

Technologies propres de traitement de surfaces par voie sèche

2004

CNIDEP



→ SOURCE D'INFORMATION



Cette note de veille technique a été établie à partir :

- des données du Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologies (CRITT), spécialisé dans les Matériaux, Dépôts et Traitements de Surfaces (MDTS) (www.critt-mdts.com) ;
- d'un document sur les technologies propres en traitement de surfaces, édité par l'Agence Régionale d'Information Scientifique et Technique (ARIST) de Bourgogne en 2001 (www.technologies-propres.com).

Note de veille

→ PREAMBULE



Les nouvelles technologies propres de traitement de surfaces par voie sèche concernent les entreprises artisanales de code N.A.F.A.¹ 285 AB :

1. Dépôt physique ou chimique en phase vapeur
2. Dépôt par projection thermique
3. Plasma froid en finition de surface

Ces techniques de traitement de surfaces par voie sèche sont des techniques alternatives aux techniques de traitement de surfaces par voie humide, évitant ainsi les procédés classiques chimiques qui entraînent des polluants toxiques dans leurs eaux de rinçage.

¹ N.A.F.A. : Nomenclature d'Activités Française de l'Artisanat

1. Dépôt physique ou chimique en phase vapeur

Source d'information complémentaire

Cette première partie a été complétée à partir des données de deux fabricants (fbi.bodycote.com et www.platit.com).

■ Principe

Ces deux techniques sont basées sur une déposition des couches à partir d'une phase gazeuse (vapeur métallique). Les techniques de dépôt sous vide en phase vapeur font toutes intervenir trois étapes distinctes dans le processus d'élaboration d'une couche mince :

ETAPE 1 : CREATION DE VAPEUR METALLIQUE

A. Dépôt Physique en phase Vapeur (PVD : Physical Vapour Deposition)

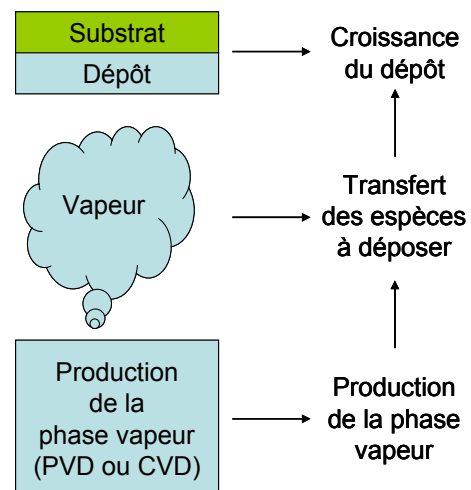
Le dépôt physique en phase vapeur est conduit sous basse pression (10^{-2} à 10^{-4} mbar). La production de la phase vapeur est assurée par deux mécanismes basés sur des phénomènes physiques : la pulvérisation cathodique et la vaporisation.

a. Pulvérisation cathodique

Cette technique résulte du bombardement d'une surface cible par des particules énergétiques qui sont généralement des ions positifs (argon, néon) accélérés d'un plasma gazeux. La cible est dans ce cas portée à un potentiel négatif (la cathode), d'où son nom de pulvérisation cathodique.

b. Vaporisation

La vaporisation des substances à déposer peut être obtenue à partir d'un matériau que l'on peut chauffer par effet Joule, induction, faisceau laser, arc électrique, faisceau d'électrons, plasma, électrodes, rayonnement, résistance, ou décharge au gaz.



B. Dépôt Chimique en phase Vapeur (CVD : Chemical Vapour Deposition)

La production de la phase vapeur est basée sur une réaction chimique. Les atomes du métal sont libérés du composé par suite de cette réaction. Le procédé est conduit sous pression atmosphérique dans des atmosphères gazeuses comprenant en général des vapeurs de composés chimiques du métal à déposer. Ce procédé nécessite l'application de hautes températures pour la décomposition gazeuse des réactifs ($900 - 1100^{\circ}\text{C}$), ce qui est un frein pour leur application.

ETAPE 2 : TRANSFERT DE LA VAPEUR EN MILIEU PLASMATIQUE

Les différents constituants de la vapeur produite forment le plasma métallique. Une fois la phase vapeur produite, elle doit être transférée de la source d'atomisation jusqu'au substrat à revêtir sans trop perdre ses caractéristiques physiques d'origine. Le transfert de la phase vapeur se fait à l'aide d'un champ électrique.

ETAPE 3 : CONDENSATION DU DEPOT SUR LE SUBSTRAT

La vapeur qui atteint le substrat doit se condenser uniformément de façon à faire croître le film mince sur le substrat polarisé négativement.

Tehnologies propres de traitement de surfaces par voie sèche - 2004

■ Applications

Les principales applications sont les suivantes :

- Amélioration de la durée de vie des outillages de fabrication en limitant l'usure, et de la précision des pièces produites pour les outils coupants, d'extrusion, d'étirage, de repoussage, de refoulement, d'emboutissage, de pliage, de découpage, outils de frappe, moules, outillages de verrerie...
- Résolution des problèmes de frottement et de corrosion, de démoulage...

