

Finition de surface des pièces issues de l'additive manufacturing

i CRM
Sebastien Le Cruz

De Nederlandse vertaling van dit artikel wordt gepubliceerd in VOM INFO september 2018.

La fabrication additive par fusion d'un lit de poudre fait partie des technologies prometteuses dans le domaine de l'impression 3D. Appliquée aux matériaux métalliques, elle se présente comme une technologie de rupture pour l'industrie avec un fort potentiel de complexification géométrique de pièces techniques. Par ailleurs, cette méthode permet de conférer de nouvelles propriétés ou fonctions aux pièces réalisées.

Il y a donc un intérêt marqué de la part des secteurs de pointe comme l'aérospatial, l'aéronautique ou le médical pour repousser les limites atteintes par les techniques plus traditionnelles comme l'usinage ou l'injection.

Cependant, l'état de surface des pièces générées par l'impression 3D présente un aspect rugueux qui peut impacter la fonction ou l'apparence de la pièce. En sortie machine, les pièces issues des techniques additives sont assez rugueuses (de 5 à 25 μm Ra). En outre, elles présentent des particules collées susceptibles de se décrocher lors de l'utilisation de la pièce ainsi que des petites aspérités de surface qui agissent souvent comme des amorces de rupture ou encore des puits de produits corrosifs. Ces différents défauts peuvent entraîner l'endommagement de la pièce. Pour pallier à ces challenges techniques le CRM Group s'inscrit dans plusieurs projets collaboratifs visant à assurer des post-traitements de finition de surface via des méthodes soustractives ou additives.

La plupart des post-traitements de finition de surface actuels sont «soustractifs» et visent à enlever la matière en surface jusqu'à atteindre la partie dense de la pièce et donc de la rendre lisse. Il est donc important de tenir compte de cette étape soustractive lors de la conception des pièces pour assurer une surépaisseur. Des essais de polissage mécanique contrôlés ont mis en évidence qu'une épaisseur d'environ 250 μm (figure 1) est nécessaire pour accéder aux proprié-

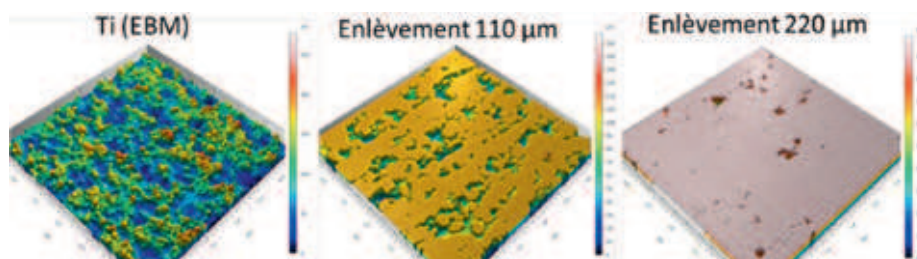


Figure 1: vue 3D par interférométrie optique des surfaces issues de l'additive manufacturing (Ti EBM) et après polissage mécanique (enlèvement de 110 et 220 μm).

tés du matériau massif. Il est à noter que ces valeurs varient d'une matière à l'autre.

Dans le cadre des projets collaboratifs TCAM [1] et ESA [2], les traitements soustractifs suivants: tribofinition, polissage chimique et polissage électrochimique ont été étudiés afin de déterminer leurs capacités respectives pour atteindre les propriétés de surface visées sur les matières suivantes obtenues par additive manufacturing: alliages de titane, aluminium ou invar. Le choix de ces traitements a été déterminé

par l'accessibilité sur toute la surface des pièces à géométrie complexe.

