

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Ferhat Abbas Sétif 1**

**Institut : Optique et Mécanique de Précision**

**Département de mécanique**

**Domaine : Sciences et Technologies**

**Filière : Optique et Mécanique de Précision**

**Spécialité : Mécanique des matériaux**

## Mémoire de Master

# Tenue à l'usure d'un alliage de surface AlNi sur un substrat d'aluminium

**Présenté par : FERDI Racha Yasmine**

**Dirigé par : Pr. LOUCIF Kamel**

Soutenu devant le jury :

Président : A. FACI

Examineur : L. LAMIRI

Soutenue le : 28 / 06 / 2022

# Sommaire:

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| <b>Introduction générale .....</b> | <b>1</b> |
|------------------------------------|----------|

## **Chapitre 1: Tribologie et alliage d'aluminium**

|                                                               |          |
|---------------------------------------------------------------|----------|
| <b>I- Tribologie .....</b>                                    | <b>2</b> |
| 1 – Définition de l'usure .....                               | 2        |
| 2 – Facteurs d'usure .....                                    | 2        |
| 2 – 1 – Mode de contact.....                                  | 3        |
| 2 – 2 – Etat de surface microgéométrique .....                | 3        |
| 2 – 3 – Charge .....                                          | 3        |
| 2 – 4 – Vitesse.....                                          | 3        |
| 2 – 5 – Nature des matériaux .....                            | 3        |
| 3 – Mécanismes d'usure.....                                   | 3        |
| 3 – 1 – Usure par abrasion .....                              | 3        |
| 3 – 2 – Usure par adhésion .....                              | 4        |
| 3 – 3 – Usure par corrosion (tribochimique) .....             | 5        |
| 3 – 4 – Usure par fatigue .....                               | 5        |
| 4 – Usure abrasive .....                                      | 6        |
| 4 – 1 – Configurations de contacts .....                      | 6        |
| 4 – 2 – Paramètres caractéristiques de l'usure abrasive ..... | 6        |
| 4 – 3 – Facteurs influençant l'usure abrasive .....           | 6        |
| a. Influence de l'aspérité .....                              | 6        |
| b. Influence de la dureté .....                               | 7        |
| c. Influence de la charge .....                               | 7        |
| d. Influence de la vitesse .....                              | 7        |
| 4 – 4 – Protection contre l'abrasion .....                    | 7        |
| II – Présentation de l'alliage de surface Al-Ni .....         | 8        |
| 1 – Présentation de l'aluminium .....                         | 8        |
| 2 – Présentation du nickel .....                              | 8        |
| 3 – Alliages Al-Ni .....                                      | 9        |
| 4 – AlNi : alliage de surface .....                           | 10       |
| 5 – Tribologie des alliages d'aluminium .....                 | 11       |

## **Chapitre 2: Techniques et procédures expérimentales**

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| I – Objectif .....                            | 14 |
| II. Matériau utilisé .....                    | 14 |
| III – Techniques de caractérisation .....     | 14 |
| 1 – Observations par microscope optique ..... | 14 |
| 2 – Mesure de microdureté .....               | 15 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3 – Observation par microscope électronique à balayage (MEB)..... | 16 |
| 4 – Caractérisation tribologique .....                            | 17 |
| a .mode tribologie .....                                          | 18 |
| b .mode imagerie .....                                            | 18 |

### **Chapitre 3:Résultats et discussion**

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I – Caractérisation de la surface .....</b>         | <b>19</b> |
| 1 – Observations métallographiques de la surface ..... | 19        |
| 2 – Etude de la microdureté.....                       | 19        |
| 3 –Analyse par DRX .....                               | 20        |
| <b>II – Caractérisation tribologique.....</b>          | <b>21</b> |
| 1 – Etude des frottements .....                        | 21        |
| 1 – 1 – Frottements du substrat.....                   | 21        |
| 1 – 2 – Frottement du revêtement.....                  | 24        |
| 1 – 3 – Etude comparative .....                        | 26        |
| 2 – Etude de l'usure.....                              | 26        |
| 2 – 1 – Usure du substrat.....                         | 26        |
| 2 – 2 – Usure du revêtement .....                      | 26        |
| 2 – 3 – Etude comparative.....                         | 27        |
| <b>Références bibliographiques .....</b>               | <b>30</b> |

