



La ingeniería de superficies como herramienta para la mejora de los materiales¹

Arturo Barba Pingarrón,² Jesús Rafael González Parra,²
Raúl Gilberto Valdez Navarro,² Enrique Salas Reyes,³
Arturo Rodríguez Gómez⁴

Resumen. La ingeniería de superficies abarca una serie de tecnologías con las que se puede modificar la superficie de los materiales para mejorar su rendimiento y alargar la vida de componentes y equipos. En este escrito se relatan algunos ejemplos de tecnologías de superficie desarrollados en el Centro de Ingeniería de

Superficies y Acabados (CENISA), las ventajas que se han logrado al aplicarlas, en el comportamiento de materiales usuales en la industria, y la manera en que esta rama de la ingeniería y estos esfuerzos pueden aportar para lograr un país mejor y más justo.

Contexto

La superficie es una región especialmente sensible de los materiales, porque en ella ocurren las principales formas de deterioro de los propios materiales: la corrosión, el desgaste y la fatiga. Cada una de ellas provoca graves problemas en las

1 Proyecto PAPIIT IT101221: “Desarrollo de tecnologías alternativas de modificación de superficies para la mejora de materiales de potencial industrial”.

2 Facultad de Ingeniería. arturo.barba@ingenieria.unam.edu, jesus.gonzalez@ingenieria.unam.edu y raul.valdez@ingenieria.unam.edu

3 Facultad de Química. enriquesalas@comunidad.unam.mx

4 Instituto de Física. arodriguez@fisica.unam.mx



instalaciones industriales y representa gastos económicos muy elevados para los países.

Los esfuerzos de la ingeniería de superficies se orientan a la resolución de tales problemas, y a través del desarrollo de tecnologías que modifiquen las condiciones y resistencia de la superficie, esta disciplina puede incidir en el incremento de la vida útil de equipos e instalaciones, lo que constituye su propósito primordial.

Al mismo tiempo, en nuestros países se han ido produciendo materiales con mejores propiedades mecánicas y de otro tipo, para satisfacer las nuevas necesidades en campos como la producción de energía, la industria automotriz y aeroespacial, los biomateriales, entre otras, y, junto con ello se requiere protegerlos del medio ambiente en que se desenvuelven, a fin de disminuir los riesgos de deterioro y posibilitar la mejora de su rendimiento y el incremento de su vida útil.

El objetivo primordial de este texto es describir los trabajos desarrollados con este afán, con énfasis en la búsqueda de tecnologías de superficie que sean cada vez mas amigables con el medio ambiente y utilicen materiales con potencial industrial.

Ejemplo 1. Olvidémonos de cromar, niquelar químicamente puede ser una alternativa

Nuestros ojos están muy acostumbrados a ver nuestras llaves o nuestras regaderas con un acabado brillante y protector, lo que convencionalmente llamamos cromado, y así lo hemos usado durante décadas con resultados favorables. Desafortunadamente, el proceso con el que se elabora ese recubrimiento, de tan buenas propiedades y acabado, tiene un importante inconveniente. Resulta que en una de sus etapas se emplea una sustancia tóxica que puede causar daños importantes a personas y al medio ambiente. Ello ha provocado que en muchos países ya se hayan elaborado normas para evitar su uso, pero lamentablemente, aún no existe un proceso que pueda sustituir el cromado con éxito, por muy diferentes razones.

Muchos investigadores en el mundo buscan procesos que puedan conseguir un resultado que compita con el cromado en cuanto a propiedades y costos, pero con, al menos, un menor daño ambiental. Una de esas opciones es el niquelado químico, y en el CENISA se han desarrollado procedimientos para aplicarlo en una serie de materiales como aceros, aluminio y otros materiales de tipo ferroso

conocidos como fundiciones. Se han logrado resultados muy alentadores para dotarlos de mejor resistencia a la corrosión y al desgaste generando diversas variantes del proceso, por ejemplo, añadiendo partículas muy duras para que soporten mejor la fricción y el desgaste o calentando en un horno y aplicando diferentes ciclos térmicos a las piezas niqueladas para mejorar sus propiedades.

