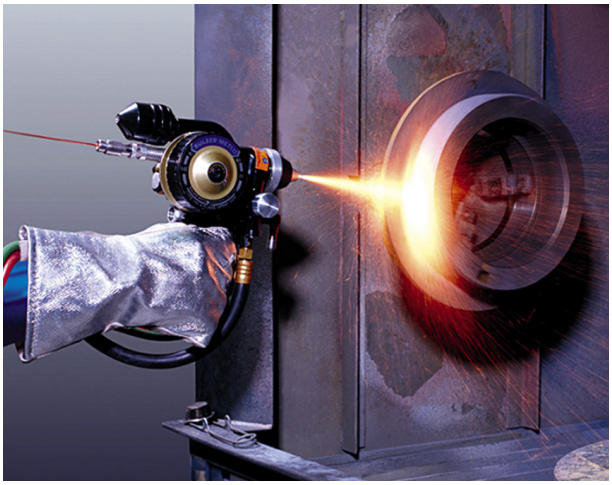
Préparation métallographique des revêtements plasma

Struers
Ensuring Certainty

Application Notes

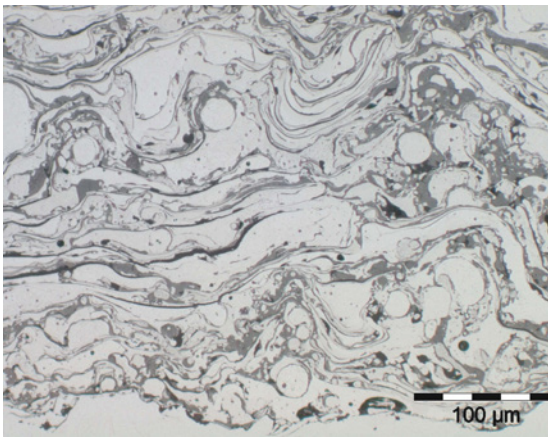
La projection thermique a été inventée au début du XXe siècle ; elle utilisait le zinc pour métalliser des substrats afin de les protéger de la corrosion. À la fin des années 50 et 60, avec le développement du pistolet à plasma elle est devenue commercialement viable pour l'application de revêtements en matériaux réfractaires tels que les céramiques et les métaux réfractaires. Au-delà de la projection par flamme ou plasma, les méthodes actuelles de pulvérisation thermique se sont enrichies de la projection à grande vitesse ou par détonation d'une multitude de matériaux différents répondant aux besoins des applications les plus diverses et/ou exigeantes.

Le revêtement par projection thermique s'applique à un substrat pour lui conférer une propriété superficielle spécifique qu'il n'a pas à l'origine. Par conséquent la résistance globale d'une pièce lui est conférée par le substrat et le revêtement y ajoute des propriétés superficielles supérieures, par ex. anticorrosion, antiusure, résistance à la chaleur.
C'est pourquoi la projection thermique est largement utilisée en aérospatiale et dans certaines parties neuves ou remises en état des centrales thermiques et pour les pièces de réacteurs, turbines à gaz, compresseurs et pompes. Les propriétés de certains revêtements peuvent être exclusivement obtenues par projection thermique principalement de métaux, de céramiques, de carbure et de composites ainsi que de mélanges de divers matériaux.



La métallographie de revêtements par projection thermique répond à plusieurs objets :
- Définir, suivre et contrôler les conditions de projection pour le contrôle qualité
- L'analyse des défaillances
- Le développement de nouveaux produits.

La procédure implique normalement de revêtir un coupon de test pour définir et optimiser le processus visant la pièce à revêtir. Les coupes obtenues par tronçonnage du coupon test subissent ensuite une préparation métallographique et sont examinées pour évaluer l'épaisseur du revêtement, la valeur et la distribution de la porosité, les oxydes, les fissures, l'adhérence au substrat, la contamination de l'interface et la présence de particules non fondues.



Revêtement par pulvérisation à l'arc électrique montrant des oxydes gris et des particules rondes non fondues

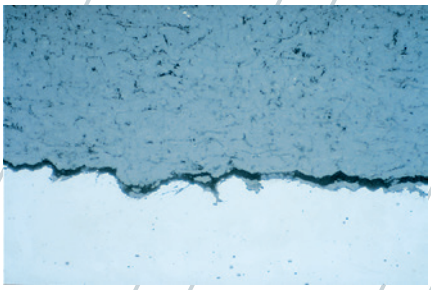
Difficultés de la préparation métallographique

Tronçonnage : fissures du revêtement dues au bridage de l'échantillon et à l'utilisation de meules de tronçonnage trop grossières ; Délaminage du substrat
Enrobage : pénétration insuffisante de la résine d'enrobage

Prépolissage et polissage : en raison du fluage des matériaux tendres et des arrachements de matériaux fragiles, il est difficile d'établir et d'évaluer la porosité réelle

Solution :

- Tronçonnage de précision
- Imprégnation sous vide de résine époxy
- Méthode de préparation standardisée, reproductible pour les revêtements par projection thermique



Fractura entre un recubrimiento de pulverización por plasma y el substrato. La fractura se origina en el corte 500x

