

ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA SUPERFICIAL DE MATERIALES COMPUESTOS REDUCIENDO PESO Y CONSERVANDO LA SUPERFICIE AERODINÁMICA

L. Sánchez¹, B. López¹

¹FIDAMC, laura.sanchez@fidamc.es

Resumen: Los materiales compuestos presentan buenas propiedades mecánicas y alta rigidez específica, haciendo que estos materiales sean idóneos para estructuras con altos requerimientos, en detrimento del metal. Al sustituir metales por materiales compuestos, hay que considerar la pérdida de algunas propiedades inherentes a los metales. Un ejemplo es la conductividad eléctrica, que es necesario mantener para permitir la descarga de electricidad estática, la protección a fenómenos electromagnéticos o la toma de tierra de equipos. Actualmente, la mejora de la conductividad superficial se consigue mediante la adición de mallas o láminas metálicas implementadas en los laminados de material compuesto. La implementación se hace por métodos manuales, resultando ser trabajos costosos y lentos. En el trabajo se propone una solución automatizada, con posibilidad de industrialización e incorporación a los procesos de fabricación actuales, que permite depositar una capa metálica del espesor deseado y que proporciona ahorros de peso superiores al 50% [1].

Palabras clave: conductividad eléctrica, protección a impacto de rayo, material compuesto, metalización.

1. INTRODUCCIÓN.

El uso que materiales compuestos se ha incrementado notablemente en los últimos años, principalmente en el sector transporte: tanto en ingeniería naval, como en el sector automóvil, ferrocarril, energía eólica o sector aeronáutico, en detrimento de los metales.

La ventaja de incluir materiales compuestos se debe principalmente a las propiedades intrínsecas del material: sus excelentes propiedades mecánicas y su alta rigidez específica, que conllevan una reducción notable de peso, comparada con los mismos elementos fabricados en metal, lo que hace a estos materiales idóneos para la fabricación de estructuras con altos requerimientos y con limitaciones de peso.

El avance de la industria ha provocado un aumento del uso de combustible, lo que ha llevado a un encarecimiento del mismo y a numerosas normativas para la regulación de emisiones. Por esta necesidad el sector transporte, se ha visto obligado a reducir su consumo, y una de las líneas en las que se ha focalizado para conseguirlo es en la reducción de peso de algunos componentes de los vehículos. Esto se ha conseguido principalmente desarrollando en material compuesto estructuras que anteriormente eran metálicas. Debido a este cambio de mentalidad industrial, se han obtenido reducciones grandes de peso a similares propiedades mecánicas, lo que ha llevado a una mayor participación de los materiales compuestos en todo tipo de estructuras. Por contra, los materiales compuestos tienen mayor resistividad eléctrica que los metales, y para algunas aplicaciones es necesario mejorar su conductividad eléctrica.

Las nuevas aplicaciones y usos de los materiales compuestos han determinado la necesidad de que el

material compuesto conduzca para que sea capaz de evacuar corrientes procedentes de equipos, de cargas electrostáticas o de fenómenos electromagnéticos.

En este proyecto se han estudiado diferentes formas de mejorar el comportamiento eléctrico de los materiales compuestos, añadiendo elementos conductores de bajo peso a las estructuras y dotándolas de la conductividad suficiente según los requerimientos necesarios en cada situación.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es la mejora de propiedades eléctricas del material compuesto, dotándole de la conductividad suficiente para permitir la descarga de electricidad electrostática, conseguir la toma de tierra de equipos eléctricos y sistemas y la protección ante fenómenos electromagnéticos como puede ser un impacto de rayo o la caída de cables de alta tensión.

En el proyecto también se ha tenido en cuenta, que, respecto a las soluciones actuales, la mejora conlleve reducción del peso global de la estructura, reducción de costes, automatización del proceso de fabricación y repetitividad del mismo.

3. ESCENARIO.

Uno de los requerimientos más exigentes para la conductividad eléctrica en materiales compuestos, es la protección frente a los efectos directos de un impacto de rayo en un avión comercial. El proyecto se ha dimensionado para solventar este fenómeno para zona de impacto tipo 2A, como puede ser la evacuación de un impacto de rayo en un estabilizador horizontal. Este escenario conlleva la necesidad de que la solución

propuesta sea aplicable a superficies grandes, con diferentes geometrías, con acabados superficiales aerodinámicos y compatibles con las imprimaciones y pinturas de necesaria aplicación en las capas exteriores de la aeronave. Los resultados obtenidos son extrapolables a cualquier situación similar en otro tipo de vehículos, o situaciones de menor necesidad de evacuación eléctrica, como por ejemplo tomas de tierra de equipos eléctricos.

