

Recubrimientos Superficiales Aplicados mediante el Proceso de Plasma

C. Lasorsa^{1,2,*}, P. Pineda Ramos², K. Pierpauli^{1,2}, C. Di Stefano³

¹ Gcia. Invest. y Aplic. No Nucleares. Comisión Nacional de Energía Atómica.

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Buenos Aires.

³ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Buenos Aires.

*e-mail de autor de correspondencia: lasorsa@cnea.gov.ar

Resumen - La necesidad de nuevos materiales con propiedades funcionales muy específicas y las herramientas para su conformación mecánica han encarecido enormemente muchos procesos de mecanizado y el costo de las piezas terminadas. Los recubrimientos superficiales permiten la obtención de las propiedades mecánicas requeridas sobre un material de base de bajo costo y fácil mecanizado. Los procesos de recubrimientos por plasma producen mejoras en el comportamiento de las superficies y tienen, entre otras, las ventajas siguientes:

- Permiten obtener resultados de calidad superior y en muchos casos propiedades únicas frente a otras tecnologías convencionales.
- No son contaminantes; hacen uso eficiente de la energía; son aplicables a mayor cantidad de materiales y tienen máxima seguridad operativa.
- Se aplican al componente, herramienta o pieza cuando ya están terminados, es decir, forman parte de la última etapa de fabricación y, por lo tanto, influyen directamente sobre elementos que ya tienen alto valor agregado.

Palabras clave: recubrimientos, corrosión, dureza, PECVD, herramientas de corte, plasma

Applied Surface Coatings Using Plasma Process

Abstract - The need for new materials with very specific functional properties, and the tools for your mechanical conformation, have risen greatly the cost of the machining processes, and the cost of the finished parts.

Surface coatings, allow to obtain the required mechanical properties, on a base material of low cost and easy machining. The plasma coating processes produce improved behavior surfaces and have among others the following advantages:

- Allow higher quality results, and in many cases unique properties compared to other conventional technologies.
- There are not contaminants; make efficient use of energy apply to more materials and have high operational safety.
- They apply to the component, tool or part of piece when they are finished, namely, that is part of the final manufacturing step, and therefore directly influence elements that already have a high added value.

Keywords: coatings, corrosion, toughness, PECVD, cutting tools, plasma

INTRODUCCIÓN

Estos recubrimientos comprenden procesos físico-químicos en superficie que en algunos casos no admiten otra forma de elaboración que no sea por plasma. El proceso se realiza en reactores herméticos a alto vacío. El control preciso de los reactivos de proceso y su absoluta independencia de contaminación ambiental posibilitan que estos recubrimientos y muchos otros elementos nanoestructurados así obtenidos resulten de extrema pureza y estructura perfecta, siendo éstos requisitos indispensables en microelectrónica y nanotecnología así como en otras áreas altamente especializadas. En esta presentación se exponen los trabajos realizados en nuestro laboratorio, la descripción de los equipos utilizados y una síntesis somera del proceso: sus variables, los resultados obtenidos y las referencias de trabajos publicados sobre todos los productos mencionados.

Conceptos generales

Se puede decir desde el punto de vista térmico que un plasma producido por una descarga eléctrica en un gas a baja presión está formado por dos fluidos diferentes: uno, compuesto por los electrones libres que tiene propiedades similares a las de un gas de alta temperatura en tanto que el otro, compuesto por los elementos pesados, se comporta como un fluido de baja temperatura. Por su alta temperatura (~1-10 eV) los electrones transfieren energía interna a las especies pesadas del plasma activándolas y permitiéndoles reaccionar químicamente. Como resultado se producen reacciones químicas en fase gaseosa y, en particular, sobre la superficie de un sustrato inmerso en el plasma por deposición de especies activadas lo que da lugar al crecimiento de un recubrimiento. Ésta constituye la base de los procesos reactivos de deposición por plasma.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso consiste en aplicar un campo eléctrico en el interior de la cámara generando la ionización de los gases (plasma) lo que permite aumentar su reactividad química. Dicho campo puede ser de CC o de CA y muchas veces la aplicación de un campo de radiofrecuencia (13,56MHz).