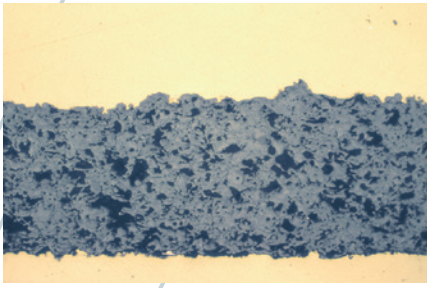


Fig. 1 : revêtement par projection de céramique insuffisamment poli 200x

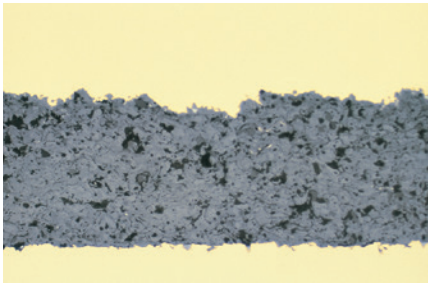
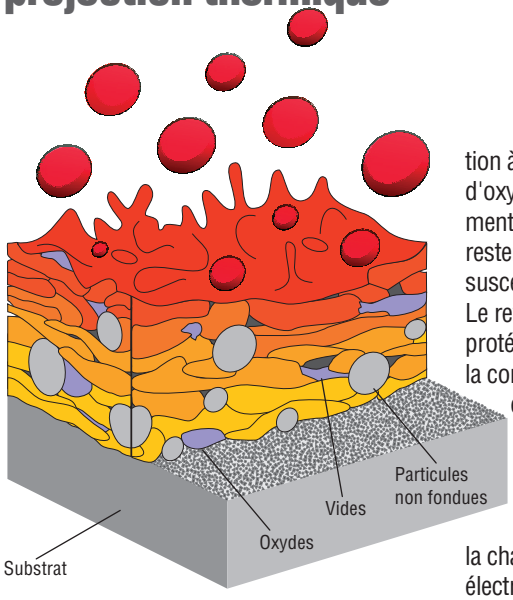


Fig. 2 : le même revêtement que fig. 1, poli correctement 200x

Méthode de projection et application des revêtements par projection thermique



Dans le processus de projection, le matériau de revêtement, fil ou poudre, fond dans la source à haute température d'un pistolet de projection puis est accéléré par une flamme ou un jet de plasma et projeté vers le substrat. Un flux de particules fondues ou semi-fondues vient impacter le substrat et forme un revêtement. Quand les particules atteignent la pièce traitée, elles se fixent mécaniquement à la pièce, se déforment et refroidissent rapidement. La liaison des particules individuelles est un emboîtement mécanique, et dans certains cas, une liaison métallurgique ou par diffusion. La vitesse d'éjection des particules favorise la qualité de la liaison et la densité de revêtement. Pour une bonne adhésion au substrat, sa surface doit d'abord être rendue rugueuse par sablage et soigneusement dégraissée et nettoyée.
Chaque technique de projection se caractérise par sa température de source et sa vitesse de projection des particules ; pour chaque application, cela doit être pris en compte avec des considérations économiques. Ci-dessous, les principales techniques de projection sont abordées et les applications les plus connues des revêtements obtenus sont mentionnées.

La projection à la flamme est la technique la plus ancienne de revêtement par pulvérisation thermique. Le matériau du revêtement est apporté, en poudre ou en fil, dans une flamme gazeuse carburant-oxygène. Les particules fondues et atomisées sont éjectées dans un jet directionnel par la buse du pistolet de projection. En raison de la vitesse relativement faible des particules, l'exposition à l'oxygène est assez élevée et le taux d'oxyde du revêtement obtenu est relativement élevé (fig. 3) ; l'adhérence et la densité restent modestes (une refonte ultérieure est susceptible d'augmenter celle-ci).
Le revêtement à la flamme est utilisé pour protéger des structures et composants de la corrosion et/ou de l'usure, remettre en état des surfaces et réparer des arbres usés, pour revêtir de petites pièces ou ponctuellement.

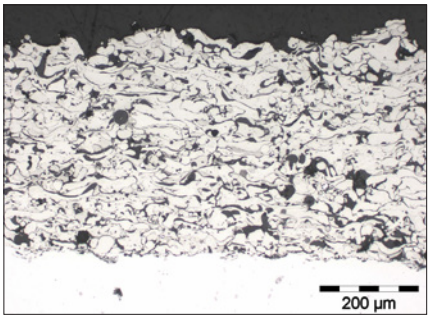


Fig. 3 : revêtement projeté à la flamme ; Ni5Al

Bague de synchronisation en laiton avec revêtement antiusure de molybdène projeté à la flamme

La projection par arc électrique utilise la chaleur d'un arc électrique entre deux électrodes de fil alimentées en continu. L'arc fait fondre les fils pour constituer le revêtement. Un jet d'air comprimé est envoyé à l'intersection des fils. Au fur et à mesure que la chaleur de l'arc fait fondre les fils, l'air comprimé projette les gouttelettes fondues pour revêtir le substrat. La température élevée de l'arc et la grande vitesse des particules confère au revêtement une adhérence et une densité supérieures à celles obtenues par la projection à la flamme. Toutefois, à cause de l'utilisation d'air comprimé, les revêtements projetés à l'arc renferment un pourcentage d'oxydes plus élevé (fig. 4).
L'avantage du revêtement projeté à l'arc est sa vitesse de dépôt élevée. Cela permet de couvrir de grandes surfaces pour les applications en grande quantité : revêtement anticorrosion (zinc ou aluminium) de grandes structures comme des ponts et des installations off-shore, valorisation de composants d'ingénierie et projection de revêtements conducteurs (cuivre, aluminium) sur des boîtiers de composants électroniques.

