

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université Ferhat Abbas- Sétif 1**

**Institut : Optique et Mécanique de Précision**

**Département : Optique et mécanique de précision**

**Domaine : Sciences et Technologies**

**Filière : Optique et Mécanique de Précision**

**Spécialité : Mécanique des matériaux**

## Mémoire de Master

# **Caractérisation expérimentale et simulation numérique de comportement mécanique et tribologique du revêtement élaboré par HVOF**

**Etudié par : EL-GHALI Ahmed**

**Dirigé Par : Dr. FIZI Yazid**

### Devant le jury :

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Dr. LANGUER Hasina  | (Président) |
| Dr. KERAGHEL Fatiha | (Examineur) |
| Dr. FIZI Yazid      | (encadrent) |

Soutenue le : 04/07/2023

## **Résumé**

Les revêtements de carbure de tungstène ont été élaborés par projection thermique à la flamme supersonique (HVOF) sur des substrats en aciers. La caractérisation des microstructures de dépôt a été examinée par le microscope électronique à balayage pour effectuer une analyse par éléments finis du comportement mécanique. L'évaluation de l'usure met en œuvre à l'exécution à l'aide d'un dispositif qui permet d'effectuer l'application des différentes sollicitations mécaniques. L'objectif de ce travail concerne la caractérisation microstructurale et l'étude de l'usure des revêtements composites élaborés par projection thermique et l'analyse par éléments finis des comportements mécaniques des composites WC10Co4Cr.

### ***Mot-clé :***

La projection thermique (HVOF), simulation numérique, revêtement, comportement mécanique.

---

## **Abstract**

Tungsten carbide coating were developed by supersonic thermal flame spraying (HVOF) on steel substrates. The characterization of the deposit microstructures was examined by the scanning electron microscopy to perform a finite elements analysis of the mechanical behavior. The wear evaluation is carried out using a device that allows the mechanical stresses. The objective of this work concerns the microstructural characterization and the study of the wear of composite coating developed by thermal spraying and finite elements analyses of the mechanical behavior of WC10Co4Cr.

### ***Key Word :***

Thermal spraying (HVOF), digital simulation, coating, mechanical behavior

# Sommaire

## Chapitre 1 : Etude bibliographie sur la projection thermique et le procédé HVOF

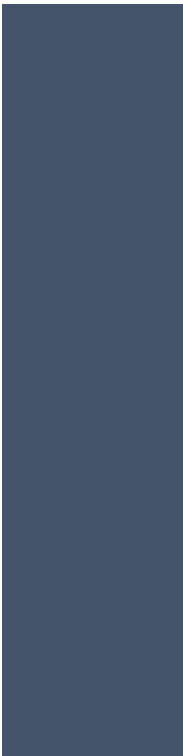
|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 Introduction :                                              | 1  |
| 1.2 Principe de projection thermique :                          | 1  |
| 1.3 Matériaux d'apport                                          | 2  |
| 1.4 La projection thermique HVOF :                              | 2  |
| 1.5 Système de projection thermique HVOF-JET KOTE® III          | 3  |
| 1.6 Les principaux paramètres influent sur la projection HVOF : | 4  |
| 1.6.1 L'influence de la torche :                                | 4  |
| 1.6.2 L'influence de matière première                           | 5  |
| 1.6.3 Influence de la vitesse des particules et la température  | 5  |
| 1.6.4 L'influence de la température du substrat                 | 7  |
| 1.6.5 L'influence de la distance de projection                  | 8  |
| 1.6.6 L'influence de l'angle de projection                      | 9  |
| 1.7 Les avantages de la projection thermique :                  | 10 |
| 1.8 Conclusion                                                  | 10 |

## Chapitre 2 : caractérisation mécanique et tribologique du revêtement

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Introduction                                              | 11 |
| 2.2 Caractérisation mécanique et tribologique du revêtement : | 11 |
| 2.2.1 Caractérisation mécanique :                             | 11 |
| 2.2.2 Tests d'adhérence                                       | 11 |
| 2.2.3 Principe de l'essai de dureté                           | 13 |
| 2.2.4 L'indentation interfaciale :                            | 13 |
| 2.2.5 Principe de l'essai                                     | 14 |
| 2.2.6 L'indentation instrumentée                              | 15 |
| 2.2.7 Principe de l'indentation instrumentée :                | 15 |
| 2.3 Caractérisation tribologique                              | 16 |
| 2.3.1 Usure                                                   | 16 |
| 2.4 Mécanisme de l'usure :                                    | 16 |
| 2.4.1 L'usure adhésive :                                      | 16 |
| 2.4.2 L'usure abrasive :                                      | 17 |
| 2-4-3 L'usure érosive :                                       | 18 |

