



**HAL**  
open science

## Modélisation de l'indentation de revêtements multicouches $\text{Ti}_{0,54}\text{Al}_{0,46}/\text{Ti}_{0,54}\text{Al}_{0,46}\text{N}$

Denis Quilliot, Sylvain Giljean, Yves Gaillard, Marie-Josée Pac, Fabrice Richard

► **To cite this version:**

Denis Quilliot, Sylvain Giljean, Yves Gaillard, Marie-Josée Pac, Fabrice Richard. Modélisation de l'indentation de revêtements multicouches  $\text{Ti}_{0,54}\text{Al}_{0,46}/\text{Ti}_{0,54}\text{Al}_{0,46}\text{N}$ . COLLOQUE INDENTATION, Sep 2018, Liège, Belgium. hal-02130084

**HAL Id: hal-02130084**

**<https://hal.science/hal-02130084>**

Submitted on 15 May 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## MODELISATION DE L'INDENTATION DE REVÊTEMENTS MULTICOUCHES

### $Ti_{0,54}Al_{0,46} / Ti_{0,54}Al_{0,46}N$

D. Quilliot<sup>1</sup>, S. Giljean<sup>2</sup>, Y. Gaillard<sup>1</sup>, M.-J. Pac<sup>2</sup> et F. Richard<sup>1</sup>

1 : Univ. Bourgogne Franche-Comté, Institut FEMTO-ST, CNRS/UFC/ENSMM/UTBM, Département Mécanique Appliquée, F-25000 Besançon, France

2 : Université de Haute Alsace, LPMT EA 4365, 68093 Mulhouse, France

#### Mots clé

Multicouches TiAl / TiAlN, nanostratifiés, nanoindentation

#### INTRODUCTION

Les nitrures métalliques (TiAl)N sont des revêtements fonctionnels utilisés depuis de nombreuses années par les industriels pour leurs propriétés de dureté et de résistance à l'oxydation [1,2]. Dans des travaux précédents, il a été montré que le module d'indentation et la dureté de revêtements  $Ti_{1-x}Al_xN$  dépendent de la concentration  $x$  en aluminium et que les meilleures valeurs sont obtenues pour  $x = 0,46$  [3]. La littérature relate que l'architecture en multicouche permet d'augmenter les propriétés mécaniques des films. Dans cet objectif, nous avons déposé des films architecturés en multicouche dont l'épaisseur de chaque couche n'excède pas quelques dizaines de nanomètres. Le procédé de dépôt est la pulvérisation réactive magnétron à signal de commande cyclique (Reactive Gas Pulsing Process : RGPP). Ce procédé breveté en 2006 permet à partir d'une seule cible métallique et en pulsant le gaz réactif azote d'obtenir des multicouches  $Ti_{1-x}Al_x / Ti_{1-x}Al_xN$  [5].

Le but de ce travail est de modéliser numériquement l'indentation de ces revêtements et de confronter les modèles aux résultats expérimentaux. La paramétrisation des modèles permettra de d'optimiser les conditions de dépôts à utiliser afin d'obtenir des revêtements performants.

#### DEMARCHES EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE

Des revêtements  $Ti_{0,54}Al_{0,46} / Ti_{0,54}Al_{0,46}N$  architecturés en multicouches ont été déposés avec des périodes d'empilement  $\Lambda$  variant de 4 à 50 nm. La microstructure et le comportement mécanique de ces revêtements ont été caractérisés [5]. Les résultats expérimentaux montrent, en fonction de la période, que l'interface couche métallique / couche de nitrure joue un rôle important dans les résultats d'indentation et que ce rôle n'est pas le même en fonction de la période. Afin de réaliser la modélisation de l'indentation de ces revêtements, un modèle avec une période d'empilement à 3 couches a été élaboré : une couche de  $Ti_{0,54}Al_{0,46}$ , une couche de  $Ti_{0,54}Al_{0,46}N$  et une de transition. L'analyse inverse mise en œuvre dans Pac et al. [2] a permis de déterminer le comportement élasto-plastique des monocouches de  $Ti_{0,54}Al_{0,46}$  et  $Ti_{0,54}Al_{0,46}N$ . En première approche, une loi élasto-plastique est aussi utilisée pour la couche de transition d'épaisseur inconnue. La déformabilité de l'indenteur et l'éroussement de la pointe Berkovich sont prises en compte dans le modèle éléments finis 2D axisymétrique car les résultats des simulations sur ces revêtements durs  $\gamma$  sont très sensibles [2]. Devant le nombre important de paramètres (matériaux, dimensions, ...) du modèle numérique et les temps de calcul, une étude de sensibilité a été mise en œuvre à l'aide du logiciel MIC2M [5] pour déterminer les paramètres les plus influents.

