

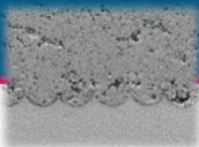




ICB
Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Apport des outils laser dans le domaine de la projection thermique



Sophie COSTIL

R. Kromer, D. Courapied, S. Gojon, Y. Danlos, P. Sokolowski,
Ch. Verdy, H. Liao, L. Pawlowski L. Berthe, P. Peyre



utbm
université de technologie
Belfort-Montbéliard

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne - Site UTBM
ICB UMR 6303 CNRS / Univ. Bourgogne Franche Comté (UBFC)





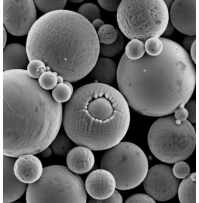
Projection Thermique = E thermique + E cinétique

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

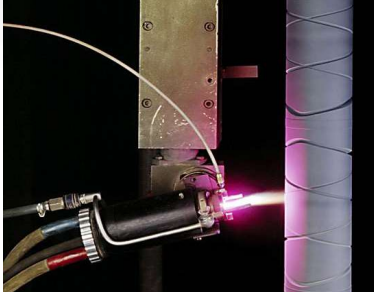
- Temps d'interaction flux énergétique/particules : **0.1 to 0.3 ms**
- temps entre 2 impacts : **~1 ms**
- durée d'étalement : **~1 μ s**
- temps de solidification : **2 to 5 μ s ($\sim 10^6$ K.s⁻¹)**

Matériau d'apport
(micrométrique, nanométrique)

- fusion congruente
- $T_{vap.} = T_{fusion} + 200$

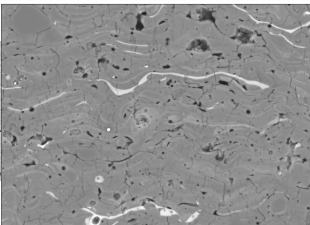


Procédés de projection



Structure des revêtements
micrométrique

- architecture
- défauts (pores / délaminations)
- fissures (contraintes / relaxations)





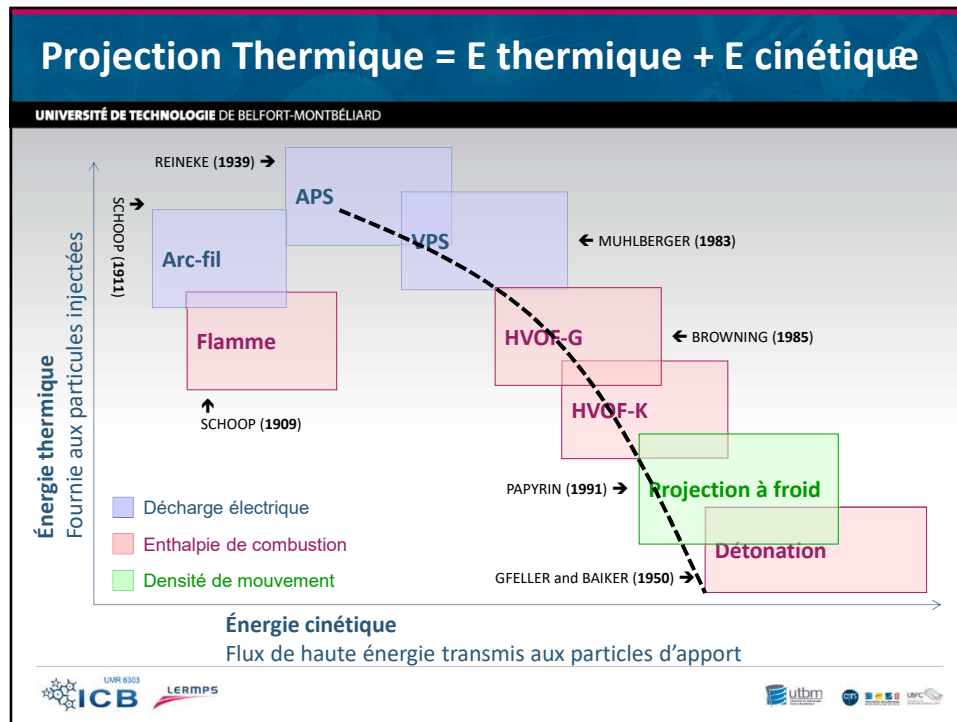
UMR 6303
ICB



LERMPS







Des applications diverses pour améliorer les propriétés de surface

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Résistance à la corrosion

Barrières thermiques / environnementales

Revêtements tribo fonctionnels

Revêtements électro fonctionnels

Joints abrasables

Couches de liaison

biocompatibilité

réparation/ révision

Applications spéciales : nucléaire, capteurs, etc.

