

INTRODUCTION

Les procédés par voie sèche sont ainsi nommés par oppositions aux procédés par voie humide. Il s'agit de procédés par voie gazeuse ou par plasmas. La technologie est donc plus complexe que pour les dépôts par voie humide mais les performances environnementales sont largement supérieures du fait que la réalisation de ces dépôts ne nécessite pas l'utilisation de bains.

Différentes techniques d'élaborations des revêtements sont utilisées pour déposer un matériau à la surface d'une pièce pour en changer les propriétés de surface. Parmi les techniques les plus utilisées : l'électro-dépôt, les dépôts chimiques, l'immersion dans un bain de métal en fusion, les dépôts physiques ou chimiques en phase vapeur (PVD et CVD) et la projection thermique. Ces diverses techniques trouvent un large domaine d'application tel que la résistance à l'usure, à la corrosion, la décoration ou la réalisation de dépôts à propriétés physiques spécifiques (électrique, magnétique, thermique, etc.). La figure1 montre les différentes techniques utilisées avec des épaisseurs obtenues en fonction des plages des températures de substrat atteintes en cours de procédé.

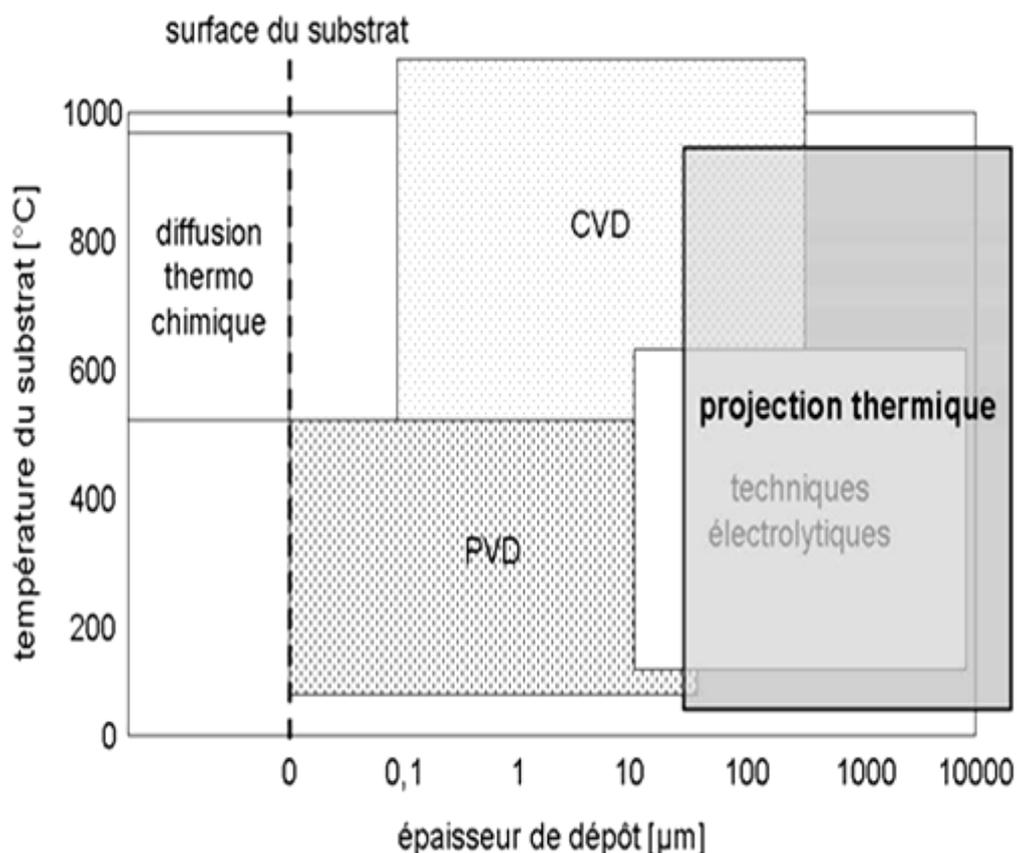


Figure 1 : Epaisseurs de dépôts et température de substrat en fonction de la technique utilisée.

IV.1• PROJECTION THERMIQUE

La projection thermique fait partie des techniques de traitement de surface par voie sèche les plus répandus. Elle recouvre des domaines d'application très larges, du simple zingage pour les infrastructures métalliques (ponts), aux applications de plus haute technologie comme dans les moteurs à réaction d'avion.

