



**Auvergne  
Rhône-Alpes**  
Entreprises



## **Webinaire sur les revêtements des aciers inoxydables**

Faits à l'initiative d'Auvergne-Rhône-Alpes Entreprises

Organisation technique : Cercle d'Etudes des Métaux, Ecole des Mines de Saint-Etienne

***Mardi 15 juin 2021 de 9h00 à 12h***

Les aciers inoxydables ont dans leur ensemble des caractéristiques mécaniques limitées, leur couche naturelle de protection est facilement éliminée par action mécanique. Par ailleurs, ces aciers sont en général utilisés dans des milieux aqueux agressifs ou dans des ambiances spécifiques (haute ou basse température, conformité aux normes alimentaires), avec des solutions matériaux du type « deux surfaces de même nature » ou frottement inox sur inox.

Les revêtements ont pour but spécifique de réaliser des discontinuités métallurgiques avec phases de renfort et de constituer des barrières de diffusion aux courants ioniques de corrosion et des barrières thermiques. Ils améliorent les propriétés tribologiques des aciers inoxydables, ainsi que leur tenue à la corrosion et à l'oxydation.

**9h00-9h45 : Les applications des revêtements PVD/PECVD sur aciers inoxydables :** Anthony CHAVANNE (HEF, CS 42077, 42162, Andrézieux Bouthéon)

**9h45-10h30 : Revêtements PVD réalisés en continu sur aciers inoxydables :** les réalisations de Sandvik, exposées par Robert LEVEQUE (Cercle d'Etudes des Métaux)

**10h30-11h15 : Rechargement laser d'acier inoxydable duplex et superduplex :** Jean-Marc STAERCK (Technogenia Saint Jorioz, 74410)

**11h15-12h00 : Réalisation par projection thermique de couches protectrices et fonctionnelles sur aciers inoxydables :** Geoffrey DARUT (LERMPS-UTBM, Sevenans, Belfort 90000)

### **Synthèse du séminaire sur les revêtements d'aciers inoxydables**

Le webinaire relatif aux revêtements réalisés sur acier inoxydable a rassemblé 57 participants dont 75% d'industriels et 25% de représentants des centres de recherche universitaires, des centres techniques et des institutionnels. Il a regroupé trois communications, la quatrième relative aux revêtements PVD réalisés en continu sur feuillards d'acier inoxydable n'a pas pu être réalisée. Un résumé de la présentation faite en mars 2017 sur le même sujet lui servira de substitution pour cette synthèse.

La première présentation réalisée par Antony CHAVANNE du groupe HEF a été relative aux dépôts PVD/PECVD sur aciers inoxydables. Ces dépôts sont réalisés automatiquement sur des machines spécifiques avec trois technologies majeures, PEMS (décharge électrique dans un plasma argon), M Arc (technique de dépôt par arc modifiée) et CAM (déposition assistée par décharge micro-ondes). Des exemples d'applications industrielles de ces techniques de déposition ont été donnés : la résistance à l'érosion pour des turbines destinées à l'industrie du pétrole avec des revêtements de CrN multicouches, l'amélioration des propriétés tribologiques avec des revêtements de DLC dans les moteurs thermiques, l'isolation électrique avec des revêtements de métal noble pour les équipements de piles à combustible, la réflectivité avec des revêtements d'aluminium et d'argent, la biocompatibilité avec les revêtements de DLC pour les prothèses orthopédiques et les outils chirurgicaux. Il est également possible de réaliser sur acier inoxydable une fonction coloration avec des revêtements antimicrobiens résistant à la rayure et des applications dans les cosmétiques en Europe et dans les armes aux USA.

La deuxième présentation sur les revêtements PVD réalisés en continu sur aciers inoxydables, a été faite en mars 2017 par Lorenzo QUARANTA, représentant français du groupe Sandvik, parti à la retraite en 2020 et dont le remplaçant, Fabrice PAOLETTI, a été excusé. L'équipement qui existe en Suède a été conçu en interne par le centre R et D au début des années 2000. Il est capable de réaliser par évaporation thermique des dépôts d'épaisseur comprise entre 0,2 et 0,5  $\mu\text{m}$  à une vitesse supérieure ou égale à 80 m/min sur des feuillards d'épaisseur comprise entre 0,04 et 0,8 mm et de largeur moyenne 300 à 370 mm (dimensions extrêmes 6 et 700 mm). De telles épaisseurs ne posent aucun problème d'aptitude à l'emboutissage des tôles revêtues. Il est possible de réaliser sur l'équipement qui comporte trois chambres de déposition, une chambre de préparation de surface et une chambre de contrôle d'aspect et d'épaisseur les opérations suivantes : dégraissage et élimination de la couche passive, réalisation d'un multicouches oxyde/métal ou d'une couche sur chaque face avec des fonctionnalités différentes. Il existe différents types de dépôt en fonction des propriétés requises : Sn pour le brasage, Cu et Ni pour la tenue à la corrosion, GLC (Graphite Like Carbon) pour les piles à combustible et la connectique sur substrats 304 ou 316, avec dans ce dernier cas une épaisseur de 0,1  $\mu\text{m}$ . Il y a très peu de variations d'épaisseur sur les substrats par comparaison aux revêtements réalisés par électrodéposition et les procédés de déposition satisfont totalement aux contraintes environnementales.

