

Influence des post-traitements sur la résistance à l'usure d'un dépôt à base du nickel élaboré par projection thermique

M.A. Bradai¹, A. Sadeddine¹, Y. Mouadji², A. Benabbas³, S. Aissat⁴

¹. Laboratoire de Mécanique, Matériaux et Energétique (L2ME). Faculté de Technologie, Route de Targua Ouzemour. Université de Béjaïa, 06000 Béjaïa, Algérie.

². Faculté des Sciences et de la Technologie. Université de Khenchela, Algérie.

³. Laboratoire Procédés pour Matériaux, Energie, Eau et Environnement LPM3E. Faculté des sciences et de la technologie. Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira / 10000 / Algérie.

⁴. Laboratoire de Recherche des Technologies Industrielles / Faculté des sciences et de Technologie. Université Ibn Khaldoun – Tiaret / B.P. 78 – 14000 Tiaret / Algérie

Abstract- La technique de rechargement par projection thermique offre l'opportunité de réaliser, sur des pièces mécaniques, des revêtements métalliques diversifiés. Ces revêtements ont pour but de protéger le substrat contre l'usure, la corrosion, la fatigue...etc. Pour améliorer les caractéristiques du revêtement, des post-traitements sont préconisés en vue d'homogénéiser ce dernier et permettre d'obtenir de meilleures propriétés mécaniques. Dans ce travail, les dépôts métalliques réalisés sont des alliages à base nickel déposés sous forme de poudres par la technique de projection thermique sur un substrat en acier faiblement allié de nuance 35CrMo4. Ces dépôts ont subi des post-traitements à différentes températures 350°C, 550°C et 750°C avec un temps de maintien d'une heure et un refroidissement à l'air. Les microstructures et l'identification des phases de la poudre et des dépôts non traités et post-traités à différentes températures sont obtenues en utilisant le microscope électronique à balayage (MEB), la microanalyse aux rayons X (EDAX) et la diffraction X. Des mesures de micro duretés, sous une charge de 200g, ont été également réalisées sur la surface des revêtements. Les essais d'usure ont été réalisés à sec dans une configuration pion stationnaire-cylindre rotatif à différentes charges (5, 10, 15, 20, 30 et 40N) avec deux vitesses de glissement de 0,5 m/s et 1m/s en fonction du temps. Les observations microstructurales ont montré que les dépôts traités à 550°C présentent une morphologie lamellaire homogène, plus dense et plus compacte que celles des dépôts non traités et traités à 350°C. Par contre, le traitement à 750°C a provoqué un délaminage au niveau de l'interface substrat/dépôt. Les résultats d'usure ont révélé que les post-traitements à 350°C et 550°C améliorent la tenue à l'usure comparativement aux dépôts non traités alors que le post-traitement à 750°C, l'usure augmente d'une manière significative.

Mots-clés: Projection thermique, dépôts, post-traitements, microstructure, usure

I.Introduction

Les structures en service sont soumises à différents types d'endommagement qui dépendent des conditions de fonctionnement de ces dernières : chargement, environnement, température...etc. Parmi les types d'endommagements qui sont opérants dans les structures industrielles, on peut citer la corrosion, la fatigue, le fluage et l'usure.

Depuis plusieurs dizaines d'années, les concepteurs et les utilisateurs sont de plus en plus préoccupés par la durabilité des pièces, de telle sorte qu'aux exigences correspondant aux fonctions de base et à rénovation des pièces mécaniques usées est maintenant plus que primordiale sur le plan économique, pour cela, la technique de la projection thermique est le procédé le plus indiqué qui offre la possibilité de réaliser des dépôts métalliques très variés [1-5]. Afin d'améliorer les caractéristiques des dépôts et leur applicabilité dans les conditions extrêmes, les dépôts à base de Ni [6-9] de propriétés spécifiques ont été développés.

Corresponding author: Mohand Amokrane Bradai.

Research field: Traitement de surfaces.

