeur. La porosité plus faible empêcherait l'infiltration du milieu corrosif dans les régions internes du revêtement et ensuite jusqu'au substrat, améliorant ainsi la résistance à la corrosion. Un paramétrage approprié permet donc d'améliorer la morphologie de surface (rugosité et porosité) du revêtement. Les revêtements préparés sous FFM pendant une longue période se dégradent moins que les revêtements non revêtus et les autres revêtements, ce qui les rend plus adaptés aux implants orthopédiques.

Traitements de surface électrolytiques d'alliages de magnésium (Electrochemical Surface Treatments for Mg Alloys)

Raúl Arrabal, Marta Mohedano – Complutense University of Madrid, Madrid, Spain

Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys, Volume 1, 2022, Pages 87-112, 1 September 2021

Cet article décrit les traitements de surface électrochimiques les plus utilisés pour les matériaux à base de Mg. Il s'agit de procédés tels que l'anodisation, l'oxydation par plasma électrolytique, la métallisation, les dépôts électrophorétique et les méthodes électrochimiques assistées. Les aspects tels que le prétraitement de la surface, les principes fondamentaux du processus de dépôt, la performance du revêtement et les applications sont brièvement abordés. Des exemples représentatifs des conditions de traitement et des réactions impliquées sont fournis dans des tableaux.

LIQUIDES IONIQUES / SOL-GEL

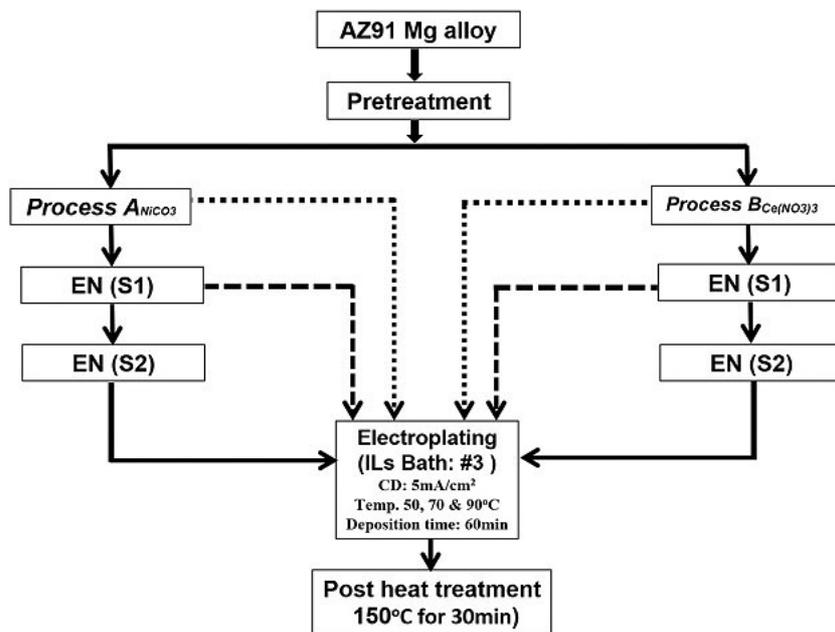
Développement de dépôts de Ni électrolytique anti-corrosion sur un alliage Mg AZ91 utilisant des liquides ioniques eutectiques (Development of corrosion-resistant electroplating on AZ91 Mg alloy by employing air and water-stable eutectic based ionic liquid bath)

Charu Singh, S. K. Tiwari – Academy of Scientific and Innovative Research, CSIR–HRDC Complex, Ghaziabad 201002, India / CSIR-National Metallurgical Laboratory, Jamshedpur 831007, India
Surface and Coatings Technology, Volume 428, 25 December 2021

Les recherches conduites portent sur l'étude de l'électrodéposition de Ni sur un alliage de magnésium AZ91 dans un nouveau liquide ionique eutectique : ChCl-éthylène glycol en utilisant des prétraitements de surface non fluorés et non chromés. Le prétraitement contenant du $Ce(NO_3)_3$ offre de meilleures performances que celui contenant du $NiCO_3$:

- résistance à la corrosion supérieure avec une densité de courant de corrosion $\sim 0,9 \mu A cm^{-2}$, résistance à une exposition au brouillard salin de 10 h sans défaillance,
- charge critique supérieure $\sim 15,53 N$,
- meilleure adhérence.

Ces performances sont à mettre en corrélation avec le taux de porosité et la phase NiP_2 après traitement thermique.



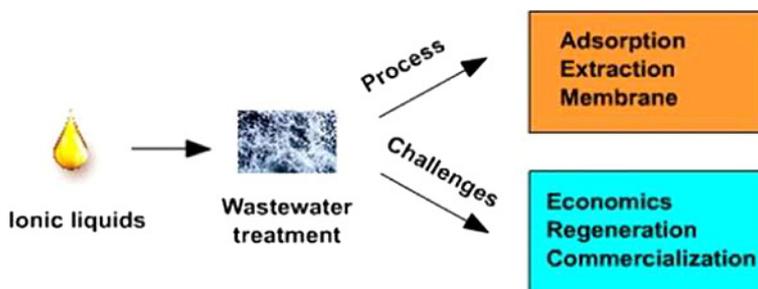
Les liquides ioniques dans le traitement des eaux usées : élimination et dégradation des polluants, récupération des liquides ioniques, économie et perspectives d'avenir (Ionic liquids in wastewater treatment: A review on pollutant removal and degradation, recovery of ionic liquids, economics and future perspectives)

Rangarajan Goutham, Pal Rohit - Department of Chemical Engineering & Applied Chemistry, University of Toronto, Ontario – M5S3E5, Canada

Journal of Molecular Liquids, 22 November 2021

Le traitement des eaux usées à l'aide de liquides ioniques suscite l'intérêt des environnementalistes et des industriels du monde entier. Les paramètres les plus importants qui définissent la stratégie de traitement sont la composition des eaux usées, leur source, leur emplacement géographique, etc. Dans cette étude, les auteurs se sont concentrés sur les colorants, métaux lourds, eaux usées organiques et leur rôle dans la dégradation de l'environnement. De plus, les propriétés des liquides ioniques ont été étudiées pour déterminer leur adéquation au processus de traitement des eaux usées. Les liquides ioniques présentent une densité de 1 à $1,6 g/cm^3$ et une viscosité de 4 à 730 mPa.s respectivement. Les liquides ioniques ont montré une efficacité d'élimination de plus de 90% pour les colorants et les phénoliques. De même, ils ont permis d'éliminer de 90 à 99% des métaux lourds comme le cadmium,

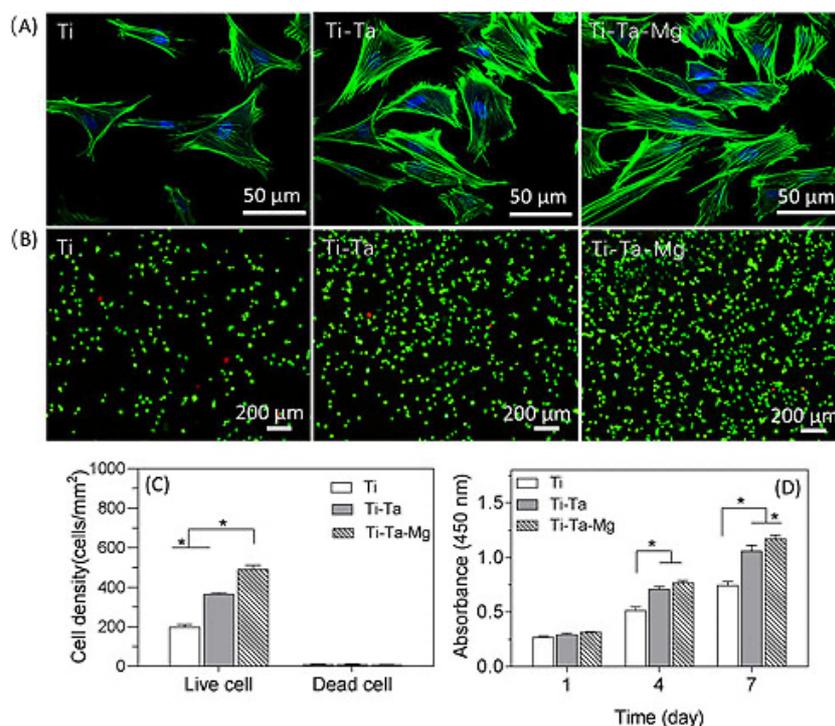
le cuivre et le zinc. Le lavage à base d'hydroxyde de sodium a permis de récupérer 97% des liquides ioniques après le processus d'élimination des polluants. Les liquides ioniques présentent une cinétique de pseudo-second ordre et des mécanismes de type liaison hydrogène, effets hydrophobes, empilement pi et interactions électrostatiques entrent en jeu pendant le processus d'élimination des polluants. Cependant, des mesures visant à réduire le coût global de l'utilisation des liquides ioniques dans le traitement des eaux usées doit encore être exploré pour envisager la commercialisation de la technique.



Revêtements sol-gel Ta₂O₅ et Ta₂O₅-Mg sur Ti6Al4V (Magnesium-incorporated sol-gel Ta₂O₅ coating on Ti6Al4V and in vitro biocompatibility)

Shuo Chen, Chengdong Zhang - Research Institute of Tissue Engineering and Stem Cells, Nanchong Central Hospital, The Second Clinical College of North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637000, China
Surface and Coatings Technology, Volume 426, 25 November 2021

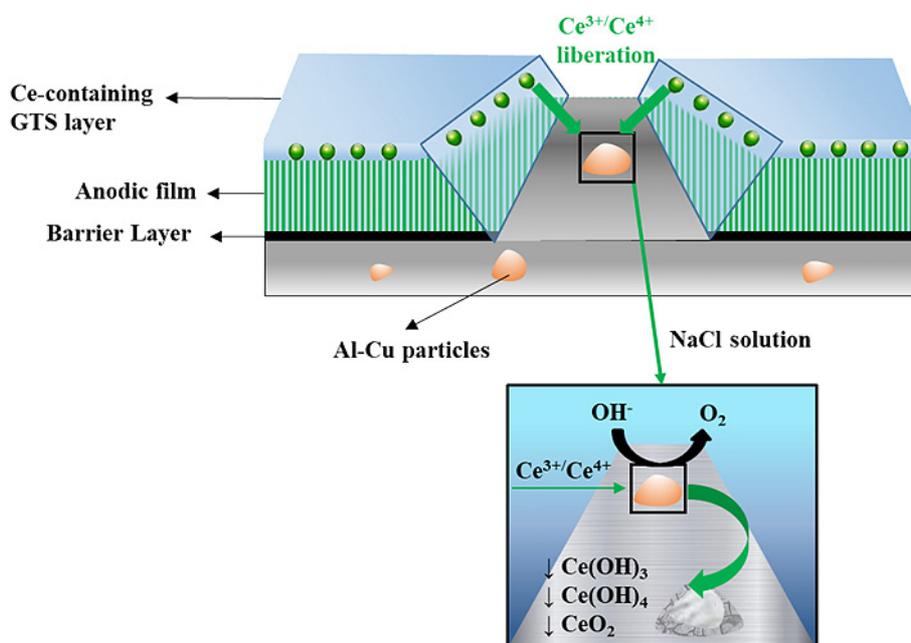
Le tantale (Ta) a été utilisé pour modifier la surface du titane (Ti) en raison de sa réponse biologique supérieure dans certaines situations cliniques particulières comme l'ostéoporose et le diabète ; cependant, les techniques utilisées présentaient des inconvénients techniques. Dans la présente étude, revêtements Ta₂O₅ et Ta₂O₅ avec inclusion de Mg ont été réalisés sur un substrat Ti6Al4V par une méthode sol-gel. Les deux types de revêtements ont été comparés sur des cellules souches mésenchymateuses de moelle osseuse de lapin. Les deux revêtements présentaient une épaisseur inférieure au micromètre et comprenaient des particules de taille nanométrique, le premier étant cristallin tandis que le second est amorphe. Par rapport au Ti6Al4V non revêtu, les deux revêtements ont augmenté la résistance à la corrosion et la mouillabilité. Ils ont amélioré la viabilité, la prolifération et la différenciation ostéoblastique des cellules. En outre, ils ont également augmenté l'expression d'un gène lié à l'angiogenèse (HIF-1α). À l'exception de la vitesse de corrosion, les améliorations les plus importantes ont été observées avec le revêtement de Ta₂O₅ incluant du Mg. Ces améliorations sont probablement dues aux nanostructures et aux éléments libérant du Mg et du Ta des revêtements. Tous les résultats suggèrent que les revêtements à base de Ta₂O₅ sont des outils prometteurs pour améliorer la réponse biologique des implants titane.



Revêtements sol-gel hybrides anti-corrosion sur AA2024-T3 anodisé (Hybrid sol-gel coatings applied on anodized AA2024-T3 for active corrosion protection)

R. del Olmo (a), U. Tiringier (b) - (a) Departamento de Ingeniería Química y de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain ; (b) Delft University of Technology, Department of Materials Science and Engineering, Mekelweg 2, 2628 CD Delft, the Netherlands
Surface and Coatings Technology, Volume 419, 15 August 2021

L'effet de la présence d'un film anodique et d'un revêtement sol-gel hybride chargé d'inhibiteurs de corrosion a été évalué comme stratégie pour améliorer la protection contre la corrosion d'alliage d'aluminium 2024-T3. Dans cette étude, des échantillons d'AA2024-T3 ont été anodisés dans un bain d'acide sulfurique-citrique modifié puis protégés par l'application de revêtements sol-gel hybrides à base de silice. Ces revêtements ont été dopés LiNO_3 et $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ comme inhibiteurs de corrosion et étudiés en comparaison avec le revêtement sol-gel sans inhibiteur en termes de morphologie, de composition et de protection contre la corrosion d'échantillons intacts et rayés. L'AA2024-T3 anodisé avec un revêtement sol-gel sans inhibiteur présente le module d'impédance le plus élevé pendant une immersion à long terme dans des solutions aqueuses de NaCl à $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et à $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. L'ajout de sels à base de Li et de Ce dans la formulation du sol-gel hybride a montré une protection plus efficace contre la corrosion que revêtement sans inhibiteur. Le revêtement sol-gel dopé au Ce a montré moins de corrosion visuelle et une protection active contre la corrosion plus élevée que le revêtement contenant du Li pendant le test d'immersion à long terme dans la solution à $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de NaCl. Les résultats des analyses révèlent que la combinaison des couches anodiques/ sol-gel hybride sur l'alliage AA2024-T3 améliore la protection contre la corrosion. Le mécanisme d'inhibition du Li n'a pas été élucidé en raison des difficultés associées à la détection de cet élément. Dans le cas du Ce, il a été démontré que la protection active contre la corrosion fournie par le revêtement était due à la libération d'espèces Ce^{3+} du revêtement et à la formation ultérieure d'(hydr)oxydes à base de Ce au niveau des défauts du revêtement.