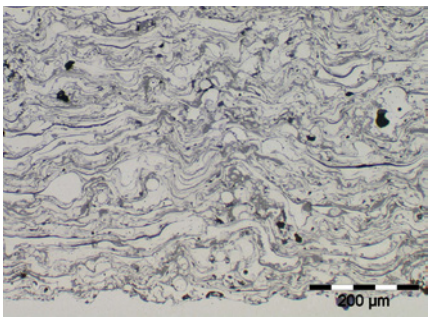
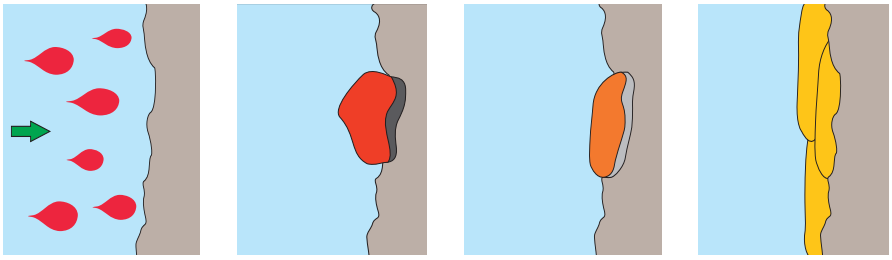


Fig. 4 : revêtements FeCrSiNi et Mn projetés à l'arc électrique

Pour le **revêtement par détonation**, on place dans un tube fermé de petites quantités de carbure en poudre, de carburant et d'oxygène que l'on fait exploser. La détonation éjecte à vitesse hypersonique la poudre qui percute la pièce à traiter avec une énergie cinétique extrêmement élevée. Ces revêtements ont une densité, résistance et adhésion au substrat excellentes. En raison des conditions du processus, cette méthode est limitée à l'application de revêtements carbure antiusure, principalement dans l'industrie aérospatiale et aéronautique.

Dans la **projection par flamme à haute vitesse (HVOF/High Velocity Oxygen Fuel)**, un carburant gazeux et de l'oxygène sont introduits dans une chambre. Leur combustion produit une flamme supersonique qui s'échappe par une buse ce qui l'accélère encore. Le matériau du revêtement en poudre est introduit dans le flux et la vitesse

Principe de formation de la couche



Pulvérisation du matériau de revêtement fondu — *Impact sur le substrat* — *Dissipation de chaleur vers le substrat* — *Solidification et contraction du matériau de revêtement*

Difficultés dans la préparation des revêtements par projection thermique

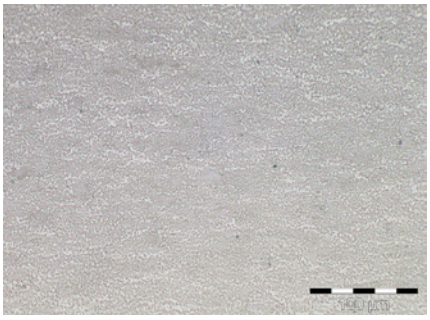
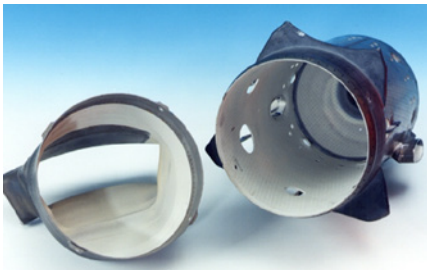


Fig. 5 : HVOF revêtement de WC/12Co

extrême des particules lors de l'impact sur le substrat produit un revêtement très dense et très résistant (fig. 5). La très haute énergie cinétique des particules lors de l'impact sur le substrat assure une bonne liaison mécanique, même en cas de fonte partielle. C'est pourquoi cette méthode est particulièrement bien adaptée à la projection de carbures.
Les applications types sont le revêtement de carbure de tungstène sur les composants des turbines de réacteur ainsi que les soupapes et le revêtement nickel-chrome pour prévenir l'oxydation.

La projection par plasma est la méthode la plus courante d'application des revêtements par projection thermique. Elle est utilisée avec un plasma à air (Air Plasma Spraying ou APS) ou bien sous atmosphère contrôlée. Un arc électrique se forme entre la cathode et la buse concentrique du pistolet de projection. Un mélange gazeux à grand débit est ionisé par l'arc et forme le plasma. On injecte la poudre du matériau de revêtement dans le flux de plasma à son passage par la buse. La chaleur et la vitesse du jet de plasma font fondre les particules rapidement et les accélèrent pour les propulser sur le substrat et former le revêtement. Les revêtements projetés par plasma ont une structure plus dense que ceux projetés à la flamme (comparer les fig. 3 et 6).
La projection par plasma a l'avantage de pouvoir projeter des matériaux à point de



Chambre de combustion revêtue d'une barrière thermique APS, couche d'adhérence NiCrAlY, couche externe $ZrO_2 + Y_2O_3$

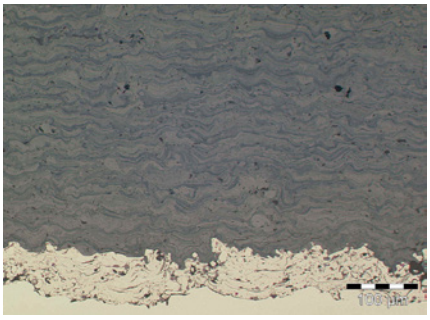
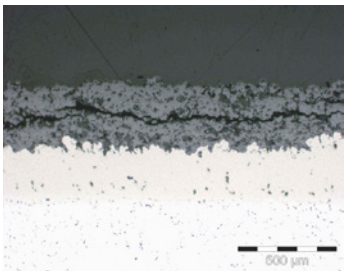


