

El plasma, una solución al deterioro de los metales

ANA KAREN GÁLVEZ-LARIOS, EDNA VÁZQUEZ-VÉLEZ Y HORACIO MARTÍNEZ-VALENCIA

Ana Karen Gálvez Larios estudió maestría y doctorado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMor). Realizó un postdoctorado en el Instituto de Ciencias Físicas de Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Actualmente, es Investigadora Asociada "C" del CIICAp. Edna Vázquez Vélez estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Química en la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Realizó un postdoctorado en el Centro Nacional de la Investigación Científica en Yves Sur-Yvette, Francia y actualmente trabaja en el Laboratorio de Espectroscopia del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM. Horacio Martínez Valencia estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Actualmente, es Investigador Titular "C", perteneciente al Grupo (FAMO) del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, y es miembro activo de la Academia de Ciencias de Morelos. Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

El Plasma: El cuarto estado de la materia

Pero ¿qué es el plasma? El plasma es uno de los cuatro estados de agregación de la materia, junto con los estados sólido, líquido y gaseoso (Figura 1). El plasma se presenta en el núcleo del Sol, las nebulosas, las estrellas, la ionósfera de la Tierra, los rayos y las auroras boreales. El plasma no solo existe como un fenómeno natural, también puede ser producido artificialmente al aplicar energía a un gas. Esto produce un estado altamente energético en el cual los átomos y moléculas del gas se excitan, ionizan o disocian, es decir, los electrones se desprenden de los átomos o moléculas, formando partículas cargadas o iones positivos y electrones libres con carga negativa. En el proceso de excitación los átomos o moléculas excitadas emiten luz brillante de varios colores rojo, púrpura, azul, verde, rosa y amarillo, dependiendo del gas ionizado. El plasma de gas helio (He) produce luz roja-púrpura, el gas neón (Ne) emite luz roja-naranja, el gas argón (Ar) luz azul-púrpura y el gas cloro (Cl_2) emite luz verde [1-2]. Por otro lado, en la disociación, los iones formados pueden también ser excitados o ionizados en el plasma. En nuestra vida cotidiana encontramos objetos en los que se utiliza el plasma artificial como son: televisores de pantalla plana, letreros de neón, lámparas fluorescentes, artefactos decorati-

vos conocidos como "esferas de plasma", soldadura de arco eléctrico, estela luminosa que se forma en la parte posterior de un cohete y en diversas áreas tecnológicas y científicas, como la desinfección y esterilización de superficies en la industria médica y alimentaria, la eliminación de contaminantes químicos y biológicos en aguas residuales y aire, desarrollo de recubrimientos para implantes quirúrgicos, la cicatrización de heridas y la mejora de la adherencia de recubrimientos, entre otros. En este trabajo hablaremos de una investigación científica del plasma destinada a proteger a los metales de su desgaste corrosivo. Además de los inhibidores de corrosión verdes [3], la tecnología de plasma es una alternativa innovadora en la protección de los metales, considerada amigable con el medio ambiente, por no generar residuos tóxicos.

Este proceso de corrosión no solo genera problemas económicos al momento de reparar o reemplazar un material, sino que, también puede ser una amenaza para la seguridad de diversos sectores industriales, como la petroquímica, la construcción, la aeronáutica, la automotriz, la energética, entre otros [4-6]. En este artículo, exploraremos como la

tecnología de plasma se ha convertido en una solución al deterioro de los metales. Existen diferentes tipos de tratamientos de plasma para mejorar las propiedades superficiales de metales y aleaciones, principalmente de los aceros, como la carburación, la nitruración y oxidación. Estos tratamientos implican la utilización de plasma generado a partir de un gas y mediante la aplicación de una descarga eléctrica, en condiciones de alta temperatura y baja presión. La nitruración por plasma implica la introducción de nitrógeno en la superficie del material, a través del plasma que se forma con gas nitrógeno o mezcla de gases como hidrogeno-nitrógeno (H_2-N_2) y una energía eléctrica de alto voltaje que acelera a las especies formadas por la disociación de estos gases, produciendo



FIGURA 2. LA oxidación, el ejemplo más conocido de corrosión. <https://store-hb.net/tag/metales/>

