Recubrimientos funcionales de estados tempranos de la corrosión

Francisco Aguirre Yagüe
Ingeniero químico e Investigador en Materiales Avanzados & Nanomateriales del Centro Tecnológico CTC

Dentro del marco del Congreso Técnico de la Asociación Española de Fabricantes de Pinturas y Tintas de Imprimir (ASEFAPI), el evento de referencia para los profesionales del sector de pinturas y tintas de imprimir celebrado en Madrid el pasado 23 de octubre, el Centro Tecnológico CTC, de la mano de Francisco Aguirre, ofreció una ponencia en donde se presentaron diferentes estrategias y avances en recubrimientos funcionales, capaces de detectar de manera autónoma y en etapas tempranas los procesos de corrosión. Por ello, en este reportaje se ofrece un amplio resumen de todo lo que aconteció a lo largo de la charla.

INTRODUCCIÓN

Una estrategia común para proteger metales contra la corrosión es el uso de recubrimientos protectores que actúan como barrera física. Sin embargo, estos recubrimientos pueden deteriorarse con el tiempo debido a daños mecánicos o degradación, lo que permite el inicio de la corrosión. Esta corrosión, si no se detecta a tiempo, puede causar fallos estructurales graves.

Las inspecciones visuales no son efectivas, ya que los daños suelen ocurrir en zonas ocultas o de pequeña escala y en muchos casos requieren ensayos destructivos para su detección. Actualmente, los recubrimientos disponibles no pueden detectar el inicio de la corrosión en etapas tempranas, por lo que esta se identifica solo cuando ya está avanzada, obligando a una costosa eliminación y/o repintado del recubrimiento.

Por lo tanto, existe una necesidad de detectar los daños de los recubrimientos y corrosión del metal en los estadios iniciales del proceso de degradación, con el fin de poder actuar a tiempo evitando estadios severos de corrosión y degradación.

RECUBRIMIENTOS Y NANOMATERIALES

Los recubrimientos autosensores (self-sensing) surgen como una solución atractiva al albergar en su propia matriz materiales sensores, respondiendo a estímulos del entorno como cambios de pH, variaciones de temperatura o la presencia de iones metá-

licos. A diferencia de la mera inclusión de un sensor externo en una pintura, este enfoque convierte al recubrimiento en un sistema activo de detección.

En este marco, los *Graphene Quantum Dots* (GQD) aparecen como candidatos muy prometedores. Se trata de nanomateriales de tamaño muy reducido (2-10nm) con propiedades fluorescentes derivadas del confinamiento cuántico y la presencia de defectos estructurales, que pueden modificarse mediante dopaje con distintos elementos (e.j. N, B, S, Zn).

Su elevada sensibilidad frente a iones metálicos como Fe^{2+} o Fe^{3+} o incluso cambios en el pH, que hacen que pierdan sus propiedades fluorescentes, los convierte en sistemas idóneos para monitorizar el inicio de la corrosión donde tienen lugar la aparición de estos analitos.

La síntesis de estos materiales se realiza mediante procesos hidro/solvotermales a partir de precursores naturales y sostenibles, con reacciones a altas temperaturas. Su caracterización incluye espectros de fluorescencia (Figura 1) y mapeo excitación-emisión, que permiten evaluar la interacción de las partículas con los iones liberados al medio durante la corrosión.

Las pruebas realizadas muestran que los GQD dispersan bien en matrices poliméricas base agua, como epoxis y poliuretanos, aunque se han identificado retos importantes relacionados con la compatibilidad química, la tendencia a la agregación y la aparición de inhomogeneidades en los recubrimientos obtenidos.

FIGURA 1. Efecto de decaimiento de fluorescencia por presencia de hierro en solución con GQD (izqda.), Recubrimientos sensores en resinas aplicados en probetas de hierro al carbono

Los ensayos de sensibilidad a iones Fe^{3+} confirman que el incremento de concentración reduce progresivamente la intensidad luminiscente de las partículas, lo que valida su función como indicador (Figura 2). En probetas pintadas y expuestas a soluciones salinas se comprobó la respuesta fluorescente ligada al avance de la corrosión, así como la influencia de aditivos como la celulosa, que modifican la porosidad del recubrimiento y su sensibilidad.

Asimismo, se desarrollaron medidas *in situ* combinando fluorescencia e impedancia electroquímica, con equipos experimentales diseñados para monitorizar en tiempo real la degradación de los recubrimientos. (Figura 3).

Aunque estas pruebas demostraron el potencial de la técnica, también se encontraron limitaciones relevantes en su implementación.

Para superar estas dificultades, se plantean estrategias como reducir los tiempos de adquisición de espectros, utilizar partículas con absorción en el rango visible, incrementar espesores de recubrimiento y trabajar con formulaciones de resinas con mayor resistencia a la corrosión.

CONCLUSIÓN

Los *Graphene Quantum Dots* representan una vía sólida para desarrollar recubrimientos con capacidad de autosensado frente a la corrosión.

A pesar de las limitaciones planteadas, los resultados experimentales confirman que esta tecnología abre un camino prometedor hacia recubrimientos inteligentes capaces de detectar, en tiempo real, el inicio de procesos corrosivos, lo que supondría un importante avance para el mantenimiento predictivo de estructuras y equipos industriales.

FIGURA 2. Medidas de fluorescencia y efecto del hierro en las curvas de emisión (izqda.) y curvas de impedancia a distintos tiempos de degradación (dcha.)

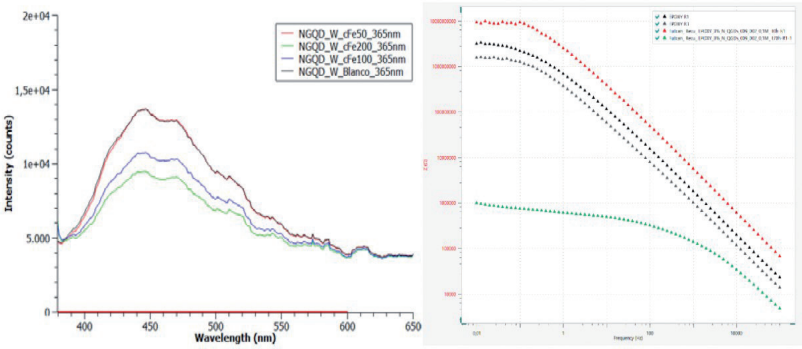
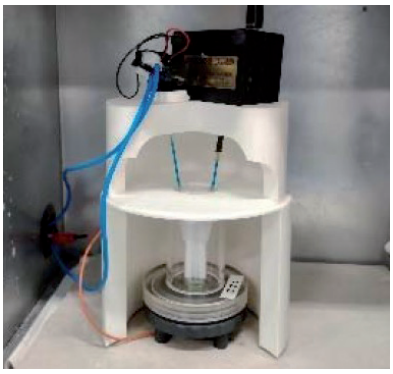
FIGURA 3. Equipo experimental de medición in situ de corrosión temprana con fluorescencia e impedancia