Les techniques d'élaboration des revêtements par projection thermique ont été développées et optimisées depuis plusieurs années. Particulièrement la projection par plasma permet en raison des températures de projection élevées l'utilisation d'un très grand nombre de matériaux.

IV.1.2 Principe général

La projection thermique regroupe l'ensemble des procédés grâce auxquels un matériau d'apport est fondu ou porté à l'état plastique grâce à une source de chaleur, puis est projeté sur la surface à revêtir sur laquelle il se solidifie. La surface de base ne subit ainsi aucune fusion. L'adhérence du dépôt est mécanique. La figure 2 présente le principe général de la projection thermique : la matière à déposer, sous forme de poudre, de fil, de cordon ou de baguette est fondue totalement ou partiellement dans une source de chaleur (flamme, arc électrique, plasma). Un gaz vecteur permet une pulvérisation de la matière, et le transport des gouttelettes ainsi formées jusqu'à la surface à revêtir.

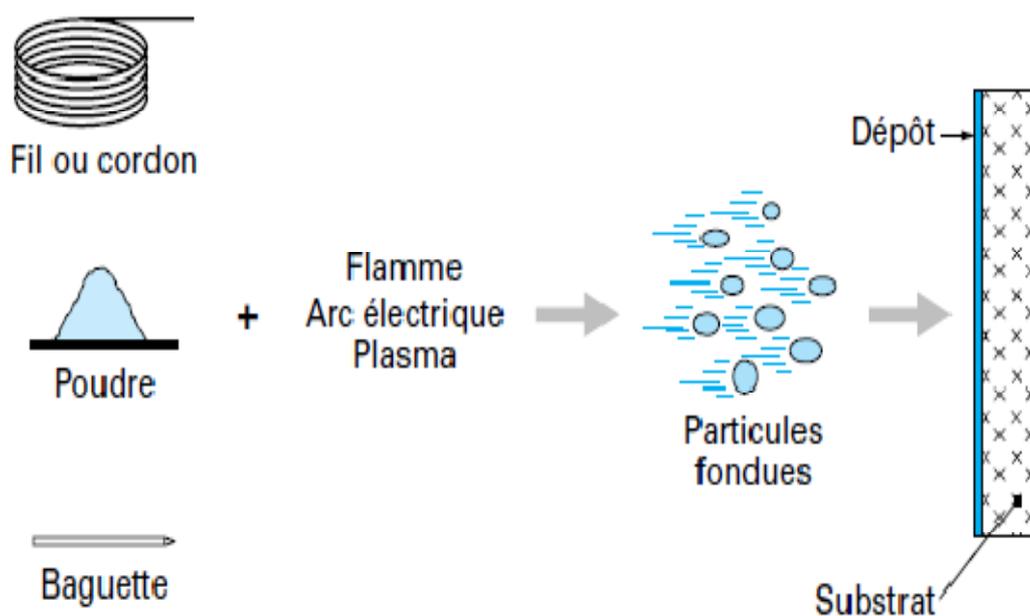


Figure 2 : Principe fondamental de la projection thermique

IV.1.3 CONSTRUCTION DES DEPOTS

Les revêtements obtenus par projection thermique sont constitués par empilements successifs de particules écrasées sur un substrat préalablement préparé. Le revêtement se caractérise par une structure lamellaire. Ce mode de construction génère des porosités, des fissurations inter et intra lamellaires dont les conséquences peuvent être préjudiciables aux propriétés d'usage.

