

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

De pintar autos a crear nanoestructuras

Karina Galache · Friday, December 17th, 2021

Categorías: [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

Introducción

El fenómeno conocido como depósito electroforético (EPD por sus siglas en inglés), se conoce desde 1808 cuando el científico ruso Ruess observó un movimiento de partículas de arcilla en el agua inducido por un campo eléctrico, pero fue hasta 1933 que se utilizó en una aplicación práctica en un depósito de partículas de torio en un cátodo de platino como emisor para aplicaciones de tubo de electrones.

A partir de entonces, el depósito electroforético ha ganado interés gracias a la amplia gama de nuevas aplicaciones en el procesamiento de materiales y revestimientos avanzados, tanto en el área industrial como en la académica. Debido a que puede usarse para el revestimiento de piezas de geometría no planar, así como piezas de gran tamaño, la técnica EPD es sumamente reconocida en la industria automotriz, especialmente en los procesos de revestimiento anticorrosivo y pintura. El tratamiento consiste en sumergir las carrocerías o piezas automotrices en un baño que contiene partículas de resinas y pigmentos en disolución acuosa dispersa o coloidal; la carrocería está conectada a un polo positivo mientras que el baño se conecta al polo negativo de un generador de corriente continua; la corriente eléctrica hace que los pigmentos migren hacia el sustrato, depositándose y adhiriéndose a la superficie metálica, formando un recubrimiento compacto. El EPD también se utiliza para recubrir una amplia gama de bienes de consumo como muebles, juguetes, joyas, equipos de telefonía y computación, entre muchos otros. El esquema del proceso y su aplicación en carrocerías y otras piezas se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Esquema y foto del proceso de EPD por inmersión de una carrocería y otras piezas metálicas.

Como el sustrato está sumergido en el líquido, toda la superficie queda recubierta completa y uniformemente, sin importar sus dimensiones y forma. Otra ventaja es que gracias a la manipulación del voltaje o la corriente aplicados se puede obtener un espesor de recubrimiento predecible y consistente, tanto dentro como fuera de las piezas. Así que, debido a la posibilidad de obtener recubrimientos adherentes, con espesor controlable y en geometría no planar, ha crecido el

interés sobre los potenciales usos del EPD en el procesamiento de materiales avanzados con distintos fines tecnológicos, principalmente en materiales nanoestructurados. Antes de describir las aplicaciones en nanotecnología, en las siguientes secciones se hará una revisión de los conceptos que permiten comprender y controlar la técnica EPD.

Coloides

Los coloides, sistemas o suspensión coloidales son un tipo de mezcla en la que uno o varios de los componentes tienen al menos una dimensión dentro del intervalo de 1 nm y 1 μm . Según las palabras de Hiemenz: “*cualquier partícula cuyas dimensiones estén entre 10^{-9} m y 10^{-6} m se considera un coloide*”. La suspensión coloidal está compuesta por una fase dispersa, en donde una o más sustancias que generalmente son sólidos, se dispersan en otra sustancia, por lo general líquida o gaseosa, la cual es la fase o medio continuo. En esta suspensión, las partículas son lo suficientemente pequeñas para que la fase dispersa se mantenga estable y suspendida en el seno de la fase continua en ausencia de una fuerza externa que provoque su separación, es decir, los coloides son estables con el tiempo. Un ejemplo muy común de coloide es la niebla, donde la fase dispersa son las gotas de agua que se mantienen suspendidas en el aire, la cual es la fase continua. Las dos fases se mantendrán estables hasta que una fuerza externa, como el aumento en la temperatura que haga que las gotas se evaporen, o una disminución, que las haga condensar, separe la suspensión. Hay distintos tipos de coloides dependiendo del estado físico en que se encuentren sus fases, pueden ser: sol, aerosol espuma, espuma sólida, emulsión y gel. En la Tabla 1 se resumen algunos de los tipos de coloides y en la Figura 2 fotografías de los ejemplos mencionados.



Tabla 1. Tipos de coloides



Figura 2. Coloides descritos en Tabla 1: (a) Niebla, (b) Humo, (c) Espuma marina, (d) Leche, (e) Pintura de látex, (f) Hule espuma, (h) Rubí. Imágenes, de varias fuentes de internet.

Carga superficial

La estabilidad de una suspensión coloidal depende de la carga superficial de los coloides; si la superficie tiene muchas cargas acumuladas, las partículas experimentan fuerzas repulsivas que las mantienen separadas y el coloide permanece estable; en el caso de pocas cargas en la superficie, se favorece la agregación de las partículas, fenómeno llamado coagulación.