ESTADOS DE LA MATERIA

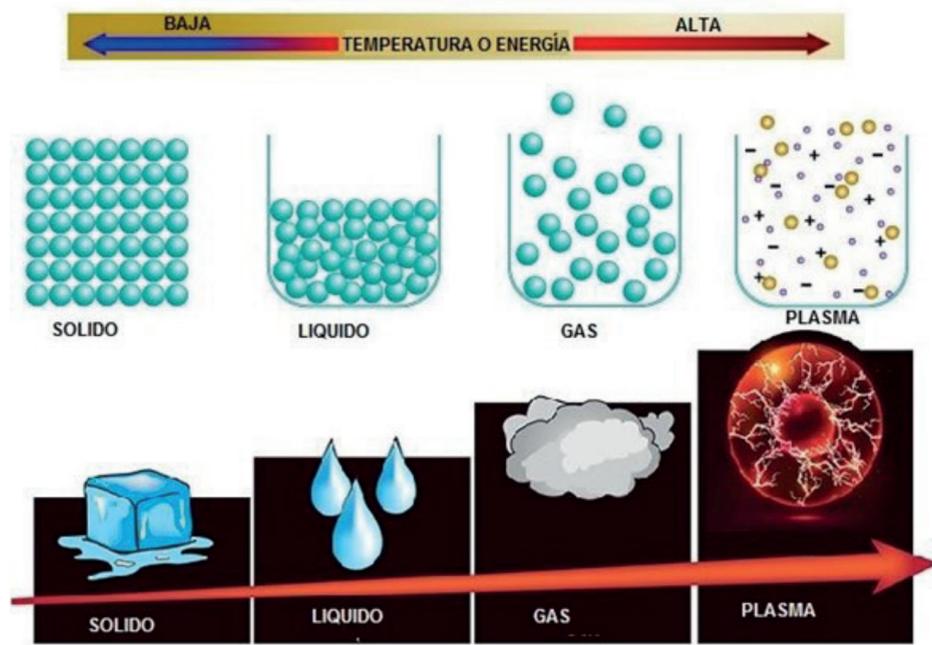


FIGURA 1. ESTADOS de la materia. El plasma es un gas ionizado que contiene iones positivos y electrones libres. <https://www.areciencias.com/fisica/plasma/>

¿Qué es la corrosión y cómo afecta nuestras vidas?

Todos los días interactuamos con objetos metálicos, que son fundamentales en nuestra vida cotidiana, desde nuestros vehículos hasta los dispositivos electrónicos que utilizamos. Lo que a veces pasamos por alto es que los objetos metálicos están en una batalla constante contra un fenómeno llamado corrosión. La corrosión, en términos científicos, se refiere a un proceso químico o electroquímico en el cual los materiales reaccionan con su entorno, causando su deterioro gradual. La oxidación es el ejemplo

de corrosión más conocido, donde el oxígeno, la humedad, los ácidos, las sales y otras sustancias pueden acelerar este proceso, causando daños estructurales y reduciendo la vida útil de diversos materiales, desde equipos metálicos a gran escala hasta nuestros dispositivos electrónicos. La corrosión también puede ocurrir en materiales que no sean metales, como cerámicos o polímeros, aunque en este caso, se utiliza el término "degradación" en lugar de "corrosión".

Tecnología de plasma para mitigar la corrosión

El potencial del plasma para combatir la corrosión radica en su capacidad para modificar la superficie de los materiales de manera controlada. Cuando un material es expuesto al plasma, las partículas con cargas positivas y negativas del gas ionizante interactúan con la superficie del material, modificando su composi-

ción química para formar una capa protectora uniforme que aumenta la resistencia del material contra la corrosión. Existen diferentes tipos de tratamientos de plasma para mejorar las propiedades superficiales de metales y aleaciones, principalmente de los aceros, como la carburación, la nitruración y oxidación. Estos tratamientos implican la utilización de plasma generado a partir de un gas y mediante la aplicación de una descarga eléctrica, en condiciones de alta temperatura y baja presión. La nitruración por plasma implica la introducción de nitrógeno en la superficie del material, a través del plasma que se forma con gas nitrógeno o mezcla de gases como hidrogeno-nitrógeno (H_2-N_2) y una energía eléctrica de alto voltaje que acelera a las especies formadas por la disociación de estos gases, produciendo

zado (Figura 3) [7].

La carburación se lleva a cabo mediante la generación de un plasma con una atmósfera de metano (CH_4) o etano (C_2H_6) o propano (C_3H_8). Los iones positivos de carbono (C^+) formados por el proceso de disociación del gas en el plasma son acelerados hacia la superficie del metal (cátodo), saturando la superficie, lo que ocasiona una difusión en la superficie del material, reaccionando con el metal y formando carburos metálicos, como Fe_3C en el caso del acero. Estos carburos, a su vez, mejoran significativamente la dureza y la resistencia a la corrosión del metal base. La capa de carburos que se obtiene normalmente es más gruesa que en la nitruración [8].

