

Finition de surface des pièces métalliques issues de l'additive manufacturing

i CRM
 Florin Duminica, Nicolas Nutal, Sébastien Le Cruz,
 Jean-François Vanhumbecq, Catherine Archambeau

La surface des pièces métalliques générées par l'impression 3D présente un aspect rugueux qui peut impacter la fonction ou l'apparence de la pièce. Au lieu de retirer de la matière en surface de la pièce jusqu'à obtenir une surface lisse en utilisant des techniques soustractives, on peut également opter pour la stratégie inverse qui consiste à remplir les creux de la surface de manière à la niveler. Bien que cette stratégie soit moins répandue pour le lissage de la surface, dans certains cas, le revêtement lissant ajouté permet d'apporter une fonctionnalité supplémentaire à la surface. Différentes techniques de dépôt permettent de générer des revêtements suffisamment épais (> 30 µm) pour couvrir les défauts de surface, par exemple l'électrodéposition, les procédés sol-gel et spray, le laser cladding, la projection thermique (APS et HVOF) et en moindre mesure les procédés PVD (Ebeam, arc et PECVD). Dans le cadre du projet collaboratif TCAM [1], deux types de revêtements représentatifs ont été explorés: des revêtements métalliques déposés par un procédé électrochimique, et des revêtements céramiques déposés par un procédé sol-gel.

Le dépôt de nickel lissant est obtenu par électrodéposition à partir d'un bain conte-

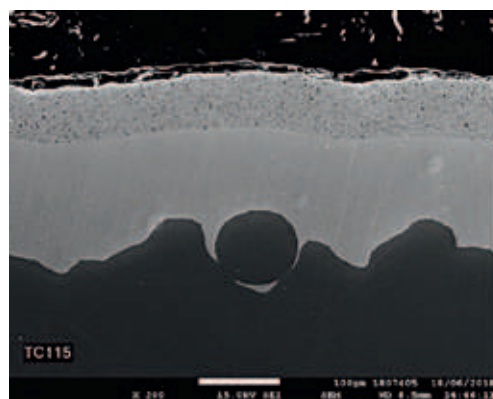


Fig. 2: exemple d'une pièce en titane (EBM) avec un revêtement bicouche de nickel lissant et de type 'cermet'

nant des additifs spécifiques. Ces additifs permettent de ralentir la croissance de la couche au niveau des aspérités de la surface et donc de déposer préférentiellement dans les creux ce qui, in fine, offre un effet lissant. Par cette méthode, il est possible de diminuer la rugosité d'une surface par un facteur 6. La combinaison des finitions de surfaces soustractives et additives permet d'améliorer encore davantage la qualité de surface pour atteindre une qualité optique, caractérisée par une rugosité de surface inférieure à 1 µm Ra. Dans le cadre du projet TCAM, nous avons pu montrer sur des pièces en invar qu'en combinant un polissage chimique, générant une rugosité de surface de 2 µm Ra, et un dépôt de nickel lissant, des rugosités

de surface inférieures à 0,6 µm peuvent être obtenues (fig. 1).

Outre la réduction de rugosité, les dépôts de nickel lissants peuvent apporter différentes améliorations au niveau des propriétés fonctionnelles de la pièce traitée, par exemple sa tenue à la corrosion, à l'usure ou sa conductivité électrique. Ils peuvent également servir de couche d'accroche pour un revêtement tribologique qui permettra d'améliorer significativement la dureté de surface. La figure 2 montre une pièce en titane (EBM) avec un revêtement bicouche. La première couche est un dépôt de nickel lissant, permettant d'éliminer la rugosité de surface. Une seconde couche de type 'cermet' (c'est-à-dire une matrice métallique renforcée par des particules céramiques) a été appliquée sur le nickel lissant dans le but d'améliorer la durabilité de la pièce. En effet, le dépôt cermet présente une bonne tenue à la corrosion ainsi qu'une dureté élevée (500-600 HV) qui garantit une bonne résistance à l'usure.



Fig. 1: a) photo comparant l'état de surface d'une pièce additive manufacturing en invar avant et après l'ajout d'un revêtement métallique de Ni lissant; b) micrographie en coupe montrant le caractère lissant du Ni.