La tribofinition est une méthode mécano-chimique qui permet de réaliser un traitement de surface par abrasion de la surface. C'est une méthode facilement automatisable qui permet de traiter des pièces de dimensions compatibles avec celles atteintes par les techniques d'additive manufacturing. Quelques résultats sont illustrés ci-dessous pour l'aluminium AlSi7Mg0.6:

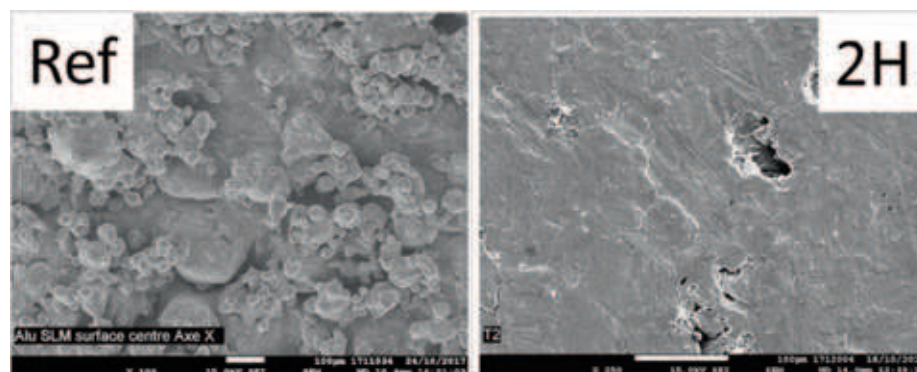
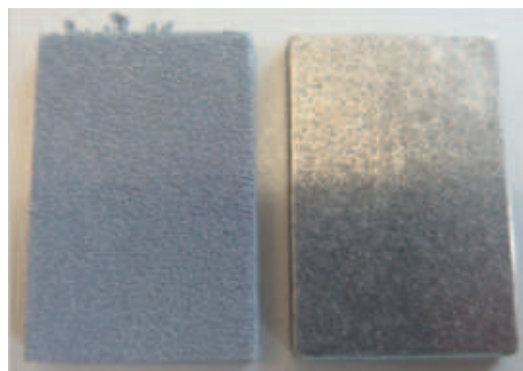


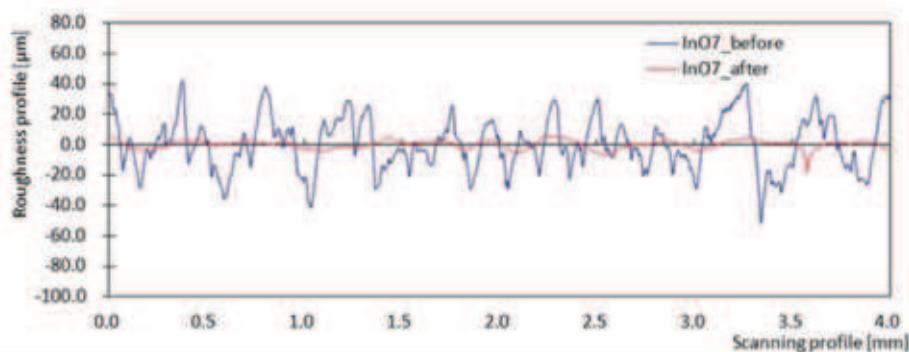
Figure 2: représentation de la morphologie des pièces d'aluminium issues de l'additive manufacturing (à gauche) et après un traitement de tribofinition de 2 h (à droite).

Les principaux inconvénients liés à la tribofinition sont la durée du traitement qui peut être très longue, en particulier pour le titane, l'accessibilité limitée des abrasifs ainsi qu'une érosion plus marquée au niveau des tranchants des pièces.

Au contraire de la tribofinition, le polissage chimique permet de traiter rapidement les pièces. Par ailleurs, cette méthode présente une excellente accessibilité. La taille des échantillons n'est également pas une réelle problématique pour cette méthode. Quelques résultats sont illustrés ci-dessous pour des pièces réalisées en invar:

Le polissage chimique présente également certains défauts. En effet, cette méthode implique la manipulation de produits chimiques dangereux. Par ailleurs, le traitement de pièces complexes peut également induire une sur-réactivité locale sur les pièces qui peut mener à un traitement inhomogène.

