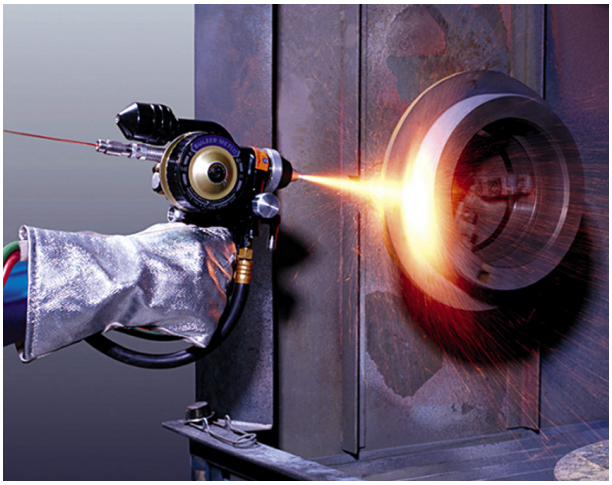
Preparación metalográfica de recubrimientos térmicos con spray

Struers
Ensuring Certainty

Application Notes

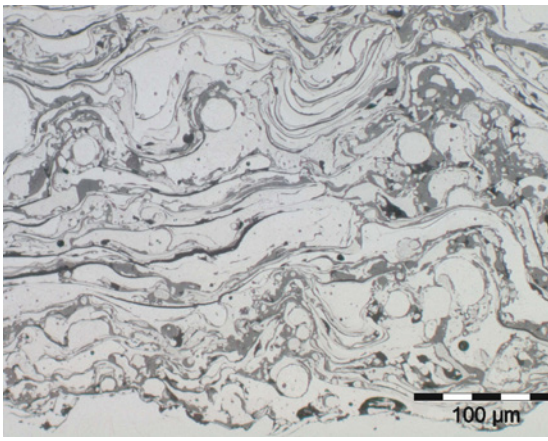
La pulverización térmica se inventó a principios de los años 1900 mediante el uso de cinc para "metalizar" sustratos y protegerlos ante la corrosión. El desarrollo de la pistola de pulverización de plasma a finales de los años 50 y 60 permitió que comercialmente se pudiesen utilizar materiales a alta temperatura como cerámicas o metales refractarios como material de recubrimiento. Además de la pulverización por llama y por plasma, en la actualidad existen métodos de pulverización térmica que recurren a altas velocidades, a la detonación y al uso de múltiples materiales de revestimiento diferentes con aplicaciones diversas y exigentes.



El recubrimiento térmico con spray se aplica a un sustrato a fin de obtener una calidad superficial específica, que por naturaleza no tiene. Así la potencia por volumen proviene del sustrato, mientras que el revestimiento añade unas cualidades superficiales adicionales como anticorrosión, antidesgaste o resistencia térmica.
Por consiguiente, los recubrimientos térmicos con spray se utilizan con frecuencia en la industria aeronáutica y de generación de electricidad en secciones y piezas nuevas o modificadas en motores de inyección y turbinas de gas, compresores o bombas.
Las propiedades de algunos recubrimientos sólo se pueden lograr mediante una pulverización térmica, mediante el uso de metales, cerámicas, carburos y compuestos así como mezclas de varios materiales.
La metalografía de los recubrimientos térmicos con spray puede tener varias finalidades:

- Definir, monitorizar y controlar las condiciones de pulverización para el control de calidad
- Realizar un análisis de fallos
- Desarrollar productos nuevos.

El procedimiento normalmente implica el revestimiento del cupón de prueba para definir y optimizar el proceso de la parte a pulverizar. Las secciones de este cupón de prueba se preparan después metalográficamente y se examinan para evaluar el grosor del recubrimiento, el tamaño y la distribución de la porosidad, los óxidos y las fracturas, la adhesión al material base, la contaminación de la interfaz y la presencia de partículas sin fundir.



Pulverización por arco eléctrico, con óxidos grises y partículas redondas sin fundir

Dificultades durante la preparación metalográfica

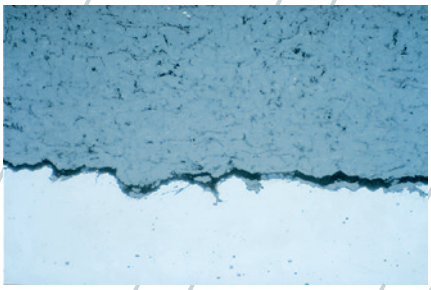
Corte: Fracturas en el recubrimiento debido a la sujeción de la muestra y al uso de discos de corte toscos;
Delaminación del sustrato

Embutición: Penetración insuficiente de la resina de embutición

Esmerilado y pulido: Debido a las manchas de los materiales blandos y a las extracciones en los materiales quebradizos, es difícil establecer y evaluar la porosidad real

Solución:

- Corte de precisión
- Impregnación al vacío con resina epoxi
- Métodos de preparación reproducibles, estandarizados para los recubrimientos térmicos con spray