ICB UMR 6303 LERMPs

some pictures by courtesy of Pr. VUORISTO, TUT, Tampere, Finland and Pr. GADOW, IFKB, Stuttgart, Germany

utbm

Adhésion des revêtement - fonction principale

5

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Forces entre deux matériaux

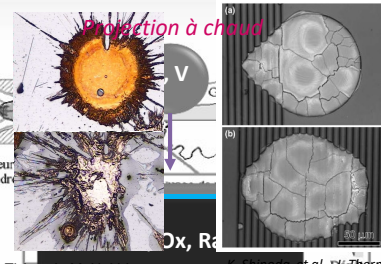
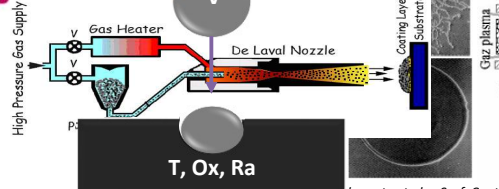
- ☐ Liaisons chimiques
- ☐ Liaisons de van der Waals
- ☐ Ancrage mécanique



Projection du matériau d'apport

Projection à froid

Préparation de surface



Y. Kumamoto et al., Surf. Coat. Tech., 161(2-3) 2002

Thèse de M. Huet, Limoges, 2004 ; K. Shimoda et al., Defect. Spray Tech., 16(2) 2007



LERMPS - UTBM



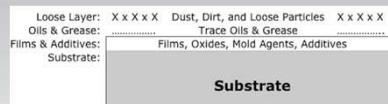
Préparations de surfaces

6

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

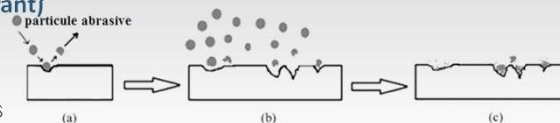
Dégraissage (toujours)

- ☐ Enlève les contaminants
- ☐ Utilisation réglementée



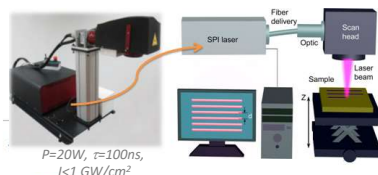
Sablage (procédé le plus courant)

- ☐ Création d'une rugosité
- ☐ Topographie limitée
- ☐ Particules abrasives bloquées