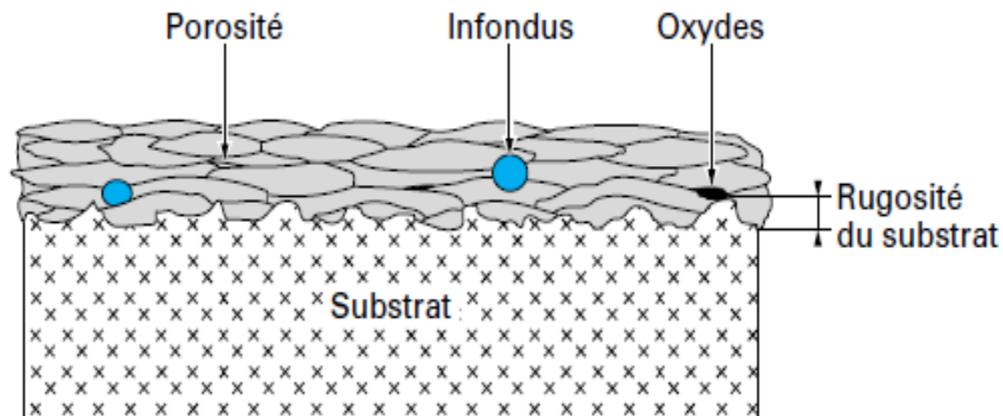


Figure3 : Coupe d'un dépôt

La structure lamellaire des dépôts dépend essentiellement des mécanismes d'étalement des particules fondues sur le substrat, du contact des lamelles avec le substrat et entre elles ainsi que des paramètres liés au substrat (nature, rugosité, température, chimie de surface...). Une bonne compréhension des mécanismes gouvernant l'écrasement des particules est donc indispensable.

a. Ecrasement des particules sur le substrat

L'écrasement des particules se déroule en trois étapes essentielles (Fig.4):

- ❖ Impact initial.
- ❖ Étalement de la particule
- ❖ Refroidissement et solidification de la particule.

L'impact des particules entraîne leur déformation et leur aplatissement sous forme de lamelles. Cet étalement est lié au transfert de l'énergie cinétique en travail de déformation visqueuse et en énergie de tension de surface.

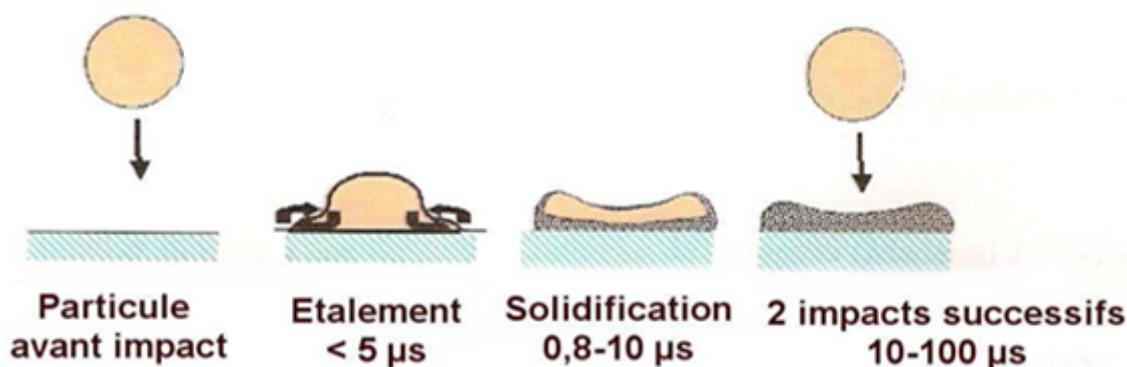
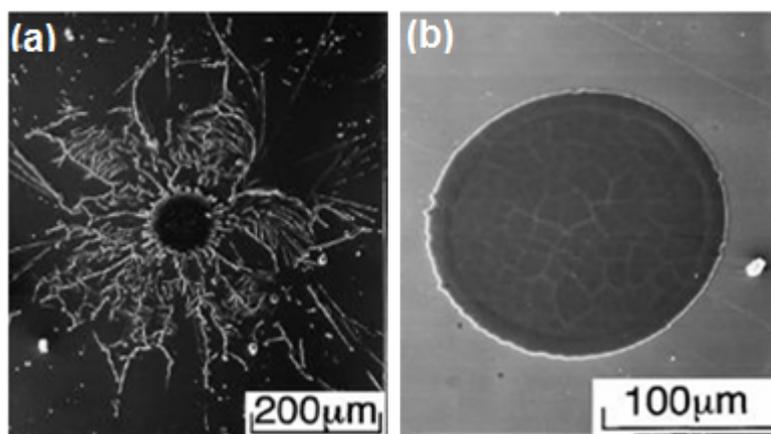


Figure 4 : Temps caractéristiques de formation de lamelle en projection conventionnelle.

L'étalement des particules projetées par plasma est influencé par plusieurs paramètres : la température, la rugosité et les propriétés thermiques de substrat, de l'effet de la mouillabilité de particule sur le substrat, la mouillabilité dépend des caractéristiques du substrat (rugosité, porosité, composition chimique, état cristallin,...)