Étude sur le rôle d'un catalyseur acide sur la structure et les propriétés anticorrosion de revêtements hybrides sol-gel sur alliages d'aluminium (An investigation into the Role of the Acid Catalyst on the Structure and Anticorrosion Properties of Hybrid Sol-Gel Coatings)

Maikki Cullen, Alicja Kaworek - School of Chemical and Pharmaceutical Sciences, Technological University Dublin, City Campus, Kevin Street, Dublin 8, Ireland
Thin Solid Films, Volume 729, 1 July 2021

Cet article étudie le rôle du catalyseur acide sur la structure et les performances anticorrosion d'un revêtement sol-gel hybride composé de 3-triméthoxysilylpropylméthacrylate et d'un complexe de zirconium déposé sur un alliage AA2024-T3. Le catalyseur acide HNO_3 varie dans une gamme de pH de 0,3 à 2, la concentration du complexe de zirconium dans la matrice de silicate varie de 10 à 30% (molaire). Les différentes analyses ont permis de démontrer que la concentration du catalyseur acide avait un impact direct sur la cinétique des réactions d'hydrolyse et de condensation et que ces effets pouvaient être contrôlés par la teneur en zirconium. Ces modifications individuelles ou combinées ont un impact direct sur la formation des liaisons Si-O-Zr, et donc sur l'interconnexion entre la matrice de silicate et le complexe de zirconium, ce qui donne lieu à des structures hybrides aux densités modifiées. Pour les matériaux composés de 10 et 20% de complexe de zirconium et lorsque le pH est abaissé, les concentrations relatives des liaisons siloxanes sont augmentées aux dépens des liaisons Si-O-Zr. Lorsque la concentration du complexe de zirconium est portée à 30% et que le pH est augmenté, les liaisons Si-O-Zr sont formées de manière préférentielle par rapport aux liaisons Si-O-Si plus condensées. Les essais de corrosion montrent que les revêtements présentant la plus grande efficacité sont obtenus lorsque l'interconnectivité entre le silicate et le

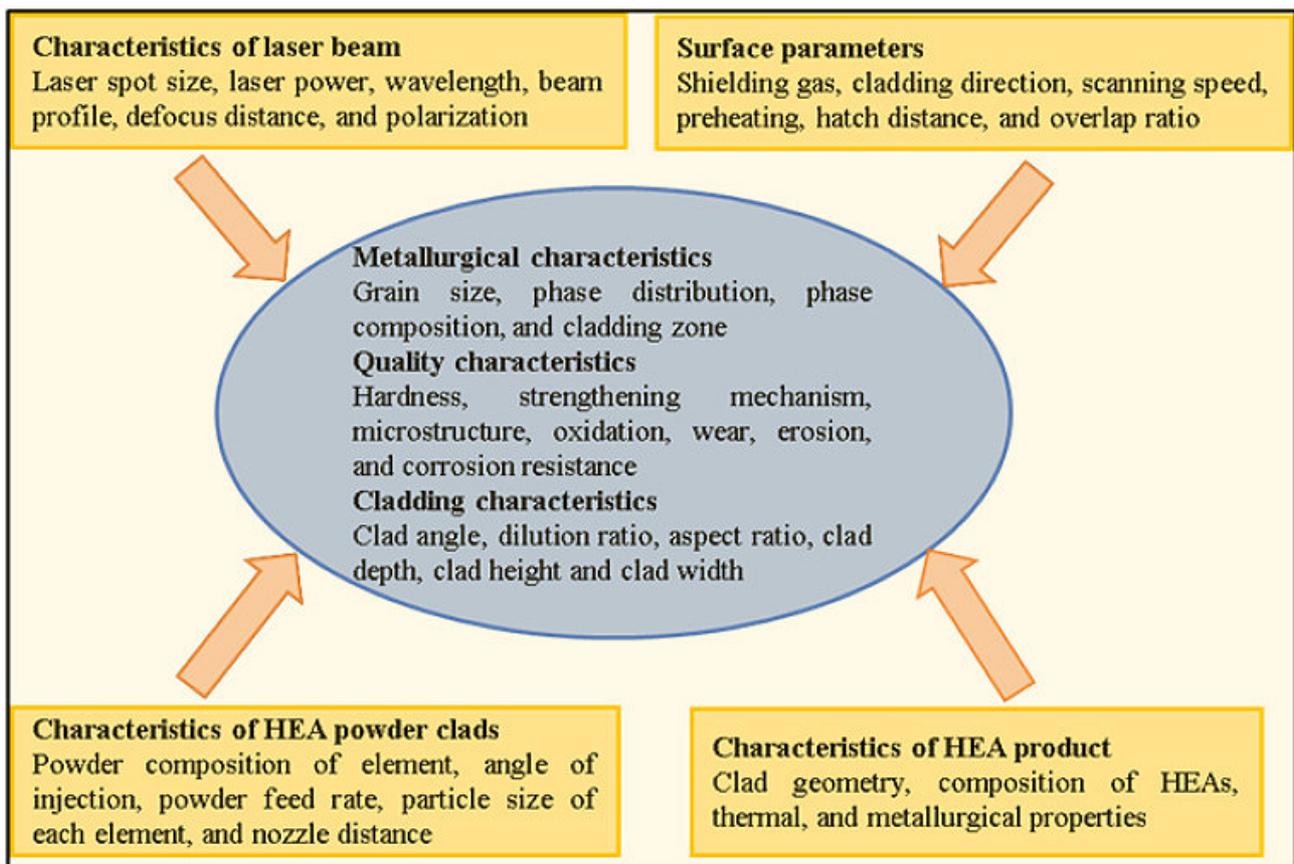
complexe de zirconium est maximale, donc pour les matériaux présentant les degrés de condensation les plus élevés.

Sample series	[HNO ₃]	pH value	MAPTMS/ZPO/MAAH (mol. %)
Series 1	0.01 M	2	90/10/10
Series 1	0.10 M	1	90/10/10
Series 1	0.50 M	0.3	90/10/10
Series 2	0.01 M	2	80/20/20
Series 2	0.10 M	1	80/20/20
Series 2	0.50 M	0.3	80/20/20
Series 3	0.01 M	2	70/30/30
Series 3	0.10 M	1	70/30/30
Series 3	0.50 M	0.3	70/30/30

TRAITEMENTS THERMIQUES / THERMOCHIMIQUES / DURCISSEMENT LASER

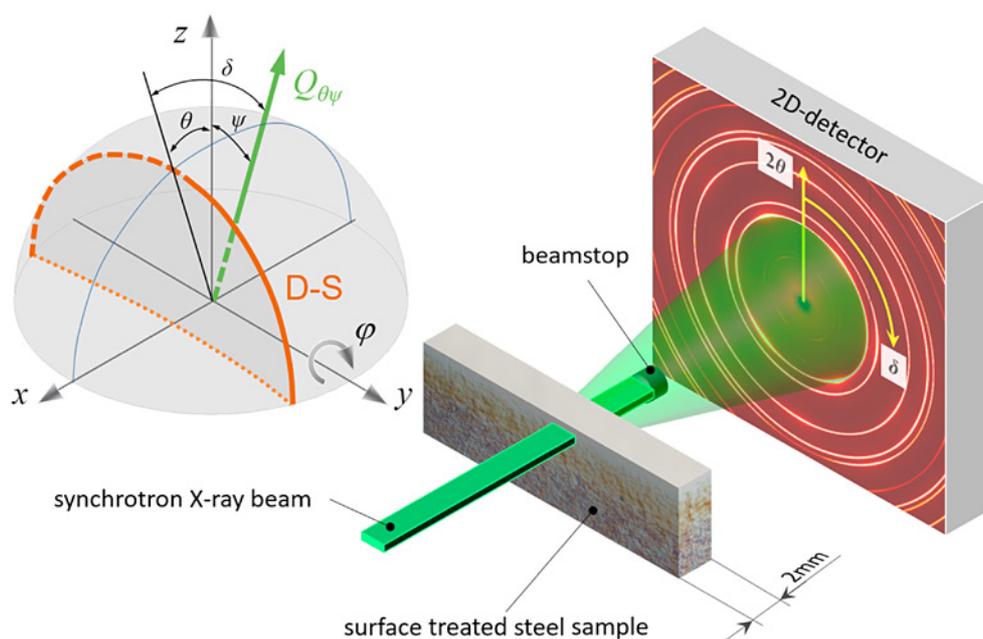
Rechargement laser des alliages à haute entropie : tendances récentes et applications potentielles (A review on laser cladding of high-entropy alloys, their recent trends and potential applications)
Zia Ullah Arif, Muhammad Yasir Khalid – Mechanical Engineering Department, University of Management and Technology, Sialkot Campus, Lahore 51041, Pakistan
Journal of Manufacturing Processes, Volume 68, Part B, August 2021, Pages 225-273

Les alliages à haute entropie (HEA - High-Entropy Alloys) constituent une classe prometteuse de matériaux métalliques. Ces matériaux font leurs preuves dans les revêtements destinés à des conditions ambiantes sévères et exigeantes. Les propriétés intéressantes des HEA par rapport aux alliages traditionnels ont permis à la communauté des chercheurs d'explorer les revêtements laser en alliage à haute entropie (LC-HEAC - Laser-Cladded High-Entropy Alloy Coatings). Cet article présente les tendances récentes des LC-HEAC et l'influence des paramètres de process sur les caractéristiques géométriques et métallurgiques des revêtements obtenus. Les défauts courants, tels que les microfissures et les contraintes résiduelles, ainsi que les techniques permettant d'améliorer la qualité des matériaux LC-HEAC sont expliqués. En outre, l'effet thermocinétique, le comportement thermomécanique, l'évolution microstructurale et les mécanismes de renforcement sont illustrés pour une meilleure compréhension de l'interaction laser-matériau. Les applications potentielles des LC-HEAC sur différents substrats sont décrites en tenant compte de la résistance à l'usure, à la corrosion, à l'érosion et à l'oxydation. L'article met également en évidence les lacunes de la recherche, les tendances actuelles et les orientations futures possibles pour répondre aux défis qui doivent être relevés avant la mise en œuvre effective des LC-HEAC dans l'industrie.



Caractérisation par CSmicroXRD d'aciers nitrurés, cémentés et grenailés : analyse des gradients de contrainte, de microstructure et de phase (Correlative cross-sectional characterization of nitrided, carburized and shot-peened steels: synchrotron micro-X-ray diffraction analysis of stress, microstructure and phase gradients)
S. C. Bodner (a), M. Meindlhuber (b) - (a) Department Materials Science, Chair of Materials Physics, Montanuniversität Leoben, Jahnstraße 12, Leoben, Styria, 8700, Austria ; (b) Department Materials Science, Christian Doppler Laboratory for Advanced Synthesis of Novel Multifunctional Coatings, Montanuniversität Leoben, Roseggerstraße 12, Leoben, Styria, 8700, Austria
Journal of Materials Research and Technology, Volume 11, March–April 2021, Pages 1396-1410

Les propriétés mécaniques des aciers cémentés dépendent grandement des gradients de contraintes résiduelles, de la microstructure, des différentes phases et de la composition chimique près de la surface, qui sont générés par les techniques de traitement empiriquement bien établies. Actuellement, cependant, obtenir la corrélation entre les gradients structure-propriété près de la surface, les paramètres du processus de trempe appliqué et la performance globale des aciers est une tâche très difficile. Dans ce travail, une diffraction XRD synchrotron à haute énergie (CSmicroXRD - high-energy synchrotron cross-sectional X-ray diffraction) utilisant de faisceau de section transversale $20 \times 500 \mu\text{m}^2$ et des techniques analytiques complémentaires ont été utilisées pour caractériser le gradient surface de : un acier nitruré plasma W300, un acier de cémentation carburé (18CrNiMo7-6) et un acier à haute résistance grenailé (type 300M). L'analyse CSmicroXRD révèle des gradients complexes de phases martensite et austénite, des contraintes résiduelles dans les deux phases, la texture cristallographique et l'évolution de l'élargissement du pic de diffraction avec une résolution spatiale de $\sim 20 \mu\text{m}$. Ces paramètres sont corrélés avec les gradients de dureté, la morphologie-microstructure et avec les changements des concentrations en N et C et/ou la formation/appauvrissement de l'austénite retenue dans les trois échantillons modélisés. Enfin, l'approche micro-analytique corrélative indique la complexité des relations structure-propriété près de la surface ainsi que l'importance d'une caractérisation transversale innovante, qui permet d'évaluer les changements physiques et/ou chimiques graduels près de la surface accompagnant les traitements de surface thermo-chimiques et mécaniques.



Rupture par fatigue des couches modifiées en surface d'un acier cémenté 18CrNiMo7-6 (Fatigue fracture of surface-modified layers in 18CrNiMo7-6 carburized steel)

Yue Zhang, Liu Cheng - School of Mechanical and Power Engineering & Henan Key Engineering Laboratory for Anti-fatigue Manufacturing Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China
Engineering Failure Analysis, Available online 1 November 2021

Une couche modifiée d'une certaine épaisseur est produite sur la surface d'un acier allié 18CrNiMo7-6 après cémentation et trempe, ce qui affecte grandement la microstructure et les propriétés de fatigue du matériau. Dans ce travail, la performance en fatigue de chaque couche a été étudiée. La rupture par fatigue et la rupture par traction ont été comparées à différentes profondeurs de la couche modifiée. Les ruptures de fatigue de la couche modifiée pour différentes contraintes ont été analysées. Plus la profondeur de la couche modifiée augmente, plus la pente de la courbe S-N diminue. Avec l'augmentation de la profondeur de la couche modifiée, le mode de fracture passe d'une fracture fragile à une fracture mixte fragile-ductile, la zone de cisaillement devient plus épaisse et la fissure plus importante. Il n'y a pas de zone plane dans la fracture par traction. À la même profondeur de la couche modifiée, une amplitude de contrainte plus faible entraîne une plus grande proportion de la zone de propagation de la fissure.

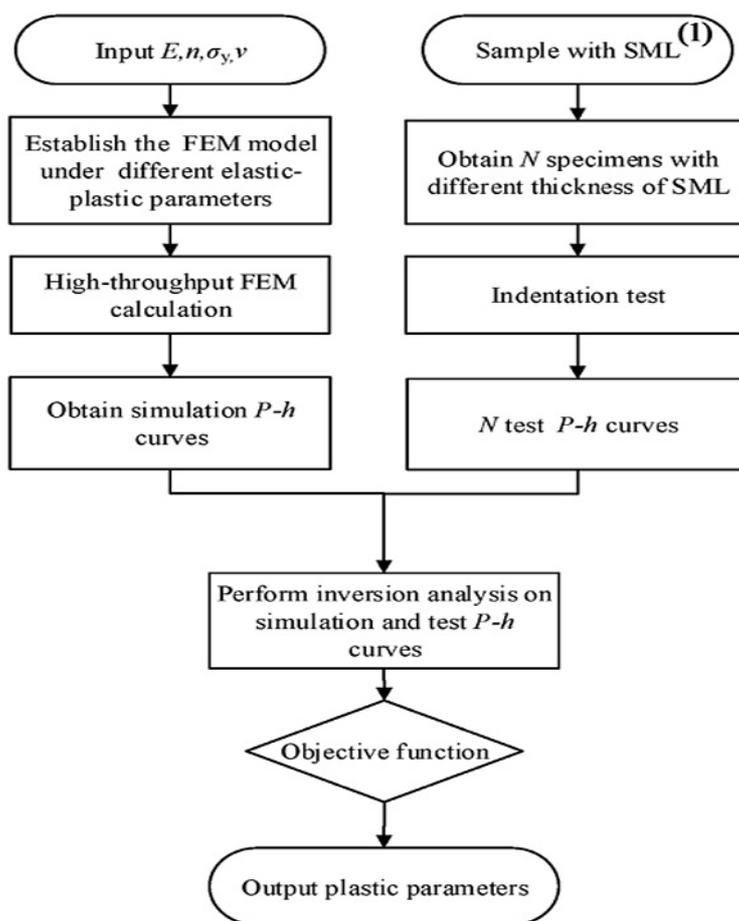
Caractérisation des paramètres de plasticité par indentation de la couche modifiée en surface d'un acier allié 18CrNiMo7-6 après cémentation (Characterization of the plasticity parameters of the surface-modified layer of 18CrNiMo7-6 alloy steel after carburizing heat treatment through the indentation method)

Guang Tao Xu, Bo Sun - School of Mechanical and Power Engineering & Henan Key Engineering Laboratory for Anti-fatigue Manufacturing Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan, 450001, China

Une couche modifiée en surface peut jouer un rôle important dans la durabilité et le comportement en service de composants clés, mais la caractérisation des propriétés mécaniques de cette couche est complexe. Dans cette étude, une méthode d'indentation pour caractériser les paramètres plastiques de la couche est proposée. Cette

méthode combine des essais d'indentation et une simulation par éléments finis pour analyser les paramètres plastiques. La méthode proposée a permis de caractériser la limite d'élasticité et la dureté de la couche d'un acier allié 18CrNiMo7-6 avant et après traitement thermique. Plus précisément, les conclusions de l'étude sont les suivantes :

- dans l'essai de microindentation, la couche superficielle peut être traitée comme un matériau homogène à de faibles profondeurs d'indentation ; ceci a été vérifié par la modélisation par éléments finis, et cette hypothèse peut être utilisée pour étendre la méthode d'indentation à la caractérisation d'autres paramètres de la couche, comme la détermination de la résistance à la rupture par un modèle d'énergie critique d'indentation basé sur la mécanique des dommages continus ;
- l'indentation des échantillons avec différentes épaisseurs de couches peut être utilisée pour caractériser les paramètres de plasticité sous effort de traction, c'est un moyen facile de caractériser les paramètres de plasticité de la couche sur le substrat. Les paramètres de plasticité du matériau sont obtenus en extrayant la courbe simulée optimale des courbes expérimentales de charge-profondeur provenant de l'indentation de différentes épaisseurs de couche ;
- en utilisant la méthode d'indentation proposée, la limite d'élasticité et le coefficient d'écroutissage de l'acier allié 18CrNiMo7-6 ont été déterminés comme étant respectivement de 760 MPa et 0,08. La limite d'élasticité de la couche a diminué de 1740 à 800 MPa et le coefficient d'écroutissage a diminué de 0,49 à 0,1 dans le sens de la profondeur. Les paramètres de plasticité de la couche dépendent du gradient de distribution du carbone. Les résultats obtenus par la méthode d'indentation sont en bon accord avec les paramètres de plasticité obtenus par les essais de traction ;
- cette méthode peut également être utilisée pour déterminer les paramètres de plasticité des matériaux à gradient ou des revêtements dont les paramètres de plasticité ne peuvent pas être obtenus par des essais de traction traditionnels.