Ejemplo 2. Dando nueva vida a las fundiciones nodulares

Las fundiciones nodulares son aleaciones de hierro con carbono (en cantidades mayores a las que tiene un acero), que resultan atractivas para aplicaciones, sobre todo en industrias como la automotriz, la minera o la agrícola, porque presentan un adecuado balance entre buenas propiedades y un bajo costo, aunque con algunas limitantes. Una de ellas es que se oxidan con facilidad (y eso se puede aproximadamente imaginar si se piensa en una coladera de las calles de nuestras ciudades).

Ese tipo de materiales se puede mejorar aún más si se le aplican ciertos ciclos específicos de calentamiento y enfriamiento que pueden producir modificaciones internas del acomodo de sus átomos, con lo que originan una mejora relevante de sus propiedades; de manera tal que pueden competir ventajosamente con algunos aceros e incluso sustituir algunas aleaciones de aluminio (que son más costosas). No obstante, esta mejora en las fundiciones nodulares (lo que se conoce, por sus siglas en inglés, como ADI) no resulta suficiente para impedir que se sigan oxidando (corroyendo) con cierta facilidad.

Ahí es donde entra al rescate la ingeniería de superficies y donde quienes participamos en el CENISA y en otras entidades universitarias (alumnos y profesores) venimos trabajando para desarrollar diferentes tecnologías que permitan darles valor añadido a estos materiales y posibilitar, con ello, alargar la vida útil y aumentar la variedad de sus aplicaciones.

Un primer proceso desarrollado ha sido el mencionado niquelado químico, con el que se han mejorado de modo importante la resistencia a la corrosión y al desgaste de los materiales. Un segundo ejemplo ha sido, como en nuestras cocinas de casa, calentar la aleación y conseguir que se produzcan reacciones químicas a través de las cuales ha sido posible colocar compuestos muy duros en la superficie y estos han ayudado a incrementar su resistencia al desgaste.

En ese sentido, en el CENISA hemos «jugado» con átomos de los más pequeños que hay y los hemos colocado, mediante varios procedimientos, alrededor de las fundiciones nodulares y las fundiciones nodulares ADI. Los átomos con los que hacemos esas operaciones son los de carbono, nitrógeno y boro, y, como es sabido aquello de que nuestra sal de mesa es un cloruro de sodio, de manera semejante, los compuestos que se han formado como producto de esas reacciones son los carburos (del carbono), los nitruros (del nitrógeno) y los boruros (del boro), y los nombres que se han dado a los procedimientos que hemos desarrollado son los de difusión termorreactiva, nitruración por plasma y borurado. Aunque el borurado y la difusión termorreactiva requieren temperaturas elevadas y tiempos del orden de dos a cuatro horas, los hallazgos son muy esperanzadores. Una ventaja, en particular de la nitruración por plasma y la difusión termorreactiva, es que ambos procesos son más amigables con el medio ambiente que los procedimientos que se utilizan comúnmente en la industria.

Ejemplo 3. La energía solar en apoyo de la ingeniería de superficies

El sol nos brinda la oportunidad de contar con una fuente de energía renovable de alta calidad. En este proyecto hemos buscado aprovechar esa invitación y estamos aprendiendo a concentrarlo para usar la energía solar concentrada (ESC) con el objetivo de lograr modificaciones en la superficie de los materiales y obtener productos valiosos.

Un primer resultado en ese sentido es que fue posible recubrir un acero con una aleación a base de zinc (de hecho, una combinación de zinc, aluminio y cobre generada hace años en la UNAM, conocida como zinalco), fundiendo polvo de este material sobre el acero usando ESC, con lo que fue posible mejorar su resistencia a la corrosión.