■ Coûts

Le coût d'investissement de cette technologie varie en fonction du volume de la machine, de la technique de déposition (physique ou chimique) et de la technologie de chauffage lors de la phase vapeur.

Les coûts de fonctionnement sont essentiellement liés aux consommations d'énergie.

■ Conclusion

Même si le coût des techniques de dépôt chimique et de dépôt physique en phase vapeur est très élevé, les possibilités d'application et les avantages sont importants.

En plus d'un dépôt de très bonne qualité, le procédé ne produit pas de dégagement gazeux, ne génère pas de rejets dangereux (absence de liquide) et n'utilise que la quantité de matière nécessaire à la réalisation du dépôt (économie de matières premières).

2. Dépôt par projection thermique

Source d'information complémentaire

Cette deuxième partie a été complétée à partir des données de deux fabricants (fbi.bodycote.com et www.grillo.de).

■ Principe

Le principe de cette technique consiste à introduire dans une source enthalpique le matériau constitutif du dépôt à élaborer sous la forme de poudre ou de fil.

Cette source, une flamme ou un plasma, confère aux particules introduites à la fois une vitesse et un état de fusion qui permettent leur écrasement sur un substrat à couvrir.

Ce mode de traitement est de loin le plus polyvalent de tous les traitements de surfaces. Il permet en effet de créer des dépôts de toute sorte sur de nombreux supports (métal, bois, plastique...).

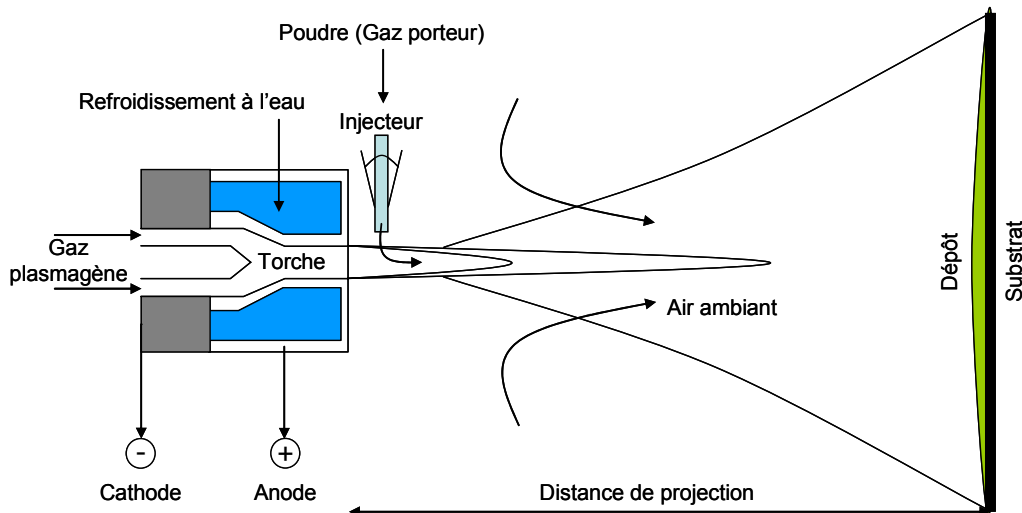
Le dépôt est obtenu par projection sur le substrat du matériau d'apport préalablement fondu. Les matériaux d'apport les plus courants sont les métaux (purs et alliages), les composites et les céramiques, ainsi que les plastiques.

Tehnologies propres de traitement de surfaces par voie sèche - 2004

L'épaisseur du dépôt peut varier de plusieurs dizaines de μm à plusieurs millimètres.

Il existe différents modes de déposition :

- **Le pistolet à plasma** (température jusqu'à $15\,000^\circ\text{C}$ et vitesse de 200 à 300 m/s) : matériau d'apport fondu entre un arc électrique, en présence d'un gaz plasmagène [argon-hydrogène ou azote-hydrogène].



- **Le pistolet oxy-gaz** : matériau d'apport fondu dans une flamme [oxygène + acétylène].
- **Le pistolet à arc électrique** : matériau d'apport fondu entre un arc électrique.
- **Les deux derniers modes de déposition sont le canon à détonation (vitesse Mach 2) ainsi que le High Velocity Oxy-Fuel (HVOF)**. Ce sont ces deux procédés qui permettent d'obtenir les dépôts les moins poreux et les plus adhérents.

Ce mode de traitement, aussi utilisable en réparation localisée, présente comme inconvénient majeur une "faible adhérence", ce qui implique une bonne préparation de surface ou une refusion du dépôt ; mais aussi l'obtention de dépôts poreux (ce qui devient un avantage dans le cas d'imprégnation => dépôts lubrifiants).