Fig. 6 : revêtement APS avec couche d'adhérence NiCr et couche externe d'oxyde de titane

fusion élevé comme les céramiques ou des métaux réfractaires. C'est une méthode de projection polyvalente pour des revêtements de haute qualité. Elle est utilisée pour un grand nombre d'applications : revêtir les surfaces de traction, déposer des barrières thermiques dans les chambres de combustion de turbines, traiter les pales et aubes, revêtir les implants d'hydroxyapatites et de céramique les rouleaux d'imprimerie.

Tronçonnage : le bridage de pièces revêtues par projection peut produire des fissures du revêtement ou bien comprimer les revêtements tendres.



Fissures introduites par la coupe

Enrobage : les revêtements à faible adhérence sur le substrat risquent d'être endommagés avec les résines d'enrobage à froid à fort retrait : à cause de celui-ci, le revêtement n'adhère pas suffisamment à la résine et un délaminage de ce dernier peut se produire pendant le prépolissage et le polissage.

Prépolissage et polissage : l'arrondissement des bords peut compromettre l'uniformité du polissage et entraîner des erreurs d'évaluation de la densité du revêtement (fig. 7). Le relief entre le revêtement et le substrat peut créer une ombre qui pourrait être mal interprétée (fig. 8).

L'estimation de la porosité réelle d'un revêtement suite à une préparation métallographique fait toujours débat car si le prépo-

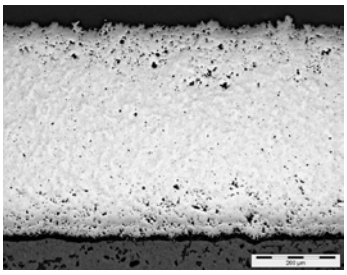


Fig. 7 : le polissage imparfait laisse supposer une moindre porosité vers le milieu du revêtement

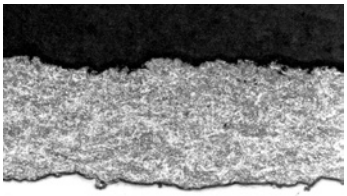
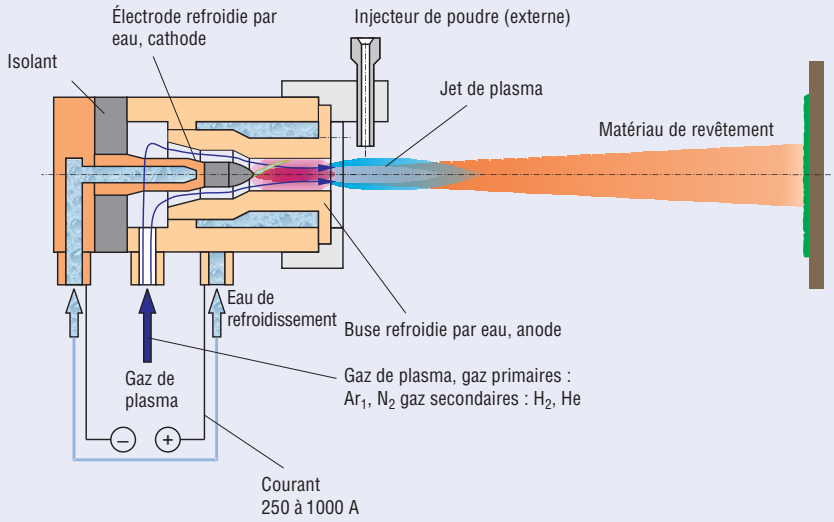
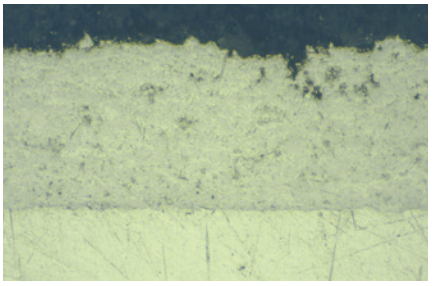


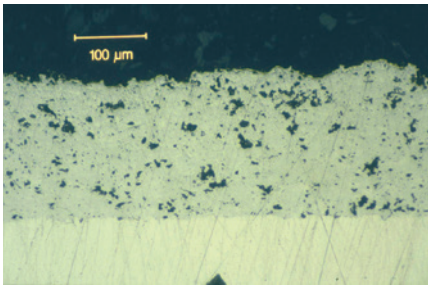
Fig. 8 : ce revêtement par projection de WC/Co avec relief de polissage montre une ligne sombre à l'interface résine/revêtement. Cela peut mener à une interprétation erronée.