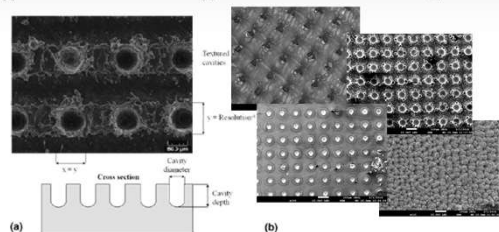


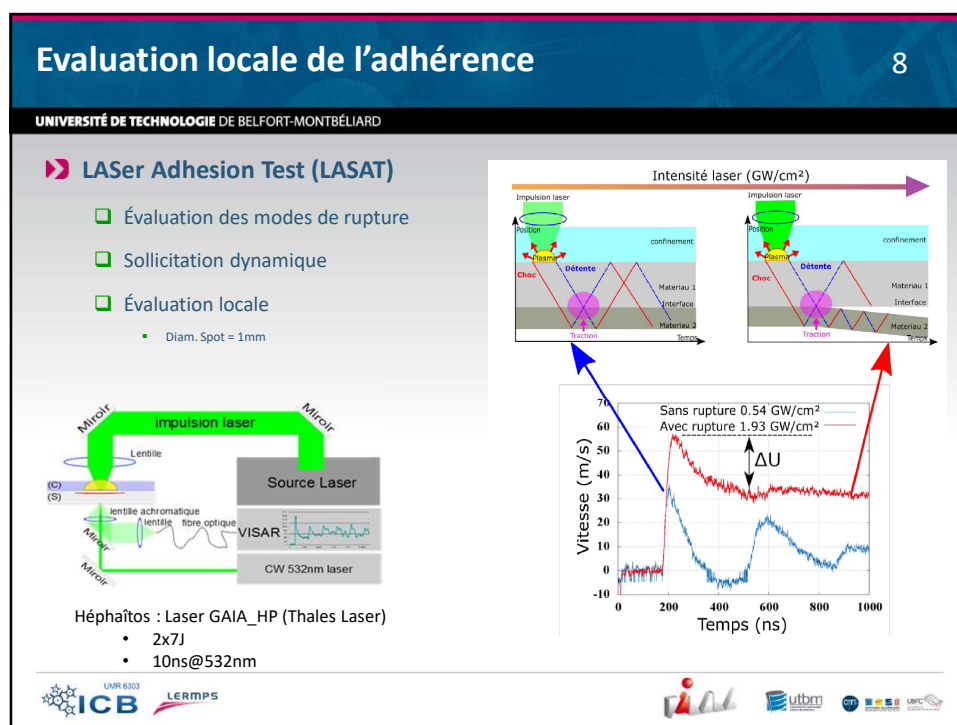
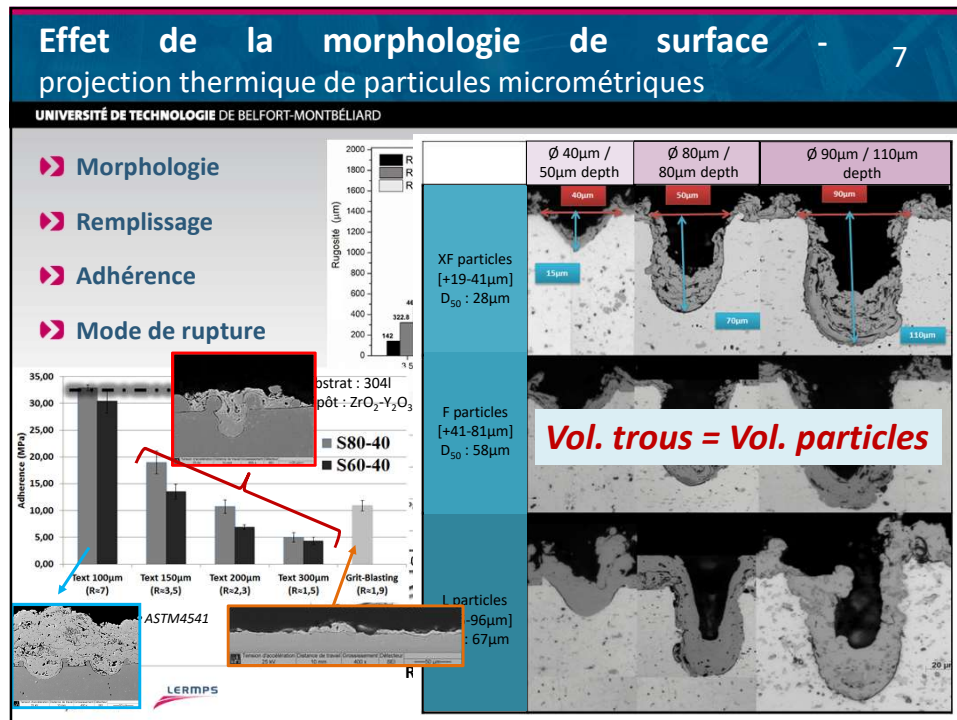
Traitement laser (texturation)

- ☐ Création de motifs spécifiques
 - Cavités, lignes, quadrillages, etc.
- ☐ Structuration de la surface