La troisième présentation réalisée par Jean-Marc STAERCK du groupe Technogenia a été relative aux revêtements réalisés par rechargement avec la technique du laser, sur des machines automatiques facilement contrôlables et multidirectionnelles. Les épaisseurs réalisées sont de 0,2 à 0,5 mm par couche avec la possibilité de réaliser plusieurs couches. Comme 75% de l'activité de la société est réalisée pour des équipements destinés à l'industrie pétrolière, les exemples de réalisations industrielles présentés sont donnés sur substrats aciers inoxydables duplex. Sur ce type d'acier, il est nécessaire d'adapter les conditions de refroidissement et de préchauffage pour éviter la préfissuration des dépôts et la précipitation de phases intermétalliques entraînant une très forte réduction de la ténacité et de la tenue à la corrosion. Pour un rechargement de cermet 60% WC- 40% Ni-Cr sur acier duplex 2205, un préchauffage aux environs de 200°C est l'optimum pour la réduction des fissures. Des exemples de rechargement d'acier inoxydable 420/430 sur acier duplex ont été donnés pour des pièces destinées localement à une bonne résistance à l'usure plutôt qu'une bonne résistance à la corrosion. Des exemples de réalisation de rechargements à très grande vitesse (35 m/min) d'alliages base Co sur des pièces de révolution ont été donnés avec l'obtention de couches d'épaisseur comprise entre 100 et 300  $\mu\text{m}$ . Le rechargement laser est également réalisé sur acier inoxydable amagnétique à très forte teneur en manganèse et azote avec une sous couche en

alliage IN 625 et deux ou trois couches de cermet 60%WC- 40%Ni-Cr. Le rechargement est enfin utilisé comme moyen de réparation de pièces mécaniques avec des épaisseurs de couches comprises entre 5 et 10 mm.

La quatrième présentation a été réalisée par Geoffrey DARUT du LERMS de Montbéliard sur la fonctionnalisation de l'acier inoxydable par projection thermique avec les différentes techniques de combustion (flamme, détonation, HVOF), de décharge électrique (arc fil, plasma) et de densité de quantité de mouvement (cold spray). De nombreux exemples ont été donnés pour différentes fonctionnalités dans plusieurs secteurs industriels comme la mécanique, l'aéronautique, le biomédical et l'électrotechnique. Pour les problèmes d'usure, c'est la projection de céramiques  $Al_2O_3$  ou  $TiO_2$  et de cermets  $Cr_3C_2$  WC-CoNi par technique APS (projection plasma atmosphérique) ou HVOF qui est utilisée. Pour les problèmes d'usure et de corrosion, c'est la projection d'aluminium et d'alumine par les techniques flamme ou arc fil qui est la plus appropriée ; pour les problèmes d'isolation électrique, c'est la projection d'alumine par technique HVOF ou APS qui est utilisée ; pour la réalisation de barrières thermiques, c'est la projection de NiCrAlY en sous couche d'accrochage suivie par une couche de zircone yttrée sur 100 à 400  $\mu m$  qui est réalisée. Pour les problèmes de cavitation sur hélices de bateaux, la projection de cermets WC-CoCr,  $Cr_3C_2$ -NiCr ou de céramiques  $Al_2O_3$  par technique HVOF est la plus appropriée. Dans le domaine biomédical, la projection d'hydroxyapatite par APS ou HVOF permet une meilleure biointégration des différents types de prothèses. Il est également possible de réaliser des dépôts bactéricides par projection de cuivre par technique cold spray, des surfaces hydrophobiques par projection APS ou HVOF d'oxydes de terres rares et des revêtements de titane sur plaques d'électrolyseur par technique cold spray.