Los recubrimientos por PECVD se realizan a partir de un compuesto químico denominado precursor. Éste es portador de uno o más elementos formadores del recubrimiento (Si, Ti etc.). El compuesto precursor se disocia en una cámara a distintas temperaturas y libera el compuesto a depositar en el seno de una atmósfera controlada. La misma es generada por la circulación de un gas de proceso (por ej. O₂, CH₄, N₂, etc.). El elemento liberado por el precursor reacciona con los iones que son el resultado de la descomposición del gas dando lugar a una reacción química en la superficie del sustrato; el resultado es la síntesis del compuesto buscado en forma de recubrimiento [1].

Esta técnica permite la utilización de varios tipos de sustratos de diferentes materiales y con distintas geometrías. También la ionización del o los compuestos introducidos en la cámara del reactor y su posterior recombinación permiten la síntesis de nanoestructuras como por ejemplo recubrimientos de características especiales, nanotubos de carbono, nanoesferas del mismo material, etc.

Para la producción de los recubrimientos que a continuación se describen se utilizaron dos reactores tipo PE-CVD "Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition". Uno con una fuente de radio frecuencia de 13.56 MHz y 1200 W de potencia que fue usado para el recubrimiento de dióxido de silicio Si_xO_yC_z, DLC, Si₃N₄, y nanotubos de carbono. El segundo es un equipo de descarga continua, (glow discharge) con una potencia de proceso de 1000W que fue usado para los restantes recubrimientos, Si₃N₄, SiC, TiC y Si_xO_yC_z. La cámara de vacío en ambos reactores está formada por un tubo de vidrio pírex de 100 cm de longitud y 15 cm de diámetro interno.

Los equipos de PECVD se esquematizan en las Figs. 1 y 2.

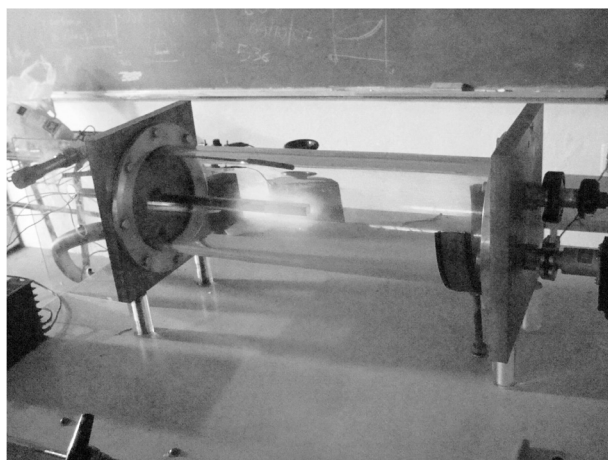
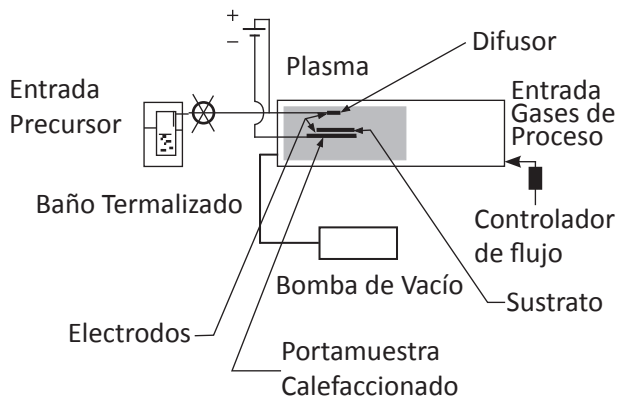


Figura 1 - Esquema y fotografía de reactor de plasma PECVD de corriente continua (glow discharge)

