BOLETIN
PRIMER TRIMESTRE
2026

Recubrimientos anticorrosivos autorreparables

Recubrimientos intumescentes avanzados

Recubrimientos anticorrosivos autorreparables: una nueva generación de materiales para prolongar la vida útil de las estructuras metálicas

La corrosión es uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la industria metalúrgica. La exposición a la humedad, el oxígeno, las sales y otros agentes ambientales provoca el deterioro progresivo de los metales, comprometiendo su durabilidad, su rendimiento y, en determinados casos, la seguridad de las estructuras. Frente a este problema, la investigación en recubrimientos anticorrosivos autorreparables abre nuevas posibilidades para desarrollar materiales más duraderos, reducir las tareas de mantenimiento y mejorar la eficiencia de los sistemas de protección.

¿Qué son los recubrimientos autorreparables?

Los recubrimientos anticorrosivos autorreparables son materiales diseñados para proteger las superficies metálicas y responder ante pequeños daños que puedan comprometer esa protección. A diferencia de los recubrimientos convencionales, que pueden perder eficacia cuando aparecen arañazos, fisuras o pequeños desperfectos, estos sistemas incorporan mecanismos capaces de actuar sobre la zona dañada y limitar la propagación de la corrosión.

Su funcionamiento depende de la tecnología empleada. Algunos recubrimientos incorporan microcápsulas que liberan sustancias reparadoras cuando se rompe la capa protectora. Otros utilizan inhibidores de corrosión encapsulados en partículas o incorporan componentes capaces de activarse ante determinados estímulos, como cambios de pH, humedad o temperatura. También existen sistemas basados en polímeros autorreparables y recubrimientos que favorecen la formación de una nueva capa protectora sobre el metal expuesto.

El objetivo es mantener la integridad del recubrimiento durante más tiempo y reducir la probabilidad de que un daño localizado se convierta en un problema de corrosión más amplio.

Tecnologías con un gran potencial industrial

El desarrollo de estos materiales combina avances en química, ciencia de superficies, nanotecnología e ingeniería de materiales. Entre las principales líneas de investigación destacan:

- Microcápsulas con agentes reparadores. Incorporan sustancias que se liberan cuando el recubrimiento sufre una fisura, contribuyendo a sellar el daño y recuperar parte de su capacidad protectora.
- Inhibidores de corrosión de liberación controlada. Permiten actuar sobre la superficie metálica cuando se detectan condiciones que favorecen la corrosión, reduciendo la actividad corrosiva en la zona afectada.

- Recubrimientos inteligentes sensibles al entorno. Responden a estímulos específicos y activan mecanismos de protección cuando las condiciones ambientales pueden comprometer la integridad del material.
- Polímeros con capacidad de autorreparación. Utilizan enlaces químicos reversibles u otros mecanismos que permiten recuperar parcialmente la continuidad del recubrimiento después de sufrir determinados daños.

Cada tecnología presenta ventajas y limitaciones en función del material protegido, las condiciones de servicio, el tipo de daño y los requisitos de fabricación. Por ello, uno de los principales retos consiste en desarrollar soluciones que combinen una elevada protección anticorrosiva con estabilidad, adherencia, facilidad de aplicación y viabilidad económica.

Aplicaciones en la industria metalúrgica

Los recubrimientos anticorrosivos autorreparables pueden resultar especialmente interesantes en sectores donde las estructuras metálicas están expuestas a ambientes agresivos o donde las operaciones de mantenimiento implican costes elevados.

Entre sus posibles aplicaciones se encuentran las estructuras de acero utilizadas en construcción e infraestructuras, los componentes de automoción, los equipos industriales, las instalaciones energéticas, los sistemas de transporte y los elementos metálicos expuestos a ambientes marinos o a la acción de sales y productos químicos.

En estos entornos, la capacidad de limitar la corrosión a partir de pequeños daños puede contribuir a prolongar la vida útil de los componentes y a reducir la frecuencia de las intervenciones. No obstante, su eficacia debe evaluarse mediante ensayos específicos que reproduzcan las condiciones reales de funcionamiento.

