

▲  
Figure 7: Observations MEB d'un revêtement HEA obtenu par fusion laser. a) observation de la surface; b) observation en coupe transversale (conditions laser: puissance 110 W, temps d'exposition 600 μs)

Le revêtement final est ensuite obtenu par irradiation sous faisceau laser pulsé (longueur d'onde 1070 nm). Différents paramètres sont ajustables, et notamment la puissance laser, le temps d'exposition et la distance entre deux points successifs, permettant ainsi sur un seul substrat d'obtenir différents jeux de paramètres différents. Cette étape se fait dans une enceinte fermée, sous flux d'argon ou sous vide, afin de limiter au maximum l'oxydation des éléments métalliques. Le chauffage en continu du substrat métallique à 160°C pendant le traitement laser permet d'éviter la fissuration du revêtement et de conserver ainsi son intégrité.

Les revêtements sont obtenus par mélange quaternaire de poudres métalliques, le 5ème élément nécessaire à l'obtention d'un HEA, étant le fer qui est apporté par le substrat en acier.

La Figure 7 montre, à titre d'exemple, un revêtement HEA obtenu à partir du mélange quaternaire initial  $\text{Co}_{29}\text{Cr}_{29}\text{Mo}_{14}\text{Ni}_{28}$ .

Le revêtement obtenu ne présente aucun défaut ni en surface, ni sur l'épaisseur. Aucune délamination, ni porosité n'est observée à l'interface substrat / revêtement. L'épaisseur du revêtement est relativement homogène, autour de 60 μm. Les mesures obtenues par MEB-EDS montrent une répartition également homogène des éléments, avec une composition moyenne de formule  $\text{Co}_{22}\text{Cr}_{16}\text{Fe}_{30}\text{Mo}_{11}\text{Ni}_{21}$ . Les mesures d'anti-corrosion de ces revêtements sont en cours.



ALLIHENTROP



## Les revêtements de nickel chimique

**i** Umons  
Prof. Véronique Vitry

Les dépôts de nickel chimique sont formés par la réduction de sels de nickel en phase aqueuse, comme les dépôts électrolytiques mais font appel à un réducteur chimique plutôt qu'à une source externe de courant pour cette réduction. Cette méthode de synthèse confère aux dépôts de nickel chimique plusieurs propriétés uniques et particulièrement intéressantes pour diverses applications industrielles :

- 1 homogénéité d'épaisseur et conformité dimensionnelle parfaite, le dépôt n'étant pas influencé par la répartition du courant dans la pièce à revêtir
- 2 revêtement de tous types de substrats, y compris non-conducteurs et de

- pièces de formes complexes
- 3 dureté élevée en raison de l'incorporation de phosphore ou de bore et de la nature amorphe à nanocristalline
- 4 excellente résistance à l'usure, surtout pour les dépôts contenant du bore.

Il existe plusieurs réducteurs permettant d'obtenir des dépôts chimiques de nickel. Parmi ceux-ci, l'hypophosphite de sodium est de loin le plus utilisé et mène à l'incorporation de phosphore dans le dépôt de nickel en formation. Les revêtements ainsi obtenus sont divisés en trois classes en fonction de leur teneur en phosphore :

- 1 les dépôts à bas phosphore de 1 à 5 % en masse

- 2 à moyen phosphore de 6 à 8 %
- 3 à haut phosphore de 9 à 12%.

Les dépôts à bas phosphore sont cristallins mais lorsque la teneur en cet élément augmente la cristallinité diminue et les dépôts à haut phosphore sont en général considérés comme amorphes. Les dépôts à bas phosphore possèdent une dureté supérieure aux autres dépôts de nickel-phosphore (de l'ordre de 700  $h\nu_{100}$  contre 500 à 600  $h\nu_{100}$ ), en revanche, leur résistance à la corrosion est plus faible que celle des revêtements à haut phosphore qui sont avantagés par leur caractère amorphe et par leur haute teneur en phosphore qui favorise la passivation. Toutefois, les 3 classes

de dépôts de nickel-phosphore présentent des rugosités, coefficients de friction et résistances à l'usure similaires, avec des indices d'usure Taber de l'ordre de 17.

Les propriétés mécaniques de tous les dépôts de nickel-phosphore sont améliorées par un traitement thermique entre 250 et 400°C, qui permet de cristalliser les dépôts amorphes. Les duretés atteintes après ces traitements thermiques vont de 880  $hv_{100}$  pour les dépôts à haut phosphore à 100  $hv_{100}$  pour les dépôts à bas phosphore. Le traitement thermique s'accompagne également d'une amélioration de la résistance à l'usure. Ces dépôts présentent également des propriétés de conductivité électrique et de brasabilité qui les rendent intéressants pour des applications en électronique.

