

Revêtement électrostatique pour forgeage de haute précision des aubes (WINGS)

i CRM Group
Karl Sofinowski

Ci-dessous sont présentés les résultats du revêtement par pulvérisation électrostatique des aubes de compresseurs d'avion. Cette méthode assure un enrobage homogène et répétable des pièces aux formes complexes, les protégeant efficacement contre les effets néfastes du forgeage à chaud.

Dans le cadre du projet WINGS (Walloon Innovation for Green Skies), le CRM Group a développé deux gammes de forge à chaud pour les aubes des compresseurs d'un moteur d'avion de « nouvelle génération », destiné à une éventuelle intégration dans la nouvelle usine Safran Blades à Marchin. Plutôt que d'usiner les aubes à partir de blocs de titane TA6V, l'objectif est de forger les pièces en haute précision afin de réduire au maximum la perte de titane, en ligne avec la vision éco-responsable de WINGS. Après la dernière étape de forgeage, les pièces n'auront plus besoin d'usinage mécanique, ce qui signifie que les aubes forgées doivent respecter des tolérances dimensionnelles de $\pm 100 \mu\text{m}$ par rapport à leur forme finale et ne présenter aucun défaut de surface.

Pour protéger les surfaces contre les rayures et l'oxydation, une couche de revêtement céramique est appliquée. L'épaisseur de cette couche doit être extrêmement précise, à l'échelle de quelques dizaines de microns, pour garantir les bonnes dimensions des pièces et un aspect homogène. Pour répondre à ces exigences

strictes, le revêtement par pulvérisation électrostatique a été sélectionné.

Les essais de validation ont été réalisés au CRM avec une machine de pulvérisation électrostatique. Cette machine comprend un bras robotisé à 6 axes équipé d'une tête de pulvérisation montée. La pièce est placée sur une table rotative, et la combinaison des mouvements du bras et de la table permet de pulvériser sous tous les angles. La machine se trouve dans une cabine ventilée à température contrôlée. La tête de pulvérisation est une « cloche rotative ». Le revêtement est injecté au centre de la cloche, qui tourne à une vitesse de 40 à 80 000 tours par minute. La rotation brise le jet de matière et crée un vortex d'air, générant ainsi un nuage de gouttelettes. Un champ électrostatique est ensuite appliqué pour assurer la bonne adhérence des gouttelettes sur la pièce : celle-ci est chargée positivement pour attirer les gouttelettes, elles-mêmes chargées négativement. Grâce à la cloche rotative et au champ électrostatique, il est possible d'obtenir une couche homogène avec une épaisseur réglable jusqu'à $15 \mu\text{m}$, même sur des formes complexes.

Après la déposition du revêtement, pour les formes simples, l'épaisseur est mesurée à l'aide de pieds à coulisse. En revanche, pour les pièces présentant des courbes ou des dimensions trop réduites, l'épaisseur est mesurée par métrologie de balayage laser. La pièce est mesurée avant et après

l'application du revêtement, ce qui permet de déterminer précisément l'épaisseur de la couche avec une résolution de $5 \mu\text{m}$ et de garantir une couverture homogène sur des surfaces non planes. Une fois les paramètres de pulvérisation définis, l'application du revêtement est hautement reproductible. Par exemple, les résultats d'une campagne de revêtement, illustrés dans le graphe, montrent que 57 pièces ont reçu un revêtement respectant les tolérances, avec un écart-type de l'ordre de la moitié de la taille d'une particule. Chaque revêtement prend entre 20 et 30 secondes selon la taille et la forme de la pièce, avec un temps de séchage et de durcissement d'une minute avant de pouvoir être manipulée.

Les essais ont validé l'application du revêtement céramique par pulvérisation, en vue de son utilisation chez Safran Blades. Dans leur usine, l'application se fera sur une ligne complètement automatisée, avec un minimum d'intervention humaine. L'usine, qui commencera la production d'aubes en 2024, vise à fabriquer 700 000 aubes par an, soit environ 2 000 aubes par jour. Chaque aube nécessite plusieurs étapes de forgeage, représentant environ 6 000 à 10 000 applications de revêtement par jour. La méthode choisie répond au taux de production visé et est adaptable à toutes les formes d'aubes à venir.

