



Avis de Soutenance

Monsieur SHAOWU LIU

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **mardi 22 mars 2022** à 9h30

Lieu : University of Technology of Belfort-Montbéliard, Site de Sevenans, Rue de Leupe, 90400
SEVENANS

Salle : P208, Site de Sevenans

Titre des travaux : Optimisation et amélioration d'un nouveau procédé HVOF alimenté à l'éthanol

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 28

Unité de recherche : Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne

Directeur de thèse : Hanlin LIAO

Codirecteur de thèse : Michel MOLIERE HDR NON HDR

Soutenance : Publique A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Hanlin LIAO	Professeur	Université Bourgogne - Franche-Comté	Directeur de thèse
M. Michel MOLIERE	Ingénieur	Université Bourgogne - Franche-Comté	Co-directeur de thèse
M. Andreas KILLINGER	Professeur	Université de Stuttgart	Rapporteur
M. Philippe BERTRAND	Professeur	École Nationale d'Ingénieurs de Saint-Étienne	Rapporteur
M. Thierry GROSDIDIER	Professeur	Université de Lorraine	Examineur
M. Daniel RIVOLET	Ingénieur	Flame Spray Technologies B.V.	Examineur

Invité :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Shuo YIN	MCF	Université de Dublin	Invité

Mots-clés : Optimisation et Amélioration, Nouveau Procédé HVOF, l'éthanol,,

Résumé de la thèse (en français) :

La pulvérisation oxycombustible à grande vitesse (HVOF) est devenue un procédé de choix pour produire des revêtements de cermet ou d'alliage à haute performance. Les systèmes de pulvérisation thermique HVOF courants utilisent classiquement la combustion de gaz, tels que l'hydrogène, le propane ou un combustible liquide tel que le kérosène. Cependant, il existe actuellement une quantité limitée de littérature sur l'utilisation de l'éthanol comme carburant dans les procédés HVOF et les performances des revêtements résultants ne sont pas bien documentées. L'éthanol bénéficie de caractéristiques respectueuses de l'environnement et est moins polluant que les carburants liquides fossiles conventionnels (c'est-à-dire le kérosène) car sa combustion génère moins d'oxydes d'azote et de particules de suie. Dans ce travail, nous décidons d'étudier un tel dispositif HVOF alimenté à l'éthanol (appelé "eGun HVOF"), dans le but de définir les mérites et les limites de cette technologie. De plus, nous avons géré certaines modifications de conception du dispositif eGun en vue d'améliorer la qualité des revêtements. Au début, la poudre commerciale de WC-10Co-4Cr a été pulvérisée en utilisant le procédé eGun HVOF. Des investigations ont été menées pour déterminer l'influence de différents rapports oxygène/carburant sur l'évolution de la vitesse et de la température des particules en vol en corrélation avec les propriétés des revêtements résultants. La variation du débit d'éthanol semble avoir une plus grande influence sur la vitesse et la température des particules que celle de l'oxygène. Nous élaborons des corrélations détaillées entre les paramètres des particules et les propriétés du revêtement pour en déduire les paramètres de pulvérisation fournissant les revêtements les plus performants. Ensuite, nous avons utilisé l'eGun pour préparer des revêtements Cr₃C₂-25wt.% NiCr sur un substrat en acier inoxydable 304. La méthode Taguchi a été utilisée pour ajuster les paramètres de pulvérisation offrant la meilleure résistance à l'érosion à un angle d'impact de 90°. Nous avons alors obtenu les paramètres de pulvérisation optimaux (OSP) pour une usure par érosion minimale. Et la porosité, la ténacité à la rupture et la force de liaison des revêtements préparés avec le nouveau eGun HVOF sont comparables à celles obtenues avec les appareils HVOF conventionnels (DJH2700, JP5000, K2). Fait intéressant, la microdureté s'est avérée bien meilleure. Les tests d'usure par érosion du « revêtement optimisé » ont été effectués à des angles d'impact de 30 °, 60 ° et 90 °. Il s'est avéré que le taux d'érosion augmente avec l'augmentation de l'angle d'impact. De plus, nous avons effectué des recherches pour déterminer l'influence de différentes conditions stoechiométriques, sur la microstructure du revêtement et en relation avec les propriétés du revêtement résultant. Dans la dernière partie de la thèse, nous avons mené quelques développements destinés à améliorer encore les capacités de l'eGun, que nous avons utilisé cette fois comme un système HVOAF (c'est-à-dire avec de l'air ajouté comme oxydant plus doux). Pour pouvoir alimenter la torche eGun en air comprimé, il a été décidé de concevoir et d'installer une chambre de combustion de deuxième étage. Les revêtements NiCoCrAlYTa ont été préparés à l'aide de cet appareil HVOAF modifié alimenté à l'éthanol. Des investigations ont été menées pour déterminer l'influence de différents débits d'air comprimé sur les microstructures et les propriétés des revêtements NiCoCrAlYTa résultants. Nous avons élaboré une corrélation détaillée entre le débit d'air comprimé et les propriétés du revêtement pour identifier les conditions garantissant les revêtements les plus performants. Mots clés: HVOF; éthanol; résistance à l'érosion; HVOAF; NiCoCrAlYTa; oxydation; résistance à l'usure par glissement