L'électropolissage est également une méthode de traitement de surface rapide qui permet d'atteindre des rugosités compatibles avec les spécifications visées. Par ailleurs, il est également possible de contrôler l'enlèvement de matière obtenu en mesu-



After treatment

Not treated

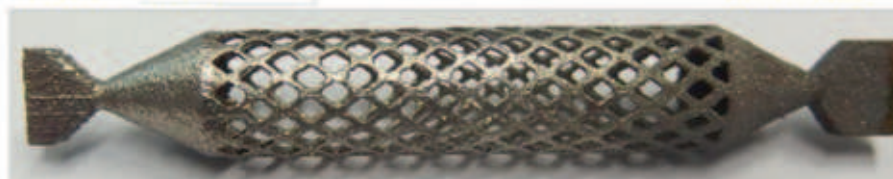


Figure 3: profil de rugosité et vue d'un échantillon d'invar dont la moitié gauche a été polie chimiquement. Le profil de rugosité montre l'amplitude des défauts de surface (en bleu avant le traitement, en rouge après polissage chimique).

rant le courant injecté. Quelques résultats obtenus sur du titane Ti6Al4V sont présentés par figure 4.

Cette méthode utilise également des produits chimiques potentiellement dangereux. L'accessibilité de la méthode dépend quant à elle de l'électrolyte utilisé mais également de la contre électrode utilisée.

Au lieu de retirer de la matière en surface de la pièce jusqu'à obtenir une surface lisse, on peut également opter pour la stratégie inverse qui consiste à remplir les creux de la surface de manière à la niveler. C'est ce qu'on appelle l'approche «additive». 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 et ainsi de faire «d'une pierre deux coups». Dans le cadre du projet collaboratif TCAM [1], deux types de revêtements représentatifs ont été sélectionnés et explorés: des revêtements métalliques déposés par un procédé électrochimique et des revêtements céramiques déposés par un procédé sol-gel.

Les formulations céramiques réalisées à partir du procédé sol-gel ont l'avantage d'être fluides (pour remplir les pores ou 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 $R_a < 50$ nm. Dans le cas présent, un vernis et une peinture céramiques ont permis de réduire la rugosité d'un facteur ~ 3 à 6, suivant le nombre de couches enduites sur la surface.

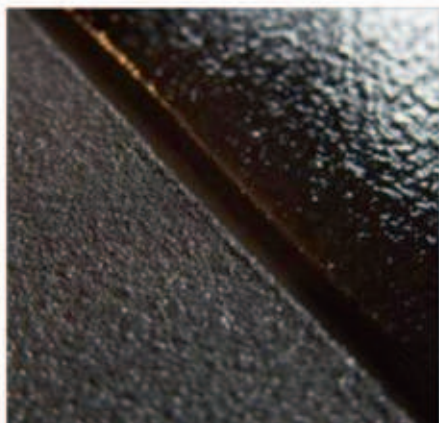
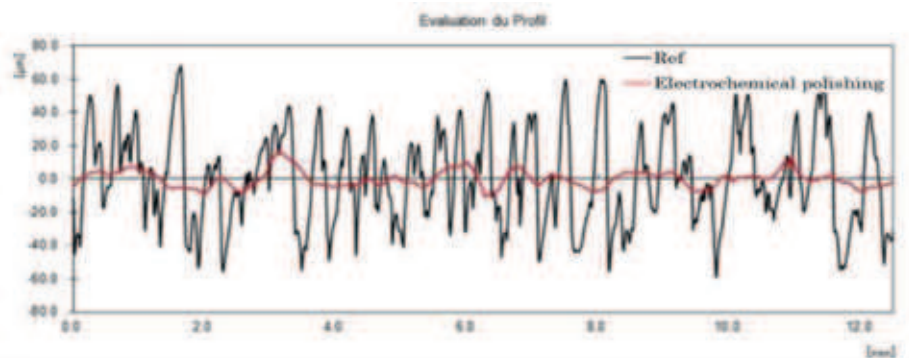


Figure 4: profil de rugosité et vue d'un échantillon de titane dont la moitié supérieure a été polie électrochimiquement. Le profil de rugosité montre l'amplitude des défauts de surface (en noir avant le traitement, en rouge après polissage électrochimique).