■ Applications

Les principales applications sont les suivantes :

- Revêtement contre l'usure : bonne résistance à l'abrasion, à la fatigue et à l'érosion.
- Protection contre la corrosion : résistance aux tests représentatifs des atmosphères industrielles (chimiques et alimentaires).
- Barrière thermique : résistance aux chocs thermiques et à l'érosion à chaud.
- Revêtements à propriétés électriques : obtention de propriétés conductrices ou diélectriques et blindages radiofréquences.
- Biomédical : revêtements céramiques pour la biocompatibilité avec l'organisme.

Tehnologies propres de traitement de surfaces par voie sèche - 2004

■ Coûts

Le coût d'investissement de cette technologie varie en fonction du mode de déposition.

Les coûts de fonctionnement sont essentiellement liés aux consommables en électricité et en gaz réactif.

■ Conclusion

Les différents procédés offrent la possibilité de projeter presque tous types de matériaux sur tous types de substrats et donnent à la projection thermique une polyvalence qui permet de faire intervenir cette technique de traitement de surfaces par voie sèche dans la conception de nombreux produits industriels.

Les grandes vitesses d'élaboration combinées à la possibilité d'élaborer des revêtements épais font aussi de cette technique un outil économique.

En outre, elle peut intervenir en complément d'autres procédés de traitement de surfaces dans une approche « multi-technologies ».

3. Plasma froid en finition de surface

Source d'information complémentaire

Cette troisième et dernière partie a été complétée à partir des données d'un fabricant (www.isytech-plasma.com).

■ Principe

Le principe consiste à placer les matériaux à traiter dans une chambre sous vide d'air, dans laquelle on injecte un gaz de procédé comme l'argon ou l'oxygène à basse pression (entre 0,01 et 1 mbar).

Par l'apport d'énergie sous la forme d'un champ électrique dont la fréquence peut varier du continu jusqu'aux fréquences micro-ondes, le gaz se décompose partiellement : c'est l'état de plasma. Les espèces issues de cette décomposition sont formées d'ions, d'électrons et de radicaux divers.



Tehnologies propres de traitement de surfaces par voie sèche - 2004

Ces radicaux créés sont des espèces très réactives. Ils peuvent réagir entre eux et avec les surfaces environnantes dont celle du matériau à traiter. Ils ont donc une durée de vie finie à l'issue de laquelle ils sont recombinaisonnés ou sont retombés dans leur état d'énergie fondamentale.

Il en découle des réactions en surface qui conduisent à une modification fonctionnelle de celle-ci ; ces réactions dépendant bien sûr du gaz de procédé utilisé.

Parmi les espèces générées par le plasma, on retrouve des métastables qui ont de longues durées de vie. Elles ont donc un "rayon" d'action très grand. On peut ainsi traiter des pièces de grandes dimensions et de formes complexes.

On peut utiliser cette technique pour traiter des surfaces soit dans le plasma mais également en dehors ; c'est le traitement en post décharge.



Le temps d'exposition peut varier de quelques secondes à quelques minutes selon le cas. La quantité de gaz utilisée lors de ces procédés est faible.

■ Applications

Les principales interactions entre les espèces générées par le plasma et la surface peuvent être classées en 3 catégories :

1. Le greffage

De nouvelles fonctions chimiques spécifiques sont créées en surface par rupture de chaînes polymères, éjection de certains types d'atomes et greffage d'atomes connus pour leurs propriétés particulières et confèrent ainsi de nouvelles propriétés à la surface : oxydation, fluoration... Ainsi l'énergie de surface se trouve totalement modifiée.

Les principales applications sont :

- Activation de surface : (énergie de surface $> 65 \text{ mJ/m}^2$) promotion de l'adhésion (polymères, céramiques, métaux...) avant collage, surmoulage, peinture...
- Traitement hydrophobe : énergie de surface $< 15 \text{ mJ/m}^2$.

2. La gravure et nettoyage

Les espèces du plasma peuvent réagir avec les impuretés en surface pour les transformer en composés volatils. Selon la nature des gaz de procédé utilisés, il est possible de graver un bon nombre de matériaux.

Tehnologies propres de traitement de surfaces par voie sèche - 2004

Les principales applications sont :

- Gravure de substrats dans l'industrie microélectronique.
- Nettoyage de finition de pièces polymères, métalliques, inorganiques...

3. Le dépôt de couches minces

Certains radicaux du plasma viennent se " condenser " sur la surface du produit pour former une couche mince amorphe. Selon les gaz de procédés utilisés, la couche obtenue peut avoir des propriétés particulières : barrière à la diffusion de gaz, dureté, hydrophile...

Les secteurs d'applications sont multiples : emballage, optique, automobile, aéronautique, électronique...

■ Coûts

Le coût d'investissement de cette technologie varie de 50 000 à 150 000 € HT pour des volumes de machines variant de 50 à 1 000 litres.

Les coûts de fonctionnement sont essentiellement liés aux consommables en électricité et en gaz réactif (oxygène, argon...).

■ Conclusion

Totalement propre, cette technologie de traitement de surfaces, sur supports métalliques ou plastiques, peut se substituer à des traitements chimiques de finition.

Etant donné des coûts assez raisonnables, cette technologie est facilement abordable pour les petites entreprises de traitement de surfaces.

