



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/7546>

#### **To cite this version :**

Hamid AKNOUCHE, Abdellatif ZERIZER, Salim KENNOUCHE, N. SITOUAH, H. BOULAHIA, Corinne NOUVEAU - Couches minces dures type Cr-Al-N pour outils de coupe du bois - In: International Congress on Materials & Structural Stability, Morocco, 2013-11 - CMSS 2013 - 2013

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [scienceouverte@ensam.eu](mailto:scienceouverte@ensam.eu)



# Couches minces dures type Cr-Al-N pour outils de coupe du bois

H. Aknouche<sup>1</sup>, A. Zerizer<sup>1</sup>, C. Nouveau<sup>2</sup>, S. Kennouche<sup>1</sup>, N. Sitouah<sup>1</sup>, H. Boulahia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UR-MPE Université M'Hamed Bougara, rue de la liberté 35000 Boumérdes Algérie

<sup>2</sup> LaBoMaP ENSAM Paristech, Rue porte de Paris Cluny 71250, France

**RESUME.** Les outils de coupe pour l'usinage métallique sont très développés ces dernières années, ainsi plus 90% des outils en carbure et 10% des forets, tarauds en acier sont revêtus, tout en donnant des résultats intéressants, malheureusement cette tendance n'existe pas en usinage bois. Ce travail donc a pour objectif de développer des outils revêtus pour les tester en défonçage du bois de Pin d'Alep une essence très répandue dans le bassin méditerranéen. Notre étude se fera sur des outils de coupe en carbure revêtu en couches minces de CrN et de CrAlN à différent pourcentage respectivement d'Al déposé grâce à un bâti magnétron de marque Nordiko 3500. Les conditions de dépôts sont optimisés lors des précédents travaux, les essais d'usinage sont réalisés sur une défonceuse à commande numérique de marque Recordi. Le comportement à l'usure des outils modifiés est avéré très prometteur, on a constaté que les films en nitrure de chrome résistent d'une manière considérable par rapport aux outils en carbures. L'ajout de l'Aluminium n'améliore pas la résistance à l'usure mais contribue à la cristallisation des films.

## 1 Introduction

L'évolution des moyens de production dans l'industrie du bois et la concurrence internationale imposent des rentabilités de plus en plus élevées où les nouvelles technologies et matériaux de coupe sont des points clés de la productivité. Dans le contexte industrie bois, chaque machine-outil est associée à un produit donné, dont l'intérêt est de maîtriser les conditions d'usinage dues aux coûts financiers au demeurant très importants des machines. Pour des conditions de rendement optimum, il est impératif que les pertes de matière et fréquence de changement d'outils soient minimisées au même titre que les coûts de production. L'utilisation d'outils (carbure (WC-Co), acier rapide (high speed steel ou HSS)) présentant d'excellentes propriétés mécaniques de surface par application de revêtements durs en films minces a montré son efficacité contre l'usure abrasive et corrosive des outils [2,3 et 4]. D'autres modifications « structurelles » sont également introduites avec succès dans le marché de l'outillage tel que les traitements de nitruration et de cémentation. Dans le domaine de l'usinage du bois. Les difficultés de l'usinage bois sont liées à de nombreux facteurs : faibles angles de bec et grandes dimensions d'outils, matière première hétérogène ainsi que la présence fréquente à même le bois de corps étrangers de plus grande dureté (clous, cailloux, balles de chasseurs...). Les éléments précités, conduisent à ébrécher l'arête des outils donnant des produits déclassés et de moindre qualité (état de surface, dimensions...).

L'anti-usure et l'anti-corrosion sont les premières fonctions que l'on souhaite satisfaire grâce aux traitements de surface. Mais les procédés d'élaboration des couches minces deviennent aujourd'hui

multifonctionnels afin d'assurer simultanément plusieurs propriétés, tribologiques et tactiles, tenue au grippage, protection thermique, etc. Les carbures et les nitrures des métaux de transition sont fréquemment utilisés grâce à leur réfractarité exceptionnelle et leurs remarquables propriétés mécaniques, comme leur dureté extrême. Divers procédés, tels que les dépôts physiques et chimiques en phase vapeur (PVD et CVD), permettent de produire ces revêtements sous forme de couches minces ou de multicouches. Le système de CrxNy produit par PVD a été étudié pendant beaucoup d'années par C. Nouveau al [2,5] et son efficacité à été prouvé dans les opérations de déroulage et de fraisage de l'OSB. Ce travail a été développé pour vérifier l'aptitude des revêtements CrN et CrAlN dans le défonçage du Pin d'Alep.