$P=20W$, $\tau=100ns$,
 $I<1 GW/cm^2$





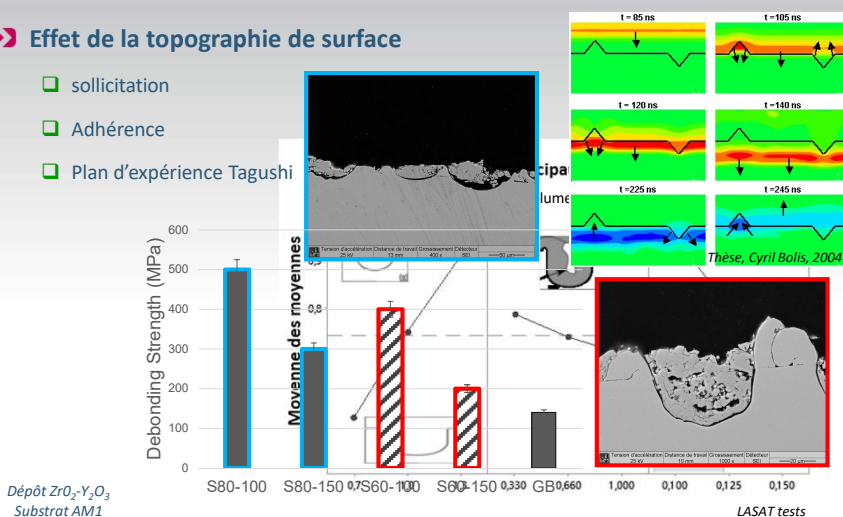
Optimisation de la texturation de surface

9

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

► Effet de la topographie de surface

- sollicitation
- Adhérence
- Plan d'expérience Taguchi



Dépôt ZrO_2 - Y_2O_3
Substrat AM1

LASAT tests



LERMPS

utbm
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE
BOULEVARD DE LA FRICTION



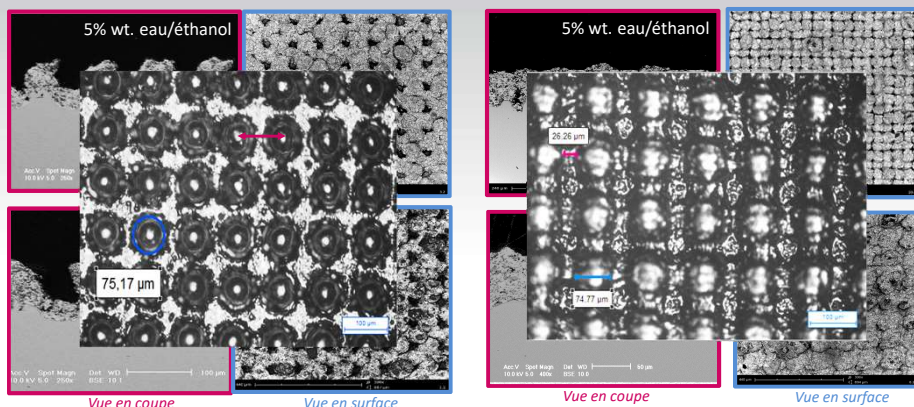
Effet de la morphologie de surface – 10

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

► Réseau de trous

Dépôt ZrO_2 - Y_2O_3 (540 nm)
Substrat 304L

➤ Réseau en quadrillage



- Densité de colonnes eq. Densité motifs
- Forte influence de la morphologie de surface et des paramètres du procédé



UMR 6303
ICB



irCer



Effet de la morphologie de surface – 11

projection thermique de particules nanométriques

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

- Morphologie de surface adaptée aux conditions de projection
- 3 mécanismes d'élaboration suivant la taille des particules ($d_{50} = 540 \text{ nm}$)

Impact sur les aspérités de surface

Effet d'ombrage

Porosity band which will move right as coating grows.

Porosity band which will move left as coating grows.

Structure lamellaire

irCer

Effet de la morphologie de surface –

projection à froid

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Al

Al

- Impact des particules
 - forces normales
 - Flux tangent
 - Rebond élastique
- Surface brute
 - Déformation de la particule
 - Éjection de matière
- Surface concave (texturée)
 - Zones de blocage des particules
 - Température d'interface ↗
 - $\sigma_{\text{substrat}} > \sigma_{\text{particules}}$

Temperature Plastic strain

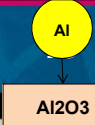
A/

B/

ICB UMR 6303 LERMPs

utbm

Effet de la morphologie de surface – projection à froid



UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Impact des particules

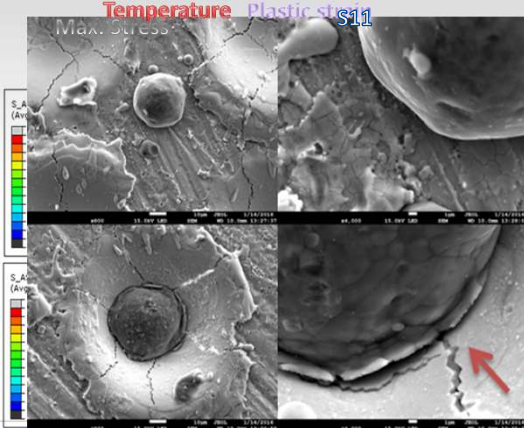
- Pas de déformation du substrat
- Pas d'instabilité de cisaillement