La oxidación por plasma emplea gas oxígeno (O_2) para la formación de una capa de óxido en la superficie del metal. De las especies formadas en el plasma de oxígeno, la más abundante es el oxígeno atómico (O), y los iones positivos (O^+) que interactúan con la superficie del metal y contribuyendo al proceso de difusión de estas especies para reaccionar con el metal y formar sus óxidos. Esta capa de óxido actúa como una barrera protectora que aísla el metal base de los agentes corrosivos. La capa de óxido puede variar según el metal, pero en general, es menos susceptible a la corrosión que el metal base. Por ejemplo, en el caso del acero, se forma óxido de hierro (Fe_2O_3), que es más resistente a la corrosión que el hierro puro [9]. Después de la nitruración y carburación por plasma se puede realizar una oxidación como tratamiento adicional. Estos tratamientos, han sido ampliamente utilizados debido a su capacidad de mejorar la resistencia a la corrosión al modificar la composición química de la superficie y formar compuestos que son altamente resistentes a la corrosión, protegiendo así el metal base de daños y deterioro causados a la exposición a entornos corrosivos.

Tipos de tecnologías de plasma

Existen algunas técnicas que utilizan plasma para mejorar las propie-

dades superficiales de los materiales, de manera menos agresiva con el medio ambiente en comparación con algunos métodos convencionales.

Recubrimiento por pulverización de plasma: es una técnica de pulverización térmica, en el cual un metal o un óxido refractario (material con capacidad de resistir temperaturas elevadas, por ejemplo, la cerámica) en forma de polvo se introduce en una llama de plasma a temperatura entre 10,000 a 15,000 °C para que las partículas se fundan y se depositen sobre la superficie de un material. Las partículas fundidas se enfrían y solidifican instantáneamente en el material formando una capa protectora resistente al desgaste y a la corrosión. Los gases que se utilizan principalmente para generar el plasma son Ar, He, H_2 y N_2 . El recubrimiento por pulverización de plasma puede tener un espesor de hasta 100 μm , por lo tanto, es comúnmente utilizado para recubrir implantes médicos con el fin de mejorar sus propiedades superficiales y de biocompatibilidad [10].

Descarga de barrera dieléctrica por plasma:

es una técnica, en la cual un gas a presión atmosférica entre dos electrodos metálicos separados por un material aislante (vidrio, polímero o cerámica) se ioniza para formar plasma cuando se aplica un alto voltaje. El principal gas utilizado es He, pero también se puede utilizar Ar, N_2 , H_2 y aire. La descarga de barrera dieléctrica por plasma aumenta la capacidad de los recubrimientos para adherirse a las superficies metálicas, mejorando su resistencia frente a la corrosión. También se utiliza en tecnologías de generación de ozono para purificación del aire y tratamiento de agua, la desinfección y esterilización de superficies en la industria médica y alimentaria [10].

Implantación y deposición de iones por inmersión en plasma:

es una técnica que consiste en introducir iones, como el nitrógeno y el oxígeno en la superficie de un material mediante la exposición al plasma a baja presión. Durante el

impacto de los iones presentes en el plasma contra la superficie del material, pueden ocurrir dos procesos: Implantación: los iones se incorporan en la estructura del material, alterando su composición química y propiedades.

Deposición: los iones pueden reaccionar químicamente con la superficie del material formando una capa protectora. La implantación y la deposición de iones por inmersión en plasma se utiliza para mejorar la dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión, adhesión de recubrimientos y otras propiedades superficiales de materiales metálicos y cerámicos [11].

Plasma a presión atmosférica: es una tecnología que funciona a temperatura ambiente y presión atmosférica. El proceso consiste en aplicar un alto voltaje a dos electrodos entre los cuales hay aire, N_2 y O_2 principalmente, a presión atmosférica. Esto provoca la excitación y la ionización de los átomos y moléculas del gas al interactuar con electrones de alta energía generados por la ionización del aire y tratamiento de agua, la desinfección y esterilización de superficies y recubrimiento para implantes quirúrgicos, sirve para la prevención y mitigación de la corrosión en diversos materiales metálicos. Puede ser una alternativa amigable con el medio ambiente en comparación con otros métodos de protección contra la corrosión que utilizan productos químicos tóxicos, como cromatos, nitratos, fosfatos y compuestos orgánicos volátiles, que contribuyen a la contaminación del aire y a la formación de smog. El costo energético de la tecnología de plasma es un factor importante por considerar. La generación de plasma puede requerir un suministro significativo de energía eléctrica y este costo debe compararse con los beneficios obtenidos. En algunas aplicaciones, como la fusión nuclear controlada,

dores en los estudios y experimentos, es probable que esta tecnología evolucione en un futuro cercano y se aplique de manera amplia y confiable en diversas industrias para proteger y prolongar la vida útil de estructuras y equipos o en situaciones donde la corrosión es un problema persistente. La tecnología del plasma en la lucha contra la corrosión tiene el potencial de generar efectos positivos en términos económicos, ambientales y de seguridad, con beneficios tanto para las empresas como para las comunidades y el planeta en general.