Retos y oportunidades para la innovación

Aunque los resultados de investigación son prometedores, la incorporación de estas tecnologías a escala industrial todavía plantea importantes desafíos. Es necesario mejorar la durabilidad de los mecanismos de autorreparación, garantizar su compatibilidad con los procesos de fabricación existentes y comprobar su comportamiento frente a ciclos prolongados de humedad, temperatura, abrasión y exposición a agentes corrosivos.

También resulta fundamental evaluar su coste total a lo largo del ciclo de vida. Un recubrimiento más avanzado puede requerir una inversión inicial superior, pero ofrecer ventajas económicas si consigue reducir las reparaciones, las paradas de producción y la sustitución prematura de componentes.

A estos retos se suman las exigencias medioambientales. La investigación busca formulaciones con menor impacto ambiental, una utilización más eficiente de las materias primas y una mayor durabilidad, aspectos que pueden contribuir a reducir el consumo de recursos y la generación de residuos asociados al mantenimiento industrial

Hacia materiales más duraderos y sostenibles

Los recubrimientos anticorrosivos autorreparables representan una línea de innovación relevante para avanzar hacia una industria metalúrgica más eficiente y competitiva. Su capacidad para responder ante determinados daños introduce un cambio de enfoque: pasar de proteger únicamente la superficie a desarrollar sistemas capaces de mantener o recuperar parcialmente sus propiedades protectoras durante el servicio.

El progreso en esta área dependerá de la colaboración entre centros tecnológicos, universidades y empresas industriales, que permitirá trasladar los avances científicos a soluciones adaptadas a las necesidades reales del mercado.

La investigación en materiales inteligentes y tecnologías de protección avanzada constituye, así, una oportunidad para mejorar la durabilidad de las estructuras metálicas, optimizar el mantenimiento y desarrollar soluciones industriales preparadas para los desafíos del futuro.

Recubrimientos intumescentes avanzados: nuevas formulaciones para mejorar la resistencia al fuego del acero

La protección pasiva contra incendios constituye un elemento esencial en la seguridad de las estructuras metálicas. Aunque el acero presenta buenas propiedades mecánicas a temperatura ambiente, su resistencia disminuye considerablemente cuando se expone a temperaturas elevadas. Por este motivo, el desarrollo de recubrimientos capaces de retrasar su calentamiento representa una línea de investigación de gran interés para la ingeniería de materiales y la construcción industrial.

Entre las tecnologías disponibles, los recubrimientos intumescentes destacan por su capacidad para expandirse bajo la acción del calor y formar una capa carbonosa aislante que reduce la transferencia térmica hacia el sustrato metálico. La investigación actual busca optimizar su composición, mejorar la estabilidad de la espuma protectora y desarrollar formulaciones con menor impacto ambiental.

¿Cómo funciona un recubrimiento intumescente?

Los recubrimientos intumescentes están formulados para experimentar una transformación físico-química cuando alcanzan un determinado intervalo de temperatura. Durante un incendio, sus componentes reaccionan y generan una estructura expandida de baja conductividad térmica que actúa como barrera frente al calor.

En las formulaciones convencionales basadas en sistemas intumescentes, el mecanismo suele combinar tres funciones principales:

- Fuente ácida: favorece la deshidratación y carbonización de los componentes orgánicos.
- Agente carbonizante: proporciona la materia necesaria para formar la estructura carbonosa protectora.
- Agente espumante: libera gases que provocan la expansión del recubrimiento y generan una estructura celular aislante.
-

Estos componentes se integran en una matriz polimérica que proporciona adherencia, cohesión y resistencia durante el servicio. Cuando se produce la exposición al fuego, la formulación debe generar una capa suficientemente estable para permanecer adherida al acero y limitar su calentamiento.

La eficacia no depende únicamente del grado de expansión. También influyen la distribución y el tamaño de los poros, la resistencia mecánica de la capa carbonosa, su estabilidad frente a la oxidación y su capacidad para soportar las tensiones generadas durante el incendio.