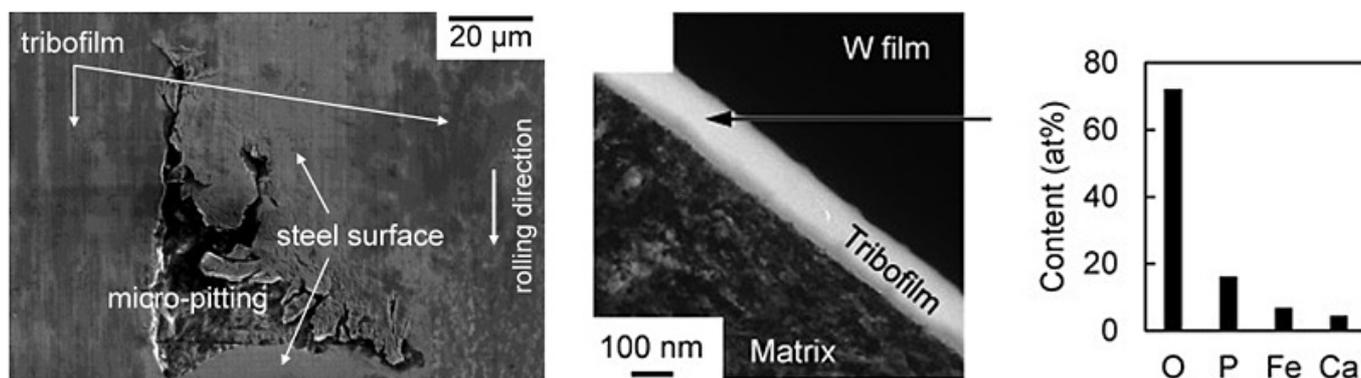


(1) : Surface Modified Layer

Analyses spectroscopiques du tribofilm et des microfissures de surface d'un acier cémenté SCM420 soumis à une fatigue de contact par roulement à haute pression (Spectroscopy analyses of tribofilm and surface microcracks in carburized SCM420 steel under high-pressure rolling contact fatigue)

Shuto Takayasu (a), Osamu Umezawa (b) - (a) Graduate School of Engineering Science, Yokohama National University, Yokohama, Japan ; (b) Faculty of Engineering, Yokohama National University, Yokohama, Japan
Wear, Volume 477, 18 July 2021

Le tribofilm et les microfissures de surface développés sur un acier SCM420 cémenté par un test de fatigue de roulement ont été caractérisés. Un tribofilm strié de 100 à 200 nm d'épaisseur a été généré sur la surface de l'échantillon après $1,0 \times 10^5$ cycles. Le tribofilm a été identifié comme étant principalement composé de phosphate de calcium $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ et de phosphate de fer $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ et de l'oxyde de fer. Des microfissures d'une longueur de quelques dizaines de micromètres ont été détectées sur la surface de contact sans le tribofilm après le test. Le nombre de cycles est basé sur une transition de la force tangentielle entre deux rouleaux diminuant vers un mécanisme stick-slip en régime permanent. Un additif : le dialkyldithiocarbamate de molybdène a été ajouté à un lubrifiant pour améliorer la résistance aux piqûres générées par la fatigue de roulement (FCR). Cet additif modificateur de frottement permet d'augmenter la durée de vie d'un facteur 10 par rapport au lubrifiant seul. Les surfaces de contact et la structure de la sous-surface, en particulier à proximité des microfissures, ont été reconstruites dynamiquement par un frottement intense et une accumulation de dommages. De l'oxygène a été détecté à la surface des microfissures.

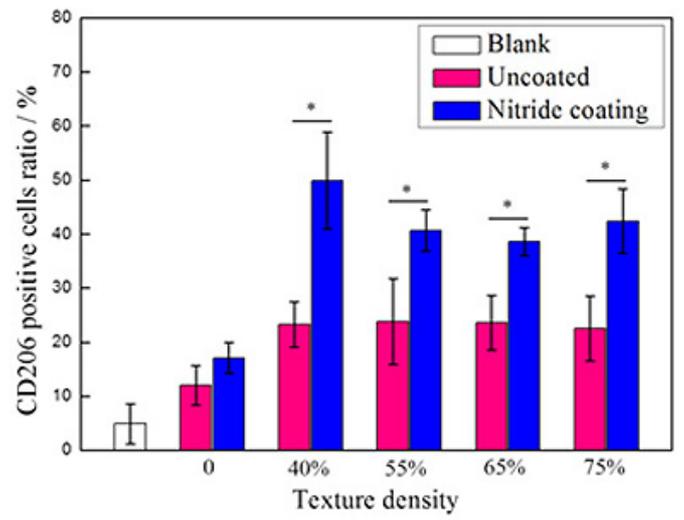
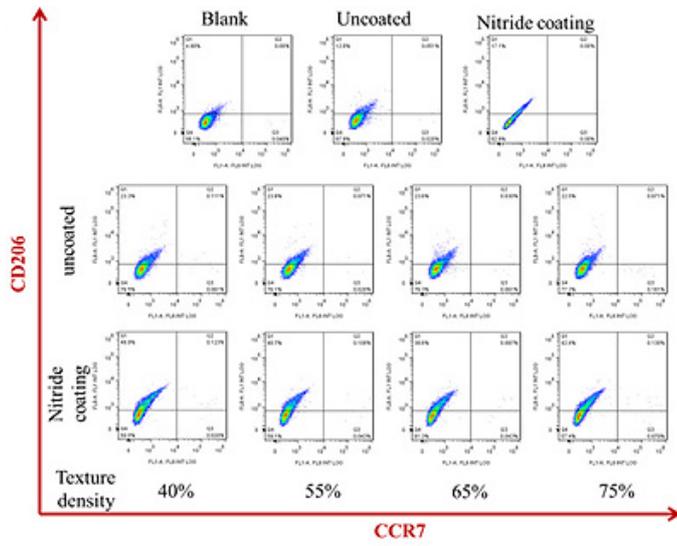


Amélioration des propriétés tribologiques, de la cyto-biocompatibilité et de la capacité anti-inflammatoire d'un alliage Ti-6Al-4V fabriqué additivement par texturation de surface et nitruration (Improved tribological properties, cyto-biocompatibility and anti-inflammatory ability of additive manufactured Ti-6Al-4V alloy through surface texturing and nitriding)

Xueyang Zhao, Binbin Wang - Institute of Advanced Wear & Corrosion Resistant and Functional Materials, Jinan University, Guangzhou 510632, China

Surface and Coatings Technology, Volume 425, 15 November 2021

La texturation et une nitruration de surface se sont avérés être des moyens efficaces pour améliorer les propriétés tribologiques des alliages de titane biomédicaux. Cependant, l'influence de la texture de surface et du revêtement de nitrure sur le comportement des cellules, en particulier sur la polarisation des macrophages, a rarement été rapportée. Dans ce travail, des pièces en Ti-6Al-4V avec une texture de surface en forme de losange ont été préparées par fusion sélective laser (SLM). Ces pièces ont été traitées thermiquement dans du N_2 afin de créer des revêtements de nitrure uniformes et denses sur les surfaces texturées composées de TiN , Ti_2N , $\text{TiN}_{0,9}$. Une solution solide contenant de l'azote d'une épaisseur de $\sim 5 \mu\text{m}$ est également générée. La combinaison de la texturation de surface et du revêtement de nitrure permet de réduire le coefficient de frottement de 0,343 à 0,166, et améliore considérablement la résistance à l'usure du substrat. Le revêtement de nitrure favorise l'adhésion et la prolifération des cellules préostéoblastes MC3T3-E1. La texturation permet d'offrir une plus grande surface pour la croissance des cellules, ce qui favorise l'adhésion et la propagation précoce de ces dernières. Le revêtement de nitrure favorise la polarisation des macrophages (cellules Raw264.7) anti-inflammatoires après une co-culture de 24 h. La combinaison texturation/nitruration de surface permet donc d'augmenter le ratio de cellules macrophages CD206 et réduit également les facteurs inflammatoires. Ce double traitement conduit donc à une réduction significative du coefficient de frottement et du volume d'usure et à la polarisation des macrophages vers un phénotype anti-inflammatoire sur une structure titane imprimée en 3D.



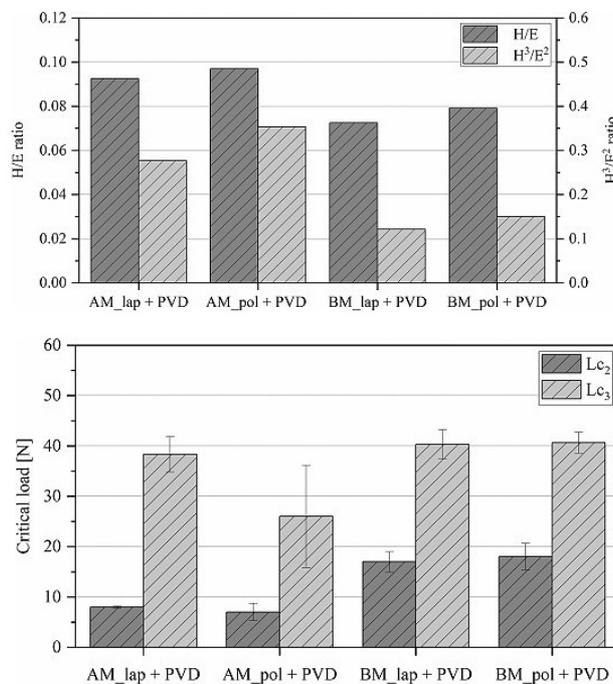
DLC / DEPOTS SOUS VIDE

Rodage et polissage de substrats en acier 316L réalisés par fabrication additive : effets sur l'évolution microstructurale et l'adhérence des revêtements CrAIN PVD (Lapping and polishing of additively manufactured 316L substrates and their effects on the microstructural evolution and adhesion of PVD CrAIN coatings)

Wolfgang Tillmann, Leif Hagen - Institute of Materials Engineering, TU Dortmund University, 44227 Dortmund, Leonhard-Euler-Straße 2, Germany

Surface and Coatings Technology, Volume 428, 25 December 2021

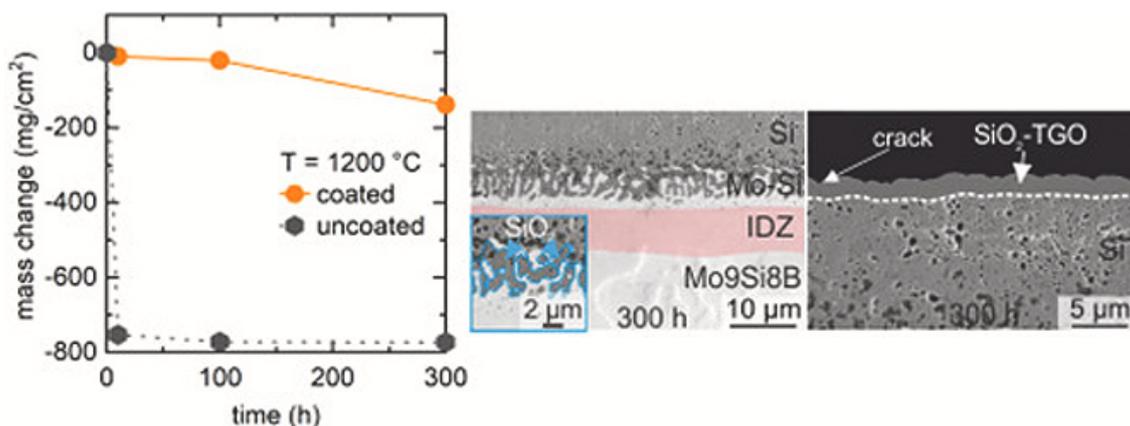
La fusion laser sur lit de poudre (LPBF) permet de fabriquer des pièces tridimensionnelles à partir de poudres métalliques avec une liberté de conception élevée. En raison de leur faible dureté et afin de protéger les surfaces soumises à des contraintes tribologiques importantes, la surface de pièce LPBF en acier inoxydable 316L doit être modifiée par des procédés de revêtement tels que les dépôts durs PVD. Bien que le 316L soit l'un des matériaux les plus étudiés pour les LPBF, les revêtements durs PVD tels que les nitrures ternaires sur ce type de substrats fabriqués de manière additive n'ont pas encore été étudiés. Il s'agit donc ici d'évaluer les effets du rodage et du polissage de substrats en acier inoxydable 316L LPBF sur l'intégrité de la surface résultante et leur influence sur l'évolution microstructurale et l'adhérence des revêtements CrAIN PVD. Plusieurs analyses ont été mises en œuvre pour déterminer les caractéristiques microstructurelles et les contraintes résiduelles : nanoindentation et diffraction des rayons X. Des tests de dureté HRC ont été effectués et les échantillons résultants ont été examinés par métallographie afin de déterminer les modes de défaillance. Les résultats montrent que les revêtements CrAIN déposés par PVD diffèrent dans leur texture et leurs propriétés mécaniques, telles que la dureté et les contraintes résiduelles, en fonction des états de surface du substrat : les différences de direction de croissance (fonction du prétraitement du substrat) conduisent à des contraintes résiduelles de compression élevées dans les revêtements de CrAIN. Les revêtements CrAIN présentent généralement une bonne adhérence à la fois au substrat 316L LPBF et au matériau brut 316L. Contrairement aux substrats 316L LPBF, les revêtements CrAIN déposés sur les substrats 316L contiennent une petite quantité d'AIN hexagonal qui conduit à une dureté plus faible et à une diminution des contraintes résiduelles de compression. Les résultats indiquent une meilleure adhérence des revêtements CrAIN sur les substrats 316L rodés. Le gradient de contrainte résiduelle à l'interface revêtement-substrat et les imperfections à la surface du substrat 316L LPBF influencent principalement la performance et le mode de défaillance du revêtement CrAIN.



Couche intermédiaire de Mo-Si déposée par PVD entre un revêtement de Si et des alliages de Mo-Si-B : étude du comportement à l'oxydation (Graded PVD Mo-Si interlayer between Si coating and Mo-Si-B alloys: Investigation of oxidation behaviour)

Ronja Anton (a), Steffen Hüning (b) - (a) German Aerospace Center (DLR), Institute of Materials Research, Cologne 51147, Germany ; (b) Technical University (TU) Dortmund, now LIMO GmbH, Dortmund 44319, Germany
Corrosion Science, Volume 192, November 2021

La résistance insuffisante à l'oxydation des alliages Mo-Si-B à haute température nécessite inévitablement un revêtement protecteur. Un système à double couche combinant une couche intermédiaire Mo-Si graduée et une couche supérieure Si de protection contre l'oxydation a été appliqué par pulvérisation magnétron sur un alliage Mo-9Si-8B. L'architecture de la couche intermédiaire a été conçue pour maximiser l'adhérence entre la couche supérieure et le substrat en créant une compatibilité thermodynamique entre l'alliage et le Si. Des essais d'oxydation isotherme à 800 et 1200°C dans l'air jusqu'à 300 h ont été réalisés en se concentrant sur les réactions chimiques entre la couche supérieure, la couche intermédiaire et le substrat. Le système de revêtement à double couche a supprimé l'oxydation à 800°C et a fourni une excellente protection contre l'oxydation à 1200°C grâce à la formation d'une couche d'oxyde SiO₂ obtenue par croissance thermique. À l'interface revêtement-substrat, la croissance d'une zone d'inter-diffusion contenant des siliciures de Mo assure une excellente adhérence au revêtement.