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

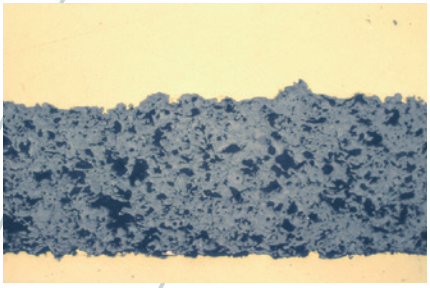


Fig. 1: Recubrimiento cerámico pulverizado, con pulido insuficiente 200x

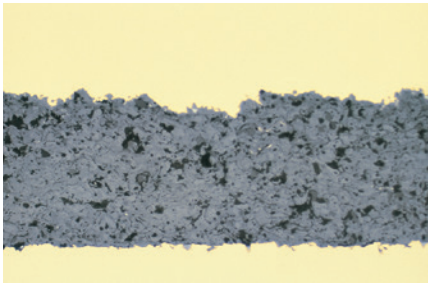
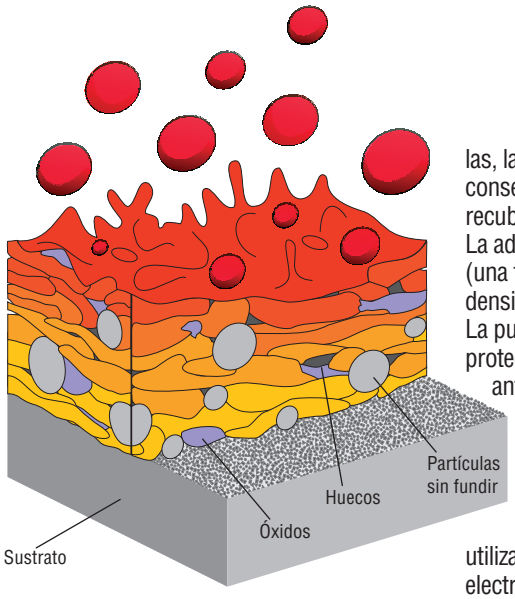


Fig. 2: Mismo recubrimiento que en la Fig. 1, pulido correctamente 200x

Métodos de pulverización y aplicaciones de los recubrimientos térmicos con spray



En el proceso de pulverización, el material de recubrimiento ya sea por hilo o en forma de polvo, se funde en una fuente de calor a alta temperatura en una pistola pulverizadora y se proyecta por medio de una llama o chorro de plasma sobre el sustrato. Una corriente de partículas fundidas o semifundidas impacta en el sustrato y forma el revestimiento. Cuando las partículas golpean la pieza de trabajo, éstas se adhieren mecánicamente a la superficie, la deforman y se enfrían rápidamente. La adhesión de partículas individuales tiene lugar mediante interbloqueo mecánico, o en algunos casos, por adhesión metalúrgica o difusión. La alta velocidad de las partículas crea una adhesión mejor y una densidad mayor del recubrimiento. Para una adhesión adecuada del sustrato es esencial que la superficie se haya tratado con chorro de arena, y desengrasado y limpiado exhaustivamente antes de su pulverización.
Las diversas técnicas de pulverización muestran temperaturas diferentes en cuanto a la fuente de calor y diferentes velocidades de las partículas, que junto con el aspecto económico, deben tenerse en cuenta para aplicaciones específicas. A continuación se describen brevemente las principales técnicas de pulverización, y algunas de las aplicaciones más conocidas de los revestimientos resultantes mencionados:

La pulverización por llama es el método más antiguo para aplicar recubrimientos térmicos con spray. El material de recubrimiento, ya sea con alambre o en forma de polvo, se funde con una llama de oxicombustible. Las partículas fundidas y atomizadas se aceleran hacia el componente a través de la boquilla de una pistola pulverizadora. Debido a la velocidad relativamente baja de las partículas, la exposición al oxígeno aumenta, y en consecuencia el contenido de óxido de estos recubrimientos es relativamente alto (Fig. 3). La adhesión y la densidad son moderadas (una fusión posterior permite aumentar la densidad).
La pulverización por llama se utiliza para proteger las estructuras y los componentes ante la corrosión y/o el desgaste, o para reparar superficies o ejes desgastados, así como en el revestimiento de pequeñas piezas o zonas.