Adress. Laboratoire de Mécanique, Matériaux et Energétique (L2ME). Faculté de Technologie. Université de Béjaïa-Algérie

E-mail: mokbrad@yahoo.fr

Cependant, les résultats ne sont pas encore tout à fait satisfaisants et l'élargissement des applications demande une meilleure compréhension des phénomènes intervenant au cours du dépôt, de façon à améliorer la qualité et la fiabilité des couches projetés [10-13]. La qualité fondamentale d'une surface fonctionnelle repose sur une meilleure tenue à l'usure. La diversité des revêtements utilisés pour les pièces usées continue de faire l'objet d'une recherche intense sur leur caractérisation tribologique [14-17]. L'objectif de ce travail est de réaliser des dépôts métalliques à base Ni déposés, sous forme de poudres, en utilisant le procédé de projection à flamme. Dans un premier temps, on présentera la caractérisation microstructurale et structurale de la poudre projetée ainsi que les dépôts post-traités à différentes températures en utilisant le microscope électronique à balayage (MEB) ainsi que la microanalyse (EDAX). Ensuite, on évaluera la tenue à l'usure en termes de perte de masse des dépôts réalisés en fonction de différentes charges appliquées.

II. Procédures expérimentales

II.1. Poudre projetée

La poudre utilisée est un alliage, à base du Nickel, de granulométrie comprise entre - 105 et + 44 µm. Cette poudre a été obtenue par fusion et broyage, ce qui lui confère une morphologie anguleuse observée au microscope électronique à balayage (cf. Fig.1). La composition chimique de la poudre a été déterminée par EDAX et représentée dans le tableau 1.

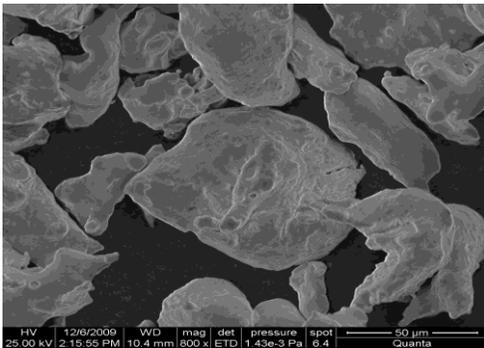


Fig.1. Micrographie au MEB de la poudre à base du Nickel

Table1. Composition chimique de la poudre en alliage nickel obtenue par EDAX

Eléments	Al	Mo	Cr	Fe	Ni
Pourcentage massique (%)	10.55	5.45	9.06	7.61	Bal

II.2. Procédé et paramètres de projection.

Le substrat utilisé est un acier faiblement allié de construction mécanique de nuance 35CrMo4. Les dépôts métalliques ont été réalisés au moyen d'un pistolet à flamme-poudre oxy-gaz type « CastoDyn DS8000 » (Fig.2)". Pour le dépôt de la poudre en alliage Ni, la flamme utilisée est une flamme oxyacétylénique (l'acétylène utilisé sous une pression de 0,7 bar étant le combustible et l'oxygène utilisé sous une pression de 4 bars est le gaz comburant). La pression de projection du métal fondu est de 4 bars. Les paramètres de projection habituels utilisés par l'entreprise sont comme suit (distance de projection : 150mm et l'angle de tir : 90°. La réalisation des dépôts métalliques est précédée d'un dégraissage et grenailage selon les normes usuelles [18].

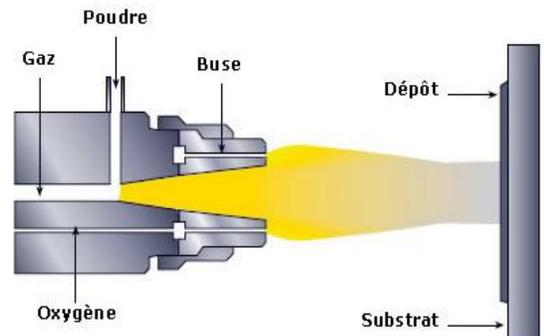


Fig.2. Pistolet utilisé type castodyn DS8000

II.3. Méthodes de caractérisation des dépôts

II.3.1 Meb-Edax

Les observations fines des différentes phases et leurs analyses chimiques ont été réalisées au moyen du microscope électronique à balayage (MEB) PHILIPS de type FEI Quanta 200 de l'Université de Bjaia. Il est couplé à un microanalyseur à dispersion d'énergie Edax).