El papel de las cargas minerales y los residuos metálicos

Una de las líneas de investigación consiste en modificar las formulaciones intumescentes mediante la incorporación de cargas minerales y partículas procedentes de materiales recuperados.

Compuestos como los silicatos, determinados óxidos metálicos y otras cargas inorgánicas pueden contribuir a modificar la estabilidad térmica, la cohesión y la resistencia mecánica de la capa protectora. Su efecto depende de la composición, la granulometría, la concentración y la compatibilidad con el resto de los componentes.

También puede estudiarse la incorporación de fracciones metálicas recuperadas de residuos industriales, incluidos determinados residuos procedentes del tratamiento de extintores fuera de uso. En estos casos, resulta necesario caracterizar previamente su composición química, distribución granulométrica, estado de oxidación y presencia de posibles contaminantes.

La incorporación de estas partículas a una matriz polimérica, como una resina epoxi, permite investigar nuevos materiales compuestos con propiedades térmicas y mecánicas específicas. Sin embargo, es importante distinguir entre la fabricación de un material con resistencia intrínseca al fuego y el desarrollo de un recubrimiento intumescente: son soluciones diferentes y requieren formulaciones y ensayos específicos.

El principal reto consiste en determinar si estas cargas mejoran realmente la protección frente al fuego sin perjudicar la adherencia, la expansión o la integridad de la capa aislante.

Caracterización y ensayos de comportamiento frente al fuego
El desarrollo de nuevas formulaciones exige combinar técnicas de caracterización físico-química con ensayos de comportamiento térmico y mecánico.

Entre los procedimientos más relevantes se encuentran:

- Análisis termogravimétrico (TGA): permite estudiar la pérdida de masa del material en función de la temperatura y evaluar su estabilidad térmica.
- Calorimetría diferencial de barrido (DSC): ayuda a identificar transiciones térmicas y procesos asociados a las reacciones de la formulación.
- Microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS): permite observar la microestructura de la capa carbonosa y analizar la distribución de los elementos presentes.
- Ensayos de adherencia y cohesión: permiten evaluar la unión del recubrimiento al sustrato y la integridad de la capa protectora.
- Ensayos de exposición al fuego: permiten estudiar la evolución de la temperatura del acero, la expansión del recubrimiento y la estabilidad de la barrera formada.

Los resultados deben relacionarse con parámetros como el espesor final de la capa expandida, su densidad aparente, la distribución de poros y la temperatura alcanzada por el sustrato. Para acreditar la resistencia al fuego de un sistema constructivo, además, es necesario realizar los ensayos y las evaluaciones exigidos por la normativa aplicable a su uso previsto.

Hacia materiales ignífugos más sostenibles

La optimización de los recubrimientos intumescentes plantea una oportunidad para combinar la mejora de las prestaciones técnicas con la reducción del impacto ambiental. La sustitución parcial de materias primas vírgenes por recursos recuperados podría contribuir a valorizar residuos industriales y reducir el consumo de materiales, siempre que se mantenga la calidad y la reproducibilidad de las formulaciones.

Para avanzar en esta dirección, resulta fundamental establecer criterios de selección y tratamiento de los residuos, controlar la variabilidad de su composición y evaluar la durabilidad del material durante su vida útil. También es necesario analizar su comportamiento tras el envejecimiento y comprobar que la incorporación de material reciclado no compromete la seguridad frente al fuego.

La investigación en recubrimientos intumescentes modificados con cargas funcionales representa, por tanto, una vía para desarrollar soluciones de protección pasiva más eficientes y explorar nuevas aplicaciones para materiales recuperados.
El desafío tecnológico consiste en diseñar formulaciones capaces de generar una barrera térmica estable, adherente y mecánicamente resistente, manteniendo al mismo tiempo unas prestaciones verificables frente al fuego y una composición compatible con los objetivos de sostenibilidad industrial.