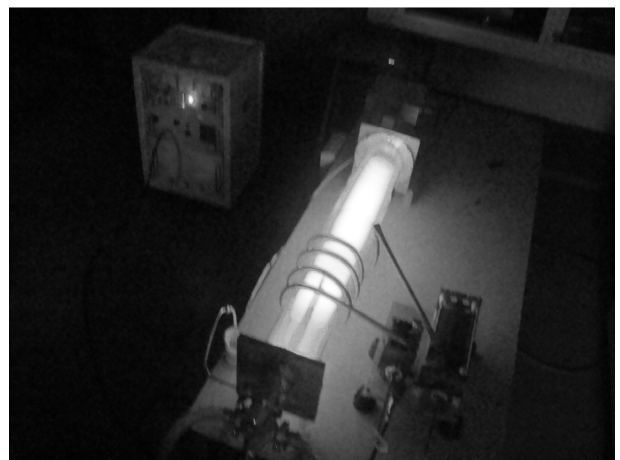
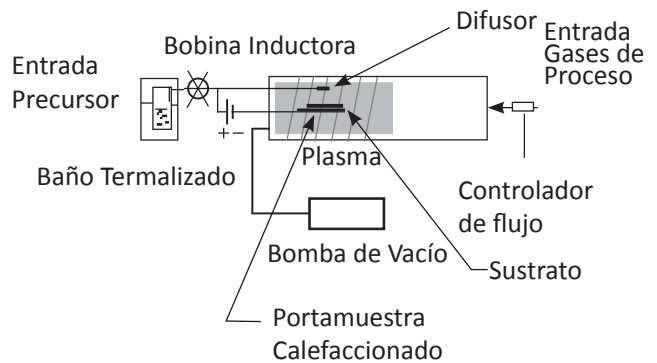


Figura 2 - Esquema y fotografía de reactor de plasma PECVD de Radio frecuencia (RF)

Características propias del proceso

La formación del plasma implica la disociación de las especies componentes del mismo y su activación química bajo la forma de iones destruyéndose los polímeros originales y recombinándose en las especies formadoras del recubrimiento, generalmente en una estructura más densa y compacta, así como en la formación de redes cristalinas de conformación cuasi perfecta en el caso de materiales cristalinos. Tales características de formación permiten obtener materiales de mayor dureza y mayor resistencia a la corrosión por su gran compacidad como de mejor respuesta en microelectrónica y nanotecnología por la perfección de las estructuras obtenidas. Los recubrimientos así logrados difieren totalmente de la polimerización convencional y, por lo tanto, sus características y prestaciones. A modo de ejemplo se presenta el esquema de la Fig. 3 donde se representan los resultados obtenidos por las diferentes técnicas de formación.

EJEMPLO DE LOS RESULTADOS MÁS ILUSTRATIVOS OBTENIDOS Y SU USO

Recubrimientos realizados para la industria óptica

Recubrimientos duros transparentes sobre sustratos orgánicos para uso óptico, a base de dióxido de silicio (SiO₂) [2], [3], [4].

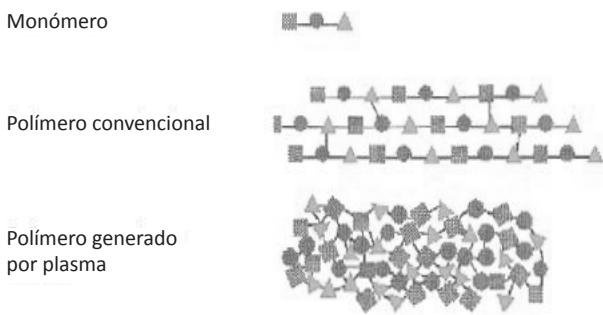


Figura 3 - Representación esquemática de diferentes tipos de recubrimientos

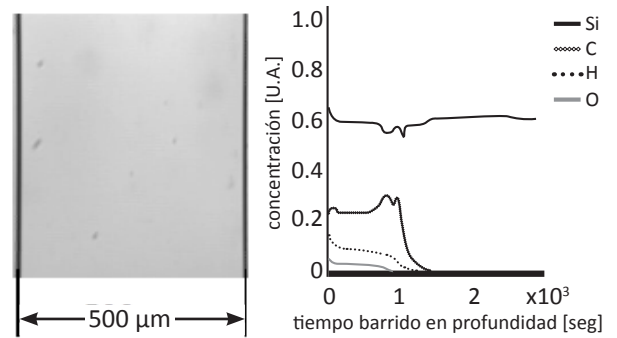


Figura 4 - Micrografía y composición transversal del recubrimiento

Recubrimientos realizados para la industria metalmecánica

Interfase de protección anticorrosiva de $Si_xO_yC_z$ sobre sustratos metálicos.
 Recubrimiento anticorrosivo de $Si_xO_yC_z$ sobre sustratos metálicos [3; 13].