# Liste de figures :

## Chapitre 1

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b> : Importance relative des mécanismes d'usure dans l'industrie .....                                                                                                | 4  |
| <b>Figure 2</b> : Micrographie d'usure par abrasion .....                                                                                                                          | 4  |
| <b>Figure 3</b> : Micrographie d'usure par abrasion. ....                                                                                                                          | 4  |
| <b>Figure 4</b> : Micrographie d'usure corrosive.....                                                                                                                              | 5  |
| <b>Figure 5</b> : Micrographie d'usure par fatigue superficielle. ....                                                                                                             | 5  |
| <b>Figure 6</b> : Mécanisme de l'usure abrasive.....                                                                                                                               | 6  |
| <b>Figure 7</b> : Variation de la résistance mécanique des alliages d'aluminium .....                                                                                              | 8  |
| <b>Figure 8</b> : Diagramme de phase du système Al-Ni.....                                                                                                                         | 10 |
| <b>Figure 9</b> : Micrographies du dépôt de nickel sur aluminium puis recuit 10h à 520°C :<br>(a) image MEB ; (b) observation par microscopie optique après attaque chimique ..... | 11 |
| <b>Figure 10</b> : Variation du coefficient de frottement en fonction de la distance de glissement. ....                                                                           | 12 |
| <b>Figure 11</b> : Variation de la profondeur de la piste d'usure d'un alliage d'aluminium 7071 et 7071 revêtu nickel. ....                                                        | 13 |

## Chapitre 2

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b> : Microscope optique de type Oxion. ....                        | 15 |
| <b>Figure 2</b> : Duromètre vickers de type Qness .....                         | 15 |
| <b>Figure 3</b> : Microscope électronique à balayage (MEB). ....                | 16 |
| <b>Figure 4</b> : Tribomètre universel de marque Rtec et de type MFT-5000 ..... | 17 |

## Chapitre 3

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b> : Micrographies optiques de l'alliage de surface. ....                                                                            | 19 |
| <b>Figure 2</b> : Diffractogramme RX pris sur la surface revêtue.....                                                                             | 20 |
| <b>Figure 3</b> : Micrographie MEB d'un revêtement Ni-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> sur un aluminium 6061 après 4 heures de recuit à 450°C ..... | 21 |
| <b>Figure 4</b> : Micrographie optique de la section transversale de l'échantillon .....                                                          | 21 |
| <b>Figure 5</b> : Evolution du coefficient de frottement du substrat en fonction du temps sous une                                                |    |

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| force normale de 10N et différentes fréquences de débattement. ....                                                                                                        | 23 |
| <b>Figure 6</b> : Evolution du coefficient de frottement du revêtement en fonction du temps<br>sous une force normale de 10N et différentes fréquences de débattement..... | 25 |
| <b>Figure 7</b> : Profilométrie de la piste d'usure du substrat.....                                                                                                       | 28 |
| <b>Figure 8</b> : Profilométrie de la piste d'usure du revêtement .....                                                                                                    | 29 |

## Liste des tableaux :

### Chapitre 1

|                                              |          |
|----------------------------------------------|----------|
| <b>Tableau I:</b> Propriétés du Nickel ..... | <b>9</b> |
|----------------------------------------------|----------|

### Chapitre 3

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tab. I :</b> Variation du coefficient de frottement ..... | <b>24</b> |
|--------------------------------------------------------------|-----------|

## INTRODUCTION GENERALE

Malgré les différents avantages qui démarquent les alliages d'aluminium des autres matériaux surtout le rapport densité/module d'élasticité, ces alliages souffrent de leur médiocrité en propriétés de surface. En effet, ils ont une tenue à l'usure très faible et sont vulnérables aux fonctions de contact. La couche d'alumine qui surmonte la surface n'apporte malheureusement pas grande chose compte tenue son épaisseur. Le recours aux traitements de surfaces est donc plus que nécessaire.