II.3.2. Diffraction X

La caractérisation structurale, pour identifier la structure cristalline des phases présentes dans les différents revêtements élaborés, a été

réalisée par diffraction des rayons X en utilisant le diffractomètre type D8 Advance de Bruckers AXS de l'Université de Jijel.

II.3.3 Microduretés

Les mesures de micro dureté sont faites sur des surfaces polies avec un pénétrateur Vickers en appliquant une charge de 200g pendant 10 secondes et les valeurs de microduretés obtenues résultent de la moyenne de 10 empreintes. L'appareillage utilisé est un microduromètre Zwick ZHV10 qui est équipé d'une caméra CCD.

II.3.4. Les tests d'usure

Les essais d'usure sont effectués dans une configuration type pion stationnaire-disque rotatif (Fig. 3). Le pion présente une tête de diamètre 10mm avec un axe de longueur 20mm et de diamètre 6mm pour les besoins de sa fixation sur la tige articulée du dispositif d'essai d'usure. L'ensemble est monté sur un tour. Les revêtements ont été déposés sur la surface de la tête du pion et polis aux papiers abrasifs jusqu'à la granulométrie la plus fine (2000) pour être dans les mêmes conditions d'une pièce rénovée qui subit systématiquement une rectification. Le disque rotatif utilisé, est un acier martensitique de nuance Z200Cr13 ayant une dureté de 63 HRC à 65 HRC. Les essais d'usure ont été réalisés à sec avec différentes charges (5, 10, 15, 20, 30 et 40N) et deux vitesses de glissement (0,5m/s) et (1m/s) pendant une heure. La perte de masse pour chaque essai est mesurée à l'aide d'une balance analytique de précision 0,1mg.

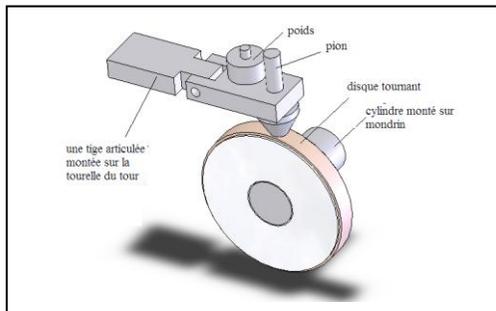


Fig.3. Dispositif d'usure utilisé

III. Résultats et discussions

III.1. Microstructures des dépôts élaborés

L'observation au MEB de la section longitudinale polie des différents dépôts non traitée et traités à 350°C, 550°C et 750°C, issus

de la poudre d'alliage Ni-Cr-Al-Fe-Mo, est représentée par les Fig. 3,4, 5 et 6.

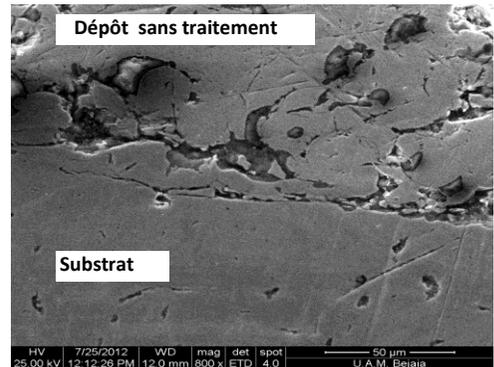


Fig.3. Microstructure obtenue au M.E.B du dépôt non traité (ST).

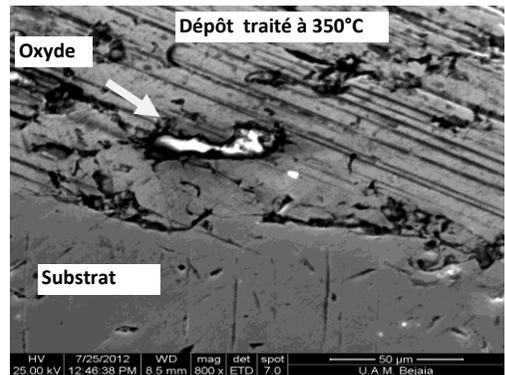


Fig.4. Microstructure obtenue au M.E.B du dépôt traité à 350°C (T 350°C).