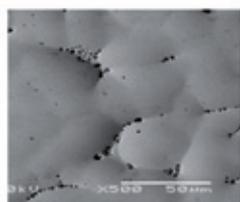
En ce qui concerne les revêtements de nickel-bore, ils peuvent être obtenus à partir de deux classes de réducteurs : les ions borohydrure et les amine-boranes. Ces dépôts contiennent de 0,8 à 9% en masse de bore et leurs propriétés mécaniques sont supérieures à celles des dépôts de nickel-phosphore avec une dureté de 800 à 900  $hv_{100}$  après dépôt qui peut atteindre 1300  $hv_{100}$  après un traitement thermique similaire à ceux pratiqués sur nickel-phosphore. La dureté de ces revêtements peut donc dépasser celle du chromage dur; ce qui en fait un candidat intéressant à sa substitution. De plus, les revêtements de nickel-bore présentent une excellente résistance à l'usure abrasive, avec des indices Taber de l'ordre de 8 à 10 sans traitement thermique. Toutefois, leur résistance à la corrosion est inférieure à celle des dépôts de nickel-phosphore.

En plus de ces propriétés permettant leur utilisation dans les applications mécaniques, les dépôts de nickel-bore sont également de bons conducteurs électriques et possèdent des propriétés catalytiques, notamment vis-à-vis des réactions d'hydrogénation-déshydrogénation. Leurs propriétés magnétiques sont également intéressantes pour certaines applications.

Un des reproches fréquents faits aux revêtements de nickel-bore est la présence de métaux lourds toxiques dans les bains et les revêtements car ces derniers sont utilisés pour stabiliser les bains de dépôt. Toutefois, des recherches récentes ont permis de développer de nouvelles formulations, exemptes de ces métaux toxiques, qui conservent les propriétés des revêtements classiques, voire les améliorent dans certains cas.

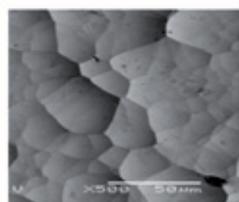
Les applications des dépôts de nickel chimique sont nombreuses en raison de leurs propriétés mécaniques, tribologiques, électriques, mais également catalytiques. Citons par exemple des pièces d'usures dans l'automobile et l'industrie manufacturière ; des roulements à billes et rouleaux, des connecteurs électriques pour l'électronique, des appareils de découpe (pour le bois, la viande...), des rouleaux d'imprimerie, mais également, et de façon de plus en plus régulière, des catalyseurs pour des réactions diverses, principalement en chimie organique et agro-alimentaire. Les revêtements de nickel chimique sont aussi largement utilisés pour la métallisation décorative des plastiques.

## NIP bas-phosphore



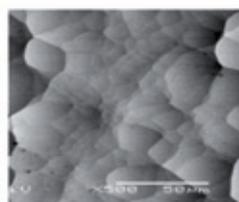
- 1-3 % P
- Dureté : jusqu'à 700  $hv_{100}$
- Résistance à l'usure : TWI = 17
- Résistance à la corrosion acceptable
- Morphologie lamellaire avec surface peu texturée

## NiP moyen P



- 6-9 % P
- Dureté : 500 à 600  $hv_{100}$
- Résistance à l'usure : TWI = 20
- Meilleure résistance à la corrosion
- Morphologie lamellaire avec surface peu texturée

## NiP haut P



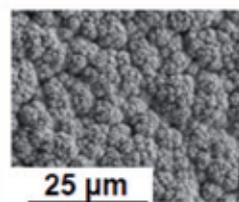
- 9-12 % P
- Dureté : ~500  $hv_{100}$
- Résistance à l'usure : TWI = 22
- Résistance excellente à la corrosion
- Morphologie lamellaire avec surface peu texturée

## NiB (standard Pb or Ti)



- 0,5 – 6 % B (often 5-6%)
- Dureté : ~ 800  $hv_{100}$
- Résistance à l'usure : TWI = 11
- Résistance à la corrosion acceptable
- Morphologie colonnaire et surface texturée en chou-fleur

## NiB – Sn



- 5-7% B
- Dureté : jusqu'à 850  $hv_{100}$
- Résistance à l'usure : meilleure que NiB standard
- Résistance à la corrosion excellente
- Surface texturée en chou-fleur

## NiB



- ~8 % B
- Dureté : 800  $hv_{100}$
- Résistance à l'usure : comme NiB standard
- Résistance à la corrosion excellente
- Surface très peu texturée, morphologie ni lamellaire ni colonnaire