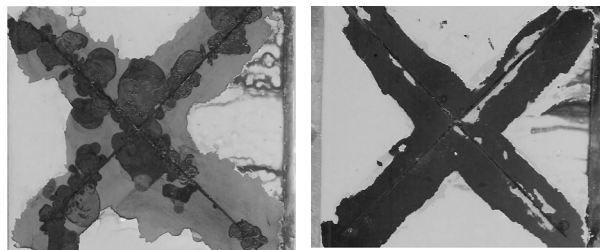


Figura 5 – 500 h de exposición epoxi 1000 h de exposición SiO_2 +epoxi en cámara de niebla salina

Recubrimiento de nitruro de silicio (Si_xN_y) sobre sustratos metálicos [15; 18].
 Recubrimiento de DLC depositado por plasma CVD en un acero inoxidable AISI 420 nitrurado [28].
 Recubrimientos símil diamante para uso en herramientas de corte y superficies de alta dureza.

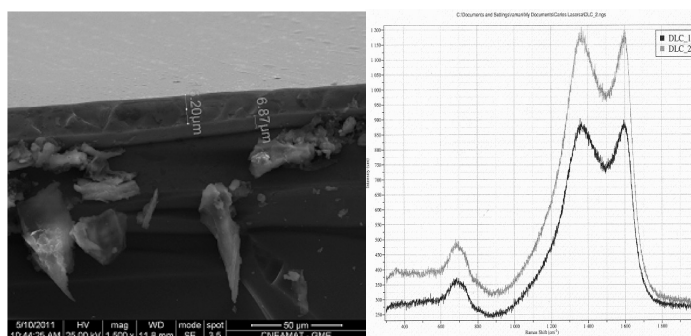


Figura 6 - Micrografía SEM de una muestra de acero M2 y Espectro Raman de una muestra de M2 recubierta con recubrimiento de $Si_xO_yC_z$ (interfase) y una segunda con amorfo grafitizado (DLC_2). La curva inferior capa de DLC grafitizado corresponde a la muestra de Si con el mismo recubrimiento pero de menor espesor

Recubrimiento de carburo de silicio (SiC) de alta dureza para herramientas de corte, sobre sustratos metálicos [42; 44; 46].

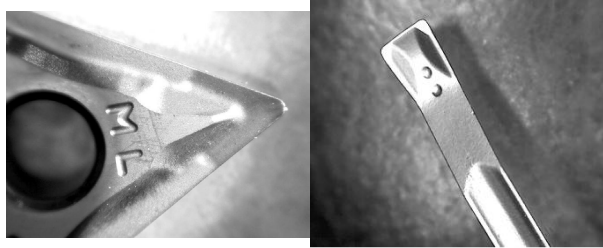


Figura 7 - Insertos recubiertos con carburo de silicio

Recubrimientos realizados para uso en nanotecnología

Recubrimiento de nitruro de silicio (Si_xN_y) para uso en microcalefactores para sensores [15; 18].
Fabricación de nanotubos de carbono y nanoestructuras [23; 45].

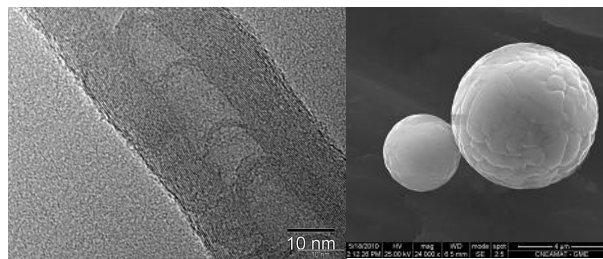


Figura 8 - Nanotubo de Nanoesfera de carbono carbono

Recubrimientos realizados para uso en Energías alternativas

Recubrimiento de carburo de titanio (TiC) para uso en convertidores térmicos de la energía solar [19].

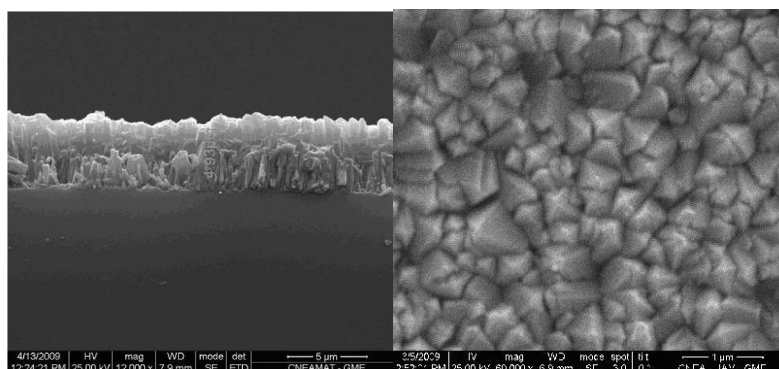


Figura 9 - Micrografía superficial y de corte de un recubrimiento de TiC

Elaboración de superficies absorbedoras con recubrimientos refractarios para aplicaciones a altas temperaturas.