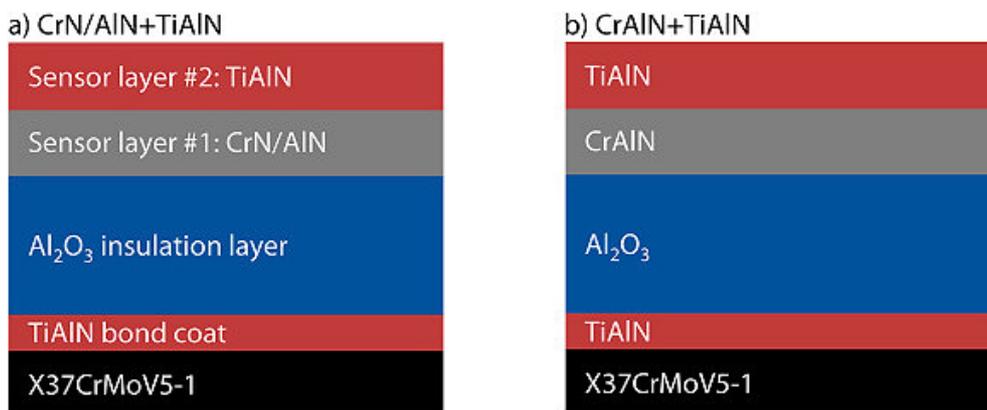


Revêtements durs PVD intelligents avec fonction de mesure de température (Smart PVD hard coatings with temperature sensor function)

K. Bobzin, T. Brögelmann - Surface Engineering Institute, RWTH Aachen University, Kackertstr. 15, D-52072 Aachen, Germany

Surface and Coatings Technology, Volume 423, 15 October 2021

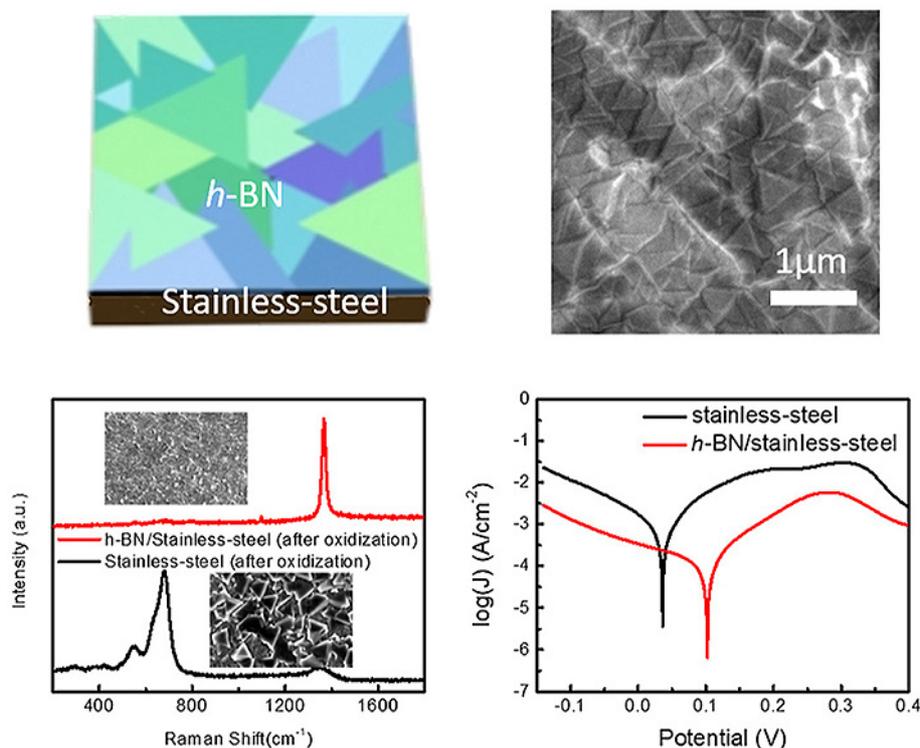
Les performances des outils industriels doivent être conformes à des normes de plus en plus élevées. De plus, l'enregistrement des données de process pendant la production devient de plus en plus important dans l'Industrie 4.0. Les revêtements PVD sur outils, minces et durs, servant de protection contre l'usure et la corrosion sont à la pointe de la technologie depuis des décennies. L'intégration de fonctions supplémentaires dans ces revêtements permettra de repousser encore plus les limites des process de fabrication. L'approche développée ici consiste à exploiter les propriétés électriques des revêtements minces pour concevoir des capteurs de mesure de la température sur aciers à outil X37CrMoV5-1. L'objectif général de cette étude est donc de concevoir des revêtements PVD intégrant une fonction capteur. Ces revêtements doivent faciliter la mesure en ligne de la température de surface et offrir une résistance thermique jusqu'à quelques centaines de degrés centigrades qui permettra leur mise en œuvre dans différentes applications techniques. Deux types de revêtements durs multicouches ont été retenus : CrN/AlN + TiAlN et CrAlN + TiAlN. Leur fonction de capteur de température est basée sur l'effet thermoélectrique, attendu en raison des parties métalliques de liaison des revêtements simples et isolés électriquement par de l'Al₂O₃. Les deux types de revêtements présentent une morphologie cristalline dense et fine ainsi qu'une inter-couche sans fissures ni dommages (coupe transversale MEB), y compris entre la couche isolante et les couches capteurs. La stabilité de phase et la résistance à l'oxydation jusqu'à au moins 700°C ont pu être démontrées. Pour les deux types de revêtements-capteurs, la capacité à mesurer les différences de potentiel en fonction de la température appliquée a été démontrée. Le revêtement-capteur, CrN/AlN + TiAlN avec une architecture nanolaminée, présente un meilleur comportement responsif et une plus faible dispersion des valeurs de mesure.



Croissance de films minces protecteurs *h*-BN CVD de haute qualité et de grande surface sur acier inox (CVD growth of high-quality and large-area continuous *h*-BN thin films directly on stainless-steel as protective coatings)
S. Jia, W. Chen - Department of Materials Science and NanoEngineering, Rice University, 6100 Main Street, Houston, TX 77005, USA
 Materials Today Nano, Volume 16, December 2021

Croissance par CVD de films minces *h*-BN continus de haute qualité et de grande surface directement sur l'acier inoxydable en tant que revêtements protecteurs.

La corrosion est l'un des problèmes à long terme les plus difficiles à résoudre pour de nombreux secteurs industriels. Elle est responsable de plus de la moitié des défaillances industrielles et coûte des dizaines de milliards de dollars chaque année. Le nitrure de bore hexagonal (*h*-BN), un isolant électrique bidimensionnel en couches chimiquement inerte, qui est stable à haute température dans un environnement ambiant, a été considéré comme un candidat prometteur pour les revêtements protecteurs ultraminces, en particulier dans les environnements difficiles. Dans ce travail, les auteurs ont développé une méthode adaptée à l'industrie de dépôt chimique en phase vapeur pour faire croître directement des films minces *h*-BN continus de haute qualité, uniformes et de grande surface sur un substrat en acier inoxydable. Au cours de la croissance, les triangles cristallins de *h*-BN fusionnent pour former un film mince continu, sans vide et de grande surface sur les surfaces planes et courbes des substrats en acier inoxydable. Les films minces de *h*-BN ainsi formés peuvent protéger les substrats en acier inoxydable de l'oxydation dans des conditions ambiantes et jusqu'à 800°C ainsi que de la corrosion dans une solution extrêmement corrosive à température ambiante et élevée.



Influence de traitements mécaniques et thermochimiques sur la durabilité de revêtements DLC sur des outils de formage en acier (Effect of mechanical and thermochemical tool steel substrate pre-treatment on diamond-like carbon (DLC) coating durability)

Daniel Tobola (a), Tomasz Liskiewicz (b) - (a) Lukaszewicz Research Network - Krakow Institute of Technology, Zakopianska 73 Str., 30-418 Krakow, Poland ; (b) Department of Engineering, Manchester Metropolitan University, Manchester M15 6BH, United Kingdom

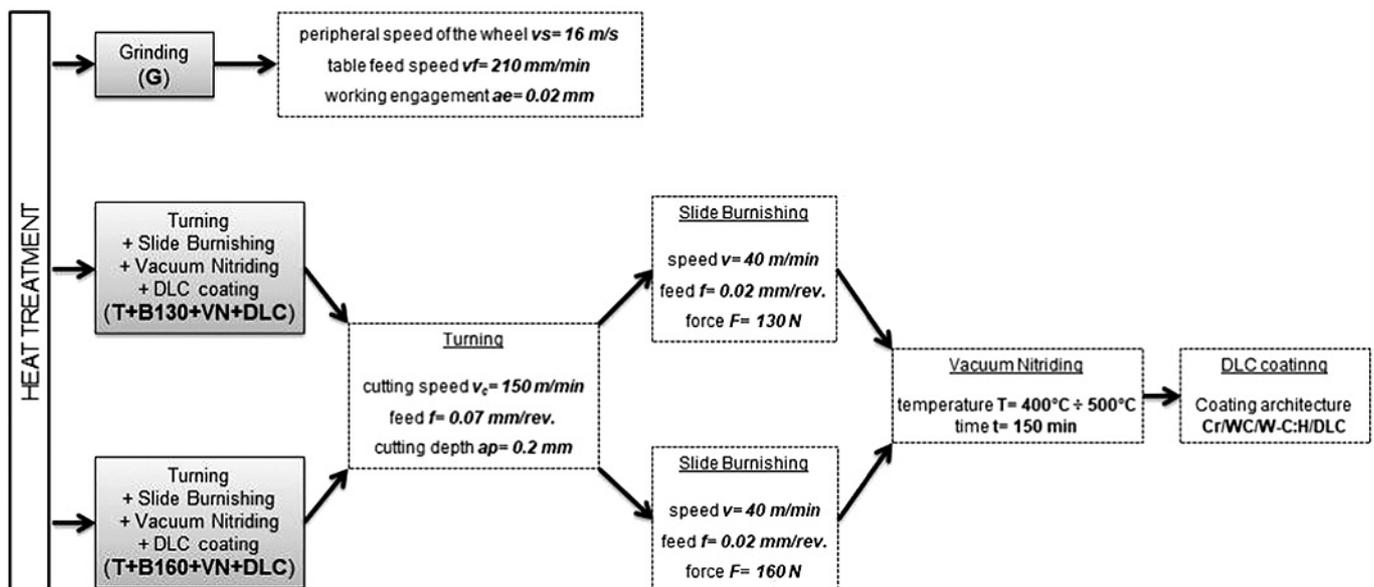
Surface and Coatings Technology, Volume 422, 25 September 2021

Les revêtements DLC s'imposent dans de nombreux secteurs tels que l'aérospatiale, l'automobile, le pétrole et le gaz, ainsi que pour les outils de formage à froid. Bien que les revêtements DLC présentent de bonnes propriétés mécaniques et un faible coefficient de frottement, les systèmes revêtement-substrat peuvent souffrir d'une résistance à l'usure insuffisante. Cet article décrit l'effet du prétraitement mécanique et thermochimique d'un substrat acier à outils sur la durabilité du revêtement DLC. Deux substrats d'acier à outils ont été étudiés : le Sverker 21 (AISI D2) et un acier allié issu de la métallurgie des poudres, le Vanadis 8. Dans un premier temps, les substrats ont été traités thermiquement dans un four sous vide et trempés au gaz, ce qui a permis d'obtenir une dureté de 59 ± 1 et 64 ± 1

HRC respectivement. Ensuite, les échantillons ont été soumis à un tournage et à un brunissage mécaniques avec des forces de 130 N et 160 N, à l'aide d'outils composites en diamant avec une phase de liaison en céramique. Enfin, une nitruration sous vide assistée par plasma en tant que prétraitement pour le dépôt ultérieur DLC a été réalisée. Les échantillons revêtus ont été soumis à une série de tests d'usure (bille sur disque Al_2O_3 et Si_3N_4) et plusieurs analyses (diffraction RX, indentation, MEB) afin de déterminer les propriétés mécaniques et chimiques. Des facteurs variables sélectionnés, dont le type d'acier, la force de brunissage et le type de billes, ont été analysés afin de les corréler avec la durabilité du revêtement DLC sur le substrat acier prétraité. Plusieurs conclusions ont pu être mises en avant :

- le choix de la méthode de préparation de surface affecte de manière significative la durabilité du système revêtement-substrat ainsi que les rapports H/E et H^3/E^2 du revêtement DLC déposé. Il est donc possible de préparer une surface répondant qualitativement et quantitativement aux propriétés attendues dans des conditions industrielles ;
- la meilleure résistance à l'usure (bille Al_2O_3) a été obtenue pour les échantillons soumis au traitement suivant : tournage + brunissage 160 N + nitruration sous vide + revêtement DLC. La résistance à l'usure est supérieure de plus de 99% et 90% à celle obtenue après rectification, respectivement pour les aciers à outils Sverker 21 et Vanadis 8 ;
- les plus faibles coefficients de frottement dynamique, de l'ordre de 0,1, ont également été enregistrées après la séquence tournage + brunissage 160 N + nitruration sous vide + revêtement DLC pour les deux substrats acier.

Ces résultats sont discutés en vue d'améliorer les performances tribologiques des outils de formage à froid.



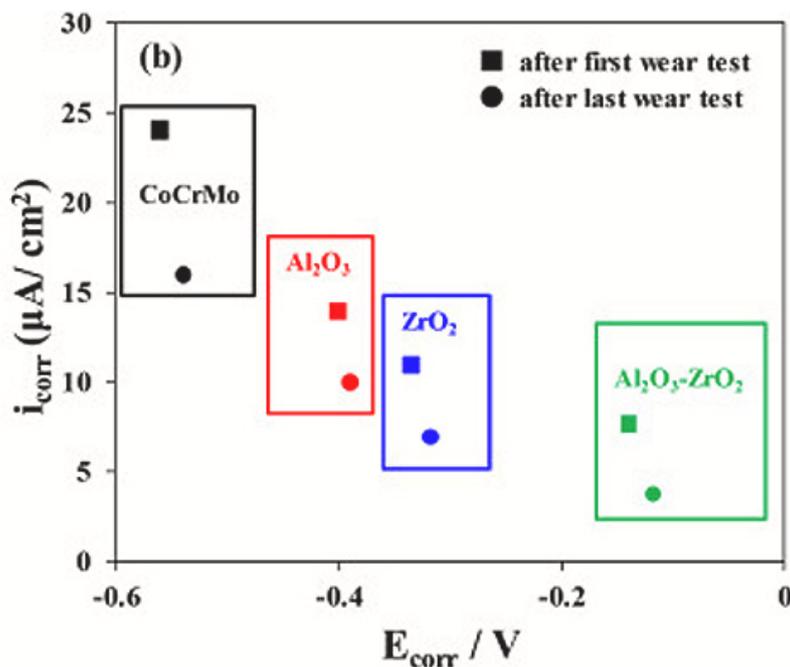
PROJECTION THERMIQUE / COLD SPRAY

Performances tribologiques et tenue à la corrosion d'un revêtement céramique réalisé par projection plasma sur un alliage CoCrMo SLM (Tribological and corrosion performance of the plasma-sprayed conformal ceramic coating on selective laser melted CoCrMo alloy)

H. Q. Li (ab), H. Guo (c) - (a) Institute for Advanced Manufacturing, Shandong University of Technology, Zibo, China ; (b) School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, China ; (c) Center of Testing and Analysis, Shandong University of Technology, Zibo, China

Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Volume 119, July 2021

Les implants céramiques présentent des performances supérieures en raison de leur excellente résistance à l'usure et de leur biocompatibilité. Cependant, leur faible usinabilité limite leurs applications. Un revêtement céramique projeté par plasma sur un substrat métallique fabriqué par fusion sélective laser permet de former une couche de surface très résistante à l'usure sur une pièce d'implant en 3 dimensions. Dans cette étude, trois types de revêtements céramiques (Al_2O_3 , ZrO_2 et $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) ont été réalisés par projection plasma sous atmosphère sur un substrat CoCrMo fabriqué (SLM). Il a été constaté que le revêtement composite $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ présentait une meilleure résistance à la corrosion et à l'usure que les revêtements céramiques Al_2O_3 et ZrO_2 . L'adhérence entre le revêtement composite $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ et le substrat atteint 238 MPa. En outre, la résistance à l'usure et à la corrosion augmente avec la progression de l'usure pour tous les revêtements céramiques fabriqués. La microstructure très dense, le nombre réduit de microfissures et les phases amorphes sont les facteurs déterminants pour ces performances tribologiques et anticorrosion. Le procédé de fabrication s'est avéré très prometteur pour la fabrication d'implants de haute performance avec un revêtement céramique.