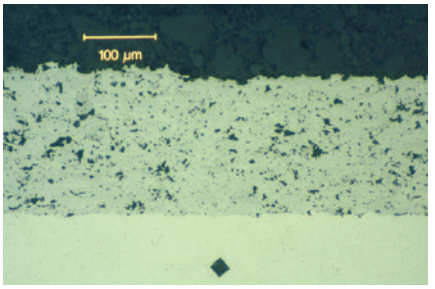
Shéma d'un pistolet à jet de plasma



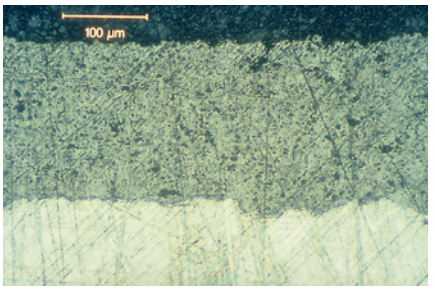
a) Revêtement par projection de métal après prépolissage fin



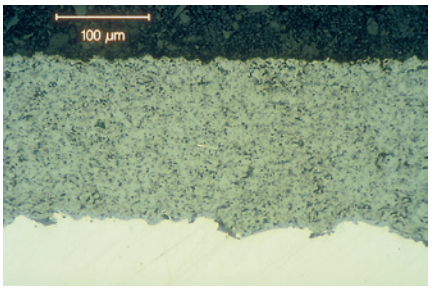
b) Même revêtement qu'en a) poli au 3 µm



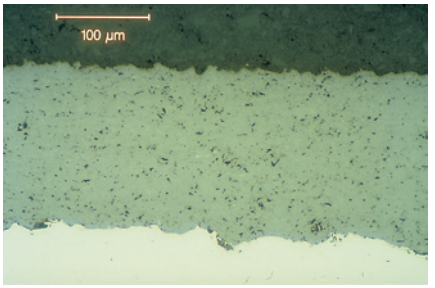
c) Même revêtement qu'en b) après polissage final



d) Revêtement par projection de céramique après prépolissage fin



e)Même revêtement qu'en d) poli au 3 µm



f)Même revêtement qu'en e) après polissage final

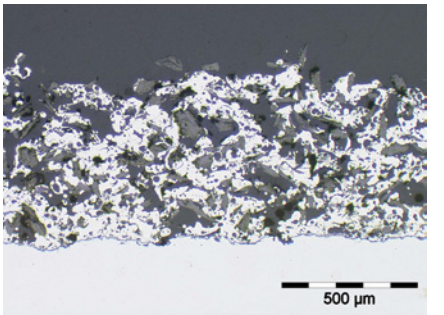
lissage et le polissage ne sont pas exécutés correctement cela peut introduire des artefacts étrangers à la structure du revêtement. Par ex., dans un revêtement métallique ou métal/céramique, le métal plus tendre flue dans les pores pendant le prépolissage et si le polissage n'est pas parfait, cela peut masquer les pores effectifs (voir fig. A-c). Comparativement, les revêtements céramiques sont fragiles et les particules se brisent et sont arrachées de la surface pendant le prépolissage. Si le polissage n'est pas parfait, ces cassures font penser à tort à une forte porosité (voir fig. d-f).

Recommandations de préparation des revêtements par projection thermique

Comme il y a de très nombreux matériaux de revêtement avec parfois des associations inhabituelles, il est important de bien connaître le revêtement et le substrat. Cela facilite l'estimation du comportement des matériaux sous abrasion mécanique. Comme les différents procédés de projection produisent des revêtements de densités et structures différentes, mieux vaut également connaître la méthode de projection utilisée avec un échantillon donné afin d'estimer la porosité attendue et la teneur en oxydes.

Tronçonnage : le choix de la meule de tronçonnage est basé sur le matériau du substrat, en général métallique. Une meule avec un liant plus lâche (tendre) est préférable à un liant fort (dur) car les particules fragiles du revêtement sont arrachées avec une meule de tronçonnage trop dure. C'est particulièrement important pour le tronçonnage de pièces revêtues de céramique. Même si le revêtement est en céramique, il constitue un faible pourcentage de la coupe totale et il n'est pas obligatoire d'utiliser une meule de tronçonnage diamantée. En général, le tronçonnage est possible avec une meule alumine douce. Si le revêtement de céramique est très épais et dense, une meule de tronçonnage diamantée à liant résine peut être utilisé à la place.

Revêtement par projection de nickel à la flamme, avec 15 % de graphite



Une fine pièce de mousse polystyrène entre le bridage et l'échantillon à tronçonner peut aider à protéger les revêtements tendres. Lors du tronçonnage de pièces autres que des coupons d'essai (à savoir des échantillons pour l'analyse de défaut), il est important de s'assurer que l'échantillon est bridé dans la machine de tronçonnage de telle manière que la meule coupe du revêtement vers le substrat et non pas l'inverse. Comme la liaison du revêtement est principalement mécanique, il peut se décoller du substrat sous la force exercée par la meule.

Les revêtements particulièrement fragiles ou minces peuvent d'abord être imprégnés sous vide à l'aide d'une résine époxy d'enrobage à froid puis, des microcoupes sont effectués et à leur tour sont enrobées pour le prépolissage et le polissage. Cela permet de bien maintenir le revêtement pendant la coupe.

L'apparence des fissures du revêtement après le polissage final peut être ou non le résultat du tronçonnage. Il est recommandé de refaire un prépolissage/polissage de l'échantillon. Si une fissure provient du tronçonnage, habituellement elle disparaît, si elle provient du revêtement, elle réapparaît ou bien des fissures du revêtement apparaissent ailleurs.