## RESULTATS ET CONCLUSION

L'utilisation d'une couche de transition de 2,5 nm a permis pour le revêtement de période  $\Lambda = 50$  nm de parfaitement reproduire l'essai expérimental d'indentation multicycles (figure 1). Les simulations montrent que cette épaisseur a peu d'influence sur les résultats des simulations. Ce résultat est en accord avec la microstructure de ce revêtement qui présente des croissances cristallographiques suivant les réseaux propres du TiAl et du TiAlN [5]. A noter également que la couche métallique  $Ti_{0,54}Al_{0,46}$  subit plus de déformations que la couche de nitrure  $Ti_{0,54}Al_{0,46}N$ .

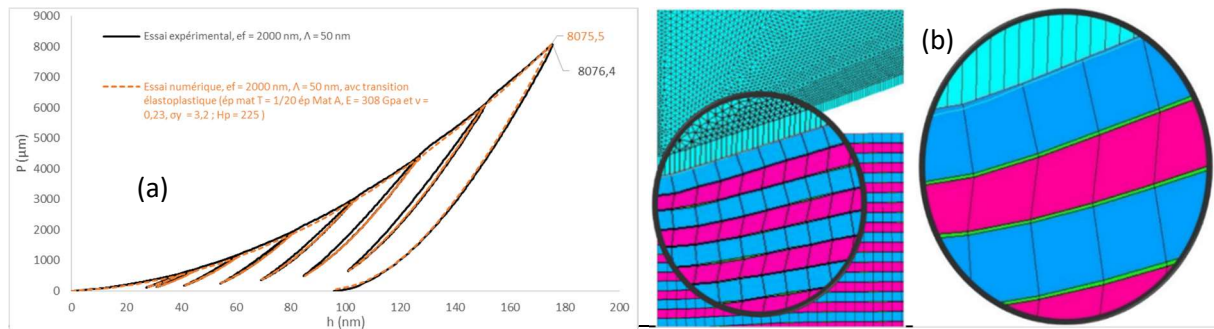


Figure 1 : (a) résultats expérimentaux et numériques de la courbe d'indentation effort-pénétration  $P(h)$  sur le revêtement multicouche  $\Lambda = 50$  nm, (b) champ de déplacement sous l'indenteur :  $Ti_{0,54}Al_{0,46}$  en rose,  $Ti_{0,54}Al_{0,46}N$  en bleu, couche de transition en vert.

Les simulations sur des périodes plus faibles ne permettent pas de reproduire correctement les essais expérimentaux d'indentation. Cette difficulté s'explique par la structure de ces revêtements à faibles périodes qui montrent une structure en super réseau avec des directions de croissance propre à ce super réseau. C'est aussi pour ces faibles périodes qu'on observe une forte intermixture des couches avec une proportion d'azote dans la couche métallique sur quelques nanomètres. La poursuite de ce travail doit donc se concentrer sur la modélisation de cette zone de transition.

## Références

- [1] K. Kutschej, P.H. Mayrhofer, M. Kathrein, P. Polcik, R. Tessadri et C. Mitterer, *Structure, mechanical and tribological properties of sputtered  $Ti_{1-x}Al_xN$  coatings with  $0.5 \leq x \leq 0.75$* , Surf. Coat. Technol., **200**, pages 2358–2365, 2005
- [2] M.-J. Pac, S. Giljean, C. Rousselot, F. Richard et P. Delobelle, *Microstructural and elasto-plastic material parameters identification by inverse finite elements method of  $Ti_{(1-x)}Al_xN$* , Thin Solid Films, **569**, pages 81–92, 2014
- [3] Y. Pinot, M.-J. Pac, P. Henry, C. Rousselot, Y.I. Odarchenko, D.A. Ivanov, C. Ulhaq-Bouillet, O. Ersen et M.-H. Tuilier, *Friction behaviour of TiAlN films around cubic/hexagonal transition: A 2D grazing incidence X-ray diffraction and electron energy loss spectroscopy study*, Thin Solid Films, **577**, pages 74–81, 2015
- [4] M.-J. Pac, Y. Pinot, S. Giljean, C. Rousselot, P. Delobelle, C. Ulhaq-Bouillet, M.-H. Tuilier, *Investigation of  $Ti_{0.54}Al_{0.46}/Ti_{0.54}Al_{0.46}N$  multilayer films deposited by reactive gas pulsing process by nano-indentation and electron energy-loss spectroscopy*, Thin Solid Films, **634**, pages 96–106, 2017
- [5] Richard F., *MIC2M Software : Modélisation et Identification du Comportement Mécanique des Matériaux / Modeling and Identification of the Mechanical Behaviour of Materials*, <http://mic2m.univ-fcomte.fr>, 2000