Recubrimientos realizados para uso en medicina y biología

Modificación de la hidrofiliidad del biopolímero PHBV mediante tratamiento superficial con plasma [17] (Fig. 10).

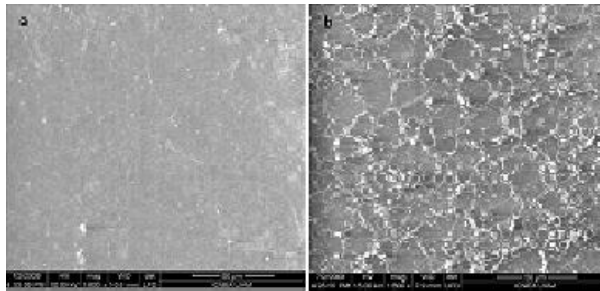


Figura 10 - Superficie de PHBV moldeado por compresión tratado con plasma de oxígeno (a) y de aire con bias de +100V (b)

RESULTADOS

De las investigaciones realizadas surgen las siguientes publicaciones y presentaciones:

[1] Rodrigo, Lasorsa, Shimosuma, Álvarez, Perillo, “Dominant Plasma Species in TiN films Formation by Plasma CVD”, publicado en Journal of Physics D: Applied Physics (1996).

[2] Lasorsa, Morando, Rodrigo, “Effects of plasma oxygen concentration on the formation SiO_xC_y films by low temperature PECVD” - Surface and Coatings Technology 194, (2005).

[3] Lasorsa, Perillo, Morando, “Protective Si_xO_yC_z Coating on Steel Prepared by Plasma Activated Chemical Vapour Deposition”, Surface and Coatings Technology 204, (2010).

[4] Lerner, Pérez, Toro, Lasorsa, Rinaldi, Boselli, Lamagna, “Generation of cavities in silicon wafers by laser ablation using silicon nitride as sacrificial layer”, Reference: APSUSC22679, Journal title: Applied Surface Science.

[5] Online publication complete: 6-DEC-2011, DOI information: 10.1016/j.apsusc.2011.11.007 elsevier.

[6] Lasorsa, Pérez, Lerner, Toper, Versaci, Lamagna & Boselli, “Optimization of a Carbon Nanotubes Manufacturing Process by the Technique of PECVD”. Procedia Materials Science 1, 558-563, (2012).

[7] Toro, Lasorsa, Sánchez Ake, Villagran-Muniz & Rinaldi, “New Method for Nanosecond Laser Machining”. Journal of Laser Micro Nanoengineering, 7(3), 269-273, (2012).

[8] Lerner, Kler, Ordóñez Arias, Pérez, Lasorsa and Berli, “A Circular microchannel with integrated electrodes for DNA electrophoresis”. Microsystem Technologies, 1-10, (2012).

[9] Fernández, Hipohorski, Othani, Lasorsa, Álvarez, Vertanessian, “Adherencia de Recubrimientos de TiN sobre Acero”, Jornadas SAM/CONAMET, 11-14, Jujuy, Argentina, (Junio 1996).

[10] Álvarez, Lasorsa, Perillo, Rodrigo, Urao, Vertanessian, “Nitruración Asistida por Plasma en Acero M2, Reunion 1996 Asociación Física Argentina, Tandil (1996).

[11] Lasorsa, Morando, Oviedo, “Recubrimientos duros transparentes sobre sustratos orgánicos” SAM/CONAMET –Mar del Plata- Argentina, (2005).

[12] Lasorsa, Versaci, Perillo, “Uso de Precursores Organosiliconados para Recubrimientos Transparentes sobre Sustratos Orgánicos por Plasma CVD”. CONAMET/SAM – Santiago de Chile- Chile, (2006).