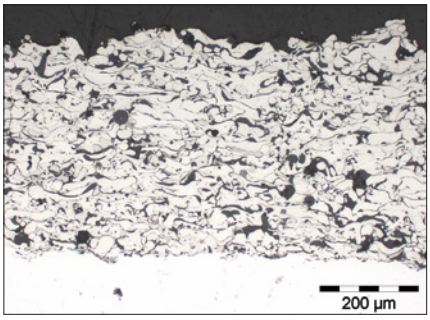


Fig. 3: Pulverización por llama; Ni5Al

Pulverización por llama de anillos sincronizados de latón con molibdeno para resistencia al desgaste

La pulverización por arco eléctrico utiliza el calor de un arco eléctrico entre dos electrodos alimentados continuamente, de la misma composición que el producto de alimentación del recubrimiento. Dichos hilos no necesita ningún otro gas de proceso distinto al aire de pulverización. Ya que el calor del arco funde continuamente las puntas de los hilos, el aire comprimido se utiliza para atomizar el material ya fundido y acelerarlo hacia el sustrato. La elevada temperatura del arco y la velocidad de las partículas hacen que la fuerza de adhesión y la densidad sean mayores que en la pulverización por llama. No obstante, debido al uso de aire comprimido, en la pulverización por arco eléctrico existe un porcentaje mayor de óxidos (Fig. 4).
La ventaja de la pulverización por arco eléctrico es su alta tasa de deposición que la hace idónea para la aplicación en trabajos de gran volumen y superficie. La pulverización de grandes estructuras, como puentes o plataformas mar adentro, con revestimientos de cinc o aluminio resistentes a la corrosión; la recuperación de componentes de ingeniería y la pulverización del alojamiento de componentes electrónicos con revestimientos conductores de cobre o aluminio.

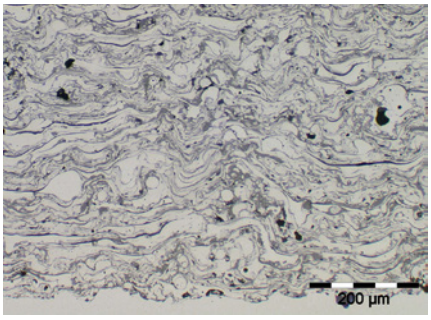
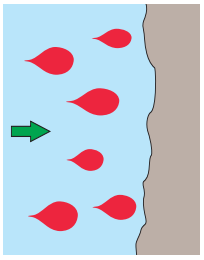


Fig. 4: Pulverización por arco eléctrico con FeCrSiNi y Mn

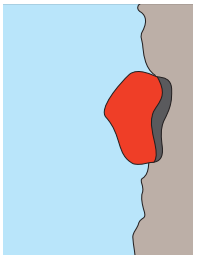
En la **pulverización por detonación** se introducen pequeñas cantidades de polvo de carburo, gas de combustión y oxígeno en un tubo cerrado que explosiona. La detonación proyecta el polvo a una velocidad sónica múltiple, de modo que éste se adhiere a la pieza de trabajo con una energía cinética extremadamente alta. Estos revestimientos se caracterizan por una excelente densidad, integridad y adhesión al sustrato. Debido a las condiciones del proceso, este método se limita a la aplicación de recubrimientos de carburo, principalmente como revestimiento resistente al desgaste en el sector aeronáutico y de aviación.

En la **pulverización térmica de combustible de oxígeno a alta velocidad (HVOF)** el gas de combustión y el oxígeno se dirigen hacia una cámara donde la combustión genera una llama supersónica, que pasa a través de una boquilla donde aumenta su velocidad. El polvo del material de recubrimiento se funde en esta corriente y la velocidad extrema de las partículas al golpear en el sustrato crea

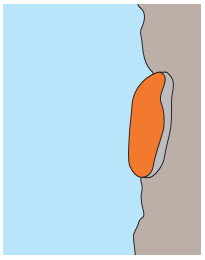
Principio de formación de capa



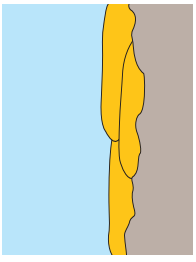
Gotas del material de recubrimiento fundido impulsadas hacia el sustrato



Impacto en el sustrato



Disipación térmica en el sustrato



Solidificación y contracción del material de recubrimiento

Dificultades en la preparación de los recubrimientos térmicos con spray

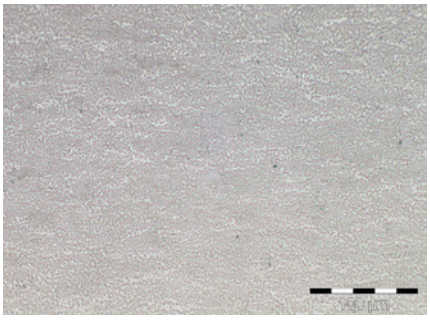
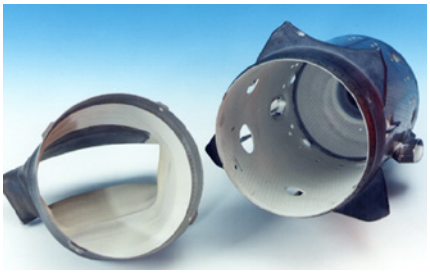


Fig. 5: Pulverización HVOF de WC/12Co (carburo de wolframio/cobalto)

un recubrimiento muy denso y fuerte (Fig. 5). La elevada energía cinética de las partículas al contraerse en el sustrato garantiza una adhesión mecánica adecuada, incluso sin que las partículas se fundan completamente. Esto hace que este método de pulverización esté especialmente indicado para el recubrimiento térmico con carburos.
Aplicaciones comunes son los recubrimientos de carburo de tungsteno en componentes y válvulas de una turbina de motor de aire o los recubrimientos de níquel y cromo para la resistencia a la oxidación.