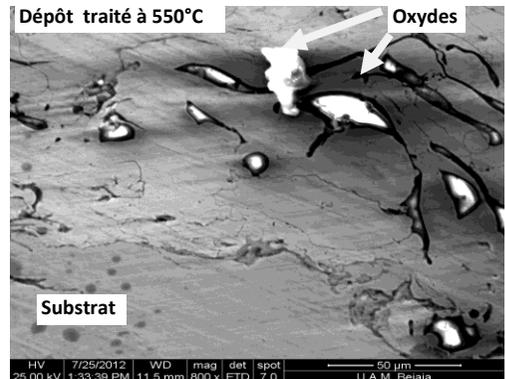


Fig.5. Microstructure obtenue au MEB du dépôt traité à 550°C (T 550°C).

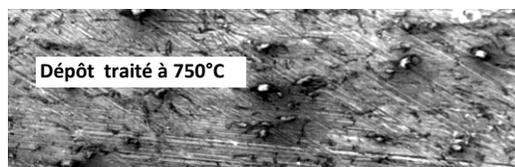


Fig.6. Microstructure obtenue au MEB du dépôt traité à 750°C (T 750°C).

A travers les micrographies obtenues au M.E.B des dépôts non traités et traités à différents post-traitements, on remarque que la microstructure du dépôt sans traitement présente plus de porosités que les microstructures des dépôts post-traités à 350°C, 550°C et 750°C (Fig. 3). Celles-ci trouvent leur origine probablement dans le piégeage de l'air entre les différentes couches déposées. Dans le cas de notre dépôt qui est issu de la poudre en alliage à base de Ni, la présence d'oxygène dans le dépôt provient de différentes sources : lors de leur séjour dans le jet, les particules métalliques sont sujettes à l'oxydation due au pompage de l'air par ce dernier, et les oxydes formés se trouvent naturellement dans le dépôt. En revanche, les différents post-traitements effectués ont réduit les porosités en rendant les dépôts plus homogènes et plus denses par le phénomène de colmatage (cf. Figs 4, 5 et 6). Le dépôt traité à 550°C possède des lamelles plus étendues et plus serrées ce qui lui donne une microstructure plus dense et plus compacte par rapport aux autres dépôts. Cette morphologie met également en évidence la présence des

nodules de couleur blanche, représentatifs des oxydes. La composition chimique de ces oxydes déterminée par la microanalyse EDAX correspond à l'alumine Al_2O_3 (Fig.7). Cette alumine est présente en grande proportion dans les dépôts traités à 550°C que ceux non traités et traités à 350°C et 750°C. En ce qui concerne le dépôt traité à 750°C, on note le phénomène de délaminage au niveau de l'interface substrat/dépôt. Typiquement, on constate l'apparition de défauts de cohésion inter-lamelle et inter-passe, des variations de composition chimique et des différences entre les coefficients de dilatation thermique engendrant ainsi la fragilité du dépôt.

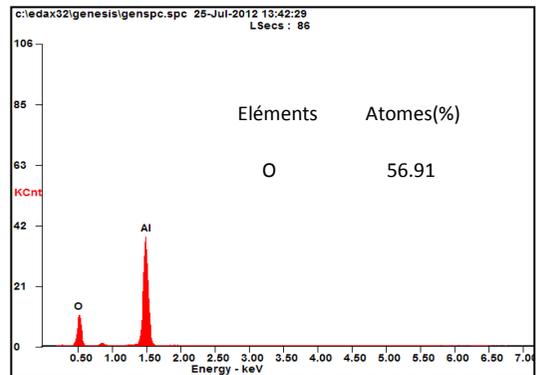


Fig.7. Spectre EDAX de l'oxyde correspondant à l'alumine.