- [13] Perillo, Lasorsa, Versaci, “Recubrimiento Anticorrosivo de $Si_xO_yC_z$ sobre Sustratos Metálicos Aplicados Mediante la Técnica de Plasma CVD”, CONAMET/SAM –Santiago de Chile- Chile, (2006).
- [14] Lasorsa, Perillo, Versaci, “Recubrimiento Anticorrosivo de $Si_xO_yC_z$ sobre Sustratos Metálicos Aplicados Mediante la Técnica de Plasma CVD”, SAM/CONAMET2007- San Nicolas- Argentina, (2007).
- [15] Lasorsa, Giménez, Arrieta, “Recubrimiento de Nitruro de Silicio (Si_xN_y) para uso en Microcalefactores para Sensores”. CONAMET/SAM. Santiago de Chile- CHILE, (2008).
- [16] Lasorsa, Dilalla, Perillo, Morando, Versaci, Lucio, “Recubrimiento de Oxinitruro de Titanio (TiN_xO_y) para uso en Conversores Térmicos de la Energía Solar”. CONAMET/SAM. Santiago de Chile- CHILE, (2008).
- [17] Gibson, Lasorsa, Hermida, “Modificación de la hidrofiliidad del Biopolímero PHBV Mediante Tratamiento Superficial con Plasma”. CONAMET/SAM. Santiago de Chile- CHILE, (2008).
- [18] Lasorsa, Perillo, Versaci, Morando, Lucio, “Recubrimiento de Nitruro de Silicio (Si_xN_y) Obtenido por Dos Técnicas Diferentes de Plasma CVD”. Congreso SAM/CONAMET, Bs. As. Argentina (2009).
- [19] Lasorsa, Dilalla, Perillo, Morando, Versaci, Lucio, “Recubrimiento de Carburo de Titanio para uso en Conversores Térmicos de la Energía Solar”. Congreso SAM/CONAMET Bs. As. Argentina, (2009).
- [20] Lasorsa, Cabo, Laxague, Brühl, “Análisis del Comportamiento de Recubrimientos Duros Anticorrosivos Obtenidos con Técnicas Asistidas por Plasma”, Congreso SAM/CONAMET Bs. As. Argentina, (2009).
- [21] Lasorsa, Pérez, Tropper, Lamagna, Boselli, “Manufacture of Carbon Nanotubes by the Technique of Plasma CVD”. (NN107th International Conference on Nanosciences). 11-14, Alexandros Palace Hotel, Ouranopolis Halkidiki, Greece, July 2010.
- [22] Di lalla, Lasorsa, Morando, “Elaboración de Superficies Absorbedoras con Recubrimientos Refractorios para Aplicaciones a Altas Temperaturas. ASADES. Salta. Argentina.
- [23] Lasorsa, Pérez, Tropper, Lamagna, Boselli, Versaci, “Fabricación de Nanotubos de Carbono Mediante la Técnica de Plasma CVD con Sistema de Calefacción Interna”. XI IBEROMET CONAMET/SAM. Viña de Mar, CHILE, (2010).
- [24] Lasorsa, Lucio, Versaci, Morando, Cabo, Pineda Ramos, “Interfase de Protección Anticorrosiva de $Si_xO_yC_z$ Aplicado Mediante la Técnica de Plasma CVD”. XI IBEROMET CONAMET/SAM. Viña de Mar, CHILE, (2010).
- [25] Dalibón, García, Cimetta, Charadia, Lasorsa y Brühl, “Estructura y Propiedades de un Recubrimiento DLC Depositado por Plasma CVD en un Acero Ioxidable AISI 420 Nitruados”. XI IBEROMET CONAMET/SAM. Viña de Mar, CHILE, (2010).
- [26] Di lalla, Lasorsa, Morando, Morales Volosín, Laferrara, “Elaboración de Recubrimientos Selectivos de Si_3N_4 por PECVD para uso Solar”. XI IBEROMET CONAMET/SAM. Viña de Mar, CHILE, (2010).
- [27] Lasorsa, Pérez, Tropper, Versaci, Lamagna, Boselli, “Optimización de un Proceso de Fabricación de Nanotubos de Carbono Mediante la Técnica de Plasma PECVD”. 11° Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales SAM/CONAMET, (2011).
- [28] Lasorsa, Pineda Ramos, Volosín, Versaci, Morando, Lamagna, Boselli, “Recubrimiento Duro Símil Diamante (DLC) sobre Sustratos Metálicos y de Silicio Aplicados Mediante la Técnica de Plasma CVD”. Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales SAM / CONAMET. Rosario, Argentina, (18 al 21 de Octubre de 2011).
- [29] Di Lalla, Lasorsa, Pineda Ramos, Volosín, Morando, “Depósitos de Películas Transparentes y Conductoras de ZnO por Plasma CVD”. Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales SAM / CONAMET. Rosario, Argentina, (18 al 21 de Octubre de 2011).
- [30] Dalibón, Lasorsa, Cabo, Cimetta, García, Brühl, “Propiedades Tribológicas de un Acero Endurecible por Precipitación Nitruado y Recubierto”. Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales SAM / CONAMET.
- [31] Lasorsa, Versaci, Pineda Ramos, Volosín, Lamagna, Boselli, “Recubrimientos con Fines Industriales Producidos Mediante la Técnica de Plasma CVD”. II Reunión Conjunta SUF-AFA, Montevideo, Uruguay.
- [32] Ortiz, Lasorsa, Ortiz, Perillo, Boggio, Rodríguez, “Diseño, Cálculo, Simulación y Evaluación de una