La pulverización por plasma es el método más común para los recubrimientos térmicos con spray, y se aplica mediante la pulverización por plasma en el aire (APS) o en una atmósfera controlada. Se forma un arco eléctrico entre un cátodo y la boquilla concéntrica de la pistola pulverizadora. Una mezcla de gases con un caudal elevado, junto con el electrodo, son ionizados por el arco para formar el plasma. Este chorro de plasma pasa a través de la boquilla, donde el polvo del material de recubrimiento se incorpora a dicho chorro. El calor y la velocidad del chorro de plasma se fusionan rápidamente y aceleran las partículas hacia el sustrato para formar el recubrimiento.
En la pulverización por plasma se logra una estructura más densa que en la pulverización por llama (comparar Fig. 3 y Fig. 6).
La pulverización por plasma tiene la ventaja de que puede pulverizar materiales con altos puntos de fusión, como cerámicas o metales refractarios. Es un método de pulverización versátil para revestimientos de alta calidad y se utiliza en múltiples aplicaciones, incluyendo los recubrimientos en superficies de tracción, revestimientos de barrera térmica en cámaras de combustión de turbinas o en álabes, así como en revestimientos de hidroxiapatita biocompatible para implantes o en revestimientos cerámicos en rodillos de impresión.



Cámara de combustión con revestimiento de barrera térmica mediante pulverización por plasma en el aire (APS), con recubrimiento ligante de NiCrAlY y revestimiento superior de $ZrO_2 + Y_2O_3$

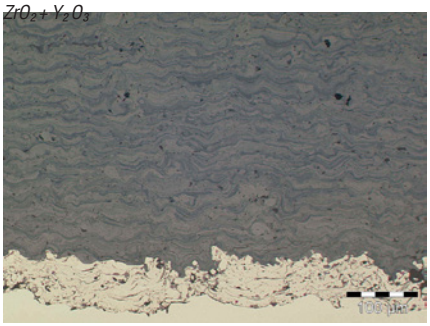
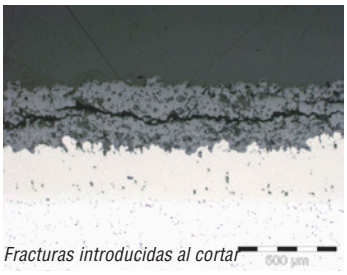


Fig. 6: Pulverización por plasma en el aire (APS) con recubrimiento ligante de NiCr y revestimiento superior de óxido de titanio

Corte: La sujeción de piezas recubiertas durante el proceso de corte puede introducir fracturas en los revestimientos más frágiles o comprimir los que son muy blandos.



Fracturas introducidas al cortar

Embutición: Las resinas de embutición en frío con una contracción alta pueden ocasionar daños en los revestimientos con una adhesión débil al sustrato; debido a la hendidura de contracción el revestimiento carece del soporte de la resina, lo que puede producir una delaminación del revestimiento durante el esmerilado y pulido.

Esmerilado y pulido: El redondeo de bordes puede generar un pulido irregular y una malinterpretación posterior de la densidad del recubrimiento (Fig. 7). El relieve entre el recubrimiento y el sustrato crea una sombra que puede malinterpretarse (Fig. 8).

Cómo estimar la porosidad real en un revestimiento pulverizado y preparado metalográficamente sigue siendo un tema de discusión, ya que el esmerilado y el pulido metalográficos, si no se realizan correctamente, pueden introducir artefactos que no formen parte de la estructura de revestimien-

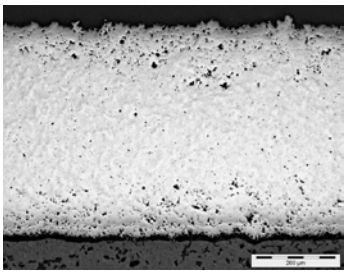


Fig. 7: Un pulido incorrecto sugiere menos porosidad en el medio del recubrimiento