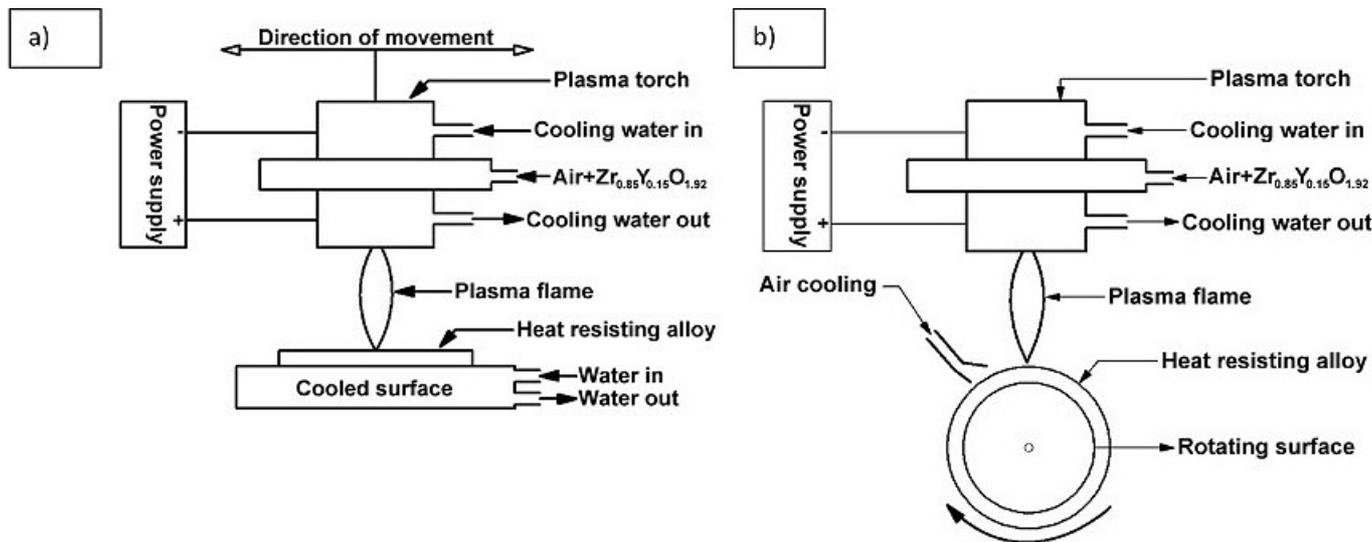
Influence de différentes méthodes de projection plasma sur les propriétés physiques de revêtements YSZ (Influence of different plasma spraying methods on the physical properties of YSZ coatings)

Žydrūnas Kavaliauskas, Romualdas Kėželis - Lithuanian Energy Institute, Breslaujos str. 3, LT-44403 Kaunas, Lithuania

Surfaces and Interfaces, Volume 24, June 2021

Des revêtements de zircone stabilisée à l'yttrium (YSZ) ont été déposés sous différents courants d'arc de projection plasma atmosphérique. Deux configurations technologiques différentes ont été utilisées pour former les revêtements d'YSZ : dans le premier cas, la torche à plasma se déplaçait le long de la surface revêtue, tandis que dans l'autre cas, les revêtements étaient formés sur la surface d'un substrat en rotation placé devant la torche plasma. Les essais thermiques des revêtements YSZ ont été réalisés à une température de 800°C pendant 10 minutes. La morphologie de la surface, la composition élémentaire, la structure des phases et la microdureté des revêtements ont été étudiées par MEB, EDS, XRD et indentation Vickers. Il a été relevé que l'augmentation du courant d'arc de 180 A à 240 A augmentait l'oxydation de la surface des revêtements YSZ. Les résultats de la XRD indiquent que les revêtements sont constitués d'une phase tétragonale ZrO_2 . Le rapport YSZ/substrat augmente régulièrement de 0,05 à 4,4 (avant l'effet thermique) avec l'augmentation du courant de 160 A à 240 A, lorsque les revêtements sont projetés sur les

substrats en rotation. Cependant, ni la position du substrat ni l'effet thermique n'influencent la structure de phase des revêtements. Les revêtements projetés sur les substrats en rotation sont moins poreux, présentent moins de micro ou macrofissures, présentent une meilleure adhérence et une meilleure résistance à l'impact thermique par rapport aux revêtements YSZ déposés sur les substrats immobiles.



Élaboration et caractérisation de revêtements d'alumine réalisés par projection plasma sur du nickel avec une couche intermédiaire d'oxyde de nickel (Elaboration and characterisation of plasma sprayed alumina coatings on nickel with nickel oxide interlayer)

S. Valette, R. Bernardie - University of Limoges, IRCER, UMR CNRS 7315, 12, rue Atlantis, Limoges, France
Surface and Coatings Technology, Volume 416, 25 June 2021

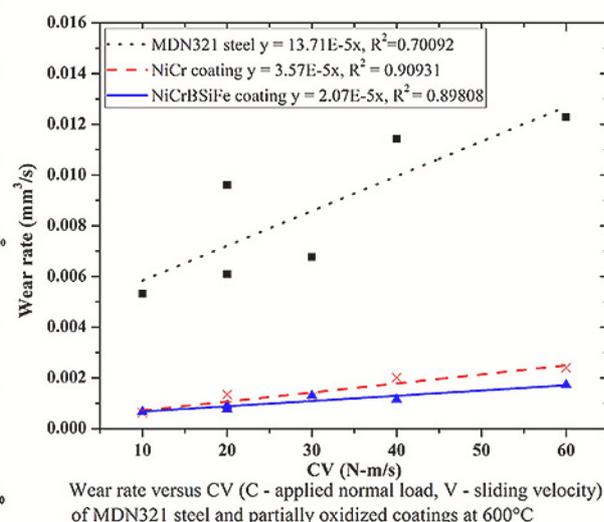
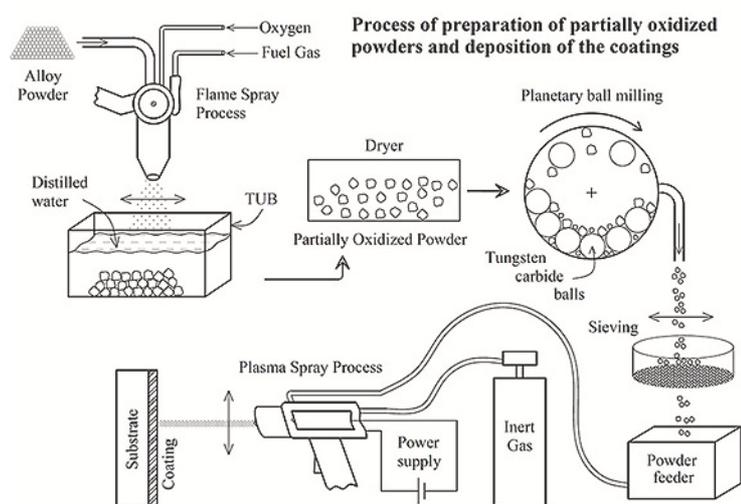
Un procédé mettant en œuvre une pré-oxydation de substrats nickel a été proposé en remplacement de l'habituelle projection plasma atmosphérique (APS) d'alumine sur des substrats ayant subi un sablage préalable. Ce procédé comprend deux étapes, la pré-oxydation du substrat (au lieu du sablage du substrat) suivie de l'APS. La pré-oxydation forme une fine couche d'oxyde NiO, d'une épaisseur de 0,7 à 3,5 µm, qui recouvre entièrement le substrat nickel. Pendant la projection APS, le dépôt ne réagit pas avec le NiO en raison de la vitesse de refroidissement très élevée des splats d'alumine à la surface des substrats. La caractérisation de la zone interfaciale a montré la continuité cristallographique des différents réseaux, du substrat de nickel à l'intercouche de NiO et au revêtement monoclinique de γ -Al₂O₃. L'intercouche NiO joue le rôle d'une zone tampon qui adapte les réseaux cristallins des trois phases. L'adhérence des revêtements a été déterminée selon le test ASTM C633 modifié en réduisant la surface de contact substrat/revêtement afin de quantifier l'adhérence des revêtements fortement liés. L'adhérence du revêtement atteint 105 MPa pour les échantillons pré-oxydés lorsque NiO présente une épaisseur de 1,8 µm, au lieu de 48,5 MPa pour les échantillons sablés et seulement 8 MPa pour le nickel simplement poli. En conclusion, il peut être établi que l'adhérence du revêtement Al₂O₃ sur le Ni est fortement améliorée par la pré-oxydation du Ni.



Développement de revêtements de NiCr partiellement oxydés par projection à la flamme + projection plasma pour améliorer la tenue à l'usure à haute température (Developing partially oxidized NiCr coatings using the combined flame spray and plasma spray process for improved wear behaviour at high temperature)

Subba Rao Medabalimi, Ramesh M. R. RavikiranKadoli - Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Karnataka, Surathkal, Mangalore, 575025, India
Wear, Volumes 478–479, 15 August 2021

Dans ce procédé, les poudres NiCrBSiFe et NiCr sont partiellement oxydées par un procédé de projection à la flamme et sont déposées sur un substrat acier MDN321 par projection plasma. L'effet de l'oxydation partielle sur la microstructure, la microdureté, la densité, l'adhérence et la porosité des revêtements est analysé. Le résistance au frottement et à l'usure des revêtements a été évalué à l'aide d'un tribomètre broche sur disque en faisant varier les charges (10, 20 et 30 N), les vitesses de glissement (1, 2 m/s) et les températures (ambiante, 200, 400 et 600°C). Les surfaces usées des revêtements NiCrBSiFe et NiCr sont constituées de phases d'oxydes SiO₂, NiO, Cr₂O₃ et NiCr₂O₄ à des températures élevées. Ces phases ont contribué à réduire de cinq fois le taux d'usure des aciers revêtus par rapport aux aciers non revêtus à 600°C. Le taux d'usure dans le revêtement diminue avec l'augmentation de la température. Le coefficient de frottement a été réduit progressivement avec la température dans les revêtements et le substrat. L'usure du revêtement NiCr est 1,7 fois plus élevé que celui du revêtement NiCrBSiFe.

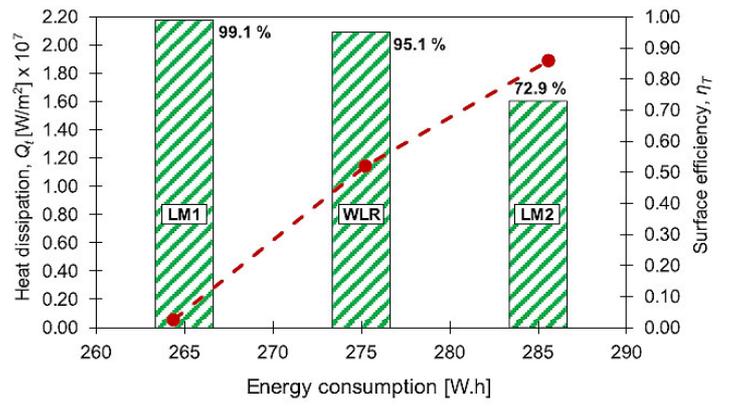
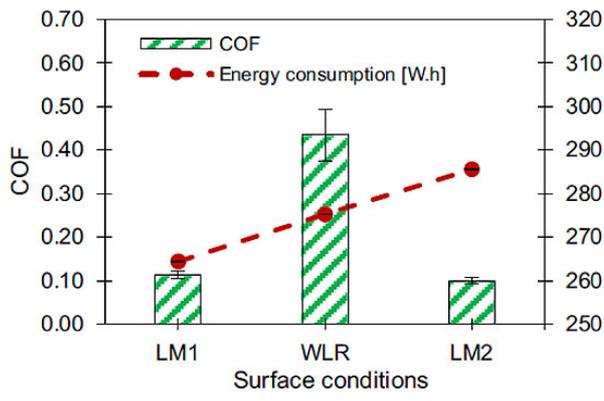


Refusion laser d'un revêtement WC-CoCr HVOF : effet sur les propriétés tribologiques et l'efficacité énergétique (Laser remelting of WC-CoCr surface coated by HVOF: Effect on the tribological properties and energy efficiency)

Richard de Medeiros Castro, Elvys Isaías Mercado Curi - Laboratório de Engenharia de Superfícies e Tribologia - LAEST, Centro Universitário - UNISATC, Criciúma, Brazil
Surface and Coatings Technology, Volume 427, 15 December 2021

Dans cette étude, les propriétés tribologiques et l'efficacité énergétique de surfaces revêtues WC-CoCr par HVOF ont été évalués après un processus de refusion laser, en utilisant des densités d'énergie laser faibles et élevées, respectivement de 33,3 (échantillon LM1) et 150 J/mm² (échantillon LM2). L'objectif de la refusion est de modifier de manière adéquate la microstructure des revêtements et de favoriser une meilleure performance lors du frottement. La microstructure, la composition de phases et la microdureté des revêtements ont donc été étudiées, ainsi que l'effet de la chaleur sur le substrat sur les échantillons LM1, LM2 ainsi que sur le revêtement HVOF sans refusion (WLR). Lors des tests tribologiques (à sec et sous lubrification), le coefficient de frottement, l'usure et la rugosité de surface ont également été évalués. Lors des essais à sec, on a mesuré les énergies de frottement, d'usure et de dissipation de chaleur, qui ont ensuite été corrélées avec l'énergie consommée par le tribomètre. Une huile biodégradable de type HEPR a été utilisée dans les essais sous lubrification. La formation de W₂C et de Co₃W₃C, obtenue pour la densité d'énergie inférieure, augmente la dureté sans affaiblir le matériau, tandis que la phase CrC agit comme une barrière anti-usure. Pour une densité d'énergie élevée, la décomposition thermique produit des phases fragiles qui ont été facilement retirées de la matrice pendant le test d'usure. Sur les surfaces avec refusion laser, une plus grande résistance au frottement est observée. Les auteurs soulignent que :

- un modèle mathématique basé sur l'énergie a pu être développé,
- il établit un comportement non linéaire entre l'énergie du laser et la microdureté du revêtement,
- la refusion laser réduit le coefficient de frottement mais pas nécessairement la consommation d'énergie,
- la bonne répartition W₂C, Co₃W₃C et CrC augmente la résistance à l'usure,
- la combinaison durable de la refusion laser avec l'huile HEPR réduit fortement le coefficient de frottement et l'usure.

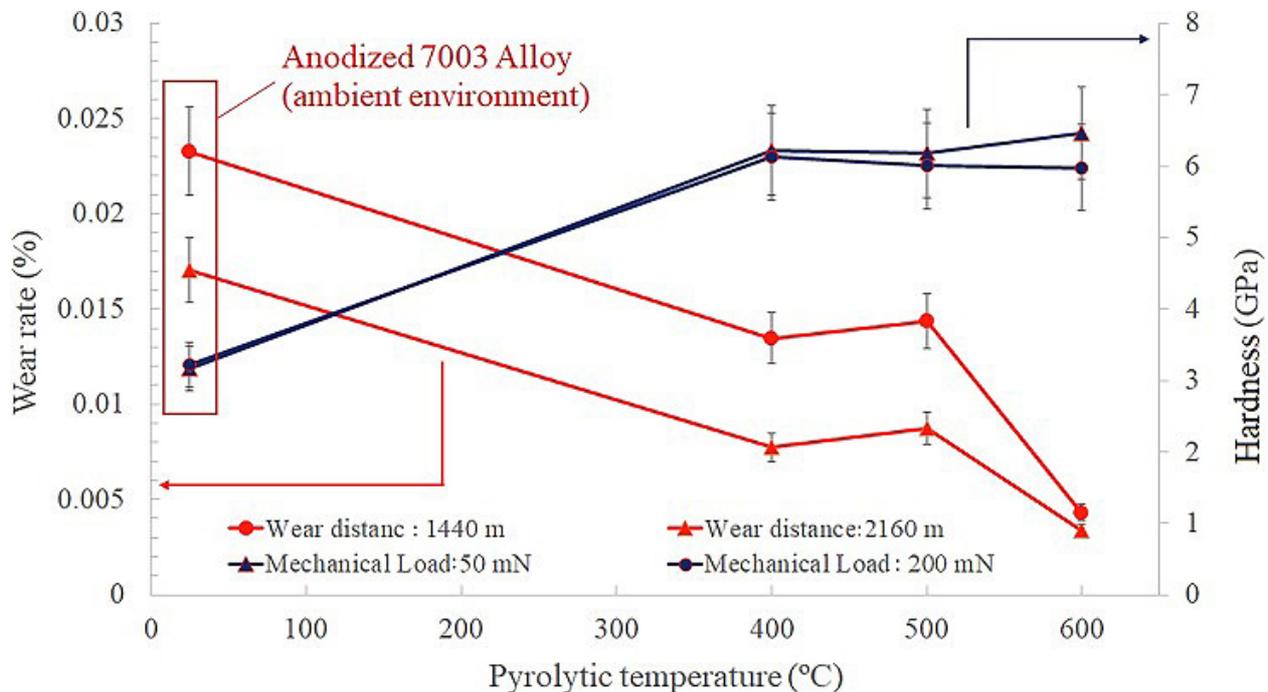


TRAITEMENT DES ALLIAGES LEGERS

Alliage d'aluminium nanoporeux revêtu d'un film céramique SiCN avec précurseur polysilazane pour le renforcement de surface (Silicon carbonitride ceramic surface-modified nanoporous aluminum alloy by preceramic polysilazane precursor for surface strengthening)

Lung-Hao Huc (a), Yu-Kai Wang (b) – (a) Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung 804, Taiwan ; (b) Department of Mechanical Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan 710, Taiwan
Materials Science and Engineering: B, Volume 267, May 2021

Un précurseur polysilazane est appliqué sur un alliage 7003 anodisé et pyrolysé à 400, 500 et 600°C pour former un film céramique de carbonitride de silicium. Les images obtenues par microscopie électronique montrent que le film SiCN sur la surface de l'oxyde d'aluminium anodique se présente sous forme compacte avec une structure multicouche SiCN, SiCN-AAO (couche d'oxyde d'aluminium anodique) et substrat. Les tests montrent que l'alliage 7003 revêtu de SiCN pyrolysé à 600°C est d'environ 0,003% (très inférieur à celui de l'alliage 7003 anodisé : 0,023%). La dureté moyenne de la surface et le module d'élasticité peuvent atteindre plus de 6 GPa et 85-90 GPa, soit deux fois plus que ceux de l'alliage 7003 anodisé.

