

MEJORAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE LOS RECUBRIMIENTOS DE Al_2O_3 -43% TiO_2 ELABORADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE PROYECCIÓN TÉRMICA POR LLAMA OXIACETILÉNICA A PARTIR DE LOS PARÁMETROS DE PROYECCIÓN

Juan Fernando Gil Lopez¹, Jhon Edison Rodríguez*¹, Fabio Vargas², Esperanza López², Edward Restrepo³

1: Estudiante de Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

2: Ph. D. Profesor Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

3: Estudiante de Maestría en Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia

* Contacto: jhonedisonr@gmail.com

RESUMEN

Se evaluó el efecto de los parámetro de proyección tales como: relación del flujo de gases y dinámica del jet de aire sobre los defectos estructurales (porosidad) y la rugosidad superficial de recubrimientos de Al_2O_3 - 43% en peso de TiO_2 depositados mediante proyección térmica por combustión oxiacetilénica a partir de polvos de la casa comercial Saint- Gobain® referencia SG-109. Los resultados obtenidos indican que los recubrimientos elaborados presentan cambios en la estructura interna y superficial del recubrimiento según varíe los parámetros antes mencionados, encontrando que la más baja porosidad y rugosidad superficial se obtienen utilizando una llama oxidante recubierta por un jet de aire cilíndrico cuya presión fue de 30 psi.

Palabras Claves: *Rugosidad, Porosidad, Microestructura, Al_2O_3 - 43% en peso de TiO_2*

ABSTRACT

The effect of spraying parameters such as gas flow relaxation and air jet dynamic on structural defects (porosity) and surface roughness of Al_2O_3 -43 wt. % TiO_2 coatings manufactured by flame spraying from Saint Gobain 109TM powders was evaluated. The results indicate that the surface and internal structure of the coatings change according with the variations of the spraying parameters. The lowest porosity and surface roughness is obtained using an oxidative flame with a cylindrical air shield around the flame at 30 psi of pressure.

Keywords: *Roughness, Porosity, Microstructure, Al_2O_3 -43 wt. % TiO_2 coatings*

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años los materiales cerámicos han sido cada vez más utilizados para proteger superficialmente sustratos metálicos que están expuesto a altas temperaturas, a ambientes corrosivos y a condiciones tribológicas severas [1].

Dentro de los recubrimientos cerámicos utilizados para aplicaciones con ciclos térmicos a alta temperatura los de alúmina con aproximadamente 45 % en peso de TiO_2 son ampliamente utilizados, ya que en estos puede estar presente la fase Al_2TiO_5 (ver Figura 1), que posee un bajo coeficiente de expansión térmica y por lo tanto, los esfuerzos producidos en estos materiales a causa de cambios en la temperatura son bajos lo que les confiere una excelente resistencia al choque térmico [2].

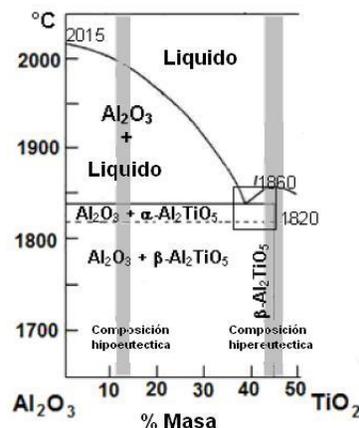


Figura 1. Zona rica en alúmina del diagrama de fase del sistema Al_2O_3 - TiO_2 [3,4]

Los recubrimientos depositados por proyección térmica se forman a partir de gotas fundidas o semi-fundidas que se proyectan hacia el sustrato para formar una película cuya microestructura está constituida por el apilamiento de los discos o lamelas que se forman cuando dichas partículas impactan al sustrato. Es por esto que el desempeño del recubrimiento va a depender no sólo de la composición química del material proyectado y de las fases que los constituyen, sino también de las características estructurales, por lo que se necesita encontrar las condiciones de proyección adecuada según la aplicación que se le vaya a dar. [5]

El objetivo de este trabajo es reducir la porosidad estructural y la rugosidad superficial de recubrimientos de Al_2O_3 - TiO_2 depositados por proyección térmica, a partir de la aplicación del flujo de gases de combustión y de la dinámica del jet de aire, adecuados para calentar y proyectar las partículas del recubrimiento.