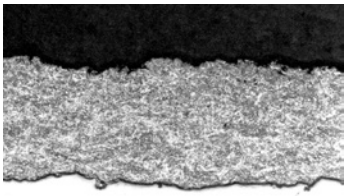
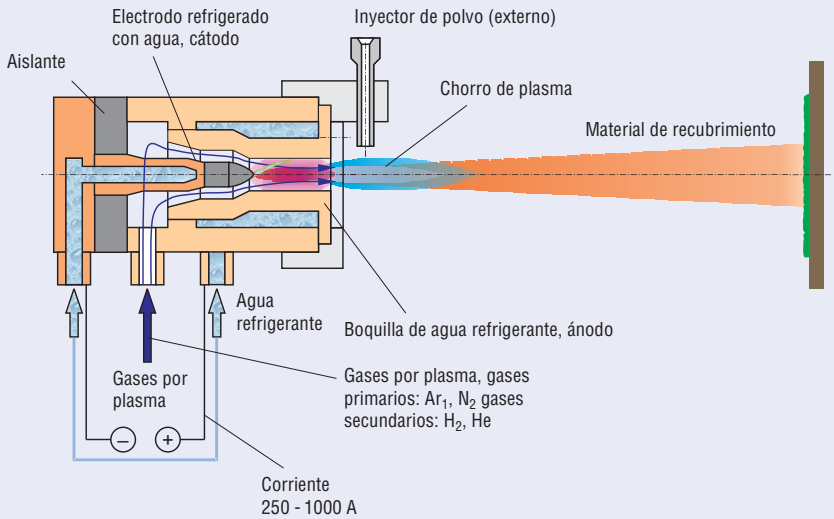
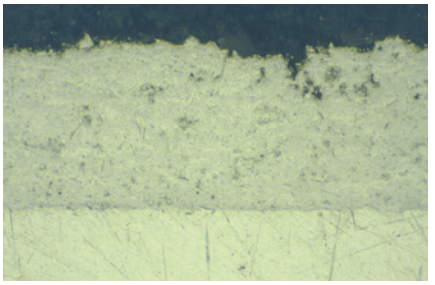


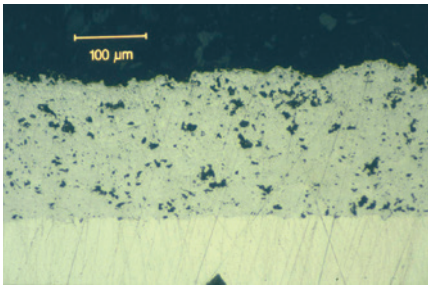
Fig. 8: Recubrimiento con spray de carburo sinterizado WC/Co con relieve; se muestra línea oscura en interfaz de resina/recubrimiento. Se puede malinterpretar.



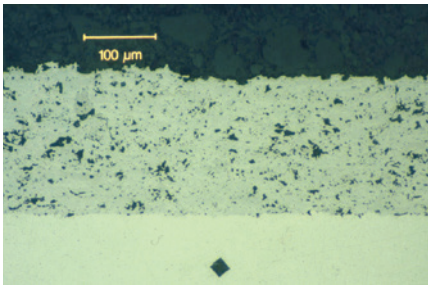
Esquema de pistola de pulverización por plasma



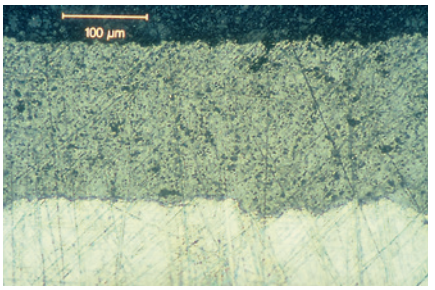
a) Recubrimiento metálico con spray tras esmerilado fino



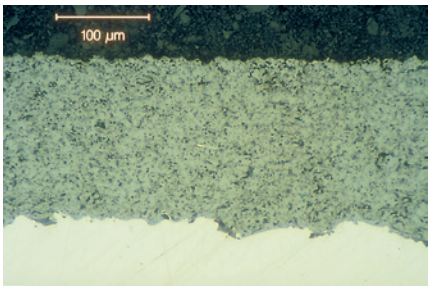
b) Mismo recubrimiento que en a) pulido con 3 µm



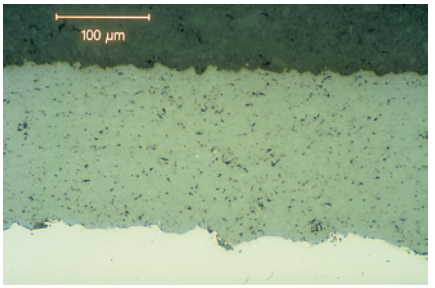
c) Mismo recubrimiento que en b) tras pulido final



d) Recubrimiento cerámico con spray tras esmerilado fino



e) Mismo recubrimiento que en d) pulido con 3 µm



f) Mismo recubrimiento que en e) tras pulido final

to. Por ejemplo, en revestimientos metálicos o cerámicos/metálicos, el metal más blando se arrastra a los poros durante el esmerilado y si no se pule adeucadamente puede tapar la verdadera porosidad (ver Fig. a-c) En comparación, los revestimientos cerámicos son quebradizos y, durante el esmerilado, se desprenden partículas de su superficie. Si no se pulen correctamente, estas partículas desprendidas podrán malinterpretar una porosidad alta (ver Fig. d-f).