Fuente de Ionización por Descarga Corona. II Reunión Conjunta SUF-AFA, Montevideo, Uruguay.

[33] Di lalla, Lasorsa, Pineda Ramos, Volosín, “Elaboración de Superficies Absorbadoras para Aplicaciones a Altas Temperaturas a Partir de Recubrimientos de Si_3N_4 ”. XXXIV Reunión de Trabajo de Asociación ASADES. Santiago del Estero, (2011).

[34] Versaci, Lasorsa, Pineda Ramos, Volosín, Lamagna, Boselli, “Characterization of Carbon Nanotubes Manufacture by the Technique of Plasma CVD”. XI Congreso Interamericano de Microscopía – CIASEM, Mérida, Yucatán, México, (2011.).

[35] Pérez, Lerner, Toro, Lasorsa, Rinaldi, Boselli and Lamagna, “Fabrication of Silicon Microarray by Laser Micromachining and Wet Etching”

[36] Toro, Lerner, Pérez, Lasorsa, Rinaldi, Boselli and Lamagna, “A new combined method to make microcavities in Silicon wafer (100)”. The 12th International Symposium on Laser Precision Microfabrication. Proceedings of LPM - the 12th International Symposium on Laser Precision Microfabrication. Takamatsu, Japan, (2011).

[37] Toro, Lasorsa and Rinaldi, “New method for nanosecond laser machining”. The 12th International Symposium on Laser Precision Microfabrication. Proceedings of LPM - the 12th International Symposium on Laser Precision Microfabrication. Takamatsu, Japan, (2011).

[38] Lasorsa, Versaci, Lucio, Pineda Ramos, Volosín, de la Rosa, Laferrara, “Ingeniería de Procesos por Técnica de Plasma”. Programa de INGENIERÍA DE PROCESOS Y DE PRODUCTOS. Universidad Tecnológica Nacional. II JORNADA.

[39] Lasorsa, Pérez, Tropper, Versaci, Lamagna, Boselli, “Técnica de Procesamiento por Plasma CVD y su Aplicación en Nanotecnología”. XI Encuentro de Superficies y Materiales Nanoestructurados 2011. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. Centro Atómico Constituyentes. Argentina, (2012).

[40] Lasorsa, Pineda Ramos, Versaci, Morando, Laferrara, de la Rosa, Pierpauli, Lamagna, Boselli, “Recubrimiento Duro de Carburo de Silicio sobre Sustratos Metálicos y de Silicio Aplicados Mediante la Técnica de Plasma CVD”. Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales CONAMET/SAM Viña de Mar Chile, (2012).

[41] Di Lalla, Lasorsa, Pineda Ramos, “Elaboración Mediante PCVD de Películas de TiO_2 para uso en Fotocatálisis”. Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales CONAMET /SAM Viña de Mar Chile, (2012).

[42] Lasorsa, Pineda Ramos, Versaci, Trilleros, Huerta, Diestefano, Guerrero Aslla, “Recubrimiento de Carburo de Silicio Realizado por Técnica de Plasma CVD”. XIII Encuentro de Superficies y materiales Nanoestructurados. INTEMA. Mar del Plata. Argentina, (2013).