Surface brute

- Rebond des particules
- Pas de contraintes résiduelles pour un ancrage mécanique

Surface concave

- Blocage des particules dans les cavités
- Contraintes de compression

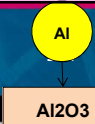








Effet de la morphologie de surface – projection à froid



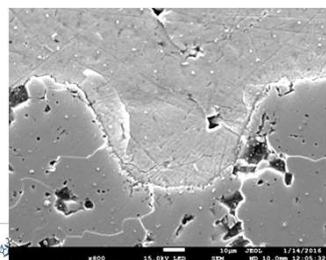
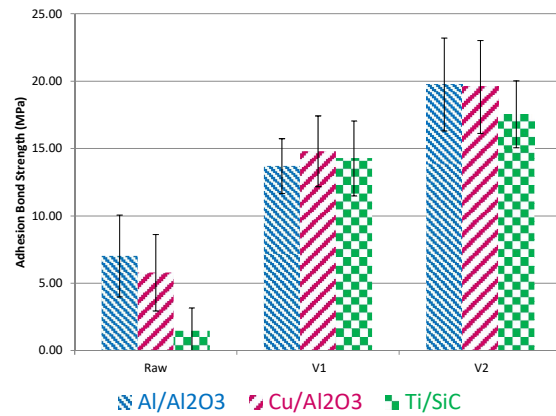
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Surface brute

- Pas de dépôt possible
- Rebond de particules

Surface concave (texturée)

- Force d'adhésion : 20MPa
- Métallisation possible

Surface	Al/Al ₂ O ₃	Cu/Al ₂ O ₃	Ti/SiC
Raw	~7.5	~5.5	~2.5
V1	~14.0	~15.0	~14.5
V2	~20.0	~20.0	~18.0





Interaction laser-matière

15

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

- Interaction laser
 - Durée d'impulsions ns
- Multi-impacts
- Bourrelets
- Zone affectée thermiquement et mécaniquement

Modification de la microstructure après texturation laser

16

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

- Micro-indentation

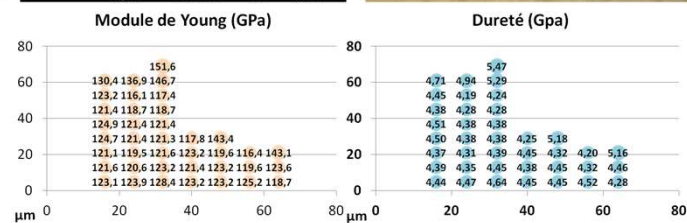
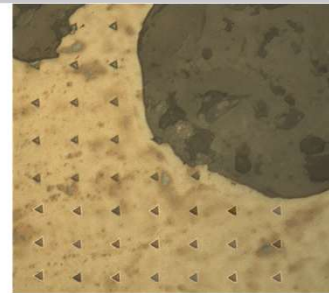
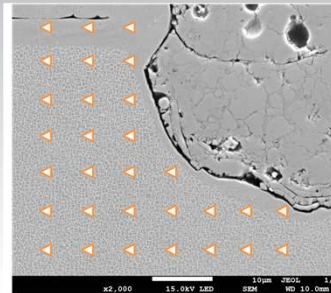
Modification de la microstructure après texturation laser

17

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Nano-indentation

- ☐ Couche fondue
- ☐ Modification mécanique



Conclusion

18

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

Texturation de surface par laser

- Une morphologie de surface adaptée aux matériaux
 - granulométrie, T, vitesse
- Optimisation de la surface de contact
 - topographie infinie
- Amélioration du rendement de projection et de l'adhérence des dépôts
 - modes de rupture mixtes

Perspectives

- Caractérisation plus fine des modifications de surface (contraintes résiduelles, dynamique moléculaire, ESRF,...)
- Prédiction de l'état de surface pour différentes topographies
- Tenue en service
- Développement de nouveaux revêtements

