



Avis de Soutenance

Monsieur Xinliang XIE

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **jeudi 12 décembre 2019** à 10h00
Lieu : UTBM site de Sévenans Rue de leupe, 90400 SEVENANS
Salle : P228

Titre des travaux : Fabrication et caractérisation de composites à matrice d'aluminium avec nano-renforcement par projection à froid

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 : Gang JI 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. Frank GÄRTNER	Associate Professor	Helmut Schmidt University	Rapporteur
M. Jean-François SILVAIN	Professeur	Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux	Rapporteur
M. Michel JEANDIN	Professeur	MINES ParisTech	Examineur
M. Gang JI	Chargé de Recherche	Unité Matériaux et Transformations, Université de Lille	Co-directeur de thèse

Mots-clés : projection à froid, nano renforcement, composite à matrice métallique, Propriétés mécaniques, traitement thermique,

Résumé de la thèse (en français) :

Cette étude vise à développer de nouvelles voies pour la fabrication de composites à matrice d'aluminium (AMC) renforcés de nano-renfort par un procédé de projection à froid à l'état solide. Trois différents AMC, notamment les NTC/Al, TiB₂/AlSi10Mg et TiB₂/7075Al, ont été fabriqués avec succès par la projection à froid de poudres composites préparées selon différentes approches. L'évolution de la microstructure des échantillons composites après projection a été étudiée avec différents moyens de caractérisation de diffraction des rayons X (DRX), de microscopie électronique à balayage (MEB) et de microscopie électronique à transmission (MET) et de diffraction d'électrons rétrodiffusion (EBSD). L'adhérence, le comportement tribologique, les propriétés de corrosion ainsi que les performances mécaniques, y compris la microdureté et les propriétés en traction des composites, ont été évaluées. Le comportement de la déformation plastique des particules et les mécanismes de formation des dépôts composites ont été étudiés à l'aide d'un essai de compression d'une seule particule et de simulation FEA. De plus, les dépôts ont été traités par traitement thermique et par friction-malaxage (FSP), l'influence de conditions des traitements sur l'évolution de la microstructure et les propriétés mécaniques des AMC a été étudiée. Les résultats expérimentaux ont révélé que la distribution uniforme des NTC dans la matrice d'Al était obtenue en utilisant des poudres composites broyées à la vitesse de balle (SSBM). Cependant, les essais de traction sur le composite de NTC/Al SSBM présentent une caractéristique fragile, la fracture se produisant le long de l'interface entre les particules et à l'intergranulaire dans les particules. Une légère amélioration de la résistance à la traction et de l'allongement a été obtenue après traitement de recuit en raison d'une amélioration de liaison interfaciale et d'un effet de diminution des défauts. Des revêtements composites TiB₂/AlSi10Mg et TiB₂/7075Al totalement denses avec une épaisseur importante ont été obtenus par la projection de poudres composites renforcées par des particules de TiB₂ qui se forme in-situ pendant atomisation lors de fabrication de poudre. La présence de faibles liaisons entre les particules et la présence d'agglomérat de TiB₂ à la surface des splats déformés entraînent une rupture fragile des composites TiB₂/AlSi10Mg. Une amélioration significative de la ductilité mais une réduction de la résistance à la traction ont été obtenues après le traitement thermique, principalement en raison de la amélioration de liaison interfaciale entre les splat déformés et la croissance des grains, respectivement. Le traitement FSP a permis d'améliorer simultanément la résistance et la ductilité des composites TiB₂/AlSi10Mg. Les mécanismes de renforcement sont liés à la répartition homogène des renforts, au raffinage du grain de la matrice et à la liaison interfaciale améliorée. Dans le cas du composite TiB₂/7075Al, les particules de TiB₂ nanométriques sont uniformément réparties dans la matrice d'Al. Une vitesse d'impact et une température de particule plus élevées conduisent à une structure plus dense et à une déformation plus importante des particules, renforçant la liaison métallique entre les lamelles déformées et l'affinage du grain. En conséquence, une microdureté et une résistance à la traction supérieures ont été obtenues. Cependant, des tests électrochimiques ont révélé qu'une déformation plastique plus importante dans les échantillons fabriqués avec l'hélium entraînait une résistance à la corrosion inférieure à celle des échantillons fabriqués avec l'air due à la génération plus importante de défauts tels que contrainte de déformation et dislocations. La microdureté peut être largement améliorée par traitement thermique en raison de la formation de précipités abondants dans la matrice d'Al. Cependant, les traitements thermiques n'ont guère amélioré la résistance à la traction, et une caractéristique fragile a été toujours observée sur la surface de rupture des échantillons en traction TiB₂/7075Al traités thermiquement.

Abstract (in English):

This study aims at developing new routes for manufacturing Al matrix composites (AMCs) strengthened with nano reinforcements by solid-state cold spraying (CS) process. Three different AMCs including CNTs/Al, TiB₂/AlSi10Mg and TiB₂/7075Al were successfully fabricated by CS of the composite powders prepared using different approaches. The microstructure evolution of as-sprayed composite samples was investigated by means of different characterization methods like X-ray diffraction (XRD), scanning (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) and electron backscatter diffraction (SEM/EBSD). The adhesion strength, tribological behaviour, corrosion properties as well as the mechanical performance including microhardness and tensile properties of cold sprayed composites were evaluated. The particle plastic deformation behaviour and the formation mechanisms of composite deposits were investigated with the assist of single particle compression tests and FEA simulation. Moreover, coatings were post-treated by heat treatments and friction stir processing

(FSP) and the influence of process conditions on the microstructure evolution and mechanical properties were investigated. Experimental results revealed that uniform distribution of CNTs into Al matrix was achieved by using shift speed ball milled (SSBM) composite powders. However, the tensile tests on as-sprayed SSBM CNTs/Al composite presents a brittle feature, with inter-splat interface and intergranular fracture. A slight improvement in both ultimate tensile strength (UTS) and elongation was obtained after annealing treatment as a result of enhanced interfacial bonding and defects healing effect. Fully dense and thick TiB₂/AlSi10Mg and TiB₂/7075Al composite components were obtained by CS of gas-atomized composite powders reinforced with in-situ TiB₂ particles. The presence of poor inter-splat bonding and TiB₂ clusters on the deformed splats surface results in a brittle fracture of the as-sprayed TiB₂/AlSi10Mg composites. Significant improvement in ductility but reduction in tensile strength was obtained for the annealed TiB₂/AlSi10Mg samples mainly due to the improved interfacial bonding between the deformed splats and grain growth after annealing treatment, respectively. A simultaneous enhancement in both strength and ductility has been achieved by FSP treatment. The strengthening mechanisms are related to the homogenous distribution of reinforcements, matrix grain refinement, and robust interfacial bonding. In the case of TiB₂/7075Al composite, nanosized TiB₂ particles are uniformly distributed in Al matrix. A higher particle impact velocity and temperature lead to a denser structure and greater particle deformation, enhancing metallic bonding between deformed splats and grain refinement. Consequently, higher microhardness and tensile strength were acquired. However, electrochemical tests revealed that a greater plastic deformation in the helium-processed samples results in inferior corrosion resistance compared to the air-processed samples due to the greater generation of defaults like strain stress and dislocations. The microhardness can be largely improved by heat treatment due to the formation of abundant precipitates in Al matrix. However, few improvements in tensile properties were found by applying post-heat treatments, and a brittle feature was still observed on the fracture surface of the heat-treated TiB₂/7075Al tensile samples.