III.2. La diffraction X

L'analyse DRX a révélé dans un travail précédent [19] que dans le revêtement issu de la poudre d'alliage Ni-Cr-Al-Fe-Mo, la phase ordonnée Ni_3Al présente dans cette poudre a disparu et la phase de la solution solide (Fe, Cr) de structure cubique centrée (CC) est encore présente (Fig.8a et b)

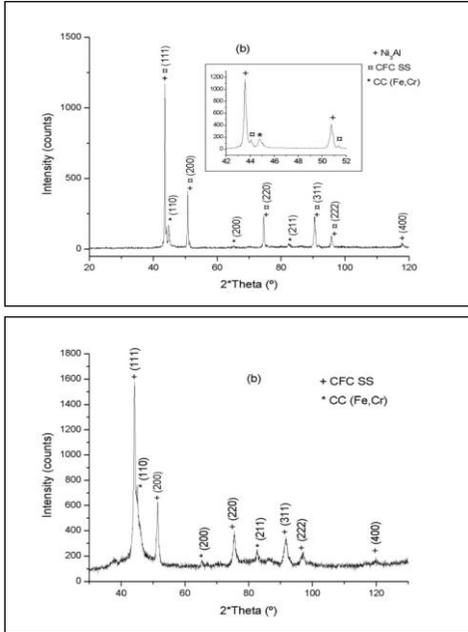


Fig.8. Spectre de diffraction X a) poudre d'alliage Ni-Cr-Al-Fe-Mo, b) dépôt après projection.

Les essais de microduretés Vickers, sous une charge de 200g, ont été effectués sur les surfaces polies des dépôts projetés par le procédé à flamme puis traités à différents post-traitements. Les microduretés élevées sont obtenues pour le dépôt traité à 550°C (354 HV0.2 contre 231 HV0.2 pour le dépôt non traité, 260 HV0.2 pour le dépôt traité à 350°C et 223 HV0.2 pour le dépôt traité à 750°C.

III.1. Perte de masses relatives des dépôts élaborés

Les figures 9 et 10 rassemblent les résultats de la tenue à l'usure exprimée en termes de perte de masse en fonction du temps pour les dépôts non traités et post-traités à différentes températures 350°C, 550°C et 750°C à différentes charges (5, 10, 15, 20, 30 et 40N) avec deux vitesses de glissement de 0,5 m/s et 1m/s.

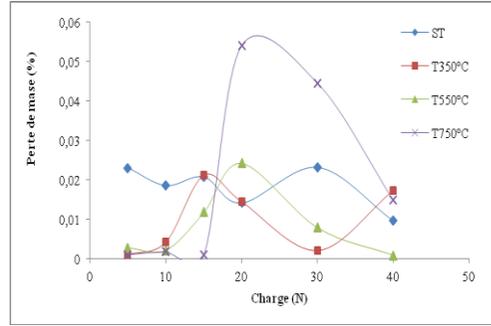


Fig.9. Perte de masse des dépôts à différents post-traitements pour la vitesse de 0.5 m/s.

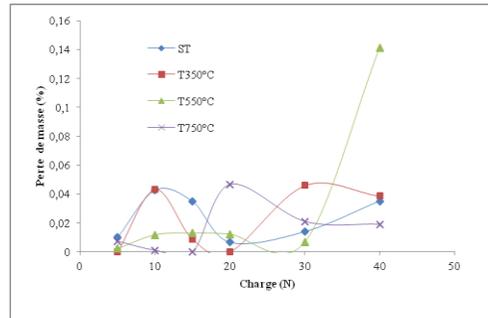


Fig.10. Perte de masse des dépôts à différents post-traitements pour la vitesse de 1 m/s.

D'après la figure 9 illustrant la perte de masse des dépôts à différents post-traitements pour la vitesse de 0.5 m/s, on constate que les dépôts post-traités à 550°C pendant une heure résistent mieux à l'usure que ceux non traités et traités à 350°C et 750°C. En plus, les dépôts traités à 750°C présentent une faible résistance à l'usure comparativement à ceux sans post-traitement. De ce constat, on peut conclure que le post-traitement le plus adéquat est celui réalisé à 550°C, ceci est dû probablement à l'apparition de nouvelles phases après projection qui améliorent ainsi la tenue à l'usure tels que la solution solide (Fe,Cr) et les oxydes d'aluminium Al_2O_3 qui jouent le rôle d'un lubrifiant. Le dépôt présente aussi une microstructure compacte formée de lamelles plus serrées et plus denses. Ajoutant à cela, une microdureté élevée qui est d'environ 350HV0.2.