Le dépôt de nickel par électrodéposition suivi d'un traitement thermique de diffusion à conduit à la formation de diverses couches d'intermétalliques :  $\text{Al}_3\text{Ni}$ ,  $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ ,  $\text{AlNi}$ ,  $\text{Al}_2\text{Ni}_3$  et  $\text{AlNi}_2$ . La formation de ces couches ou en partie ont largement amélioré la dureté de l'aluminium en lui assurant une bonne tenue à l'oxydation. Cet axe de recherche a été le sujet de recherche de plusieurs laboratoires et chercheurs surtout en matière de mécanique et de tribologie.

Dans le présent travail, nous étudions le comportement tribologique de ces alliages. Nous rappelons que les échantillons ont été élaborés précédemment au cours d'autres travaux par électrodéposition et thermiquement traités.

Ainsi, le mémoire est structuré en trois chapitres, débuté par une introduction générale et clôturé par une conclusion générale.

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique concernant la tribologie, les alliages d'aluminium et de nickel. Nous avons mis l'accent sur les alliages  $\text{AlNi}$  en général et de surface en particulier. Leurs comportements tribologiques ont été présentés.

Le deuxième chapitre sera consacré aux techniques de caractérisation expérimentales.

Le troisième chapitre a été réservé à l'exposition des résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations.

En fin, par une conclusion générale, nous avons achevé notre travail.

## **Résumé :**

Le travail entrepris dans le présent mémoire a porté sur les améliorations qu'apporte une électrodeposition de nickel sur un substrat d'alliage d'aluminium sur le plan microstructural, mécanique et tribologique. La caractérisation de la surface du substrat et de la couche de revêtement a suscité l'utilisation de différentes techniques : microdureté, DRX, microscopie optique et tribométrie. Cette est considérée comme étant le point crucial de cette caractérisation. Nous avons montré que le revêtement a apporté une amélioration importante en matière de microdureté tels que celle-ci est passée de 85Hv à 400Hv. De point de vue microstructural, la surface est passée d'une composition unique Al-4,3%Cu à une couche superficielle contenant de l'aluminium, du nickel,  $\text{Al}_3\text{Ni}$  et  $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ . Par une étude tribologique, nous avons montré que le coefficient de frottement du revêtement marque une stabilité remarquable du revêtement que celui du substrat. Les données profilométriques ont montré que l'usure du substrat est du type adhésif alors que celle du revêtement est du type abrasif. Ces résultats sont en cohérence avec le comportement tribologique du matériau.

## **Abstract :**

The work undertaken in this thesis focused on the improvements brought by electrodeposition of nickel on an aluminum alloy substrate on the microstructural, mechanical and tribological level. The characterization of the surface of the substrate and the coating layer has given rise to the use of different techniques: microhardness, XRD, optical microscopy and tribometry. This is considered to be the crux of this characterization. We have shown that the coating brought a significant improvement in terms of microhardness such that it went from 85Hv to 400Hv. From a microstructural point of view, the surface has changed from a unique Al-4.3%Cu composition to a surface layer containing aluminum, nickel,  $\text{Al}_3\text{Ni}$  and  $\text{Al}_3\text{Ni}_2$ . By a tribological study, we have shown that the coefficient of friction of the coating marks a remarkable stability of the coating than that of the substrate. The profilometric data showed that the wear of the substrate is of the adhesive type while that of the coating is of the abrasive type. These results are consistent with the tribological behavior of the material.