Figure 5: photo d'un vernis et d'une peinture céramique sur un substrat d'invar tribo-fini.

Le dépôt de nickel lissant est obtenu par électrodéposition à partir d'un bain contenant 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 offre un effet lissant. Par cette méthode, il est possible de diminuer la rugosité d'une surface d'un facteur 6 et d'atteindre des rugosités Ra inférieures à 1 μm . L'épaisseur du dépôt de nickel doit être ajustée en fonction de la rugosité initiale du substrat et de la rugosité finale que l'on souhaite atteindre. Outre leurs propriétés lissantes ces dépôts de nickel sont denses, non poreux, bon conducteurs électriques et présentent une bonne tenue à la corrosion et un aspect brillant très esthétique.



Figure 6: photo montrant l'état de surface d'une pièce additive manufacturing en invar avant et après l'ajout d'un revêtement métallique de Ni lissant.

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. Ainsi, en combinant par exemple le procédé de polissage chimique sur invar, générant une rugosité de surface de 2 μm Ra, avec un dépôt sol-gel, des

rugosités de surface inférieures à 0.6 μm peuvent être obtenues. Les applications liées à ces traitements peuvent être multiples: protection à la corrosion, tenue thermiques à haute température (> 600 °C), isolation électrique, etc.

Le même effet synergétique a été mis en évidence en combinant le polissage chimique avec le nickel lissant. En combinant polissage chimique et nickelage lissant, on peut réduire la rugosité à 1 μm tout en limitant l'épaisseur de nickel à déposer.

En complément des activités liées aux finitions de surface, le CRM est très actif dans le développement des traitements de fonctionnalisation de surface. Les applications suivantes ont été investiguées.

MOUILLABILITÉ DE SURFACE

La forte rugosité de surface des pièces issues de l'additif manufacturing couplée à la formation d'oxydes métalliques en extrême surface génère une forte hydrophobie de surface. Cet effet peut générer l'accélération de l'encrassement de surface par des poussières principalement hydrocarbonnées et présentant des tailles variables allant de l'échelle submicrométrique à plusieurs micromètres, ou lors de la manipulation des pièces. La conversion des surfaces hydrophobes en hydrophiles visant à un étalement maximal de l'eau permet de générer un effet autonettoyant ou facile à nettoyer. Cette conversion 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.

RÉSISTANCE À L'USURE

L'ajout des revêtements tribologiques sur les surfaces issues de l'additive manufacturing peut générer une plus grande résistance à l'usure. Ces revêtements tribologiques peuvent être appliqués par voie liquide, sous forme de sol-gel ou par pro-

céde électrolytique et par voie sèche (PVD, projection thermique, etc). La Figure 7 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 (500-600HV) qui garantit une bonne résistance à l'usure.

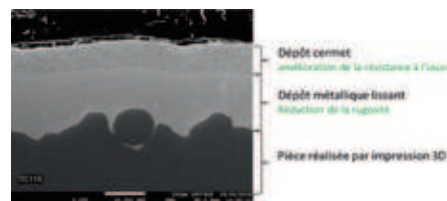


Figure 7: exemple d'une pièce en titane (EBM) avec un revêtement bicouche de nickel lissant et de type «cermet».

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 suivants: spray électrostatique, projection thermique et PVD [3].

- [1] Projet Cornet TCAM (Technical Coatings for Additive Manufacturing, partenaires: SIRRIS, Fraunhofer IAP, CRM, 2016-2018)
- [2] Projet ESA (ESA-ESTEC 4000113253/15/NL/SW. Surface Engineering For Parts Made By Additive Manufacturing)
- [3] Projet FEDER 3D Coater

Auteurs: Nicolas Nutal, Sebastien Le Craz, Jean-Francois Vanhumbeeck, Florin Dumitrica, Catherine Archambeau