## 2 Expérimentation

### 2.1 Elaboration des films

Les dépôts sont réalisés sur un bâti dual magnétron de marque NORDIKO (fig. 1), sur des outils en carbure de tungstène. La composition chimique de ces outils réalisée par EDS est respectivement de 98.5 % WC + 5% Co.

Les conditions de dépôts sont résumées dans le tableau 1.

**Table 1.** Conditions de dépôts.

Pression de travail	4 10 <sup>-3</sup> mbar
Pourcentage d'azote	20%
Pourcentage d'argon	80%

Temps de dépôt	90mn
Tension de la cible de Cr	-900 V
Tension de la cible d'Al (pour le film CrAlNà 5 % d'Al)	-300 V
Tension de la cible d'Al (pour le film CrAlNà 13 % d'Al)	-500 V
Tension de la cible d'Al (pour le film CrAlNà 28 % d'Al)	- 700 V

Nombre de tour de l'outil : 18000 tr/mn
Diamètre de l'outil : 40mm
Nombre de dents : 1
Profondeur de passe:8 mm
Engagement lateral : 2 mm
Angle de l'outil : 55°

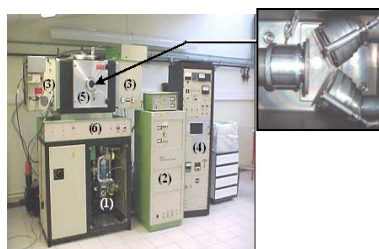


Fig. 1. Bâti dual magnétron NORDIKO.

2.2 Caractérisation des films

Une série de caractérisations chimiques mécaniques et tribologiques son réalisées, afin d'avoir une idée sur les paramètres influençant les dépôts. Les caractérisations chimiques sont réalisées par Eds, et par Drx. Les caractérisations mécaniques sont réalisées par la méthode des anneaux de Newton pour les contraintes internes, microdurometre pour la dureté et par ion disque pour les coefficients de frottement.

2.3 Test d'usinage

Les tests d'usinage sont réalises sur une défonceuse à commande numérique *recordi* (fig.2) avec un outil du carbure. Les conditions coupantes sont présentées dans le tableau 2. Les matières usinées étaient morceau du travail rectangulaire de pin d'Alep.



Fig.2. Défonceuse à commande numérique à trois axes.

Table 2. . Conditions de coupe.

2.4. Caractérisation de l'usure

L'appareil offrant les meilleures possibilités d'observation de notre outil s'est avère être un microscope binoculaires *leica mz12*. L'avantage de cet appareil (fig.4) réside surtout dans sa grande profondeur de champ qui nous a permis d'observer les plaquettes de carbure montées sur le porte outil, lui-même monté sur le mandrin. Il est en effet important de pouvoir mesurer l'usure des plaquettes sans avoir à les démonter du porte outil, sans quoi des dispersions au niveau des résultats auraient pu survenir. A l'aide de la binoculaire *leica*, on a donc observé l'arête de la plaquette toujours montée sur l'outil parallèlement à sa face d'attaque et l'on mesure ce que l'on peut appeler le [plat] de l'arête. Une camera CCD Sony est reliée à la binoculaire et à un ordinateur équipe d'une carte d'acquisition permettant à l'aide d'un logiciel de traitement d'image *leida* d'effectuer des mesures directement sur les photos prises.

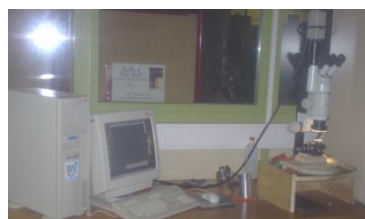


Fig. 3. Microscope binoculaire LEICA

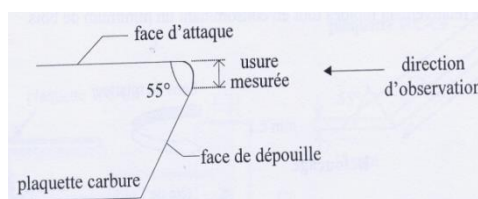


Fig. 5. Méthode de quantification de l'usure

## 4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

### 4.1 Caractérisation structurale des dépôts

#### 4.1.1 Analyse par DRX

Les analyses DRX ont été réalisées sur des substrats de silicium (100) en utilisant une anticathode de cuivre ( $\lambda_{K\alpha}$  (Cu) = 1,54 Å) en configuration Bragg-Brentano ( $\theta/2\theta$ )

