

Fonctionnalisation de surfaces par traitement laser

Equipe SIOM : María del Carmen Marco de Lucas, Sylvie Bourgeois

Equipe LTm : Luc Lavis, Jean Marie Jouvard, Gianni Pillon

- fonctionnalisation, oxygénures de titane, microstructure -

Cadre

Collaboration intra-ICB depuis 2006.

Voir Rapport d'activité de l'équipe LTm, Annexe 2, Fiche Scientifique "Fonctionnalisation de surface par laser"

Contexte

La fonctionnalisation de surfaces a pour but de donner à un matériau des propriétés qui correspondent à des exigences technologiques précises. Les traitements de surface par laser peuvent modifier la composition et/ou la structure d'un matériau et ainsi améliorer ses performances mécaniques (dureté, usure), chimiques (résistance à la corrosion), etc.

La démarche développée par l'équipe LTm, porteur de la thématique *Fonctionnalisation de surface par laser*, s'étend depuis la réalisation des traitements laser jusqu'à leur application, en passant par l'étude de l'effet des différents paramètres opératoires, la caractérisation et la simulation des phénomènes physiques et chimiques, et l'analyse des propriétés fonctionnelles de la surface traitée. L'équipe SIOM apporte à cette démarche ses compétences en analyse de surfaces, notamment par des techniques de spectroscopie de photoélectrons X (XPS) et spectroscopie Raman.

Objectif

Le but était de modifier les propriétés de surface du titane (pur ou allié) par traitement avec des lasers impulsifs de puissance Nd:YAG. Notre travail a été articulé autour de trois axes :

- 1- l'étude des nanopoudres de dioxyde de titane formées au cours de l'interaction laser-cible,
- 2- la caractérisation physico-chimique des couches de surface,
- 3- l'analyse des propriétés fonctionnelles.

Résultats

L'étude de la poudre de dioxyde de titane formée lors de l'interaction laser-cible nous a permis de différencier deux catégories de particules : celles de taille micrométrique, qui seraient le résultat de l'éjection latérale de micro-gouttelettes de titane fondu, et des nanoparticules qui se formeraient par condensation des vapeurs de titane. Les études continuent actuellement pour vérifier ces deux mécanismes de formation.

L'étude de la formation de couches minces à la surface des substrats de titane pur a été conduite selon deux axes :

- par des impacts uniques, afin de comprendre l'importance de l'accumulation des tirs sur l'évolution des bilans de matière,
- par des successions de lignes d'impact avec un recouvrement partiel des lignes qui donnent lieu à la formation d'une couche mince continue (Figure 1). De façon générale, la diminution de la durée d'impulsion, du nombre d'impacts, et l'augmentation de la fluence par pulse, a permis de mettre en évidence l'augmentation de l'insertion de l'azote à l'extrême surface de la cible de titane au détriment de l'oxygène. Nous observons alors la formation des oxygénures de titane à la place du dioxyde de titane (anatase ou rutile) obtenu pour les plus longues durées d'impulsion (quelques centaines de nanosecondes).

Les traitements laser, en contrôlant l'insertion d'éléments de l'atmosphère environnante, modifient la surface des cibles. Ainsi les couches formées, contenant du dioxyde de titane et/ou des oxygénures de titane, présentent des colorations diverses allant du jaune ou bleu au violet ou vert. Elles présentent un comportement à l'usure en frottement variable selon les traitements effectués (conditions laser et environnementales). Ainsi deux voies d'étude ont été explorées :

1- Analyse de la couleur par combinaison des analyses de surface (EDS - NRA - DRX - Raman) et d'extrêmes surfaces (XPS - AES - SIMS - GIXRD) pour lier la couleur de ces couches à leurs caractéristiques physico-chimiques (Figure 2). L'analyse

colorimétrique et les spectres de réflectance diffuse ont montré l'influence de la durée de l'impulsion de la source laser, mais aussi pour une même source la variation selon le couple fluence par pulse – nombre de pulses par point.

2- Analyse du comportement en frottement (cylindre-plan). L'existence d'un couple fluence par pulse – nombre d'impacts optimal a été mise en évidence avec une forte diminution du coefficient de frottement par rapport à la surface non traitée. Le régime est mixte (passage du glissement total au glissement partiel selon le nombre de cycles) pour les sources de plus longues durées d'impulsion, tandis que le glissement est uniquement total pour les sources de plus courtes durées d'impulsion. Des analyses par microsonde nucléaire NRA, par fluorescence X PIXE (*Particle Induced X-Ray Emission*) et RBS (*Rutherford backscattering*) ont été réalisées en collaboration avec P. Berger du Laboratoire Pierre Süe de Saclay afin d'observer l'évolution du transfert de matière du cylindre vers la surface frottée.

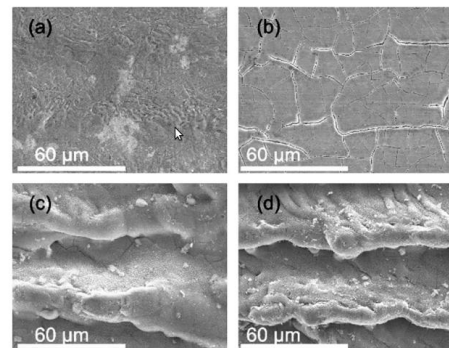


Figure 1 : Images MEB de la surface de substrats de titane traités avec un laser Nd:YAG délivrant des impulsions de 35 ns, pour des valeurs croissantes de la fluence allant de 4 à 60 cm⁻².

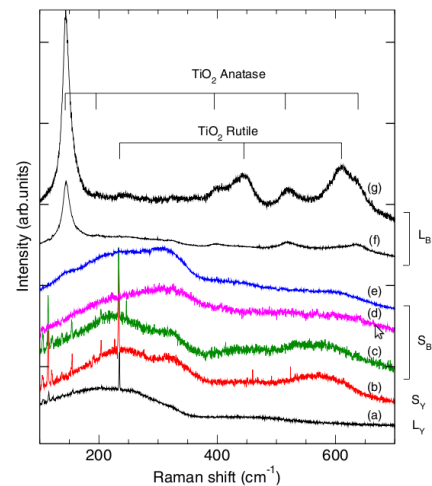


Figure 2 : Spectres Raman des couches de couleur jaune (S_Y, L_Y) ou bleue (S_B, L_B) obtenues avec des impulsions de 5 s (S_Y, L_Y) ou de 35 ns (S_Y, L_Y).

La composition, la couleur et les propriétés tribologiques de couches minces préparées par impact laser de substrats de titane peuvent être adaptées en modifiant les caractéristiques du laser utilisé.

Production

- 5 publications, 5 communications

- **Publication la plus significative :**

Influence of laser-target interaction regime on composition and properties of surface layers grown by laser treatment of Ti plates, L Lavis et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 245303 (8pp)
(doi: [10.1088/0022-3727/42/24/245303](https://doi.org/10.1088/0022-3727/42/24/245303))