

Mise en place réussie du procédé de projection cold spray

i CRMGroup
Florin Duminica, Cedric Georges, Maiwenn Larnicol, Alain Daniel

Dans le cadre du projet REMADE du Plan de relance de la Wallonie, le CRM Group vient d'installer un équipement de projection cold spray haute pression pour compléter sa plateforme Advanced Manufacturing.

QU'EST-CE QUE LE COLD SPRAY ?

La projection dynamique par gaz froid, appelée plus communément « cold spray », est un procédé de dépôt basé sur l'accélération à vitesse supersonique de fines particules (1-50 µm) entrainées à très haute vitesse par un gaz comprimé à haute pression (jusqu'à 60 bar). La projection «

cold spray » est la technique la plus récente parmi toutes les techniques de projection thermique. Elle connaît un intérêt croissant dû à la possibilité d'élaborer un revêtement à basse température à la différence des techniques de projection plus conventionnelles comme la projection plasma, arc-fil ou HVOF (figure 1).

PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPEMENT

L'équipement de projection cold spray haute pression EvoCSII fourni par société Impact Innovation est présenté dans la figure 2. Cet équipement ouvre la possibilité de fonctionnaliser de grandes surfaces (1 à 2 m²) ou des objets de grande taille et relativement lourds (jusqu'à 2 t). En ef-

fet, la torche cold spray a été installée par la société VLM Robotics sur un robot COMAU NJ-220-2.7 <https://www.comau.com/fr/competencies/robotics-automation/robot-team/nj-220-2-7/> ayant une portée de 2.7 m. L'équipement a été installé dans une cabine insonorisée comportant une ventilation forcée. L'utilisation de deux poudriers simultanément permet de contrôler le dépôt des multicouches ou des composites métalliques/céramiques. Le pilotage du robot est réalisé par une commande numérique de type CNC de nouvelle génération permettant une interface simplifiée (Sinumerik One de Siemens).

PRINCIPE DU COLD SPRAY

Son principe repose sur le maintien des particules à l'état solide pendant leur projection et leur densification à l'impact sur le substrat. Puisque les particules restent à l'état solide, le revêtement est conçu grâce à la déformation plastique et/ou à la fragmentation contrôlée, puis à un ancrage mécanique des poudres lors de l'impact à très haute énergie cinétique sur le substrat. La qualité de la densification dépend de la capacité des particules à se déformer plastiquement pour assurer leur bon empilement et l'établissement de liaisons entre elles. De ce fait, le procédé cold spray est particulièrement adapté au dépôt des métaux et alliages et dans une moindre mesure aux polymères et aux céramiques. Le cold spray est utilisé essentiellement avec des matériaux ductiles, typiquement cuivre et aluminium, mais le développement de la technique a permis d'étendre son utilisation en augmentant la température de projection à des matériaux plus durs tels que des aciers, stellites, inconels, aciers inoxydables... La projection de poudres céramiques est aussi possible par ajout d'un liant métallique ou polymère, permettant ainsi l'obtention de dépôt composite et cermets (micro- ou nano-grains céramique dans une matrice métallique). Une liste non exhaustive de matériaux projetés par cold spray selon la littérature est présen-

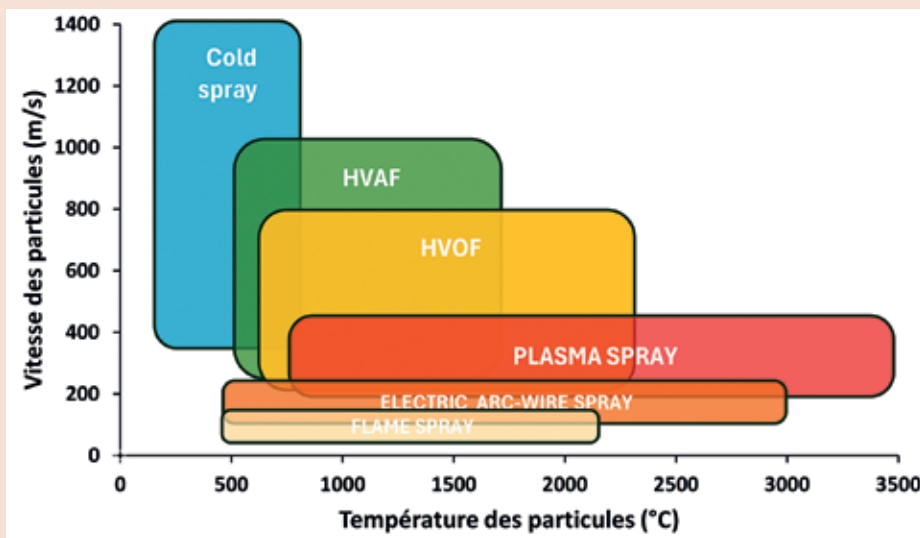


Figure 1 : Caractéristiques thermocinétiques des particules en vol pour les techniques de projection thermique