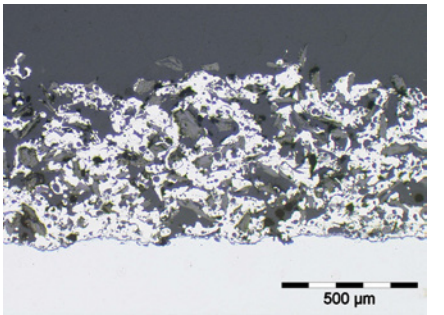
Recomendaciones para la preparación de recubrimientos térmicos con spray

Ya que existen diferentes materiales de pulverización con algunas combinaciones inusuales, es importante saber cuál es la pulverización correcta y el material de sustrato. Esto ayudará a predecir el comportamiento de los materiales ante la abrasión mecánica. Ya que diferentes procesos de pulverización ofrecen diferentes densidades y estructuras de revestimiento, también es importante saber qué método de pulverización se va a utilizar en una muestra concreta para estimar la porosidad esperada, así como el contenido de óxido.

Corte: La selección del disco de corte se basa en el material del sustrato, que normalmente es metálico. Se prefiere el uso de un disco más blando frente a uno más duro, ya que las partículas quebradizas del revestimiento se dañan al utilizar discos de corte duros. Esta particularidad es importante al cortar piezas con revestimientos cerámicos. Incluso si el revestimiento es cerámico, esto constituye sólo un pequeño porcentaje del total del área de la sección transversal y no necesita cortarse con un disco de corte de diamante. Normalmente el corte se puede realizar con un disco de óxido de aluminio blando. Si el revestimiento cerámico es muy grueso y denso, se propone utilizar un disco de corte de diamante con ligante de resina como alternativa.

El uso de una pieza fina de espuma de poliestireno entre los dispositivos de sujeción y la muestra puede ayudar a proteger los revestimientos más quebradizos y blandos frente a daños.

Pulverización por llama de níquel con 15% de grafito



Al cortar piezas diferentes al cupón de prueba, por ejemplo, muestras para un análisis de fallos, es importante asegurarse de que la pieza de trabajo está correctamente sujeta a la máquina de corte de tal modo que el disco de corte se mueva desde el revestimiento hacia el sustrato, y no en dirección inversa. Ya que el ligante del revestimiento es principalmente mecánico, se puede delaminar del sustrato debido al arrastre del disco de corte.

Los revestimientos más frágiles y finos se pueden impregnar primero al vacío con una resina epoxi de embutición en frío, y después las microsecciones se cortan y vuelven a embutir para el esmerilado y pulido. Esto garantiza una sujeción máxima del revestimiento durante el proceso de corte.

La apariencia de las fracturas en un revestimiento después del pulido final puede ser, o no, resultado del corte. Se recomienda volver a esmerilar y pulir la muestra. Si la fractura se debe al corte, por lo general desaparecerá. Si es inherente al revestimiento, volverá a aparecer, o aparecerán fracturas en otras áreas del revestimiento.

Embutición: La embutición en frío con resina epoxi (ProntoFix, EpoFix, CaldoFix-2) se recomienda para las pulverizaciones que sufren daños considerables al someterse a una embutición en caliente (Fig. 9 y 10).
En general, se recomienda utilizar la impregnación al vacío en todos los revestimientos. La profundidad de la impregnación varía según el grado de porosidad abierta y las interconexiones entre los poros. Los revestimientos muy porosos pueden ser más fáciles de impregnar, frente a los más densos, y los revestimientos con una porosidad inferior al 10% no se impregnarán satisfactoriamente. Ya que puede resultar difícil distinguir huecos rellenos de resina de embutición translúcida o transparente de los elementos estructurales del revestimiento, es de gran ayuda el uso de tintes fluorescentes (EpoDye) en la resina de embutición en frío. La visualización con un filtro azul de paso largo o uno naranja de paso corto en un microscopio óptico permite que el tinte fluorescente muestre en amarillo los huecos que se han cubierto con resina durante la impregnación (Fig. 11 y 12).

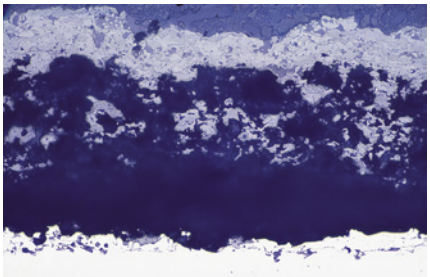


Fig. 9: Daño en recubrimiento con spray cerámico debido a embutición en caliente *200x*