2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En este trabajo se utilizaron polvos de la casa comercial Saint- Gobain® de referencia 109 de composición química Al_2O_3 - 43% en peso de TiO_2 con una distribución granulométrica (d_{10} - d_{90}) entre 8.85 y 22.35 micrómetros que tiene las fases mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis cuantitativo de fases presentes en el polvo Saint- Gobain® 109[4]

Análisis de fases	
Fases	% masa
$\text{Al}_6\text{Ti}_2\text{O}_{13}$	63.2 ± 2.4
Al_2TiO_5	33.1 ± 1.8
$\text{Al}_2\text{O}_3 - \alpha$	2.8 ± 0.4
TiO_2 (rutilo)	0.9 ± 0.2

Previo a la aplicación de los recubrimientos los sustratos de acero AISI-SAE 1020 fueron preparados superficialmente con un chorro de partículas abrasivas y posteriormente limpiados por ultrasonido en un baño de alcohol, con el fin de generar la rugosidad y la limpieza requeridas para promover la adherencia del recubrimiento. La elaboración de los recubrimientos se realizó en la cámara ARESTE 1, desarrollada por el grupo GIPIMME de la Universidad de Antioquia, la cual permite controlar las principales variables involucradas en el proceso de proyección térmica por combustión y tiene incorporada una antorcha Eutectic Castolin Terodyn 2000TM modificada.

La caracterización microestructural de los recubrimientos realizada para determinar su espesor y porosidad, se llevó a cabo sobre su sección transversal, para lo cual las muestras fueron montadas en resina y cortadas utilizando un disco diamantado, luego fueron desbastadas con papel abrasivo a 200 rpm y finalmente fueron pulidas con paños y pasta de diamante de 3 micrómetros a 300 rpm [6]. El análisis de la porosidad se realizó mediante análisis de imágenes siguiendo la norma ASTM E2109-01[7], a partir de micrografías adquiridas en un microscopio óptico Olympus BX-41 y complementadas con las obtenidas en un microscopio electrónico de barrido marca Jeol JSM-6490LVTM, las cuales fueron procesadas y analizadas utilizando el software IMAGE J. Por su parte, la rugosidad superficial de los recubrimientos obtenidos fue medida utilizando un rugosímetro Mitutoyo SJ-201.

3 RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 Parámetros de proyección

Para la elaboración de los recubrimientos se utilizó una distancia de proyección de 9 cm, con 5 pases de proyección de polvos cuyo flujo fue de aproximadamente 13.2g/min, los cuales fueron transportados hacia la antorcha por un flujo de nitrógeno de 17L/min. La velocidad relativa entre

la antorcha y el sustrato fue de 0.73 cm/seg y la velocidad de rotación del porta muestras fue de 116 rpm. En la Tabla 2 se muestran los parámetros que fueron variados en cada proyección.

La Tabla 2 también muestra los resultados de las medidas de porosidad, rugosidad, y espesor de cada recubrimiento, los cuales son el producto de los cambios de los parámetros de proyección que se mostraron en dicha tabla. Al evaluar el efecto de la relación volumétrica del flujo de gases de combustión (proyección 1, 2 y 6), se puede evidenciar una gran disminución en la porosidad a medida que aumenta la relación volumétrica del flujo desde 1/1.5 de C₂H₂/O₂, hasta 1/4.2 de C₂H₂/O₂. Por su parte, bajo las mismas condiciones en la dinámica del flujo del jet de aire (igual Roto-jet a igual presión), como en las proyecciones 1 y 2, el aumento en la relación de flujo de los gases de combustión reduce la rugosidad superficial promedio (Ra). No obstante, si se cambia el tipo de Roto-jet este resultado cambia, puesto que se obtiene una menor rugosidad con la relación de flujo intermedia (proyección 6), debido a que la turbulencia que se genera en las partículas proyectadas es menor con el Roto-jet RPA3 que con el RPAF. La menor rugosidad superficial y porosidad que se obtiene a medida que aumente la relación de flujo de gases desde una llama neutra con C₂H₂/O₂ de 1/1.5 hasta una llama súper oxidante con C₂H₂/O₂ de 1/4.2 se debe a que en las llamas oxidantes la longitud de la zona más caliente es mucho más larga que en la llama neutra, lo que le permite a las partículas en vuelo un mayor tiempo de residencia en la zona caliente de la llama y por lo tanto se obtiene una mejor fusión de ellas, a pesar de que en la llama oxidante se produce una ligera disminución de la temperatura en la zona más caliente de la llama.