Pour la vitesse de glissement de 1m/s (Fig.10), on remarque que la perte de masse la plus faible est enregistré pour le dépôt traité à 550°C. Ce constat vient confirmer les résultats obtenus pour la vitesse de glissement de 0.5 m/s.

Par la suite, nous avons évalué la variation de la température en fonction de la charge des dépôts à différents post-traitements pendant les essais d'usure pour les vitesses de glissement de 0.5 m/s et 1 m/s (Figs.11 et 12)

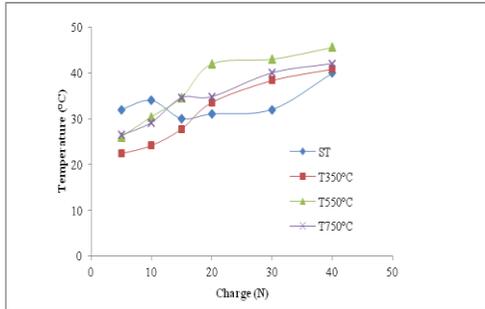


Fig.11. Variation de la température en fonction de la charge des dépôts post-traités pour la vitesse de 0.5 m/s.

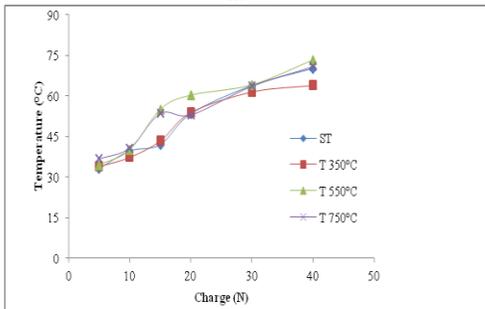


Fig.12. Variation de la température en fonction de la charge des dépôts post-traités pour la vitesse de 1 m/s.

D'après la figure 11, on remarque que la température prise à chaque fin d'essai augmente avec l'augmentation de la charge pour tous les dépôts élaborés. Cette élévation de température est due à l'augmentation de l'effort tangentiel et l'effort normal au niveau de la surface de contact sous l'effet de la charge appliquée. Par contre, la variation de la température en fonction de la charge pour le même dépôt, traités à différents post- traitements à la vitesse de glissement de 1m/s, on remarque que celle-ci est pratiquement identique pour l'ensemble des dépôts et elle varie entre 35°C et 70°C.

Un fait remarquable observé dans la figure 12, c'est l'augmentation de la température à la vitesse de 1 m/s par rapport à celle mesurée à 0,5m/s, on note une élévation d'environ 30°C. Cette élévation de température, est due essentiellement à l'augmentation de la vitesse de glissement, qui fait croître ainsi l'énergie mécanique qui se transformera par la suite en

énergie thermique sous l'effet des frottements [20].

VI. Conclusions

A travers ce travail, il ressort que la technique de projection thermique est actuellement une pratique très répandue dans le domaine de l'industrie. Elle a un intérêt particulier dans la rénovation et la récupération des pièces mécaniques usées.

Ce travail avait pour objectif de mettre en évidence l'influence des post-traitements et la vitesse de glissement sur la résistance à l'usure des différents dépôts élaborés.

Les observations microstructurales et structurales ont montré que les dépôts issus de la poudre en alliage Ni traités à 550°C possèdent une morphologie lamellaire homogène, plus dense et plus compacte que celle des autres dépôts. Par contre, celui réalisé à 750°C a provoqué un délaminage au niveau de l'interface substrat/dépôt.

Les mesures de microduretés effectuées sous une charge de 200g ont révélé que le dépôt traité à 550°C présente des valeurs les plus élevées.

L'évaluation de la perte de masse en fonction de la charge des différents dépôts réalisés sans traitement et avec traitement a montré que le post-traitement le plus adéquat est celui réalisé à 550°C par contre à 750°C, le traitement a provoqué une augmentation de l'usure

L'augmentation de la vitesse de glissement a engendré une usure importante pour tous les dépôts élaborés.