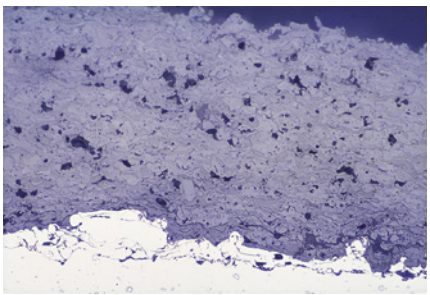


Fig. 10: Mismo recubrimiento que en la Fig. 9; embutición en frío *200x*

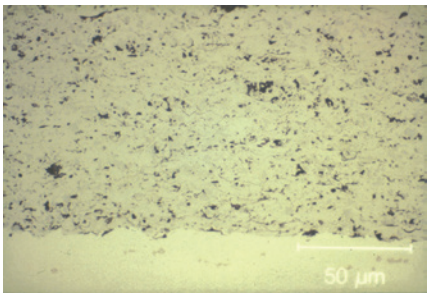


Fig. 11: Pulverización por plasma con carburo sinterizado WC/Co en campo claro

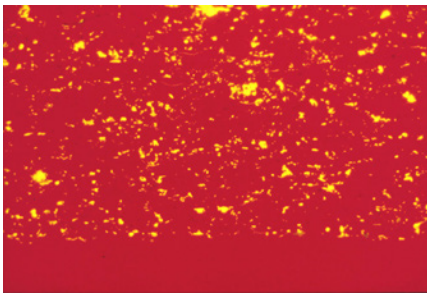


Fig. 12: Mismo recubrimiento que en la Fig. 11 en luz fluorescente

Desafortunadamente este método no siempre es aplicable a los revestimientos cerámicos, ya que las cerámicas son translúcidas y la totalidad del revestimiento aparece fluorescente.

Esmerilado y pulido: Como regla general, el esmerilado plano se debería iniciar con la lámina/papel de carburo de silicio más fina posible para evitar la aparición de una porosidad artificial al fracturar partículas quebradizas. La excepción pueden ser los revestimientos cerámicos muy densos o gruesos, donde el esmerilado plano más eficiente es el realizado con diamante (por ej.: MD-Piano 220). En volúmenes elevados de muestras o en piezas de gran tamaño, que necesitan examinarse íntegramente, el esmerilado plano con una piedra es la opción más rápida y preferida.
Con independencia del método utilizado, el primer paso de preparación debe orientarse a eliminar cualquier fractura resultante del corte, sin introducir nuevos daños por un esmerilado tosco.

Para conservar la planitud y garantizar una buena tasa de eliminación, se aconseja realizar el esmerilado plano con diamante en un disco de esmerilado fino compuesto. En los revestimientos cerámicos, se recomienda utilizar el disco de esmerilado fino MD-Allegro; y MD-Largo para los revestimientos metálicos. Un pulido exhaustivo con un paño de seda (MD-Dur o MD-Dac) conservará la planitud de la muestra y garantizará la eliminación del metal con manchas.

Los revestimientos metálicos se pueden someter a un pulido fino con un diamante de 1 µm o sílice coloidal (OP-U NonDry) en un paño suave. No se recomienda utilizar la suspensión de sílice coloidal OP-S NonDry en el pulido de revestimientos metálicos, ya que se genera demasiado relieve. No obstante, la suspensión OP-S NonDry está indicada para el pulido final de revestimientos cerámicos, ya que ofrece un buen contraste en la estructura.

En la fase de prueba para establecer los métodos de preparación se puede utilizar el esmerilado con carburo de silicio o con diamante para averiguar cuál es más adecuado para el esmerilado plano. Lo mismo sucede con el paso del pulido final, donde (en algunos casos) se puede preferir diamante de 1µm a sílice coloidal.

En general se recomienda que, si es posible, se utilice siempre un procedimiento estándar para todos los revestimientos. Con el equipo de preparación automática es posible controlar los parámetros de preparación, lo cual garantiza unos resultados consistentes y una reproducibilidad excelente. Al mantener unas condiciones de preparación constantes, se entenderá que cualquier diferencia repentina en la microestructura se deberá en la mayoría de los casos a diferencias en el proceso de pulverización, y no en el proceso de preparación.

Método de preparación estándar de recubrimientos térmicos con spray

Esmerilado

Paso		PG	FG
Superficie		Lámina/papel	MD-Largo
Abrasivo	Tipo	SiC	Diamante
	Tamaño	#220	9 µm
Suspensión/ Lubricante		Agua	DiaPro Allegro/ Largo 9*
rpm		300	150
Fuerza [N]/ muestra		30	30
Tiempo (min)		Hasta planitud	5

Pulido

Paso		DP 1	DP 2 **
Superficie		MD-Dac	MD-Nap
Abrasivo	Tipo	Diamante	Diamante
	Tamaño	3 µm	1 µm
Suspensión/ Lubricante		DiaPro Dac 3*	DiaPro Nap B 1*
rpm		150	150
Fuerza [N]/ muestra		30	20
Tiempo (min)		5	1

Válido para 6 muestras embutidas, de 30 mm de diámetro, sujetas en un portamuestras.

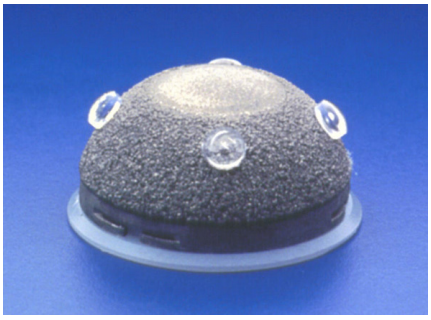
Observaciones:

**Si lo prefiere, la suspensión de diamante DiaPro se puede sustituir por DP-Suspension de 9 µm, 3 µm o 1 µm respectivamente, aplicada con lubricante azul.*

***Si lo prefiere, este paso de pulido de diamante se puede sustituir por un paso de pulido con sílice coloidal (OP-U NonDry para metales, OP-S NonDry para revestimientos cerámicos) durante 30-60 segundos.*

El método de preparación en la tabla anterior se ha utilizado con éxito en los revestimientos más habituales. Los datos corresponden a 6 muestras embutidas, de 30 mm de diámetro, sujetas en un portamuestras. La suspensión de diamante DiaPro se puede sustituir por DP-Suspension de 9 µm, 3 µm o 1 µm respectivamente, aplicada con lubricante azul.