La figure.6, présente les diffractogrammes des films de CrAlN déposés avec différents pourcentages d'Al. Un large pic a été observé sur le spectre DRX du film de CrN, ce qui montre que la couche déposée est quasiment amorphe. En ajoutant de l'Al, le pic (200) apparaît et devient de plus en plus étroit, ce qui montre que l'addition de l'Al améliore la cristallisation des films de CrN. Le même résultat a été obtenu par X. Ding *et al.* [6]. Il est important de noter l'apparition du pic (111) de CrN net et bien défini à 13% d'Al et moins net à 28%, et comme l'analyse EDS de ces films de CrAlN montre qu'en ces points le rapport N/Cr est le plus faible, alors on estime que ces films sont constitués de nanocristaux de CrN/AlN. De plus, on observe une translation du pic (200) vers les grands angles qui montre que les films de CrAlN contiennent des contraintes en compression, résultats déjà observés dans d'autres études [7].

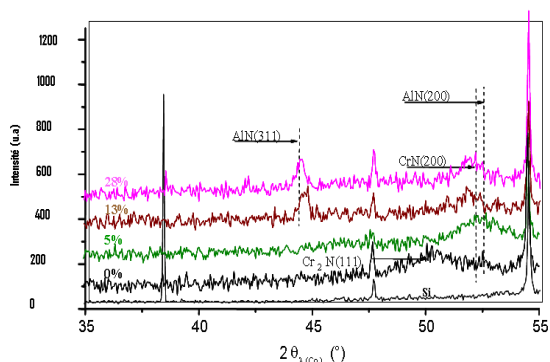


Fig. 6. Diffractogramme des films

#### 4.1.2. Analyse de la morphologie des films

L'observation de la morphologie des couches a été réalisée au MEB sur des échantillons de Si revêtus puis clivés grâce à une pointe diamant. La figure 7, montre les structures obtenues. On observe clairement que le film de CrN est dense et amorphe, alors qu'en ajoutant de l'Al, les films présentent une structure dense et colonnaire elle n'est pas très visible à 5%, mais à 28 et 13 % elle est plus nette.

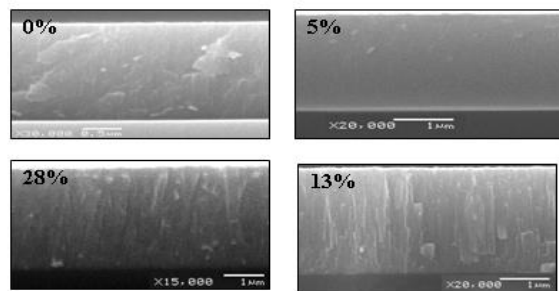


Fig. 7. Morphologie des films CrN et CrAlN

### 4.2 Caractérisation mécanique et tribologique

#### 4.2.1 Contraintes résiduelles

Les contraintes résiduelles des couches de CrAlN ont été calculées par la méthode des anneaux de Newton. On observe des contraintes compressives qui varient de -1,1 à -2 GPa qui ont déjà été obtenues lors d'études antérieures [8]. La contrainte résiduelle des couches de CrN est de l'ordre de -2 GPa, elle décroît avec l'augmentation du pourcentage d'aluminium puis se stabilise. Après l'observation des coupes transverses au MEB, nous pouvons expliquer ce résultat par la formation d'une structure colonnaire qui est moins dense et donc moins contrainte que les structures amorphes.

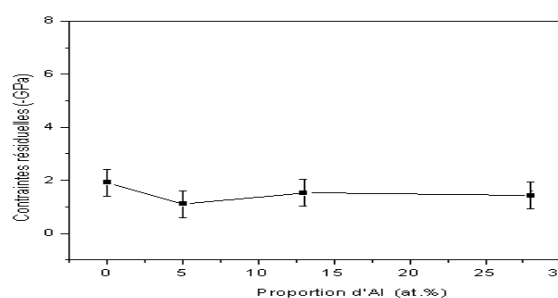
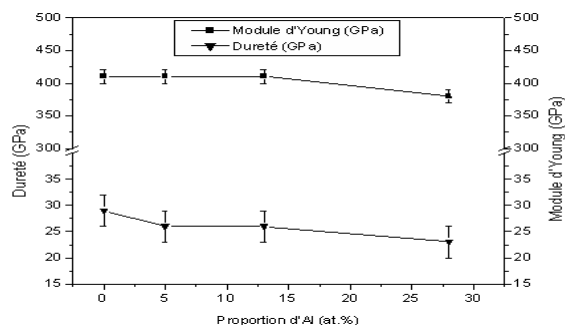