Enrobage : l'enrobage à froid sous résine époxy (ProntoFix , EpoFix, CaldoFix-2) est recommandé si le revêtement par projection est très facilement endommagé pendant un enrobage avec compression à chaud (fig. 9 et 10). En général, l'imprégnation sous vide est recommandée pour tous les revêtements. La profondeur d'imprégnation varie avec le taux de pores ouverts et les interconnexions entre les pores. Les revêtements très poreux sont plus facilement imprégnés que les plus denses et, les revêtements dont la porosité est inférieure à 10 % ne peuvent pas être imprégnés correctement. Comme il peut être difficile de faire le distinguo entre les vides (remplis avec une résine d'enrobage transparente ou translucide) et les éléments structurels du revêtement, il est intéressant

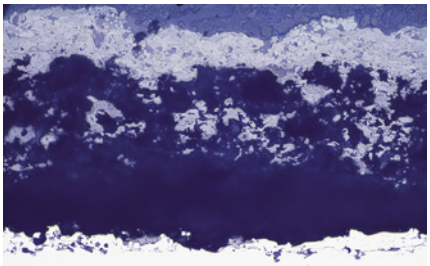


Fig. 9 : endommagement d'un revêtement par projection de céramique dû à un enrobage à chaud avec compression *200x*

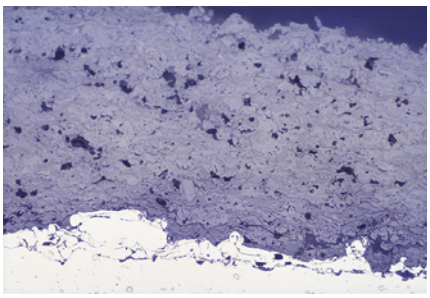


Fig. 10 : même revêtement que fig. 9, enrobé à froid *200x*

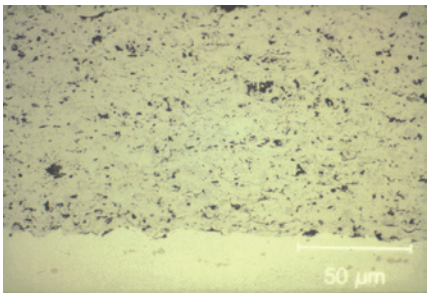


Fig. 11 : revêtement WC/Co par projection à plasma en champ large

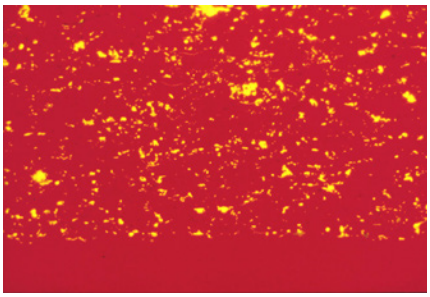


Fig. 12 : même revêtement que pour la fig.11 en lumière fluorescente

de mélanger un colorant fluorescent (Epodye) à la résine d'enrobage. Visualisé avec un filtre bleu (passe-haut) et un filtre orange (passe-bas), le colorant fluorescent colore en jaune les vides comblés par la résine lors de l'imprégnation (fig. 11 et 12). Malheureusement, cette méthode n'est pas toujours applicable aux revêtements céramiques : ceux-ci sont translucides et tout le revêtement apparaît fluorescent.

Prépolissage et polissage : en général, le polissage plan doit être démarré avec une feuille/papier SiC de grain le plus fin possible pour ne pas créer de porosité artificielle par cassure des particules fragiles. Le polissage plan des revêtements céramique très denses ou épais est plus efficace au diamant (par ex. MD-Piano 220), mais c'est une exception. Pour les grands volumes d'échantillons ou les grandes pièces qu'il faut examiner comme un tout, le prépolissage plan avec une meule pourra être préféré car il est plus rapide.
Quelle que soit la méthode utilisée, il faut que la première étape de préparation vise l'élimination des fissures provenant du tronçonnage, sans introduire de dommages nouveaux pendant le prépolissage.

Pour préserver la planéité et assurer un bon taux d'enlèvement de matière, mieux vaut effectuer le prépolissage fin au diamant avec un disque composite.
Pour les revêtements céramiques, nous recommandons les disques de prépolissage fin MD-Allegro et pour les revêtements métalliques MD-Largo. Un polissage minutieux sur drap de soie (MD-Dur ou MD-Dac) maintient la planéité de l'échantillon et garantit l'élimination du métal ayant flué.

Les revêtements métalliques peuvent être polis fin soit au diamant 1 µm, soit à la silice colloïdale (OP-U NonDry) à l'aide d'un drap doux. Il n'est pas recommandé d'utiliser une suspension de silice colloïdale OP-S NonDry pour polir les revêtements par projection de métaux car un relief trop important apparaît. Toutefois, OP-S NonDry convient pour le polissage final de revêtements céramique car cela améliore le contraste de la structure.

Pour les essais destinés à établir la méthode de préparation, on peut essayer le prépolissage SiC ou diamant pour trouver la méthode de polissage plan la meilleure. C'est valable également pour l'étape de polissage final pour laquelle le diamant 1 µm peut être préférable à la silice colloïdale.

En général, nous recommandons d'utiliser si possible une procédure standard pour tous les revêtements. Avec un équipement de préparation automatique, il est possible de contrôler les paramètres de préparation ce qui garantit des résultats uniformes et une excellente reproductibilité. En maintenant constantes les conditions de préparation, on peut admettre que, la plupart du temps, des différences soudaines dans la microstructure sont imputables aux différences du procédé de projection et non pas à la préparation.