Tabla 2. Parámetros de proyección y resultados

Parámetros de proyección				Resultados de proyección		
Proyección #	Relación volumétrica de flujo (C ₂ H ₂ /O ₂) ¹	tipo de roto-jet	presión de aire(psi)	Porosidad	Rugosidad	Espesor
1	1/1.5	RPAF ²	30	12±1.17	7.69±0.32	232.60±22.30
2	1/4.2	RPAF ²	30	5.36±0.80	5.86±0.70	252.90±14.91
3	1/4.2	RPA3 ³	30	8.5±0.89	4.55±0.02	309.48±14.15
4	1/4.2	RPA3 ³	50	5.15±2.46	5.70±0.04	281.67±39.96
5	1/4.2	RPA3 ³	20	5.82±0.39	5.48±0.03	256.08±22.12
6	1/3.0	RPA3 ³	30	9.13±3.75	5.00±0.09	173.27±24.38

¹ Para cada una de estas relaciones se utilizó un flujo de acetileno de 20 L/min.

² Roto-jet que produce un chorro de aire que constriñe la llama para concentrar la mayor parte de su calor en los primeros 4 cm desde la boquilla de la antorcha.

³ Roto-jet que recubre la llama en forma cilíndrica permitiendo que su calor se distribuya en toda su longitud.

La evaluación de las condiciones dinámicas del jet de aire que circunda la llama (proyección 2 y 3) indica que la utilización del Roto-jet RPA3 que recubre la llama en forma cilíndrica permite reducir la rugosidad superficial de la capa obtenida en la proyección 3, comparada con la obtenida en la proyección 2 utilizando el Roto-jet RPAF que produce un chorro de aire que constriñe la llama para concentrar la mayor parte de su calor en los primeros 4 cm desde la boquilla de la antorcha. No obstante, en el recubrimiento obtenido en la proyección 3 su porosidad aumenta significativamente, pero esto está asociado a la mayor irregularidad en el apilamiento de las partículas y a la dificultad para la salida de gases atrapados a medida que aumenta el espesor de la capa.

El efecto de la presión de aire suministrada a través del Roto-jet fue evaluado a partir de las proyecciones 3, 4 y 5, para lo cual se utilizó el Roto-jet RPA3 para acelerar las partículas fundidas hacia el sustrato, encontrando que a una presión de 20 psi la rugosidad superficial del recubrimiento de la proyección 5 sufre un ligero aumento respecto al obtenido en la proyección 3, quizás porque a esta presión las partículas no adquirieron la velocidad suficiente para tener un buen apilamiento, por el contrario a una presión de 50 psi la velocidad de las partículas fue ligeramente superior a la requerida para tener un buen aplastamiento de las partículas y por lo tanto, se pudieron haber generado salpicaduras que aumentaron ligeramente su rugosidad respecto a la del recubrimiento elaborado a 30 psi en la proyección 3 que fue el de menor rugosidad. La porosidad de los recubrimientos obtenidos en la proyección 4 y 5 fue más baja que la de la proyección 3, pero el aumento del porcentaje en esta última se debe posiblemente a su mayor espesor. En la figura 3 se observa la microestructura superficial y transversal de los recubrimientos, caracterizados por microscopía óptica de barrido (SEM) de las proyecciones 1, 2, 3. La figura (a) y (d) se comprueba que la mayor rugosidad superficial del recubrimiento se debe a la mayor cantidad de partículas que quedaron semi-fundidas y que no lograron tomar la forma de disco al impactar con el sustrato y por lo tanto, su apilamiento es defectuoso dando lugar a una mayor porosidad.

Por su parte, en las imágenes correspondientes a las proyecciones 2 y 3, figura 3(b,e) y (c,f) se observa que los recubrimientos obtenidos, presentan una estructura más compacta, formada por partículas bien fundidas y bajo contenido de poros, con respecto a los recubrimientos depositados empleando los parámetros de proyección 1.