Fig.8. Contraintes résiduelles en fonction du pourcentage d'Al

#### 4.2.1 Dureté

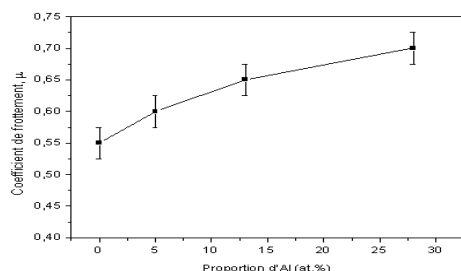
La figure ci-dessous montre la dureté et le module d'Young des couches de CrAlN en fonction du Pourcentage d'aluminium. Ils présentent une courbe similaire à celle des contraintes résiduelles comme cela a déjà été observé lors d'une précédente étude [8]. Tous les films de CrAlN montrent une forte dureté et un module d'Young important, variant respectivement de 23 à 28 GPa et de 380 à 440 GPa.



**Fig.9.** Dureté et module de Young en fonction du pourcentage d'Al

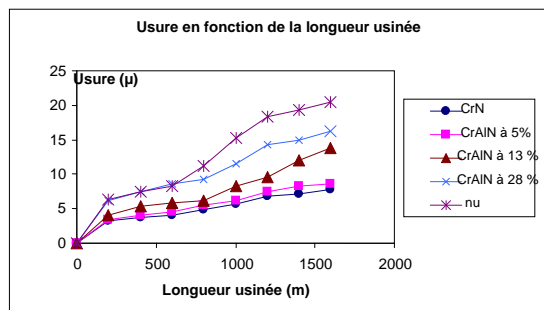
#### 4.2.1 Coefficient de frottement

Selon les résultats de la figure.9, le coefficient de frottement varie entre 0,55 et 0,68 comme cela a déjà été observé [8]. Le coefficient de frottement augmente avec le taux d'aluminium.



**Fig.10.** coefficient de frottement en fonction du pourcentage d'Al

#### 4.3 Test d'usinage



**Fig.11.** Usure en fonction de la longueur usinée

On remarque que le comportement à l'usure des outils revêtus ou non différent, on constate que l'outil CrN possède l'usure la plus réduite après 1600 m d'usinage, sa valeur n'excède pas 7,8 μ. Pour les outils revêtus de CrAlN, celui à 5% d'Al est le plus performant dans les essais de défonçage, ce qui suppose que l'ajout d'Al n'améliore pas nécessairement la tenue à l'usure des outils de coupe.

Une remarque aussi s'impose, quelque soit le film, on remarque une résistance à l'usure des outils revêtus par rapport à l'outil non revêtus. Lors du défonçage du bois, l'usure abrasive est prépondérante, ce qui confirme les résultats obtenus lors du test du coefficient de frottement. Dans la figure 10 on remarque que plus le coefficient de frottement est petit plus le film est résistant à l'usure abrasive.

## 4 CONCLUSIONS

Nous avons appliqué des films à base de nitrure de chrome déposés par PVD aux outils de coupe destinés à l'usinage du bois, les résultats obtenus nous laisse croire que cette méthode est intéressante pour museler les outils de coupe.

On a aussi remarqué que l'ajout d'Al n'améliore pas les caractéristiques tribologiques ou mécaniques des outils, mais il est intéressant de prospecter d'autres caractérisations telles que la résistance à la corrosion ainsi que la stabilité thermique qui feront l'objet de nos prochains objectifs, afin de voir réellement l'influence de l'ajout de l'Al sur les propriétés des nitrure de chrome.

## References

1. C. Labidi, R. Collet, C. Nouveau, P. Beer, S. Nicosia, M.A. Djouadi, Surface and Coatings Technology. 200, 2005, p.118-122.
2. C. Nouveau, M.A. Djouadi, C. Decès-Petit, Surface and Coatings Technology. 2003,174-175.
3. Chekour L, « Analyse des propriétés structurales et mécaniques de couches minces dures déposées par PVD », thèse de doctorat université de Constantine, 2003
4. Chala N., « Dépôt de couches minces pour revêtements durs Application à la protection contre l'usure et la corrosion ». Thèse de doctorat université de Biskra, 2005.
5. M.A. Djouadi, C. Nouveau, P. Beer, M. Lambertin, Surf. Coat. Technol. 133-134 (2000)
6. X.-Z Ding., X.T Zeng., Surface and Coatings Technology, 200, 2005, pp.1372-1378.
7. Hirai M., Ueno Y., Suzuki T., Jiang W., Grigoriu C., Yatsui K., Jpn. J. Applied Physics, 1056-1060 (2001).
8. Reiter A.E., Derflinger V.H., Hanselmann B., Bachmann T., Sartory B., Surface and Coatings Technology, 200 (2005).