Una segunda investigación permitió (diseñando y construyendo un equipo algo más sofisticado) obtener circuitos impresos alimentando su proceso de fabricación con energía solar. En relación con este procedimiento se ha solicitado una patente y se espera obtener una resolución positiva al respecto.

Ahora intentamos ir más allá y, por un lado, trabajamos en la idea de obtener recubrimientos de estaño usando ESC, y, por otro, en poder fabricar piezas mediante lo que se llama manufactura aditiva (que seguramente algunos conocen o han escuchado), donde se van colocando capas de material (por diversos pro-

cedimientos) y se va construyendo una pieza previamente diseñada por computadora, y en ese aspecto, nuestra intención es hacerlo utilizando energía solar concentrada.

Ejemplo 4. Colocando el zinc sobre una superficie por procesos alternos

El zinc es un metal importante cuando se piensa en proteger contra la corrosión recubriendo con este metal, sobre todo aceros comunes, y lo es aún más para México, es uno de los principales productores del mundo de este material y que, consideramos, debe buscar formas de aprovecharlo al máximo y darle valor añadido, pues está subutilizado.

La forma más común de dicho proceso es mediante lo que se llama galvanizado por inmersión en caliente (GIC), en el que una pieza de acero se introduce por un tiempo breve (segundos a minutos) en un baño de zinc fundido, colocado en una tina. Esta combinación funciona muy bien (por el precio bajo del acero y usualmente también del zinc, aunque siempre está sujeto a variaciones en los mercados) para muchas aplicaciones en ambientes poco agresivos, como pueden ser muchas ciudades del país, excepto quizá en las costas, por ejemplo.

Un enfoque que hemos buscado en el CENISA consiste en incrementar los usos del zinc, para no venderlo como mineral, sino zinc en productos terminados, lo cual significa mejores ingresos para el país. Un primer caso es el uso de una técnica parecida a la de pintar una pared, en el sentido del empleo de una pistola, con la diferencia de que dentro de la pistola ocurre una combustión (semejante a la que se usa en soldadura o a la combustión -con sus diferencias- en una hornilla de estufa) y con esa energía se funde el polvo o el alambre de zinc, o a veces de una combinación de 85 % de zinc y 15 % de aluminio, y con ayuda de una corriente de aire que impulse ese material fundido se envía al material a recubrir (sustrato). Cabe decir que para lograr que el recubrimiento se adhiera adecuadamente al sustrato se necesita hacer rugosa la superficie en alguna medida.

A eso se llama proyección térmica, lo hemos aplicado sobre las fundiciones nodulares y hemos conseguido una mejora importante en su resistencia a la corrosión. También la hemos empleado sobre un plástico (asunto que implica dificultades que en otra ocasión abordaremos) para conferirle un acabado diferente y darle algo de conductividad.

Una variante muy interesante que tuvimos oportunidad de experimentar en este proyecto es la de producir un recubrimiento de zinc prácticamente sin calentar la muestra en la pistola, para lo cual, eso sí, se requiere una pistola muy especial (solo hay una en el país, bastante costosa, por cierto) que envía el material con el que se va a recubrir aplicando una muy alta presión (eso puede recordar las clases de Física de la preparatoria) hasta lograr el recubrimiento. Así lo hizo una estudiante de doctorado que colocó el zinc sobre un acero y lo pudo dotar de una mejor resistencia a la corrosión.

Comentarios adicionales y finales

Esta breve descripción de algunos de los trabajos destacados realizados en el contexto de este proyecto, con la relevante participación de alumnos, profesores y colaboradores de otras entidades universitarias y con el apoyo del programa PAPIIT, se refleja en la realización de tesis de licenciatura y de posgrado, la producción y publicación de dos libros, un cuaderno de prácticas, varios capítulos de libro, diversos artículos en revistas nacionales y extranjeras, y se ha complementado con la organización de la Escuela Mexicana de Ingeniería de Superficies y la realización de dos cursos con profesores invitados de España y Bélgica.