Una carga superficial alta en los coloides también permite la formación de un depósito denso y altamente empaquetado. La carga superficial de las partículas dentro de un coloide también depende del pH, ya que esto afecta al grado de ionización y adsorción, así como a la estabilidad de la suspensión. El signo de la carga superficial determina la dirección del movimiento de las partículas cuando se aplica un campo mientras se encuentran en el seno de la suspensión coloidal, dando como resultado un EPD catódico o anódico, es decir, hacia el electrodo negativo o con dirección al positivo.



Figura 3. Depósito electroforético anódico y catódico

Sistema de EPD

Un sistema para preparar películas por EPD tiene cuatro partes: contraelectrodo, sustrato o electrodo de trabajo, suspensión coloidal, y fuente de alimentación (que puede ser de corriente continua o directa). El proceso consiste en aplicar un campo eléctrico entre los dos electrodos sumergidos en la suspensión coloidal. El campo obliga a las partículas a moverse hacia el electrodo con carga opuesta, dando lugar a la acumulación de partículas en el electrodo de trabajo o sustrato, creando una película relativamente compacta y homogénea.

El depósito electroforético se lleva a cabo en cuatro etapas que se muestran en la Figura 4: A) dispersión de las partículas coloidales en la suspensión; B) carga de la superficie de los coloides por equilibrio electroquímico con el solvente; C) electroforesis, proceso en donde las partículas se mueven hacia el electrodo con carga opuesta; D) depósito, sustrato se cubre por una capa de partículas neutralizadas y firmemente depositadas.



Figura 4. Fases del depósito electroforético, A) dispersión; B) carga de partículas; C) migración en el campo; D) depósito

Parámetros de influencia

El mecanismo de EPD implica partículas cargadas suspendidas que se depositan en un electrodo mediante el impulso de un campo eléctrico. Existen dos tipos de parámetros que determinan las características del proceso: los de la suspensión controlan el estado y calidad de la suspensión a utilizar, y los del proceso, que controlan el estado y calidad del procedimiento. Cuando los parámetros de suspensión están fijos y estables, los de proceso se pueden manipular para mejorar la calidad deseada del depósito.

Parámetros de suspensión

Dentro de estos parámetros se consideran las características tanto de las partículas sólidas a depositar como del medio líquido en donde se llevará la suspensión

- Tamaño de partícula: partículas de tamaño pequeño dan una dispersión estable durante el proceso, resultando uniformidad en el depósito.
- Constante dieléctrica: el rango para un buen depósito debe ser de entre 12 a 25.
- Conductividad: una alta conductividad produce un movimiento de partículas muy bajo; por el contrario, si es muy baja, las partículas se cargan eléctricamente y pierden la estabilidad y coagulan y precipitan.
- Viscosidad: debe mantenerse baja para facilitar la movilidad electroforética.
- Potencial zeta: determina la intensidad de la interacción repulsiva entre partículas, la densidad del depósito y la dirección y velocidad de migración de las partículas.

- Estabilidad de la suspensión: se trata de encontrar las condiciones perfectas para evitar la floculación y sedimentación; en ocasiones pueden usarse aditivos como surfactantes o agentes para “cargar” los coloides y favorecer el depósito.

Parámetros del proceso

Estos parámetros consideran las variables fisicoquímicas del proceso, que se pueden manipular de forma muy sencilla, lo cual es destacable.

- Campo eléctrico aplicado: una fuerza baja no provocará la electroforesis. Por el contrario, una muy alta ocasionaría depósito muy rápido y con poca adherencia. El voltaje donde inicia el depósito dependerá del material que se desea depositar y del medio.
- Efecto del tiempo de depósito: la tasa de depósito puede disminuir con el aumento y prolongación del tiempo, puesto que se forma una capa en el sustrato que reduce su conductividad.
- Conductividad del sustrato: para que la electroforesis se lleve a cabo se debe completar el circuito eléctrico, que no será posible si el sustrato es aislante o tiene una baja conductividad.

El depósito electroforético tiene la gran ventaja de no requerir una instrumentación cara o compleja y producir depósitos adherentes y de espesor controlable por tiempo, voltaje o corriente.

Aplicaciones de EDP en nanotecnología

El interés en EPD aumentó cuando se descubrió que se pueden manipular nanopartículas en suspensión para la fabricación de recubrimientos nanoestructurados avanzados y con propiedades mejoradas. Lo más interesante es que, aunque los sustratos deben ser conductores, las partículas no, así que esta técnica ha sido utilizada con gran éxito para depositar cerámicos. Por ejemplo, se ha depositado películas de óxidos para electrodos de baterías de litio; recubrimientos complejos de Zn-Cr-Si para la resistencia a la corrosión; materiales cerámicos superconductores; compósitos de Zr-grafito-almidón-NiO para electrodos en pilas de combustible de estado sólido, entre otras aplicaciones de alta tecnología. Los parámetros de depósito varían según lo descrito arriba, pero con frecuencia se usan voltajes entre 10 y 300 V y tiempos de 5 a 300 s, con el interés añadido de que así es posible poder depositar películas en superficies no planares.