Ataque: En general, las soluciones de ataque que se recomiendan para un material específico se pueden utilizar también para los revestimientos con spray de este material. En general, cuanto mayor sea la similitud entre el sustrato y el revestimiento, más homogéneo será el ataque.



Superficie pulverizada térmicamente en copa acetabular

Los revestimientos pulverizados en una atmósfera controlada tienen una cantidad menor o inexistente de óxidos, y es difícil reconocer la estructura revestida. Por ello, este tipo de revestimientos se deben contrastar con un ataque químico.

El recubrimiento pulverizado al vacío en superaleaciones de níquel y cobalto se puede grabar con las mismas soluciones utilizadas para el sustrato o con un grabado electrolítico con 10% de ácido oxálico acuoso.
La estructura de los recubrimientos que contenga molibdeno se podrá revelar al utilizar la siguiente solución de ataque:

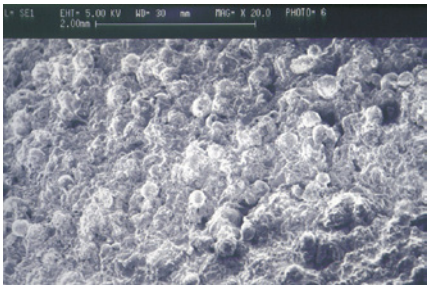
50 ml de agua
50 ml de agua oxigenada (3%)
50 ml de amoniaco

Advertencia: Al trabajar con reactivos químicos, se deben seguir siempre las medidas de seguridad recomendadas.

Resumen

Los recubrimientos térmicos pulverizados se utilizan con regularidad para dar o mejorar la calidad o función de la superficie de una pieza de trabajo. Según el método de pulverización elegido, las características del revestimiento serán diferentes, pudiendo aplicarse para combatir la corrosión, el desgaste o los daños térmicos. El examen metalográfico de los recubrimientos con spray incluye la estimación de la porosidad, los óxidos y las partículas no fundidas, así como la adhesión al substrato. Ya que procedimientos incorrectos de esmerilado y pulido pueden interferir en la evaluación de la verdadera porosidad de una pieza de trabajo, es muy importante que la preparación metalográfica se realice de forma sistemática y que los resultados sean reproducibles. Se recomienda realizar un corte de precisión con el disco de corte adecuado para evitar fracturas en el recubrimiento. La embutición deberá realizarse con resina epoxi. El esmerilado grueso introduce importantes daños en el recubrimiento y, por ello, deberá realizarse con el grano más fino posible. Para evitar relieves se recomienda el esmerilado fino con diamante en un disco rígido, seguido de un exhaustivo pulido de diamante en un paño de seda.

No debemos olvidar que los recubrimientos metálicos se comportan de forma diferente a los cerámicos en cuanto a abrasión mecánica, y que el pulido de diamante debe prologarse hasta revelar la porosidad real.



Fotomicrografía SEM de superficie pulverizada térmicamente en copa acetabular

El procedimiento de preparación recomendado se basa en la experiencia y ofrece resultados excelentes en la mayoría de los recubrimientos térmicos con spray habituales. No obstante, no debe olvidarse que algunos recubrimientos específicos requieren ajustes en los tiempos de pulido.

Notas de aplicación
Preparación metalográfica de recubrimientos térmicos con spray

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhague, (Dinamarca)
Brigitte Duclos, Struers S.A.S., Champigny, (Francia)

Agradecimientos
Queremos agradecer a Sulzer Metco AG, Wohlen, en Suiza, por su cooperación y por facilitar material informativo. Queremos agradecer igualmente a J. Hochstrasser y P. Ambühl por compartir con nosotros su amplio conocimiento y por facilitarnos las siguientes imágenes: fotografía del proceso de pulverización y amplia micrografía en la página 1; dibujo: Principio de movimiento de partículas; foto de anillos sincronizados y micrografías de la página 2; dibujo, fotografía de cámara de combustión y micrografías de la página 3, así como micrografía de pulverización de níquel por llama en la página 4. Nuestro agradecimiento a Richard Compton, Zimmer, Inc. EE. UU. por la fotografía de la copa acetabular y la fotomicrografía SEM en la página 6.

Bibliografía
Metallographic preparation of thermally sprayed orthopaedic devices, Richard C. Compton, Zimmer, Inc., USA, Structure 28, 1995
Summary Report of the Plasma Spray Coatings Symposium at Struers, Copenhagen, May 25th to 27th, 1988
Universal metallographic procedure for thermal spray coatings, 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, 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 / 62542005-ES