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.5 L'usure par fatigue : .....                                                   | 19        |
| 2.4.6 L'évaluation de l'usure .....                                                 | 19        |
| 2.5 Conclusion.....                                                                 | 20        |
| <b>Chapitre 3 : Caractérisation et simulation des revêtements élaborés par HVOF</b> |           |
| <b>3.1 Introduction .....</b>                                                       | <b>21</b> |
| 3.2 Matériaux utilisé .....                                                         | 21        |
| 3.3 Caractérisation microstructurales de dépôt .....                                | 21        |
| 3.3.1 Microscope optique.....                                                       | 23        |
| 3.4 Comportement de dépôt WC10-Co-4Cr à l'indentation .....                         | 23        |
| 3.4.1 La dureté conventionnelle .....                                               | 23        |
| 3.4.2 L'indentation interfaciale .....                                              | 24        |
| 3.4.3 L'essai d'indentation instrumenté :.....                                      | 25        |
| 3.5 Comportement de dépôt WC10-Co-4Cr à l'impact répété : .....                     | 26        |
| 3.5.1 Principe de l'essai : .....                                                   | 26        |
| 3.5.2 Montage expérimental du teste d'impacts répétés .....                         | 26        |
| 3.6 Caractérisation Tribologique : .....                                            | 30        |
| 3.6.1 Montage expérimental du teste d'usure et son principe .....                   | 30        |
| 3.7 Modélisation numérique de comportement tribologique .....                       | 33        |
| 3.7.1 Simulation de test d'usure.....                                               | 34        |
| 3.8 Conclusion :.....                                                               | 36        |

Conclusion générale



# **Introduction générale**

Les traitements de surface jouent un rôle très important dans l'amélioration des propriétés mécaniques et la résistance à l'usure et à la corrosion des matériaux. En effet, les surfaces des matériaux sont souvent soumises à des environnements agressifs qui peuvent altérer leur performance et leur durabilité. Les traitements de surface permettent de modifier les propriétés de la surface pour les adapter aux conditions d'utilisation. Parmi les différents procédés de traitement de surface, le dépôt physique et chimique en phase vapeur (PVD et CVD) est largement utilisé pour des épaisseurs faibles, d'environ 10 $\mu$ m. Ces procédés permettent de déposer des revêtements minces sur les surfaces des pièces et de modifier leur composition chimique pour accroître leur résistance à l'usure et à la corrosion.

En outre, la projection thermique regroupe l'ensemble des procédés utilisés pour déposer des matériaux métalliques ou non métalliques sur une pièce à revêtir. La projection thermique par combustion supersonique (HVOF) est un procédé de projection thermique qui permet d'élaborer des revêtements épais, d'environ 100 $\mu$ m à 1mm, avec une bonne adhérence et une haute densité. Les revêtements élaborés par HVOF trouvent de nombreuses applications dans différents secteurs industriels tels que le nucléaire, l'aéronautique et l'automobile, et permettent de conférer des propriétés spécifiques à la surface. L'objectif de cette étude est de caractériser le comportement mécanique et tribologique des revêtements composites WC10Co4Cr élaboré par projection thermique. Pour évaluer les propriétés de dépôt. Le travail réalisé suit trois axes principaux. Tout d'abord, une brève étude bibliographique sur les différentes techniques de projection thermique et une étude approfondie sur HVOF. Ce chapitre décrit le fonctionnement et le principe de la projection thermique.

Ensuite, Le deuxième chapitre de ce mémoire est consacré à la présentation des différentes techniques de caractérisation mécanique et tribologique des revêtements. L'objectif de ce chapitre est de fournir une vue d'ensemble des outils et méthodes utilisés pour évaluer les propriétés mécaniques et tribologiques des revêtements.

Puis dans le troisième chapitre de ce travail est concerné à la caractérisation expérimentale et à la simulation numérique du comportement mécanique et tribologique des revêtements élaborés par HVOF. L'objet de ce chapitre est de fournir une évaluation approfondie des propriétés mécaniques et tribologiques des revêtements WC10Co4Cr élaborés par HVOF, à la fois par des tests expérimentaux et des simulations numériques.

Enfin, on termine par une conclusion générale.