No queremos dejar de señalar otras contribuciones que consideramos muy valiosas: en primera instancia, el estudio de la cal (que, por cierto, es un recubrimiento) en sitios arqueológicos de México, asunto muy interesante porque nos permite conocer acerca de las tecnologías que nuestras antiguas culturas fueron capaces de desarrollar. Por otro lado, la producción, mediante un proceso (parecido a tejer pero más sofisticado) denominado electrohilado, de materiales para posible uso en el cuerpo humano y de soldaduras sin plomo.

Este proyecto ha significado para nosotros la reunión de una serie de experiencias fascinantes e inspiradoras, en las que creemos firmemente y que nos impulsan a seguir buscando nuevas opciones y alternativas que permitan mejorar el rendimiento de materiales, modificando su superficie, con renovados enfoques orientados a hacer a los componentes y equipos más durables, con los menores precios posibles y cada vez más amigables con el medio ambiente. Quedan, pues, invitados a incorporarse y recorrer este luminoso sendero de la ingeniería de superficies.

Bibliografía recomendada

- Barba, Arturo, Rafael González, Dayi Agredo y Raúl Valdez. 2022. “Caracterización estructural de recubrimientos químicos Ni-P-Al₂O₃ tratados térmicamente”. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales* 9 (9): 59-64.
- Jaramillo, Alejandro, Armando Rojas, Sergio Quezada, Gabriel Jaramillo, Adrián Espinosa, Rafael González, Yolanda Flores, Arturo Barba. 2024. “Development of a novel concentrated solar-powered melt extrusion additive manufacturing system for producing Printed Circuit Assemblies”. *Results in Engineering*, núm. 24: 103204.
- Jaramillo, Alejandro, Armando Rojas, Sergio Quezada, Adrián Espinosa, Yolanda Flores, Omar Álvarez y Arturo Barba. 2023. “A proposal for additively manufacturing printed circuits by employing concentrated solar energy and a model for describing the process”. *Results in Engineering*, núm. 18: 101172.
- Martínez, Mónica, Javier Flores Cervantes y Arturo Barba. 2023. “Low pressure cold spray deposition window derived from a one dimensional analytical model”. *Coatings*, núm. 13: 1015.
- Meza, Gerardo, Héctor Cruz, Nicolás Ortiz, Rafael González, Raúl Valdez y Arturo Barba. “Surface modification of a ferritic ductile iron through plasma nitriding”. *DYNA* 88 (219): 203-209.
- Ortiz, Nicolás, Rafael González, Jhon Olaya, Dayi Agredo, Raúl Valdez, Ana Bolarín, Félix Sánchez, Helgi Waage y Arturo Barba. 2024. “Morphological and corrosion characterization of electroless Ni-P coatings deposited on ductile iron”. *Coatings*, núm. 14: 1317.
- Rojas, Armando, Yolanda Flores, Omar Álvarez, Alejandro Jaramillo y Arturo Barba. 2022. “Thermal Analysis using induction and concentrated solar energy for the heating of metals”. *Results in Engineering*, núm. 14: 100431.
- Valdez, Raúl, Ana Bolarín, Félix Sánchez, Dayi Agredo, Rafael González, Helgi Waage y Arturo Barba. 2022. “Microstructural and mechanical characterization of composite electroless Ni-P-WC coatings on ductile iron”. *Journal of Engineering Research* 2 (12): 1-13.
- González-Parra R., Bolarín-Miró A., Sánchez-de Jesús F., Valdez-Navarro R., Agredo-Díaz G., Ortiz-Godoy N., Cruz C., Barba-Pingarrón A. “Influence of Annealing Temperature on the Phase Transformations of Composite Electroless Ni-P-(SiC,Al₂O₃) Coatings”. *Journal of Applied Research and Technology*. Vol. 21 No 6, December 2025. p.607-616. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2025.23.6.2416>