Figure 2 : Vue de l'équipement de projection cold spray installé au CRM Group.

tée ci-dessous et indique un vaste champ d'opportunités de développement :

- Métaux purs : Al, Cu, Ni, Ti, Cr, Co, Ag, Zn, Ta, Nb, Fe, Mo, etc
- Métaux réfractaires (Zr, W, Ta, Mo, Nb, etc)
- Alliages (alliages de Ni, Al, Co, Fe et aciers inoxydables, MCrAlY, alliages à haute entropie)
- Composites à matrices métalliques (Cu-W, Al-SiC, Al-Al₂O₃, NiCr-Cr₃C₂, Ti-WC)

AVANTAGES/INCONVÉNIENTS DU COLD SPRAY

Le cold spray présente de nombreux avantages par rapport aux autres techniques de projection thermique :

- La capacité de la technique à projeter des particules qui restent à l'état solide pendant la projection permet l'obtention de dépôts denses et adhérents et avec des propriétés métallurgiques proches de celles des poudres projetées et pratiquement sans oxydation ;
- Le rendement matière est élevé par rapport aux autres techniques de projection thermique (> à 80%), pour autant que la vitesse de projection des poudres se retrouvent dans une fenêtre de dépôt optimisée dépendant de la nature des poudres ;
- La capacité à former des composants 3D avec des contraintes résiduelles faibles fait partie de l'intérêt à utiliser la technique pour la réparation et le remanufacturing de pièces. Des dépôts très épais pouvant atteindre plusieurs centimètres peuvent être obtenus, avec un très faible niveau de porosité. Outre la réparation de parties défectueuses de pièces, le cold spray peut être utilisé pour modifier localement le design de la pièce, ainsi que pour générer de nouvelles structures 3D.

L'inconvénient majeur de cette technique reste l'utilisation importante de gaz inerte (N₂) pour l'entraînement des poudres, de l'ordre de 1-2 Nm³/min.

APPLICATIONS

Les secteurs industriels intéressés par le cold spray sont multiples et recourent ceux de la projection thermique classique : l'aéronautique, le nucléaire, l'automobile,

l'énergie, la défense, le luxe... via ses grands groupes ainsi que par son tissu de PME. Parmi les applications les plus porteuses du cold spray figurent celles liées à la réparation. Voici ci-dessous quelques exemples d'applications :

- **Réparation et restauration** : Le cold spray est utilisé pour réparer des pièces endommagées, telles que les aubes de turbines, les composants aéronautiques et les surfaces métalliques. Il permet de restaurer les propriétés mécaniques des pièces sans les exposer à des températures élevées, ce qui est essentiel pour les matériaux sensibles à la chaleur. Dans le cadre du projet, plusieurs cas d'usage fournis par la société Westinghouse Electrical Belgium vont être étudiés.
- **Revêtements métalliques épais** : Le cold spray permet de déposer des revêtements métalliques épais sur des surfaces. Ces revêtements sont utilisés pour protéger contre la corrosion, l'abrasion et l'usure. La fabrication de composants massifs sera également explorée dans le projet REMADE. Un exemple de dépôt épais est présenté dans la figure 3.
- **Revêtements pour l'électronique** : Le dépôt de cuivre par cold spray permet d'obtenir des propriétés de conductivité électrique très proche du matériau massif
- **Revêtements biocompatibles** : Le cold spray est utilisé pour appliquer des revêtements sur des implants médicaux, des prothèses et des dispositifs biomédicaux. Ces revêtements améliorent la biocompatibilité, la résistance à l'usure et la durabilité des dispositifs médicaux.
- **Revêtements pour la protection des pièces (corrosion et usure)** : Le cold spray est utilisé pour appliquer des revêtements de protection à la corrosion (à

base d'aluminium) et pour la protection à l'usure en utilisant des revêtements cermet (Ti-WC, NiCr-Cr₃C₂, etc).

CONCLUSION

Le cold spray se positionne comme une technique de dépôt particulièrement adaptée pour obtenir des revêtements métalliques sensibles à l'oxydation, comme par exemple : Al, Ti, W, Cu, Zr, mais aussi pour des composites et alliages complexes. Le rendement de dépôt élevé et la faible température générée lors de la déposition sont des avantages majeurs pour limiter les contraintes thermiques habituellement générées par les techniques de projection thermique. Cette technique vient compléter la plateforme Advanced Manufacturing du CRM Group comportant déjà des équipements de laser cladding, de projection thermique (plasma, HVOF et arc-fil) et spray électrostatique. ■



Wallonie
Relance



Funded by the
European Union
NextGenerationEU



▲
Figure 3: Exemples de dépôts de cuivre par cold spray sur aluminium (épaisseur 4 mm à gauche et 15 mm à droite)