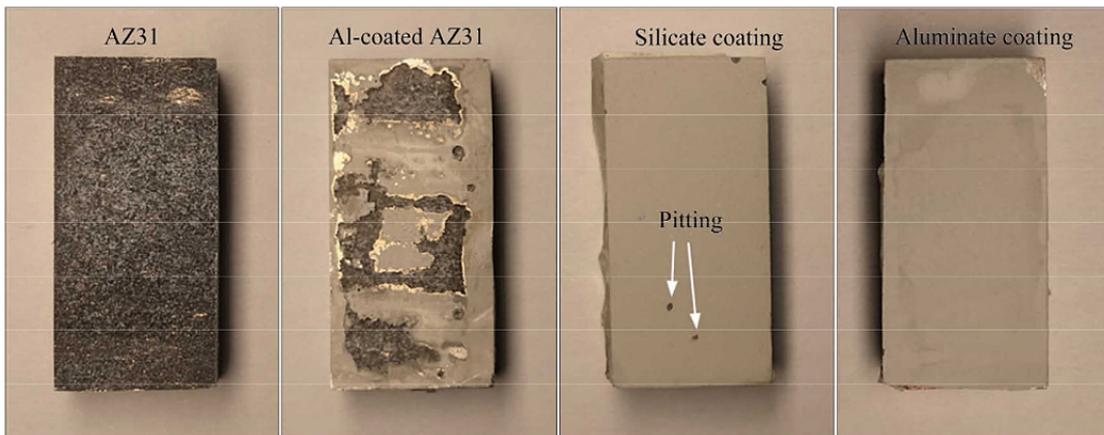


Résistance à la corrosion et à l'usure de l'alliage AZ31 Mg traité par un procédé duplex de pulvérisation magnétron et d'oxydation par plasma électrolytique (Corrosion and wear resistance of AZ31 Mg alloy treated by duplex process of magnetron sputtering and plasma electrolytic oxidation)

Bing-jian WEI, Yu-lin CHENG - College of Materials Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 31, Issue 8, August 2021

Afin d'améliorer la résistance à l'usure et à la corrosion de l'alliage de magnésium AZ31, une couche d'Al d'une épaisseur de 11 µm réalisée par pulvérisation magnétron a d'abord été appliquée. L'alliage revêtu a ensuite été traité par PEO dans un électrolyte d'aluminate et de silicate, respectivement. Les performances des revêtements PEO ont été étudiées par des tests d'usure (par frottement à sec) et de corrosion (tests électrochimiques). Le revêtement d'aluminate présente une excellente résistance à l'usure sous des charges de 10 et 20 N. Le revêtement de silicate ne présente qu'une faible résistance à l'usure. Le revêtement de silicate ne montre qu'une faible usure sous 10 N, mais il a été détruit sous 20 N. Les tests de corrosion montrent que la couche d'Al par pulvérisation magnétron seule ne peut pas offrir une bonne protection au substrat. Cependant, la couche duplex PEO/Al peut améliorer de manière significative la résistance à la corrosion de l'alliage AZ31. Les tests électrochimiques montrent que les revêtements d'aluminate et de silicate présentent des densités de courant de corrosion de $\sim 1,6 \times 10^{-6}$ et $\sim 1,1 \times 10^{-6}$ A/cm², respectivement, qui sont inférieures de deux ordres à celles de l'alliage AZ31 non revêtu. Cependant, les tests d'immersion et les analyses EIS montrent que le revêtement d'aluminate présente une meilleure protection contre la corrosion à long terme que le revêtement de silicate.



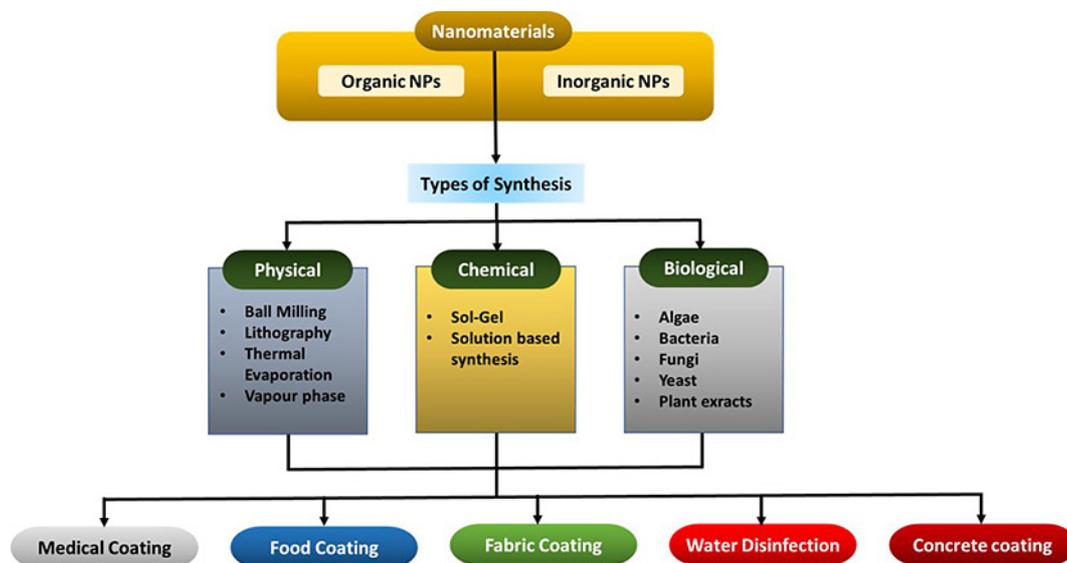
Optical appearances of different samples after 5 h immersion in 3.5 wt.% NaCl solution (10 mm × 20 mm)

PEINTURES / REVETEMENTS ORGANIQUES

Revêtements de nanomatériaux organiques et inorganiques pour la prévention de la croissance microbienne et des infections sur des surfaces biotiques et abiotiques (Organic and inorganic nanomaterial coatings for the prevention of microbial growth and infections on biotic and abiotic surfaces)

Arivalagan Pugazhendhi (ab), Seerangaraj Vasantharaj (c) - (a) School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand ; (b) College of Medical and Health Science, Asia University, Taichung, Taiwan ; (c) Department of Biotechnology, Hindusthan College of Arts and Science, Coimbatore 641 028, Tamil Nadu, India
Surface and Coatings Technology, Volume 425, 15 November 2021

La menace croissante des microbes pathogènes a augmenté le taux de morbidité et de mortalité au sein de la population humaine. Les Agences de Santé ont annoncé que le monde entrait dans l'ère post-antibiotique, ce qui augmentera le taux de mortalité par infections bactériennes. L'émergence de souches de bactéries multi-résistantes a conduit à la recherche de nouvelles stratégies pour empêcher la croissance bactérienne sur les surfaces abiotiques et biotiques. Les nanomatériaux sont donc de plus en plus considérés comme une stratégie potentielle pour remplacer la thérapie antimicrobienne conventionnelle. Ces derniers temps, on sait que les agents pathogènes bactériens colonisent les dispositifs médicaux, les implants, la limaille dentaire, les lentilles, les tissus et les surfaces métalliques et non métalliques. D'importants nanomatériaux organiques et inorganiques, dont l'argent (Ag), le cuivre (Cu), l'oxyde de zinc (ZnO), l'or (Au), le titane (Ti), le sélénium (Se), le fer (Fe) ainsi que des matériaux polymères, ont été mis en évidence comme des matériaux de revêtement potentiels pour empêcher la croissance et la fixation des bactéries. Les nanoparticules (NPs) ont une grande surface par rapport au volume et génèrent des espèces réactives de l'oxygène (ROS) menant à la détérioration des parois cellulaires bactériennes. Le présent article passe en revue le rôle important des nanoparticules comme matériau de revêtement pour créer des surfaces antibactériennes pour une durée et une efficacité prolongées et souligne le rôle des NPs métalliques dans la formation des biofilms et celui des NPs non métalliques comme vecteurs d'administration de médicaments afin de prévenir la contamination des dispositifs biomédicaux.



Protection cathodique par courant imposé (ICCP) de l'acier doux en association avec une peinture base zinc (Impressed current cathodic protection (ICCP) of mild steel in association with zinc based paint coating)

Pravin Deshpande (a), Aniket Kolekar (b) - (a) Department of Metallurgy and Materials Science, College of Engineering, Pune 411005, India ; (b) Department of Mechanical Engineering, DYPIEMR, Akurdi, Pune 411044, India

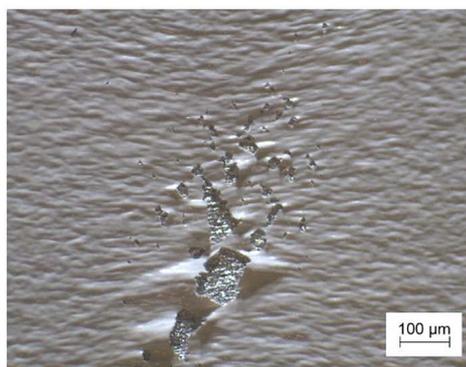
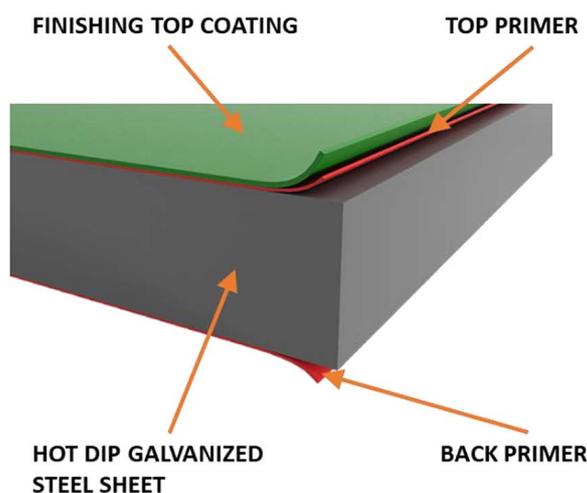
Materials Today Proceeding, 29 September 2021

Une formulation de peinture à base de résine époxy ester incorporant du zinc sphérique comme pigment avec une gamme de taille de 1-2 μm est étudiée pour une utilisation couplée avec une protection cathodique à courant imposé. L'acier doux peint contenant du zinc sphérique PVC = 61% présente une perte en fer négligeable $\sim 0,48$ ppm lorsqu'il est utilisé dans des conditions de courant imposé. La corrosion électrochimique de l'acier doux est considérablement réduite. Cela peut être attribué à l'effet combiné de la protection sacrificielle par les pigments de zinc et à l'apport d'électrons par le système de courant imposé.

Comportement à la déformation de tôles d'acier pré-peintes (Deformation behavior of pre-painted steel sheets)
Daniele Ciccarelli, Archimede Forcellese - Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche, Università Politecnica delle Marche, Via Brecce Bianche, 60100 Ancona, Italy
Procedia CIRP, Volume 99, 2021, Pages 266-271

La présente étude a pour but d'étudier le comportement de déformation en traction d'une tôle d'acier Z100, couramment utilisée dans les appareils ménagers, pré-peinte (la tôle d'acier est recouverte sur les deux faces d'une résine époxy-polyester, une autre couche de résine polyester modifiée par du silicone a été utilisée comme revêtement de finition). La tôle d'acier pré-laquée a été soumise à des essais en traction interrompus à différents niveaux de déformation afin d'évaluer la capacité d'élongation du revêtement de peinture et de la tôle d'acier. En outre, l'effet du niveau de déformation sur les dommages superficiels du revêtement de peinture et la distribution de l'épaisseur dans les différentes couches a été étudié avant rupture. Les principaux résultats peuvent être résumés comme suit :

- la tôle d'acier prélaquée présente une large déformation après apparition de la striction en raison de la forte anisotropie de l'acier ;
- dans la région d'allongement uniforme de la tôle, le revêtement de peinture est caractérisé par une finition en peau d'orange, sans apparition de ridules ou de fissures à la surface du revêtement ;
- à une valeur de déformation nominale de 0,34, les premiers défauts apparaissent sur la surface peinte au niveau de la zone de striction ;
- le degré d'endommagement du revêtement augmente avec le niveau de déformation jusqu'à la rupture de l'échantillon ;
- le primaire est caractérisé par une bonne adhérence puisqu'il permet à la peinture de rester solidaire de la tôle même près de la surface de rupture ;
- dans la zone de déformation uniforme, les épaisseurs de la tôle d'acier et des couches de peinture sont presque constantes le long de la longueur de l'échantillon ;
- dans la zone de striction, une distribution d'épaisseur non uniforme apparaît, ce phénomène est plus marqué pour le revêtement que pour la tôle d'acier.



Magnification of a damage on the paint coating surface of a deformed tensile sample in pre-painted steel sheet.

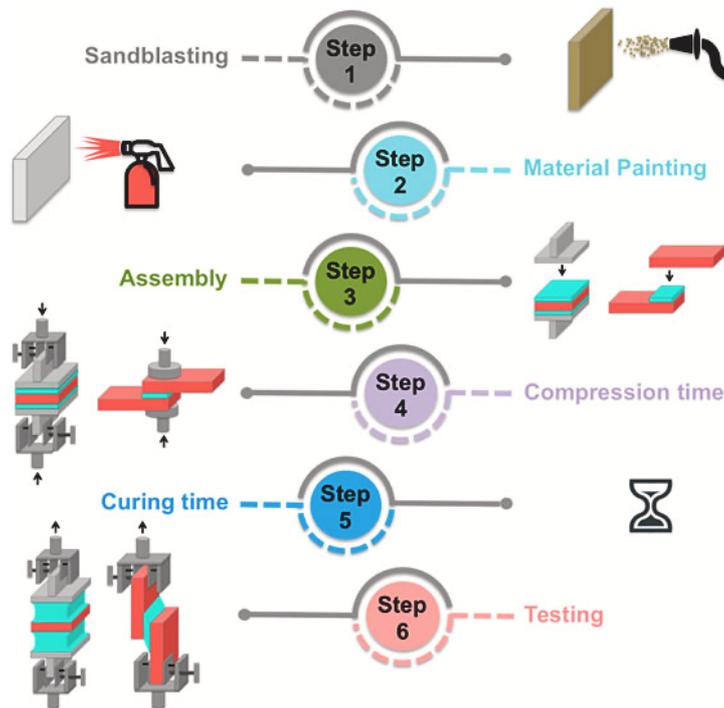
Comportement mécanique d'un adhésif sensible à la pression double face haute performance appliqué à des structures navales peintes (Mechanical behaviour of double side high performance PSA adhesive applied to painted naval structures)

M. Ortega-Iguña, M. Chludzinski - Department of Materials Science and Metallurgical Engineering and Inorganic Chemistry, School of Engineering, University of Cádiz. Avenida de La Universidad de Cádiz, 10, E-11519, Puerto Real, Cadiz, Spain

Polymer Testing, Volume 93, January 2021

L'utilisation d'adhésifs constitue une technologie bien établie dans les industries aéronautique et automobile. Un intérêt croissant pour l'utilisation de ces matériaux est apparu dans l'industrie navale, où l'utilisation d'adhésifs dans des zones non structurales implique la réduction du soudage pour fixer des composants de faible poids, rendant le processus d'assemblage moins coûteux et plus rapide. Parmi les différentes familles d'adhésifs disponibles, les adhésifs sensibles à la pression (PSA) double face sont considérés comme présentant un grand intérêt industriel. Un PSA haute performance a été utilisé pour assembler des pièces d'acier au carbone revêtues d'une peinture époxy approuvée par le secteur naval. Le présent article rapporte pour la première fois l'influence de certaines variables d'application expérimentale de ce système d'acier naval revêtu / PSA sur le comportement mécanique. Les essais standard de cisaillement et de traction ont montré que les conditions de durcissement, la préparation de la surface et la rugosité de la peinture ont des effets considérables sur la résistance de ces adhésifs : limite ultime de résistance (UTS), rupture cohésive, ductilité et ténacité de différentes configurations de joints. D'une manière générale :

- le PSA présente une résistance à la rupture plus élevée en cisaillement, tandis que la ductilité et la ténacité sont plus élevées en traction ;
- une faible rugosité de la surface peinte améliore l'adhérence du PSA ainsi que l'application d'un promoteur d'adhérence ;
- le temps de durcissement affecte les essais de cisaillement et de traction : une performance mécanique relativement bonne est observée avec seulement 6 heures de durcissement en cisaillement alors que 168 heures de durcissement sont recommandées pour les tests en traction ;
- la force de compression est importante : 30 N/cm² semble une valeur appropriée en traction et en cisaillement ;
- un temps de compression de 1 min est suffisant pour obtenir un comportement mécanique correct en cisaillement tandis que 5 min sont nécessaires en traction ;
- en adaptant les bons paramètres, le comportement mécanique des joints est similaire dans la gamme des valeurs étudiées : temps de durcissement (0-168 h), force de compression (10-60 N), temps de compression (0,5-10 min) ;
- les PSA offrent des performances élevées sous différentes conditions expérimentales de durcissement.