La figure 3 montre les sillons d'usure générés par une bille d'acier dur frottant sur la

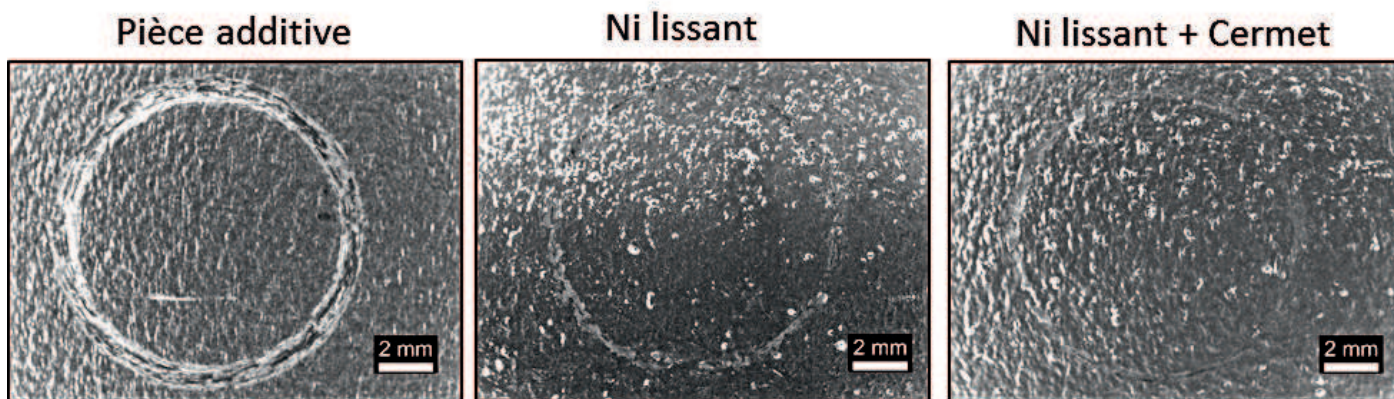


Fig. 3: photos montrant l'usure générée sur pièces SLM AlSi7Mg respectivement non revêtue, revêtue de Ni lissant et présentant un revêtement bicouche Ni lissant + cermet. Le diamètre de la bille est de 6 mm, la charge appliquée sur la bille est de 2 N et la vitesse de frottement de 10 cm/s. Les photos ont été prises après 1000 tours.

surface des pièces SLM en alliage AlSi7Mg avec ou sans revêtement (test tribologique 'pin-on-disk'). L'usure est très prononcée sur la pièce AlSi7Mg non revêtue et à peine visible sur les pièces revêtues par le Ni lissant et le cermet.

Les formulations céramiques réalisées à partir du procédé sol-gel ont l'avantage d'être fluides (pour remplir les pores



Fig. 4: photo d'une pièce d'aluminium additive manufacturing, polie par tribofinition et ensuite revêtue par une peinture céramique.



Fig 5: photos d'une goutte d'eau déposée sur: a) une pièce Ti EBM; b) une pièce Ti EBM revêtue par une fine couche de sol gel développée par CRM.

micro-trous de surface) et permettent de réaliser des couches assez épaisses (entre 20 et 50 μm pour niveler des défauts de surface du même ordre). De plus, il est possible de formuler ces produits pour avoir des revêtements dont la rugosité intrinsèque est très faible; il est possible d'atteindre sur des surfaces rectifiées ou laminées des rugosités $R_a < 50 \text{ nm}$. Dans le cas présent, des peintures céramiques ont permis de réduire la rugosité d'un facteur 5 par monocouche et une réduction d'un facteur 10 pour des bicouches. La combinaison avec des finitions de surfaces soustractives permet d'améliorer encore plus la qualité de surface pour atteindre une rugosité de surface inférieure à 1 $\mu\text{m } R_a$. Cela est mis en évidence dans la figure 4 montrant l'aspect brillant d'une pièce d'aluminium SLM qui a été polie par tribofinition et ensuite revêtue par une peinture céramique.

En complément des activités liées aux finitions de surface, le CRM est très actif dans le développement des traitements de fonctionnalisation de surface comme

par exemple le contrôle de l'énergie de surface. Ces fonctionnalisations de surface visent à générer un effet autonettoyant ou facile à nettoyer, représenté dans la figure 5. Cette conversion de l'énergie de surface peut être obtenue via des revêtements à base d'oxydes métalliques tels que la silice (SiO_2) et/ou le dioxyde de titane (TiO_2) dont la surface présente une forte affinité avec les molécules d'eau. D'autres exemples concernent un meilleur écoulement de l'eau sur les surfaces des pièces utilisées pour les échangeurs de température ou une plus grande compatibilité des implants issus de l'additive manufacturing avec les tissus cellulaires.

En complément des procédés décrits précédemment et pour répondre aux demandes croissantes en termes de finition et fonctionnalisation des pièces issues de l'additive manufacturing, le CRM développe actuellement une plateforme technologique permettant l'automatisation des procédés de finition suivants: spray électrostatique, projection thermique, PVD et électrodéposition.

[1] Projet Cornet TCAM (Technical Coatings for Additive Manufacturing, partenaires: SIRRIS, Fraunhofer IAP, CRM, 2016-2018)