La méthode de préparation du tableau ci-dessus a été testée avec succès sur la plupart des revêtements courants. Les données sont pour 6 échantillons enrobés de 30 mm de diamètre et bridés dans un support porte-échantillon. La suspension au diamant DiaPro peut être respectivement remplacée par DP-Suspension 9 µm, 3 µm et 1 µm appliquées avec le lubrifiant bleu.

Attaque : en général, les agents d'attaque chimique recommandés pour un matériau spécifique peuvent également être utilisés pour un revêtement par projection de ce même matériau. Plus le substrat et le revêtement se ressemblent, plus il y a de chances pour que l'attaque soit uniforme.
Les revêtements projetés sous atmosphère contrôlée contiennent peu ou pas d'oxydes et il est difficile de déterminer la structure du

Méthode de préparation standard pour les revêtements par projection thermique

Prépolissage

Étape		PG	FG
Support		Feuille/papier	MD-Largo
Abrasif	Type	SiC	Diamant
	Dimension	#220	9 µm
Suspension/ lubrifiant		Eau	DiaPro Allegro/ Largo 9*
t/m		300	150
Force [N]/ échantillon		30	30
Temps (min)		Jusqu'à planéité	5

Polissage

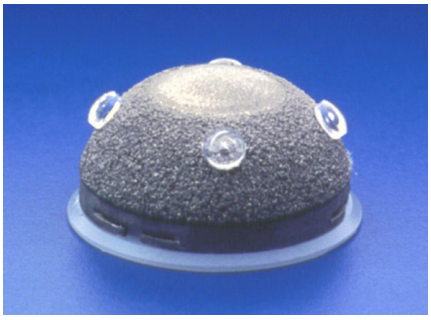
Étape		DP 1	DP 2 **
Support		MD-Dac	MD-Nap
Abrasif	Type	Diamant	Diamant
	Dimension	3 µ	1 µm
Suspension/ lubrifiant		DiaPro Dac 3*	DiaPro Nap B 1*
t/m		150	150
Force [N]/ échantillon		30	20
Temps (min)		5	1

Valable pour 6 échantillons enrobés, 30 mm de dia. Bridé dans un support porte-échantillon.

Notes :

**Le cas échéant, suspension au diamant DiaPro peut être respectivement remplacée par DP-Suspension 9 µm, 3 µm et 1 µm avec le lubrifiant bleu.*

***Le cas échéant, cette étape de polissage diamant peut être remplacée par une étape de polissage à la silice colloïdale (OP-U NonDry pour les revêtements métalliques et, OP-S NonDry pour les céramiques) pendant 30 à 60 s.*



Prothèse acétabulaire revêtue par projection thermique

revêtement. C'est pourquoi les revêtements de ce genre doivent être contrastés par attaque chimique.

Les revêtements pulvérisés sous vide sur les supers alliages de nickel et de cobalt peuvent être attaqués avec les mêmes solutions que celles utilisées pour le substrat ou bien par attaque électrolytique à l'acide oxalique à 10 %.
La structure des revêtements au molybdène peut être révélée par l'agent d'attaque chimique suivant :

50 ml d'eau
50 ml de peroxyde d'hydrogène (3%)
50 ml d'ammoniaque

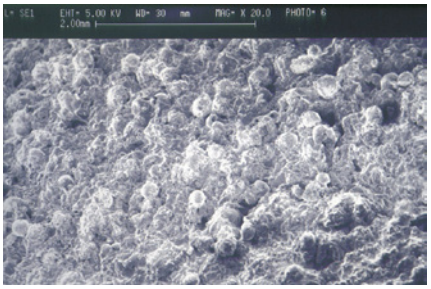
Précaution : Pour travailler avec les réactifs chimiques, toujours suivre les précautions de sécurité préconisées.

Résumé

Les revêtements plasma sont largement utilisés pour obtenir ou améliorer une qualité de surface spécifique ou une fonction d'une pièce. Différentes méthodes de projection conduisent à des caractéristiques différentes du revêtement et sont principalement utilisées contre la résistance à la corrosion, la chaleur et l'usure. L'examen métallographique de revêtements plasma comprend estimation de porosité, des oxydes et des particules non fondues, ainsi que de l'adhérence au substrat. Comme une procédure incorrecte de prépolissage ou de polissage peut influer sur l'évaluation de la porosité réelle, il est très important de toujours utiliser la même préparation métallographique de sorte que les résultats soient reproductibles. Le tronçonnage de précision avec la meule adéquate est recommandé pour éviter les fissures du revêtement. Il faut ensuite utiliser un enrobage à l'époxy. Le prépolissage cause les plus grand dommages au revêtement et doit donc être effectué avec le grain le plus fin possible. Pour éviter les reliefs, nous préconisons le prépolissage fin sur disque diamanté rigide, suivi d'un polissage minutieux avec drap de soie diamanté.

Il est particulièrement important de savoir que sous abrasion mécanique, les revêtements métalliques se comportent différemment des revêtements céramiques et que le polissage au diamant doit être assez long pour révéler la porosité réelle.

La procédure de préparation recommandée est basée sur l'expérience et donne d'excellents résultats avec la majorité des revêtements par projection thermique. Toutefois, il faut remarquer que pour les revêtements spécifiques de certains fabricants, les temps de polissage peuvent devoir être adaptés.