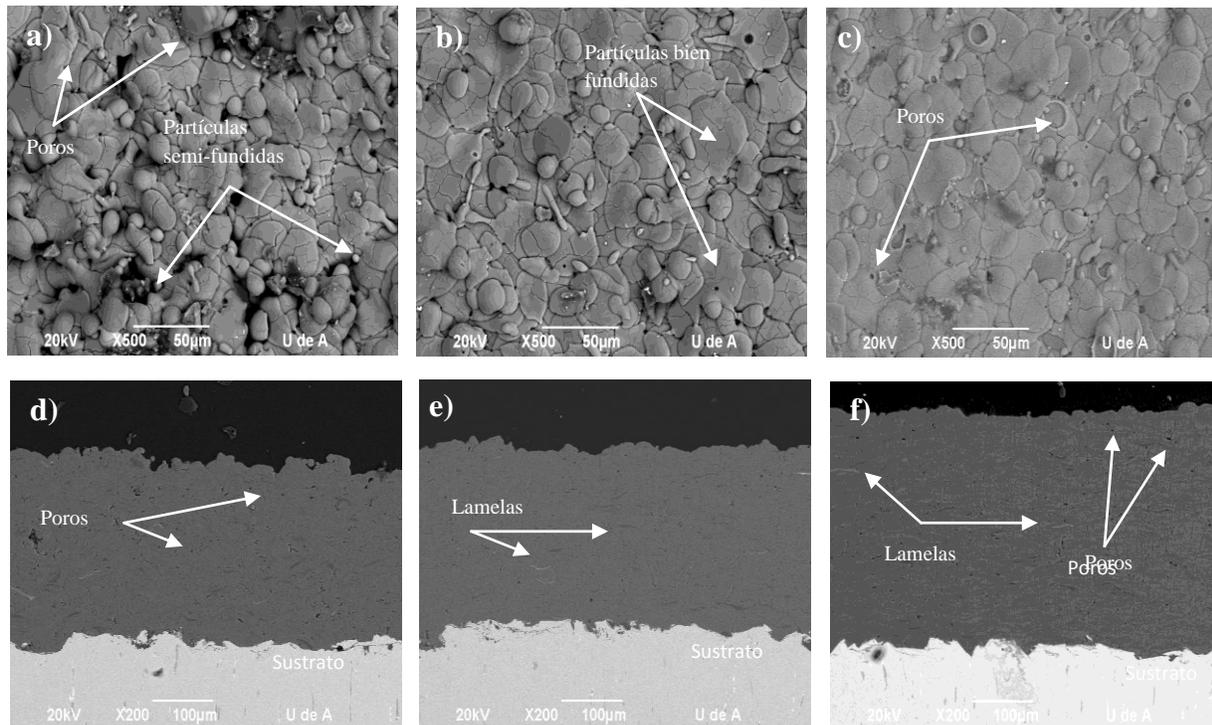


Figura 3. Sección transversal y superficial de recubrimientos Al_2O_3 -43% TiO_2 con los diferentes parámetros de proyección. (a)(d) proyección 1, (b)(e) proyección 2, (c)(f) proyección 3.

4 CONCLUSIONES

Se depositaron recubrimientos mediante proyección térmica por combustión oxiacetilénica con el fin de ser utilizados en condiciones de alta temperatura o de choque térmico. Se realizaron 6 proyecciones de las que los parámetros más adecuados para el mejoramiento en la estructura de los recubrimientos de Al_2O_3 -43% TiO_2 fueron la llama súper-oxidante con una relación volumétrica del flujo de gases de $1\text{C}_2\text{H}_2/4.2\text{O}_2$, aplicando una presión de 30 psi con un Roto-jet RPA3.

En la proyección 3 hubo un aumento en la porosidad con respecto a la proyección 2 y esto puede deberse al atrapamiento de gases, que al tratar de salir de los recubrimientos se genera una cierta cantidad de poros.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Universidad de Antioquia por brindarnos la infraestructura del lugar y al grupo de investigación GIMACYR por su acompañamiento, préstamo de equipos y suministro de materias primas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. J.O. Montoya, A. G. González, M.E. López y F. Vargas, “Estudio de la morfología y de la composición química de recubrimientos de zirconia-alúmina y alúmina-óxido de titanio aplicados por proyección térmica sometidos a oxidación a alta temperatura”, IBEROMET XI X CONAMET/SAM , del Mar, CHILE pp. 1-10, 2 al 5 de Noviembre de 2010.
2. C.A. Botero, E. Jiménez-Piqué , C. Baudín , N. Salán , L. Llanes, “Nanoindentation of Al_2O_3/Al_2TiO_5 composites: Small-scale mechanical properties of Al_2TiO_5 as reinforcement phas”, sciencedirect , vol 32, pp3723-3731.
3. H.benger,A.sayir, “Directional solidification of $Al_2O_3- Al_2TiO_5$ system”, Journal of the European ceramic society, vol 28, pp. 2411- 2419,2008.
4. Vargas.F . “Élaboration de couches céramiques épaisses à structures micrométriques et anométriques ar projections thermiques pour des applications tribologiques”,Université de Limoges,faculté des sciences et techniques, pp115,93, 2010.
5. Iwazsko.J, “Surface remelting treatment of plasma-sprayed $Al_2O_3+13wt.\% TiO_2$ coating”,sciencedirect, pp 3443-3451, 2006.
6. Standard ASTM E1920-03, Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings.
7. Standard ASTM E2109. Standard Test Methods for Determining Area Percentage Porosity in Thermal Sprayed Coatings.