Certains auteurs ont remarqué que la température de préchauffage du substrat a une forte influence sur la qualité de l'étalement de la particule, et par conséquent sur la microstructure des revêtements. Ils ont montré que les lamelles formées suite à la projection de la zircone sur un substrat chauffé environ 100°C prennent une morphologie «éclaboussée», tandis que les lamelles obtenues par la projection de la zircone sur un substrat chauffé au-dessus de 300°C prennent une forme circulaire (Fig.5).



a) Structure fragmentée b) Structure en forme de disque

Figure 5 : Deux morphologies caractéristiques d'étalement de particules à l'impact sur un substrat inox : (a) en dessous de la température ambiante. (b) au dessus de la température de transition (400°C).

La morphologie des lamelles est décisive pour la qualité (adhérence et autres propriétés) du revêtement, notamment la porosité et la rugosité du revêtement.

Les lamelles avec une structure fragmentée produisent des revêtements poreux avec une faible force d'adhérence.

b. Empilement des lamelles et construction des dépôts

Les applications des industries mécanique, aéronautique et médicale exigent au revêtement de présenter une bonne adhérence au substrat ainsi qu'une bonne cohésion (adhérence entre les lamelles déposées). Ces deux caractéristiques sont liées à la qualité de contact entre les différentes lamelles empilées et à l'architecture du dépôt. Le revêtement obtenu par projection plasma est un empilement successif des lamelles. La microstructure des revêtements réalisés et leurs propriétés dépendent essentiellement des mécanismes d'étalement des particules fondues sur le substrat, de sa cinétique de refroidissement et de solidification et du contact des lamelles avec le substrat et entre elles. La formation des lamelles est contrôlée, d'une part, par leur vitesse d'impact, leur taille, leur état de fusion, leur viscosité et leur état chimique, et d'autre part, par des paramètres propres au substrat: sa nature, son état de surface, la couche d'oxyde formée à la surface des substrats métallique, sa température, sa réactivité de surface.

Le mode de construction des revêtements par projection thermique génère des défauts tels que : pores, fissurations inter lamellaire (microfissuration), fissures intra lamellaires (microfissuration), zones de contact plus ou moins parfaites aux interfaces lamelle-lamelle et lamelle-substrat, rugosité de surface, dont la présence peut être préjudiciables aux propriétés des revêtements.

IV.1.4 Mise en œuvre des procédés

Le choix d'un procédé dépend non seulement du choix du matériau et des propriétés du dépôt recherchées, mais également d'un certain nombre de facteurs connexes au dépôt tels que :

- préparation de la surface ;
- masquage ou protection des zones non traitées ;
- préchauffage éventuel ;
- contrôle des températures ;
- post-traitement ;
- usinage final ;

— etc.

Les gammes opératoires de traitement de surface par projection thermique comprennent tout ou partie des étapes suivantes :

- préparation de surface ;
- définition des animations torche/pièce ;
- réalisation du dépôt ;
- usinage final.

IV.1.5 Préparation de la surface

La préparation de surface comprend trois étapes principales :

- Le **nettoyage de la pièce traitée**, nécessaire à l'élimination de toute matière contaminante (graisse, huile, poussières, polymères) réalisée par immersion, par pulvérisation, par ultrasons voire par élévation de température.
- La **création de rugosité** en surface de la pièce traitée afin de permettre aux particules de s'ancrer dans les irrégularités de surface ainsi créées et d'assurer un bon accrochage mécanique. C'est un facteur prépondérant dans la bonne tenue des dépôts. Cette création de rugosité peut être effectuée de deux manières :
 - par sablage (au corindon ou à la grenaille métallique) permettant un nettoyage complémentaire de la pièce (enlèvement de peintures, d'oxydes...) et l'obtention d'une rugosité de surface comprise entre 6 à 10 μm environ.
 - par tournage avec création d'un profil rainuré de profondeur 0,5 mm environ. Cette méthode est réservée en général aux dépôts les plus épais, le tournage étant suivi d'un sablage complémentaire.
- Le **masquage des zones non rechargées**. Les produits les plus courants sont des adhésifs ou des caches métalliques (en général réservés aux pièces de série).