Photomicrographie au microscope à balayage (MEB) de la surface d'une prothèse acétabulaire revêtue par projection thermique

Notes d'application
Préparation métallographique des revêtements plasma

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhague, Danemark
Brigitte Duclos, Struers S.A.S., Champigny, France

Remerciements/crédits
Nous souhaitons remercier la société Sulzer Metco AG, Wohlen, Suisse, pour sa coopération et les informations qu'elle nous a fournies. Remerciement spécial à J. Hochstrasser et P. Ambühl pour avoir partagé leur connaissance exhaustive avec nous et avoir autorisé la reproduction des images suivantes : photo d'un processus de projection et grande micrographe, page 1; dessin : principe du mouvement des particules, photo de bague de synchronisation et micrographies page 2 ; dessin, photo de la chambre de combustion et toutes les micrographies de la page 3 ainsi qu'une micrographie d'un revêtement de nickel projeté à la flamme, page 4. Nous remercions Richard Compton, Zimmer, Inc. États-Unis, pour la photo de la prothèse acétabulaire et la photomicrographie MEB de la page 6.

Bibliographie
pour la préparation métallographique de pièces orthopédiques revêtues par projection thermique, Richard C. Compton, Zimmer, Inc., USA, Structure 28, 1995
Rapport récapitulatif du symposium sur les revêtements par projection par plasma chez Struers, Copenhague, du 25 au 27 mai 1988
Universal metallographic procedure for thermal spray coatings (procédure métallographique universelle pour les revêtements par projection thermique), S. D. Glancy, Structure 29, 1996
Materialographic characterization of modern multilayer coating systems used for hot-gas components in large gas turbines for static power generation (caractérisation matérialographique des systèmes modernes de revêtement multicouche utilisé pour les composants résistant aux gaz chauds dans les grandes turbines à gaz pour la production Static d'électricité), A. Neidel, S. Riesenbeck, T. Ulrich, J. Völker, Chunming Yao, Siemens Power Generation, Berlin, Structure 2/2004

Struers
Ensuring Certainty

Struers ApS
Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk
www.struers.com

AUSTRALIA & NEW ZEALAND
Struers Australia
27 Mayneview Street
Milton QLD 4064
Australia
Tel.: +61 7 3512 9600
Fax: +61 7 3369 8200
info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
7275 West Credit Avenue
Mississauga, Ontario L5N 5M9
Tel.: +1 905-814-8855
Fax: +1 905-814-1440
info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
No. 1696 Zhang Heng Road
Zhang Jiang Hi-Tech Park
Shanghai 201203, P.R. China
Tel.: +86 (21) 6035 3900
Fax: +86 (21) 6035 3999
struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka
vědeckotechnický park
Přílepská 1920,
CZ-252 63 Roztoky u Prahy
Tel.: +420 233 312 625
Fax: +420 233 312 640
czechrepublic@struers.de
slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
D- 47877 Willich
Tel.: +49 (0) 2154 486-0
Fax: +49 (0) 2154 486-222
infoservice@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F-94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
Magyarországi Fióktelep
2040 Budaörs
Szabadság utca 117
Phone +36 (23) 80 60 90
Fax +36 (23) 80 90 91
hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
Unit 11 Evolution@ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
Via Monte Grappa 80/4
20020 Arese (MI)
Tel.: +39-02/38236281
Fax: +39-02/38236274
struers.it@struers.it

JAPAN
Struers K.K
Takanawa Muse Bldg. 1F
3-14-13 Higashi-Gotanda,
Shinagawa
Tokyo
141-0022 Japan
Tel.: +81 3 5488 6207
Fax: +81 3 5488 6237
struers@struers.co.jp

NETHERLANDS
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

NORWAY
Struers ApS, Norge
Sjøskogenveien 44C
1407 Vinterbro
Tel.: +47 970 94 285
info@struers.no

AUSTRIA
Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Betriebsgebiet Puch Nord 7
5412 Puch
Tel.: +43 6245 70567
austria@struers.de

POLAND
Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Jasnogórska 44
31-358 Kraków
Tel.: +48 12 661 20 60
Fax: +48 12 626 01 46
poland@struers.de

ROMANIA
Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
Str. Preciziei nr. 6R
062203 sector 6, Bucuresti
Tel.: +40 (31) 101 9548
Fax: +40 (31) 101 9549
romania@struers.de

SWITZERLAND
Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnenstraße 41
CH-8903 Birmensdorf
Tel.: +41 44 777 63 07
Fax: +41 44 777 63 09
switzerland@struers.de

SINGAPORE
Struers Singapore
627A Aljunied Road,
#07-08 BizTech Centre
Singapore 389842
Tel.: +65 6299 2268
Fax: +65 6299 2661
struers.sg@struers.dk

SPAIN
Struers España
Camino Cerro de los Gamos 1
Building 1 - Pozuelo de Alarcón
CP 28224 Madrid
Tel.: +34 917 901 204
Fax: +34 917 901 112
struers.es@struers.es

FINLAND
Struers ApS Suomi
Sahaajankatu 20-22 A6
00880 Helsinki
Tel.: +358 (0)207 919 430
finland@struers.fi

SWEDEN
Struers Sverige
Box 20038
161 02 Bromma
Tel.: +46 (0)8 447 53 90
Fax: +46 (0)8 447 53 99
info@struers.se

UNITED KINGDOM
Struers Ltd.
Unit 11 Evolution @ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

USA
Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Tel.: +1 440 871 0071
Fax: +1 440 871 8188
info@struers.com

30.01.2020 R02 / 62342005