[43] Vite-Torres, Laguna-Camacho, Baldenebro-Castillo, Gallardo-Hernández, Lasorsa, Villagrán-Villegas, “Study of solid particle erosion on AISI D2 using angular silicon carbide and steel round grit particles”. 3rd International Tribology Symposium of IFToMM* ITS2013 – Luleå. Division of Machine Elements Luleå University of Technology Luleå, Sweden, (2013).

[44] Lasorsa, Pineda Ramos, Versaci, Trilleros, Huerta, “Ejecución y Caracterización de Recubrimientos Duros de Carburo de Silicio sobre Sustratos Metálicos Aplicados Mediante la Técnica de Plasma CVD. Segundo Encuentro Internacional de Investigadores en Materiales y Tecnología del Plasma - 2nd IMRMPT. Bucaramanga, Colombia, (2013).

[45] Versaci, Lasorsa, Pineda Ramos, “Caracterización de Nanotubos de Carbono Fabricados Mediante la Técnica de Plasma CVD. Segundo Encuentro Internacional de Investigadores en Materiales y Tecnología del Plasma - 2nd IMRMPT. 1^o premio poster. Bucaramanga, Colombia, (2013).

[46] Lasorsa, Pineda Ramos, Trilleros, Huerta, Di Stefano, Guerrero Aslla, Versaci. “Propiedades de un recubrimiento de carburo de silicio producido mediante la técnica de Plasma PECVD”. 13er Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y materiales 2013 - SAM/CONAMET. Pág. 87. Iguazú (2013).

[47] Pérez, Lerner, Kler, Sacco, Diéguez, Ordoñez Arias, Berli, Lasorsa, «Desarrollo de un canal circular con electrodos integrados para electroforesis de ADN ». 13^{er} Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y materiales 2013- SAM/CONAMET. Pág. 113. Iguazú (2013).

[48] Dalibón, Moscatelli, Simison, Escalada, Cabo, Lasorsa y Brühl, “Comportamiento a la Corrosión

de un Acero Endurecible por Precipitación Nitrurado y Recubierto con SiOxNy. 13er Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y materiales 2013- SAM/CONAMET. Pág. 36. Iguazú (2013).

[49] Di Stefano, Lasorsa, Ramos, “Estudio del Efecto Protector sobre Aleaciones de Aluminio en Medios Agresivos Conteniendo Iones Cloruro”. 13er Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y materiales 2013- SAM/CONAMET. Pág. 83. Iguazú 2013.

Aclaración

Se enumeran algunas referencias en particular en virtud que los trabajos expuestos en “resultados”, superan ampliamente el número de ejemplos expuestos para explicar esta técnica y sus alcances. Por lo tanto es más útil para la comprensión del trabajo exponer la totalidad de lo realizado y permitir que el lector elija, entre los muchos títulos expuestos, aquellos que le sea más interesante consultar dado que todos, por haber sido presentaciones sujetas a referato, fueron arbitrados respecto a su contenido y se encuentran al alcance de cualquier interesado. La finalidad del presente trabajo es informativa, poniendo al alcance del lector una somera descripción de la técnica y sus posibilidades, así como la factibilidad de su implementación.

CONCLUSIONES

Se pudo diseñar y construir dos reactores capaces de producir recubrimientos especiales de última generación, de gran importancia para la industria.

Se optimizaron los parámetros del proceso a efectos de lograr recubrimientos de muy buena calidad. Todos los trabajos mencionados precedentemente fueron publicados y/o presentados en congresos. La técnica descrita no implica complicados procesos de ejecución y puede ser implementada en nuestro país.

Una vez optimizado el sistema es factible de ser automatizado. En contrapartida, es necesario considerar que el costo inicial de equipamiento es relativamente alto. Aun así la relación costo beneficio resulta muy conveniente.

MENCIÓN ESPECIAL

Los trabajos expuestos como ejemplo, más los que se consignan en “resultados”, fueron realizados por el equipo de investigadores del Laboratorio de Procesamiento por Plasma de la UTN FRH.

Equipo de investigadores del Laboratorio de Procesamiento por Plasma UTN FRH:

Dr. Raúl Versaci, Mg. Pedro Pineda Ramos, Ing. Roberto Lucio, Ing. Fernando de la Rosa, Srta. Rocio Laferrara, Lic. Sergio Woloj, Mg. Javier Fava, Ing. Karina Pierpauli, Dra. Helida Hermida, Lic. Nicolás Dillalla, Ing. Susana Abete, Dr. Carlos Lasorsa.