Références

- [1] Z. Zeng, N. Sakoda, T. Tajiri, S. Kuroda, Structure and corrosion behavior of 316L stainless steel coatings formed by HVOF spraying with and without sealing, Surf. Coat. Technol 203(2008) 284-290.
- [2] L.Zhao, N.Lugscheider, Influence of the spraying processes on the properties of 316L stainless steel coatings, Surf. Coat. Technol 162(2000) 6-10.
- [3] M. A. Bradai, N. Bounar, A. Benabbas, A. Ati, Study of microstructure, phases and microhardness of metallic coatings deposited by flame thermal spray, J. Mater. Process. Technol 200 (2008) 410-415.
- [4] M. A. Bradai, M. Braccini, A. Ati, N. Bounar, A. Benabbas, Microstructure and adhesion of

- 100Cr6 steel coatings thermally sprayed on a 35CrMo4 steel substrate, *Surf. Coat. Technol* 202 (2008) 4538-4543.
- [5] B. Uyulgan, H. Cetinel, I. Ozdemir, C. Tekmen, S. C. Okumus, E. Celik, Friction and wear properties of Mo coatings on cast-iron substrates, *Surf. Coat. Technol* 174-175(2003) 1082-1088
- [6] M. Fukumoto, Y. Huang, Flattening mechanism in thermal sprayed Ni particles impinging on flat substrate surface, *J. Thermal Spray Technology* 8(1999) 427-432.
- [7] Decker, Neiser, Gilmore, Tran, Microstructure and properties of cold spray nickel ; *Thermal Spray 2001: New Surfaces for a New Millennium*; Singapour; Mai 28-30 (2000).
- [8] N. Kahraman, B. Gulenc, Abrasive wear behaviour of powder flame sprayed coatings on steel substrates, *Materials and Design* 23 (2002) 721 –725
- [9] P. Kulu, S. Zimakov, Wear resistance of thermal sprayed coatings on the base of recycled hardmetal, *Surf. Coat. Technol* 130 (2000) 46-51.
- [10] P. Fauchais, A. Vardelle, B. Dussoub, Quo vadis thermal spraying? *J. Thermal Spray Technology* 10 (2001) 44-66.
- [11] L. Pawlowski, *The science and engineering of thermal spray coatings* (J. Wiley and sons, New York, USA, 1995).
- [12] O. Lagnoux, Projection de poudres métalliques par plasma d'arc soufflé à l'air libre – Etudes de l'entraînement de l'air et de son influence sur l'oxydation des poudres en vol et des dépôts, Ph.D. Thesis, University of Limoges, France, 1999.
- [13] A.C. Lager, Contribution à l'études expérimental de la formation de lamelles de zircone, de leur empilement, et des contraintes résiduelles de dépôts projetés par plasma, Ph.D. Thesis, University of Limoges, France, 1997.
- [14] A. Edrisy, T. Perry, Y. T. Cheng, A. T. Alpas. The effect of humidity on the sliding wear of plasma transfer wire arc thermal sprayed low carbone steel coatings, *Surf. Coat. Technol* 146-147 (2001) 571-577.
- [15] P. Kulu, S. Zimakov, Wear resistance of thermal sprayed coatings on the base of recycled hardmetal, *Surf. Coat. Technol* 130 (2000) 46-51.
- [16] C. Navas, R. Colaço, J. de Damborenea, R. Vilar, Abrasive wear behavior of laser clad and flamme sprayed-melted NiCrBSi coatings, *Surf. Coat. Technol* 200 (2006) 6854-6862.
- [17] N. Y. Sari, M. Yilmaz, Investigation of abrasive+erosive wear behaviour of surface hardening methods applied to AISI 1050 steel, *Materials and Design* (2006) 470-478.
- [18] A. Proner, Revêtements par projection thermique, *Techniques de l'Ingénieur: Traité Matériaux métalliques*, M 1645 (1999) 1-20.
- [19] M.A. Bradai , A. Sadeddine, Y. Mouadji, A. Bennabas, N. Bounar, A. Mammeri, Microstructural and mechanical properties of Ni-base thermal spray coatings deposited by flame spraying. *Metallurgical and materials transactions B* 42 (2011) 932-938
- [20] A. Cornet, J-P. Deville, *Physique et ingénierie des surfaces* (EDP Sciences, 1998)