FABRICATION ADDITIVE

Fabrication additive de structures métalliques en treillis : conception sans contrainte, fabrication précise, performances fascinantes et défis à relever (Additive manufacturing of metallic lattice structures : Unconstrained design, accurate fabrication, fascinated performances, and challenges)

Liang-YuChen (a), Shun-XingLiang (b) – (a) School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, Jiangsu, 212003, China ; (b) Technical Chemistry I and Center for Nanointegration Duisburg-Essen (CENIDE), University of Duisburg-Essen, Universitaetsstrasse 7, Essen, 45141, Germany

Materials Science and Engineering : R: Reports, Volume 146, October 2021

Les structures en treillis, également connues sous le nom de structures cellulaires architecturées, ont été appliquées dans divers secteurs industriels en raison de leurs performances fascinantes, telles qu'un faible module d'élasticité, un rapport rigidité/poids élevé, un faible coefficient de dilatation thermique et une grande surface spécifique. Les structures en treillis fabriquées par les technologies de fabrication conventionnelles impliquent toujours un contrôle complexe du processus, des étapes d'assemblage supplémentaires ou d'autres facteurs difficiles à contrôler. La technique de fabrication additive, basée sur un processus couche par couche à partir de modèles de conception assistée par ordinateur, fait preuve d'une capacité et d'une flexibilité uniques et fournit un moyen idéal pour la fabrication de composants complexes tels que les structures en treillis, ce qui permet de réduire efficacement le temps de traitement et de minimiser les déchets de matériaux. La fabrication additive élimine la contrainte de conception de la structure et permet une fabrication précise de structures en treillis de bonne qualité. Ce travail présente un aperçu des méthodes de fabrication conventionnelles et des nouvelles technologies de fabrication additive pour les structures en treillis métalliques. La conception, l'optimisation, les propriétés et les applications de ces structures métalliques sont présentées. À partir d'un état de l'art précis, les limites et les perspectives futures de ces structures sont discutées.

Métallisation de polymères par fabrication additive réalisée par Cold Spray : contrôle de process, qualités du revêtement et applications potentielles (Polymer metallization via cold spray additive manufacturing: A review of process control, coating qualities, and prospective applications)

Ruslan Melentiev (a), Nan Yu (b) – (a) King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Thuwal, Saudi Arabia ; (b) Institute of Materials and Processes, School of Engineering, University of Edinburgh, EH9 3FB Scotland, UK

Additive Manufacturing, Volume 48, Part B, December 2021

La métallisation de polymères FA Cold Spray est une approche émergente pour la réalisation de revêtements métalliques épais sur des polymères et des composites renforcés fibres, qui devrait assurer une productivité élevée, un respect de l'environnement et une évolutivité du process. Une poudre métallique solide est accélérée par un courant supersonique de gaz préchauffé et propulsée vers un substrat polymère. Le chauffage généré par l'impact et la déformation des particules permettent la construction couche par couche. Depuis la première étude réalisée à Cambridge en 2006, près de 50 rapports expérimentaux sur la métallisation des polymères via cette technique ont été publiés, dont la moitié au cours des trois dernières années. Cette étude distingue la projection à froid des autres méthodes de projection thermique, analyse les particularités de la projection à froid sur les polymères et les composites renforcés fibres, décrit l'historique du domaine et résume la littérature disponible sur le sujet. L'accent est essentiellement mis sur l'influence des paramètres du procédé sur l'efficacité du dépôt, la force d'adhérence, la conductivité électrique. Les applications prometteuses en matière de galvanoplastie, d'ostéointégration, de revêtements anti-salissures, antivirus... sont passées en revue. Enfin, des recommandations sont données sur la façon d'améliorer la ré-exploitation des informations collectées dans les études futures.

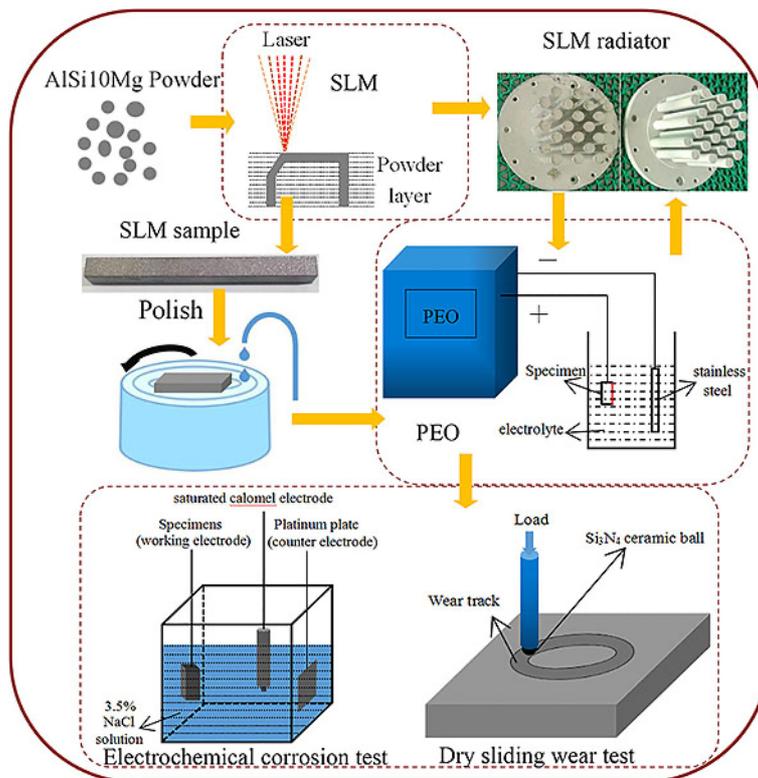
Importance du traitement d'oxydation par plasma électrolytique sur les performances en tenue à la corrosion et résistance à l'usure par frottement d'un alliage AlSi10Mg SLM (Significance of plasma electrolytic oxidation treatment on corrosion and sliding wear performances of selective laser melted AlSi10Mg alloy)

Chenyu Liu, Qun Wang - College of Materials Science and Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, PR China

Materials Characterization, Volume 181, November 2021

Dans cette étude, un revêtement PEO d'alumine (Al_2O_3) a été utilisé pour la protection contre la corrosion et l'usure de pièces en alliage AlSi10Mg obtenu par fusion sélective laser (SLM). Les compositions des phases, les microstructures, les propriétés mécaniques, la tenue à la corrosion et la résistance à l'usure de l'alliage AlSi10Mg SLM et des revêtements PEO ont été systématiquement étudiés/comparés. Il a été observé que l'alliage AlSi10Mg présentait une microstructure plus dense, des grains plus fins et d'excellentes propriétés mécaniques avec une

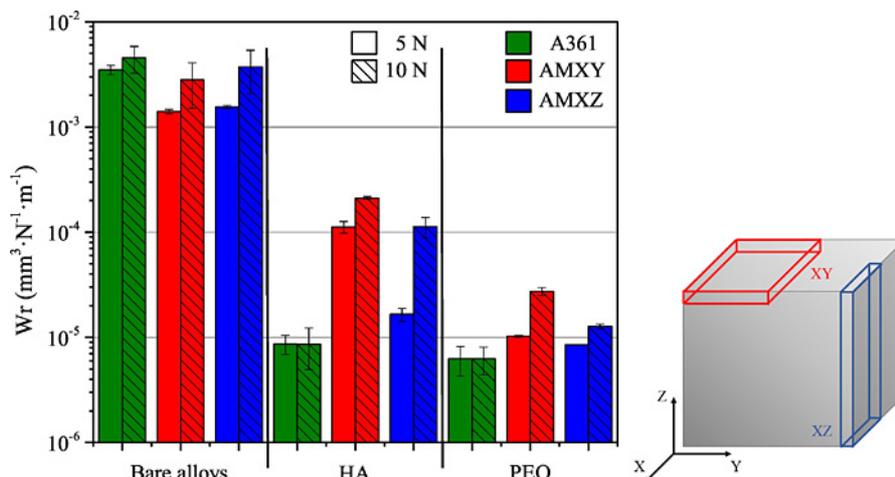
résistance ultime à la traction de 402 MPa en moyenne et un allongement de 9,9%. En outre, il a été constaté qu'avec un revêtement à double couche (avec Al_2O_3 comme couche supérieure d'une épaisseur de $\sim 20 \mu\text{m}$ et d'une dureté de $1051 \text{HV}_{0.01}$) réalisé par PEO, la densité de courant de corrosion et le taux d'usure étaient 5,7 et 279,3 fois inférieurs à ceux de l'alliage AlSi10Mg SLM brut. Les résultats indiquent que le traitement PEO peut améliorer de manière significative la résistance à l'usure et la tenue à la corrosion de ce type d'alliage SLM.



Anodisation dure et oxydation par plasma électrolytique d'un alliage Al-Si réalisé par fabrication additive

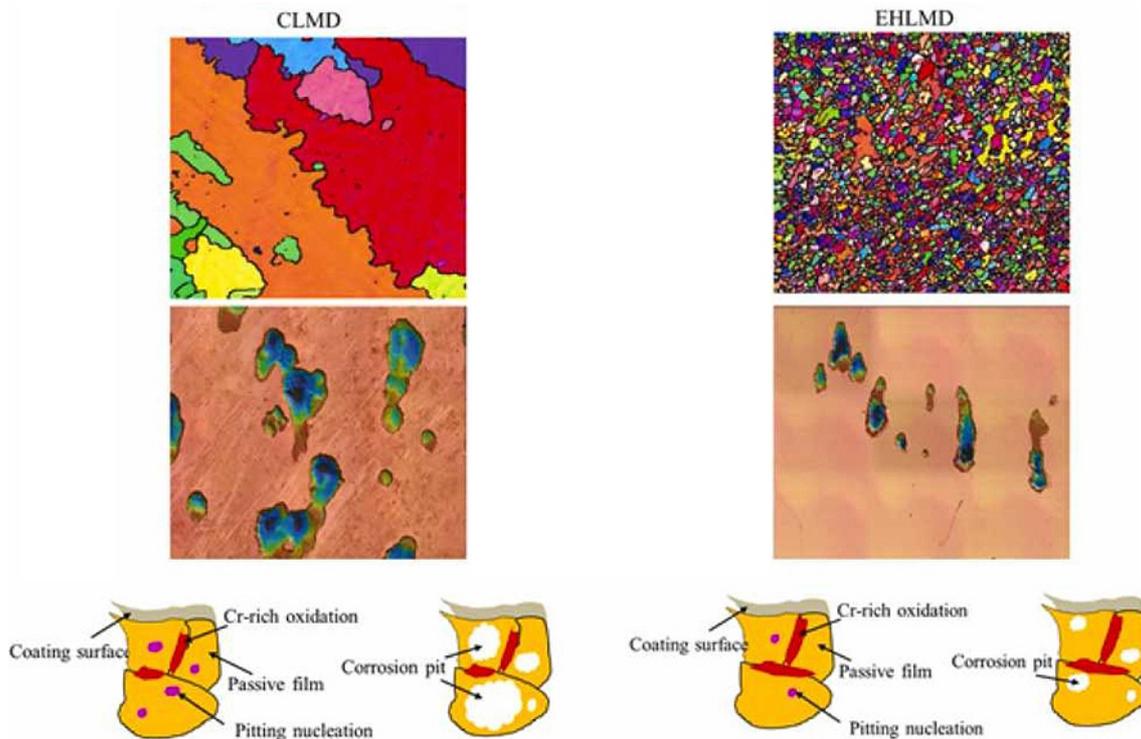
(Hard Anodizing and Plasma Electrolytic Oxidation of an Additively Manufactured Al-Si alloy)
 H. Mora-Sanchez, R. del Olmo - Departamento de Ingeniería Química y de Materiales, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain
 Surface and Coatings Technology, Volume 420, 25 August 2021

Des revêtements PEO et une anodisation dure (HA) ont été étudiés sur un alliage Al10Si1Mg fabriqué additivement par frittage laser direct de métal (DMLS). Les résultats ont été comparés à ceux obtenus pour un alliage coulé conventionnel A361. Les résultats ont révélé que la microstructure de l'alliage DMLS, constituée de cellules $\alpha\text{-Al}$ enfermées dans un réseau de Si, produisait des revêtements plus uniformes - en termes de morphologie, d'épaisseur et de rugosité à l'interface revêtement/substrat - que ceux obtenus avec l'alliage conventionnel. Toutefois, l'oxydation accrue du réseau fin de Si dans l'alliage DMLS donne lieu à des revêtements plus mous. Dans les deux alliages, les revêtements PEO présentent une protection contre l'usure supérieure à celle de l'HA en raison de la présence de mullite dans le premier. L'anisotropie de la microstructure de l'alliage DMLS influence le comportement tribologique des revêtements étudiés, le plan XZ présentant une meilleure performance contre l'usure.



Tenue à la corrosion d'un revêtement acier inoxydable chromé fabriqué additivement : comparaison entre un dépôt laser conventionnel et un dépôt laser à très grande vitesse (Comparing corrosion behavior of additively manufactured Cr-rich stainless steel coating between conventional and extreme high-speed laser metal deposition)
 Jinzhong Lu, Xiang Xu - School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212000, PR China
 Corrosion Science, 24 November 2021

Dans ce travail, une comparaison détaillée du comportement à la corrosion et des caractéristiques microstructurelles des revêtements en acier inoxydable riches en chrome réalisés par déposition laser conventionnelle (CLMD) et par déposition laser à très grande vitesse (EHLMD) a été proposée. Les résultats indiquent que le revêtement EHLMD présente une résistance à la corrosion supérieure avec une résistance de polarisation significativement plus élevée ($R_p=709,79 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}^2$) par rapport au revêtement CLMD ($R_p=356,69 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}^2$) dans une solution de NaCl 0,598 mol/L à température ambiante. Ce résultat a été attribué aux différences de caractéristiques de microstructure des revêtements préparés selon les deux procédés. Des dislocations et des défauts d'empilement sont générés dans le revêtement EHLMD qui présente des grains ultrafins et une densité élevée de joints de grains.



