



HAL
open science

Étude du comportement de poudres céramiques agglomérées lors de projections dynamiques à l'état solide par le procédé cold spray

Geoffrey Celeste, Vincent Guipont

► To cite this version:

Geoffrey Celeste, Vincent Guipont. Étude du comportement de poudres céramiques agglomérées lors de projections dynamiques à l'état solide par le procédé cold spray. Journées Annuelles 2022 du Groupe Français de la Céramique (GFC), Mar 2022, Albi, France. hal-03624439

HAL Id: hal-03624439

<https://hal.science/hal-03624439>

Submitted on 30 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Auteurs

Geoffrey CELESTE, Vincent GUIPONT
Centre des Matériaux, MINES ParisTech – PSL
UMR CNRS 7633 ; 63-65 rue Henri-Auguste Desbrières, 91000 EVRY

CONTACT
geoffrey.celeste@mines-paristech.fr

Projet et partenaires



COLD SPRAY

Flux de particules accéléré à une vitesse supersonique par un gaz neutre sous pression à travers une buse de Laval

IMPACT DYNAMIQUE / ETAT SOLIDE

Y₂O₃
Diamètre moy. (µm) : 27.1
Densité ρ (g/cm³) : 4.48

Pas d'effets thermiques sur les poudres (décomposition, changements de phases, écarts stoechiométriques,...)

INFLUENCE DE LA POUDRE

Dense ?
Micro/nano poreuse ?
Macro poreuse ?

FORMATION DU DEPOT

Impacts dynamiques à l'état solide de la poudre céramique associés à des mécanismes de déformation plastique et de fragmentation

Objectifs

Avec nos poudres céramiques nanostructurées agglomérées poreuses :

- Mettre en évidence et appréhender les mécanismes mis en jeu lors des impacts supersoniques : **fragmentation, déformation(s), compaction, adhérence, consolidation**
- Mettre en évidence l'influence des caractéristiques de la poudre agglomérée : **nature, granulométrie, densité, porosité, taille de cristallites...**
- Optimiser** les poudres agglomérées
- Réaliser des **revêtements épais (>100 µm)**

Matériaux étudiés :
Alumine, Zircone, Yttrine & Hydroxyapatite

NANOE

Poudres

#A - Al₂O₃, brute d'atomisation

#Z - ZrO₂, brute d'atomisation

#Y - Y₂O₃, brute d'atomisation

	(#A) α-Al ₂ O ₃ Rhomboédrique	Al ₂ O ₃ Calcinée 800° C	Al ₂ O ₃ Calcinée 1000° C	ZrO ₂ Tétraгонаle	(#Z) ZrO ₂ Tétraгонаle	(#Y) Y ₂ O ₃ Cubique	Y ₂ O ₃ +PVA
Diamètre moy., µm	38.6	23.8	53.6	23.0	39.9	36	36
Taux d'humidité, %	0.46	0.29	0.23	0.44	0.21	0.39	0.49
Coulabilité, s/25g	50	Faible	55	Faible	82	61	66
Densité pycno., ρ, g/cm ³	3.76	3.86	3.89	5.62	5.94	4.48	4.35
ρ/ρ théorique, %	94.3	96.9	97.6	94.2	99.4	89.4	86.8
Surface spé., m ² /g	12.5	12.3	7.9	15.3	10.78	19.8	18.9
Taille moy. cristallite, nm	96	117	146	32	79	51	51
HV _{0.1}	57±9	56±10	65±12	39±4	33±6	39±5	36±3

- Particules lisses de forme sphérique
- Présence de « donuts »
- Dense à l'échelle de la particule
- Micro/nano porosité
- Coulabilité suffisante pour assurer la projection
- Présence d'agglomérats dans la poudre (#Y)

- Dureté :**
Alumine > Zircone/Oxyde d'yttrium
- Densité :**
Alumine < Oxyde d'yttrium < Zircone
- Surface Spécifique :**
Alumine < Oxyde d'yttrium < Zircone
- Taille moyenne cristallite :**
Alumine > Oxyde d'yttrium > Zircone

Influence des poudres sur la vitesse

Vitesse de **350 m/s** atteintes sur des sections et des distances en sortie de buse différentes
Jet **plus étroit** dans le cas de l'yttrine par rapport à l'alumine

P	T	d _{proj}
0.5 MPa	250° C	40-80-120-160mm

Influence des poudres sur le dépôt

(#Z) ZrO₂
Décohésion

(#Y) Y₂O₃
Fissures

- Alumine (#A) : pas de dépôt
- Fragmentation** et **déformation/compaction** des poudres
- Epaisseur plus importante pour l'yttrine (#Y)
- Présence de fissures adhésives et cohésives

P	T	d _{proj}	D _{poudre}
0.5 MPa	250° C	10mm	3g/min

Essais de projection cold spray sous vide dynamique

P	T	d _{proj}	D _{poudre}	D _{gaz}
0.5 MPa	250° C	10mm	Splat: 1g/min Cordon: 3g/min	18m ³ /h

V_p > 350 m/s

	(#Z) ZrO ₂	(#Y) Y ₂ O ₃
Expériences « Splat »		
Expériences « Cordon »		

« Splat » :

- Fragmentation et déformation de la particule
- Particule plus fragmentée sous vide dynamique
- Adhérence des particules

« Cordon » :

- Architecture de la poudre conservée
- « Room Temperature Impact Consolidation » (RTIC) sous vide dynamique : déformation plastique de la particule, fissuration de la particule, compaction des particules
- Création d'un dépôt plus dense
- Moins de fissures sous vide dynamique
- Adhérence plus élevée sous vide dynamique
- Meilleur rendement sous vide dynamique

Conclusion & Perspectives

Critères choix de poudres :

- Bonne coulabilité
- Taille de cristallites < 100nm
- Surfaces spécifiques élevées surtout pour l'yttrine qui semble également être plus poreuse à l'échelle des particules
- Alumine: taille de cristallites >100nm et dureté la plus élevée, écartée

Influence des poudres

- Sur les vitesses (granulométrie, densité): possible effet de fragmentation en vol?
- « Cordon » plus épais pour l'yttrine sous pression atmosphérique (~30µm)

Influence du vide dynamique

- Cohérence des dépôts en mono-trait amélioré sous vide dynamique
- Dépôts mono traits plus épais (50 à 100µm)
- Rendements améliorés sous vide dynamique

Phénoménologie de l'impact

- Fragmentation et déformation d'une particule agglomérée observées grâce aux expériences « splats ».
- Adhérence faible mais existante, montrée à partir de ces expériences.

Réalisation et étude de dépôt

P	T	d _{proj}	D _{poudre}	Pas
0.4 MPa	400° C	40-70mm	3g/min	2-4mm