En conclusión, la tecnología de plasma, además de ofrecer una variedad de aplicaciones, como la purificación del aire y tratamiento de agua, la desinfección y esterilización de superficies y recubrimiento para implantes quirúrgicos, sirve para la prevención y mitigación de la corrosión en diversos materiales metálicos. Puede ser una alternativa amigable con el medio ambiente en comparación con otros métodos de protección contra la corrosión que utilizan productos químicos tóxicos, como cromatos, nitratos, fosfatos y compuestos orgánicos volátiles, que contribuyen a la contaminación del aire y a la formación de smog. El costo energético de la tecnología de plasma es un factor importante por considerar. La generación de plasma puede requerir un suministro significativo de energía eléctrica y este costo debe compararse con los beneficios obtenidos. En algunas aplicaciones, como la fusión nuclear controlada,

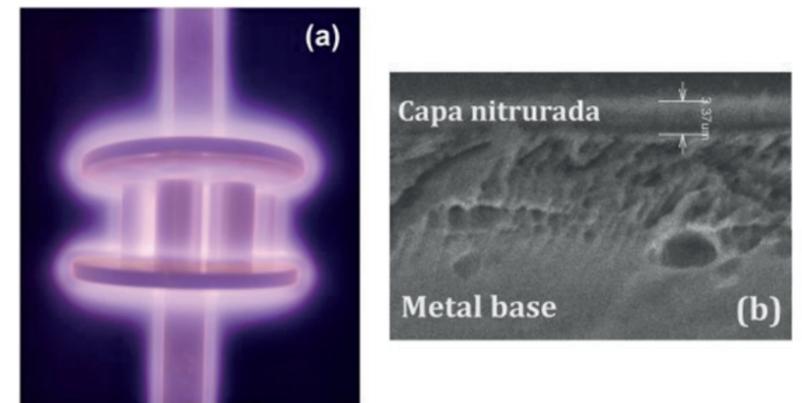


FIGURA 3. (A) Nitruración por plasma con nitrógeno puro gaseoso y (b) Imagen de una micrografía mostrando la formación de capa nitrurada con espesor de 3.37 μm durante 8 h sobre la superficie de un acero inoxidable tipo 304 a una temperatura de 500 °C. <https://www.mdpi.com/2075-4701/13/5/920>

El futuro de la lucha contra la corrosión

La investigación y el desarrollo en torno a la tecnología del plasma continúa avanzando. Se están realizando esfuerzos constantes para comprender mejor los efectos del plasma para prevenir y controlar la corrosión en una amplia gama de materiales, así como la optimización de los procesos y las aplicaciones prácticas. A medida que se superan los desafíos técnicos y se obtienen resultados más prome-

te, donde se utiliza plasma a temperaturas extremadamente altas, el costo energético puede ser muy alto. Sin embargo, en aplicaciones de tratamiento de superficies, el costo energético puede ser justificable debido a los resultados obtenidos. Por lo tanto, la tecnología de plasma es una alternativa para contribuir a la protección a largo plazo de las estructuras y componentes metálicos en nuestro entorno asegurando su durabilidad y rendimiento, desde edificios y puentes hasta maquina-

ria industrial, equipos de transporte y dispositivos electrónicos.

Referencias

- <https://www.redalyc.org/pdf/920/92041414015.pdf>
- <https://naomedical.com/info/what-color-is-plasma.html>
- <https://acmor.org/publicaciones/c-mo-pueden-los-vegetales-evitar-la-corrosion>
- <https://acmor.org/publicaciones/la-importancia-de-la-ingenieria-en-corrosion>
- <https://acmor.org/publicaciones/la-ciencia-de-la-construccion>
- <https://acmor.org/publicaciones/control-de-la-corrosion-en-beneficio-de-la-humanidad-y-el-medio-ambiente>
- <https://www.mdpi.com/2075-4701/13/5/920>
- <https://www.scielo.br/j/mr/a/3n-MMprVwVmCZhxXpVfpqSYrdc/?format=pdf&lang=en>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S025789721001248X>
- <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/5/1418>
- [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6595/aa6426#:~:text=Dielectric%20barrier%20discharges%20\(DBDs\)%20are,or%20normal%20pressure%20gas%20discharges.](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6595/aa6426#:~:text=Dielectric%20barrier%20discharges%20(DBDs)%20are,or%20normal%20pressure%20gas%20discharges.)
- <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/6333/7440>
- <https://journals.asm.org/doi/epub/10.1128/aem.00583-12>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: <https://acmor.org/>
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com