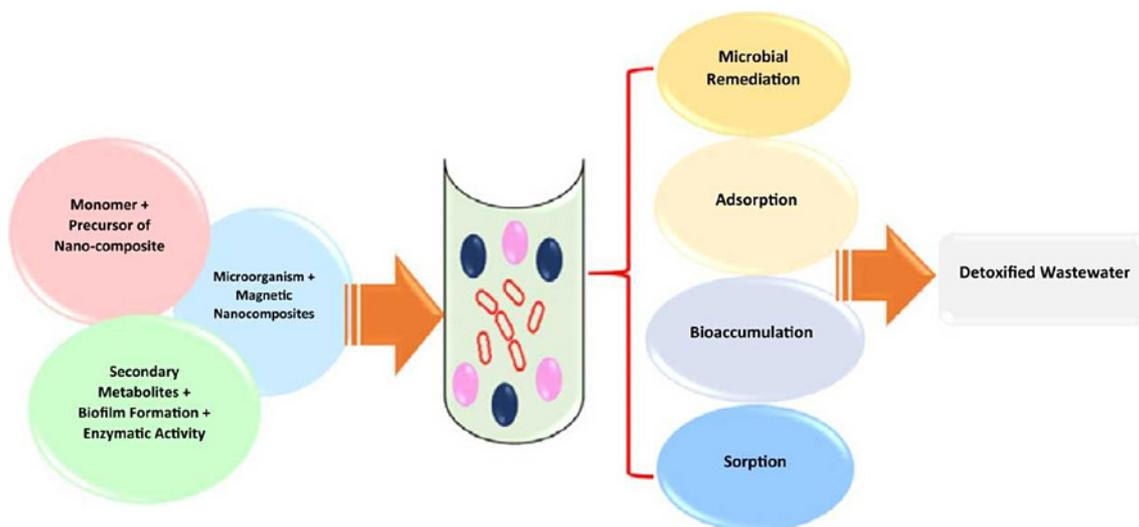
GESTION DES DECHETS

Purification des eaux usées industrielles par la réduction de la pollution métallique à l'aide de microbes et de nanocomposites magnétiques (Industrial wastewater purification through metal pollution reduction employing microbes and magnetic nanocomposites)

Pooja Sharma, Deblina Dutta - CSIR-National Environmental Engineering Research Institute (CSIR-NEERI), Nehru Marg, Nagpur 440 020, India

Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 9, Issue 6, December 2021

L'urbanisation et l'industrialisation rapides ont entraîné la production d'une énorme quantité d'eaux usées chargées en métaux lourds ces dernières années. Le traitement des eaux usées est une procédure coûteuse et gourmande en énergie, non seulement en raison des concentrations massives de polluants, mais aussi de leur volume important. Les microbes sont immunisés contre la toxicité des métaux et jouent un rôle important dans le cycle des ressources et le flux énergétique de l'écosystème. L'introduction des microbes dans la détoxification des eaux usées s'est avérée être une aubaine pour la société et, par conséquent, l'accent est mis sur la biominéralisation, l'oxydoréduction, la bioprécipitation, la bioaccumulation, la technologie des biosurfactants, la biolixiviation, la biovolatilisation et les processus de biosorption avec leurs avantages et inconvénients sélectifs. Les métaux lourds peuvent être compartimentés par des souches microbiennes, telles que *Corynebacterium glutamicum* (Pb, Zn, Cd, Co, Cr), *Aspergillus lentulus* (Cr, Cu et Pb), *Bacillus*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Shinella*, *Arthrobacter*, *Bacillus* et *Serratia*. Les nanocomposites (CuFeO, FeO, $\text{Co}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$, Fe_3O_4 , etc.), uniques en leur genre et ayant aidé les chercheurs à traiter les eaux usées de manière efficace. Cette analyse a donc pour but d'aborder le traitement des eaux usées en éliminant les métaux lourds à l'aide de microbes en combinaison avec des nanocomposites magnétiques. L'effet des métaux lourds sur la biodiversité, le rôle du microbiote dans l'environnement pour la détoxification, et les marqueurs appropriés qui représentent l'efficacité de l'élimination des métaux des eaux usées industrielles ont également été explorés. En outre, les questions qui doivent être abordées à l'avenir et les points importants pour les recherches futures sont également mis en évidence.

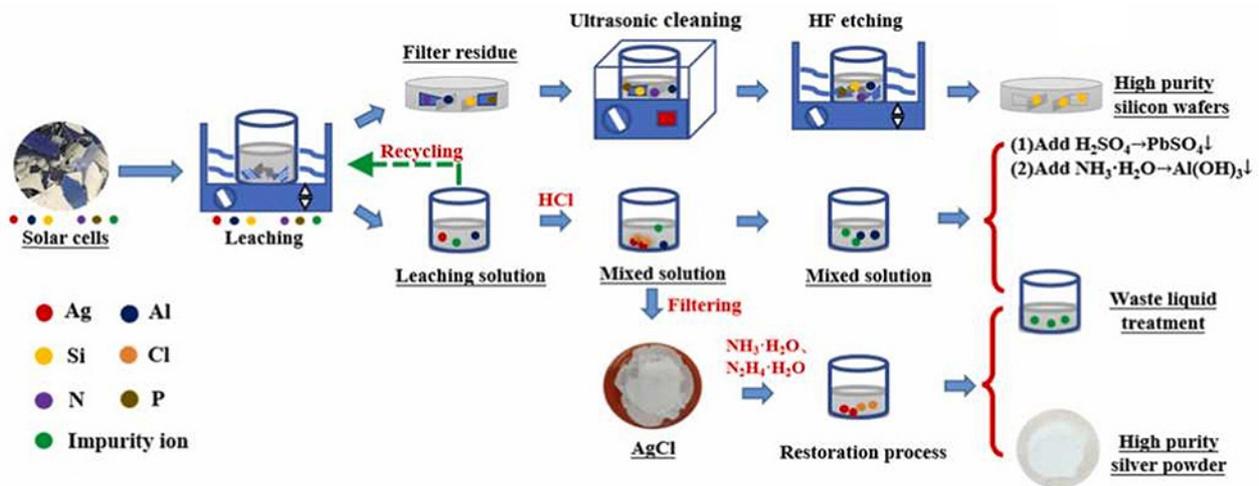


Approche globale du recyclage hydrométallurgique pour l'atténuation de l'impact environnemental des cellules solaires en fin de vie (A comprehensive hydrometallurgical recycling approach for the environmental impact mitigation of EoL solar cells)

Miaosi Luo (a), Fangyang Liu (ab) - (a) School of Metallurgy and Environment, Central South University, Changsha 410083, China; (b) Hunan Provincial Key Laboratory of Nonferrous Value-added Metallurgy, Central South University, Changsha 410083, China

Bien que dédié aux cellules solaires, cet article n'en demeure pas moins intéressant pour son approche et le type de déchets traités. Les auteurs ont étudié un processus de recyclage hydrométallurgique complet pour le silicium cristallin (C-Si) en tenant compte des problèmes de faible efficacité de séparation des éléments, du taux de récupération inadéquat des composants et des considérations environnementales déficientes dans les processus de recyclage actuels. Des procédés de récupération hydrométallurgiques appropriés ont été conçus pour récupérer les éléments précieux et piéger le plomb (Pb), matière dangereuse, tout en traitant correctement les eaux usées du processus de recyclage. L'acide nitrique (HNO_3) est un choix efficace pour la lixiviation élémentaire des déchets, avec des taux de lixiviation simultanée de 98,12% et 99,57% de l'argent (Ag) et de l'aluminium (Al), respectivement. Le taux de récupération global de l'Ag est de 96,13% en utilisant le procédé de précipitation à l'acide chlorhydrique

(HCl), de solubilisation à l'ammoniac et d'hydrazine. La pureté de l'Ag après réduction est de 99,8%. Les couches de nitrure de silicium (SiN_x) et de phosphure de silicium (Si₃P₄) à la surface de la tranche de silicium peuvent être complètement attaquées et éliminées par HCl à faible concentration, et le produit obtenu est du silicium pur. Plus important encore, les éléments de métaux lourds tels que le Pb ont été capturés pour éviter tout dommage potentiel à l'environnement et à la santé humaine. Il s'agit donc d'une méthode de séparation et de récupération efficace de Si, Ag et Al. Le procédé est adapté à une production à grande échelle.

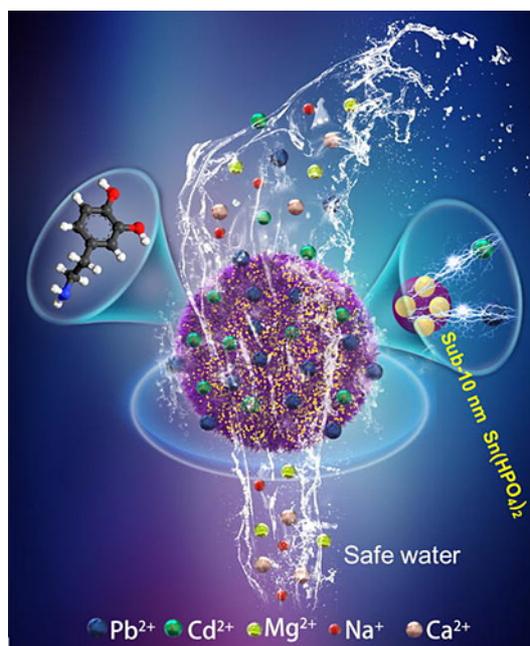


Élimination des métaux lourds dans les eaux usées par des structures Sn(HPO₄)₂ sub-10 nm bioinspirées
 (New insight into the bioinspired sub-10 nm Sn(HPO₄)₂ confinement for efficient heavy metal remediation in wastewater)

He Chen, Jianwei Sun - State Key Laboratory of Metastable Materials Science and Technology, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, PR China.

Journal of Colloid and Interface Science, 17 November 2021

L'ingénierie de matériaux fonctionnels actifs de moins de 10 nm constitue une approche importante pour résoudre les problèmes de pollution par les métaux lourds. Les nanocomposites, développés ces dernières années autour du principe de l'effet de confinement des pores, présentent toujours une faible diffusion et une faible utilisation des nanoparticules. Dans cette étude, un revêtement Sn(HPO₄)₂ haute densité sub-10 nm confiné par la polydopamine pour l'élimination du plomb (II) toxique a été préparé avec succès. La structure externe unique du revêtement et la taille supérieure de l'actif sub-10 nm ont permis d'atteindre des performances remarquables pour la captation des métaux lourds. Le revêtement hybride sub-10 nm supporte une application prolongée en environnement acide (pH 2,0-7,0) ainsi qu'une sélectivité significative avec des valeurs K_d de l'ordre de 9,4x10⁴ mL/g, ce qui est 450 fois supérieur à celui du polystyrène sulfoné commercial. Des filtrations ultrarapides sous vide ont également permis de valider sa capacité de séquestration supérieure (proche de 100%) des ions Pb et Cd à différentes concentrations (10-100 mg/L) pendant 2 minutes. L'application en colonne réelle démontre la capacité remarquable conduisant à 99,9% d'élimination du Pb et une stabilité efficace sur plusieurs cycles. Les performances sont principalement dues à l'architecture des nanoparticules.

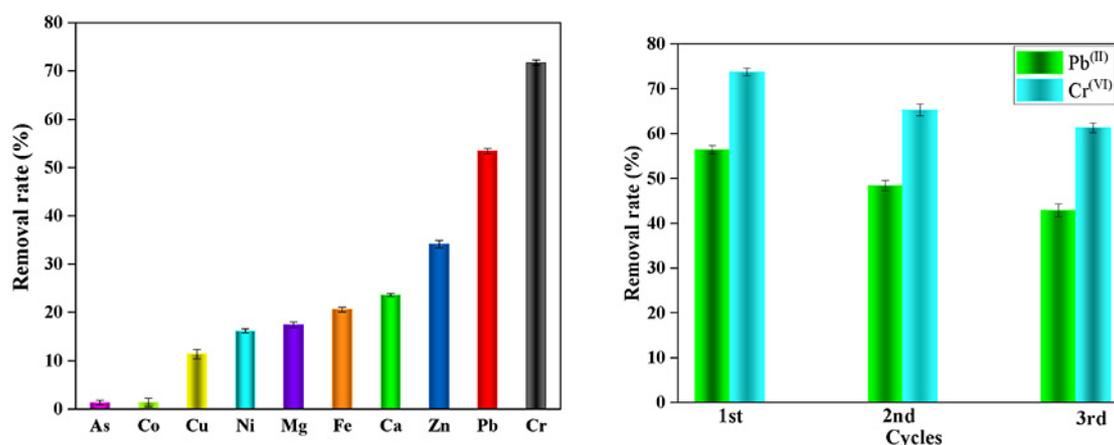


Adsorbant MOF efficace, sélectif et réutilisable pour l'élimination du Pb(II) et du Cr(VI) des eaux usées (Efficient, selective, and reusable metal-organic framework-based adsorbent for the removal of Pb(II) and Cr(VI) heavy-metal pollutants from wastewater)

Yanjin Zheng, Feng Rao - School of Materials Science and Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian, 350108, China

Cleaner Engineering and Technology, 16 November 2021

Un nouveau MOF (Metal-Organic framework), $\{[Cd_{1.5}(btc)(bipb)-2H_2O]-H_2O\}_n$, susceptible de capter le Pb(II) et le Cr(VI) des eaux usées est proposé. L'adsorbant présente une forte densité de sites actifs exposés, avec des capacités d'adsorption maximales de 537,634 mg/g pour le Pb(II) à pH 7 et 787,402 mg/g pour le Cr(VI) à pH 6. L'équilibre d'adsorption est atteint après 60 et 120 min avec Pb(II) et Cr(VI), respectivement, et l'adsorbant est régénéré efficacement en utilisant un éluant éthanol-acide acétique. L'analyse de la cinétique d'adsorption à l'aide de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier et de la spectrométrie photoélectronique par rayons X a montré que les groupes -OH abondants (base forte) et le Pb(II)/Cr(VI) (acide faible) se comportent selon le principe de l'acide-base faible-fort. De plus, les paires d'électrons sont partagées entre les atomes N de l'imidazole et le Pb(II)/Cr(VI). Cette étude fournit de nouvelles perspectives sur la conception de MOF tridimensionnels pour l'élimination des polluants des eaux usées industrielles.



Élimination de Cu²⁺, Fe²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺ et Cl⁻ des eaux usées industrielles à l'aide d'une membrane composite en polyéthersulfone/nanotube de carbone/alcool polyvinylique (Removal of Cu²⁺, Fe²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺ and Cl⁻ from Industrial wastewater using a Polyethersulfone/Carbon Nanotube/Polyvinyl alcohol composite membrane)

Mlungisi Martin, Ngoma Machodi - Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and the Built Environment, University of Johannesburg, Doornfontein, Johannesburg 2028, South Africa

Environmental Challenges, Volume 4, August 2021

Le polyéthersulfone (PES) est couramment utilisé pour fabriquer des membranes d'ultrafiltration (UF) destinées au traitement des eaux usées en raison de sa grande perméabilité, de sa résistance et de sa stabilité chimique et thermique. Cependant, le PES a une faible hydrophilie en raison du groupe fonctionnel sulfonyle et devient donc sensible à l'encrassement, ce qui entraîne une réduction des performances et de la durée de vie de la membrane. Dans cette étude, des membranes constituées de 10% en poids de PES/CNT (nanotubes de carbone) ont été préparées suivant différentes proportions : 2,5, 5, 7,5 et 10% en poids de nanotubes de carbone (CNT). Les membranes ont été immergées dans une solution de PVA (alcool polyvinylique) à 1% en poids afin de constituer une couche de PVA hydrophile sur la surface des membranes. Une membrane de référence en PES pur à 10% a également été préparée à des fins de comparaison. Cette recherche s'est concentrée sur l'évaluation de l'effet du revêtement d'une couche de PVA sur la performance d'une membrane PES/CNT/PVA. La caractérisation TEM (microscopie électronique à transmission) a révélé que les CNT sont des MWCNT, la PSD (densité spectrale de puissance) a été réalisée pour mesurer la taille des particules de CNT, la FTIR (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) a confirmé la formation de groupes fonctionnels –COOH et –OH sur la surface des CNT, le MEB (microscopie électronique à balayage) a confirmé les structures poreuses de la membrane, l'analyse BET (Brunauer, Emmett et Teller) a montré une augmentation de la taille des pores à une charge plus élevée de CNT. On a pu constater une diminution des propriétés de traction lorsque les CNT ont été ajoutés, et les études d'angle de contact ont montré une augmentation significative de l'hydrophilie avec l'ajout de CNT et de PVA. Les expériences de filtration ont été menées en utilisant une cellule agitée de type dead-end stirred cell. La membrane PES/7.5 wt% CNT/PVA a donné les meilleurs résultats avec un bon compromis entre le flux de la membrane et le rejet, générant un flux de 7.94 L/m²h et un rejet de 88.56% de Cu²⁺, 96.15% de Fe²⁺, 89.06% de Ni²⁺, 100% de Zn²⁺ et 99.93% de Cl⁻. Des tests d'antislissure pour cette membrane (réalisés à l'aide d'un dispositif de filtration à flux croisés) ont montré que seulement 70,77% du flux pouvait être récupéré. Ces résultats démontrent l'efficacité de ce type de membrane pour l'élimination des ions Cu²⁺, Fe²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺ des eaux usées industrielles.