Depósito electroforético de grafeno

El grafeno es un alótropo del carbono, que consiste en una monocapa de átomos de carbono con hibridación sp^2 organizados en una red bidimensional. Fue aislado por vez primera en 2004 y ha despertado un fuerte interés entre la comunidad científica por su excelente conductividad térmica y eléctrica, dureza, y su amplia área superficial. En gran escala, el grafeno se puede obtener por exfoliación en fase líquida del grafito, o por reducción del óxido de grafeno, que es un derivado obtenido de la oxidación y exfoliación del grafito. Hay mucho interés en depositar películas de

grafeno para dispositivos, recubrimientos, sensores y otras aplicaciones. El depósito electroforético es ideal, ya que el grafeno puede suspenderse en solventes orgánicos; como tiene una carga negativa por sus electrones π , se deposita en el electrodo positivo. Por otro lado, si la fuente es óxido de grafeno, éste puede dispersarse en medio acuoso, debido a su gran número de grupos funcionales con oxígeno. Dependiendo de qué grupos funcionales haya y del pH, puede depositarse anódica o catódicamente, o ambas. Durante el depósito es posible que el óxido de grafeno pierda estos oxígenos, reduciéndose y aumentando su conductividad, o conservarlos, lo que le permite ser una superficie reactiva para anclar otros materiales.



Figura 5. Una hoja de óxido de grafeno

Avance

Como parte de una tesis de licenciatura, se trabaja actualmente con el depósito de óxido de grafeno mediante EPD, a partir de soluciones acuosas con diferentes concentraciones, utilizando un vidrio de FTO como sustrato y una lámina de grafito como contra electrodo, lo que se muestra en la Figura 6. El objetivo es explorar las condiciones de depósito que generen películas adherentes y estudiar su efecto en la concentración de grupos funcionales y en sus propiedades ópticas. Se están realizando depósitos de 15 V por 30 min, y un proceso escalonado de 2 V por minuto hasta los 15 V y hasta el momento las películas han resultado adherentes. Se ha observado que el depósito es tanto anódico como catódico.



Figura 6 a) sistema electroforético estándar B) película de GO sobre FTO.

Perspectiva

En el marco de un proyecto de Ciencia de Frontera que pretende estudiar los efectos del grafeno en dispositivos para energías limpias, las películas de GO/FTO se usarán como electrodos transparentes y como capas intermedias en dispositivos fotovoltaicos, celdas fotoelectroquímicas y supercapacitores. Se pretende controlar el espesor, la transmitancia, la conductividad y el grado de reducción del GO para usarlo como electrodo, como anclaje para nanopartículas o separador en una heteroestructura fotovoltaica.

Agradecimiento

Este trabajo fue financiado por el Proyecto CONACYT 40798. Con este proyecto, M.S. Huerta Zavala recibió el apoyo de una beca para licenciatura.

Referencias

Castro Y, Ferrari B, Moreno R, Durán A (2005) Corrosion behaviour of silica hybrid coatings

produced from basic catalysed particulate sols by dipping and EPD. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2004.03.001

Chen Y, Ma J, Li T (2004) Electrophoretic deposition and characterization of a piezoelectric FGM monomorph actuator. DOI: 10.1016/j.ceramint.2003.12.114

Besra, L., & Liu, M. (2007). A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD). DOI: 10.1016/j.pmatsci.2006.07.001

Maiti, H., Datta, S., & Basu, R. (1989). High Tc Superconductor Coating on Metal Substrates by an Electrophoretic Technique. DOI: 10.1111/j.1151-2916.1989.tb06314.x

Yamaji, K., Kishimoto, H., Xiong, Y., Horita, T., Sakai, N., & Yokokawa, H. (2004). Performance of anode supported SOFCs fabricated with EPD techniques. DOI: 10.1016/j.ssi.2004.09.032

Amrollahi, P., Krasinski, J., Vaidyanathan, R., Tayebi, L., & Vashaee, D. (2015). Electrophoretic Deposition (EPD): Fundamentals and Applications from Nano- to Micro-Scale Structures. D

[Foto de portada de Cansu ?engün](#)

This entry was posted on Friday, December 17th, 2021 at 3:00 pm and is filed under [Ciencias Exactas](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.