Abstract (in English):

The high velocity oxy-fuel (HVOF) spray has become a process of choice for producing high performance cermet or alloy coatings. Common HVOF thermal spray systems classically use the combustion of gases, such as hydrogen, propane or a liquid fuel such as kerosene. However, there is currently a limited amount of literature on the use of ethanol as a fuel within HVOF processes and the performances of the resulting coatings are not well documented. Ethanol benefits from

environmentally friendly features and is less polluting compared to conventional fossil liquid fuels (i.e. kerosene) as its combustion generates less nitrogen oxides and soot particles. In this work, we decide to investigate such an ethanol-fueled HVOF device (called "eGun HVOF"), with the aim to define the merits and limitations of that technology. In addition, we managed some design modifications of the eGun device in view of improving the quality of the coatings. At first, commercial WC-10Co-4Cr powder was sprayed using the eGun HVOF process. Investigations were carried out to determine the influence of different oxygen/fuel ratios on the evolution of the velocity and temperature of in-flight particles in correlation with the properties of the resulting coatings. The variation of the ethanol flow rate appeared to have a greater influence on the velocity and temperature of the particles than that of oxygen. We elaborate detailed correlations between particle parameters and coating properties to deduce spray parameters providing the best performing coatings. Next, we used the eGun to prepare Cr₃C₂-25wt.%NiCr coatings on a 304 stainless steel substrate. The Taguchi method was employed to adjust the spray parameters providing the best erosion resistance at 90° impact angle. We obtained then the optimal spray parameters (OSP) for minimum erosion wear. And the porosity, fracture toughness, and bonding strength of the coatings prepared with the new eGun HVOF are comparable to those obtained with the conventional HVOF devices (DJH2700, JP5000, K2). Interestingly, the microhardness proved much better. The erosion wear testing of the "optimized coating" was conducted at 30°, 60° and 90° impact angle. It turned out that the erosion rate rises with the increase of the impact angle. In addition, we performed investigations to determine the influence of different stoichiometric conditions, on the coating microstructure and in relation with the resulting coating properties. In the last part of the thesis, we conducted some developments intended to further improve the capabilities of the eGun, which we used this time as an HVOAF system (i.e. with air added as a milder oxidizer). To be able to feed the eGun torch with compressed air, it was decided to design and install a second-stage combustion chamber. NiCoCrAlYTa coatings were prepared using this modified, ethanol-fueled HVOAF device. Investigations were conducted to determine the influence of different flow rates of compressed air on the microstructures and the properties of the resulting NiCoCrAlYTa coatings. We elaborated a detailed correlation between the compressed air flow rate and the coating properties to identify the conditions securing the best performing coatings. Keywords: HVOF; ethanol; erosion resistance; HVOAF; NiCoCrAlYTa; oxidation; sliding wear resistance