El proyecto se ha centrado en el estudio del aumento de conductividad eléctrica en el material compuesto más utilizado en el sector aeronáutico: matriz de resina epoxi termoestable y refuerzo con fibras de carbono. Para la mejora de esta propiedad se hizo un estudio del estado del arte de la tecnología, y se analizaron en detalle las soluciones más prometedoras: incorporación de partículas conductoras en la matriz del compuesto, recubrimientos superficiales con nanomateriales y recubrimientos metálicos por diferentes métodos de aplicación. Tras varias fases de estudio, los mejores resultados se obtuvieron para los recubrimientos superficiales con materiales metálicos.

Se hicieron pruebas con dos procesos de metalización de superficies: proyección térmica y evaporación térmica. Con la primera se obtuvieron muy buenos resultados en cuanto a la mejora de conductividad eléctrica, pero no se cumplían los requisitos de reducción de peso y acabados aerodinámicos de pieza, por lo que la segunda opción, deposición superficial por evaporación térmica, fue la que finalmente se desarrolló con mayor profundidad.

El proceso de evaporación térmica con materiales, es algo muy común en sectores como la decoración o recubrimiento para mejoras de propiedades a desgaste sobre vidrios y metales, pero hasta el momento la utilización de esta técnica sobre sustrato de material compuesto no se había contemplado, siendo éste el objeto del proyecto.

4.- EXPERIMENTAL.

La deposición por evaporación térmica en vacío consiste en el calentamiento hasta la evaporación del material de deposición. Este vapor se condensa sobre la superficie fría del sustrato y de las paredes de la cámara de vacío hasta cubrir toda la superficie en forma de lámina delgada [2].

Durante el proceso de evaporación son varios los parámetros que se tienen que tener en cuenta, pero el principal es la naturaleza del sustrato y del material de deposición. En este estudio se muestran todos los análisis previos realizados para caracterizar la superficie de deposición y poder determinar mejor los parámetros correctos para llevar a cabo una evaporación térmica estable y repetitiva con el metal de aporte seleccionado.

Primeramente se realizaron pruebas de limpieza del sustrato con el fin de dejar una superficie limpia de

desmoldeantes y suciedad del recorte. En los ensayos se comprobó si los agentes de limpieza alteraban la naturaleza del sustrato de material compuesto de alguna forma que pudiera afectar a la generación de la capa delgada por el proceso de evaporación térmica. Se realizaron estudios limpiando con los productos comunes en estos casos (alcoholes, acetonas, jabones, etc.) y por baño de ultrasonidos. Todos los estudios realizados determinaron que la limpieza era necesaria, pero el método empleado era independiente de los resultados de la evaporación, por lo que en adelante se continuó limpiando la superficie a metalizar, con el procedimiento habitual de limpieza de superficies de material epoxi: limpieza con acetona.

Posteriormente se hicieron los estudios necesarios para caracterizar el sustrato sin recubrir. Los ensayos que se llevaron a cabo fueron de dureza, rugosidad y ángulo de contacto. Con estos datos se pudieron determinar algunos de los parámetros para la evaporación. El resto de parámetros se seleccionaron bajo la experiencia adquirida para otros sustratos y se fueron poniendo a punto experimentalmente. Principalmente las variables más significativas del proceso son el tiempo de exposición y la velocidad de evaporación.

Optimizados estos parámetros se tuvieron los primeros paneles para ensayo de impacto de rayo, ensayo principal para determinar la validez experimental del proceso. En la Figura 1, se puede observar el primer panel con la dimensión suficiente para ser ensayado a impacto de rayo.



Figura 1. Primeras pruebas de metalización de cobre por evaporación térmica sobre material compuesto.

Este panel fue ensayado a impacto de rayo para comprobar experimentalmente la fiabilidad del proceso. El panel tras el impacto se muestra en la Figura 2. El resultado obtenido fue satisfactorio, dado que el impacto produjo daños similares a los que se obtienen con los sistemas de protección actual, por lo que se validó el proceso de metalización como solución alternativa de mejora de conductividad eléctrica superficial en materiales compuestos expuestos a descargas electromagnéticas.

Tras los primeros ensayos, el principal problema encontrado, fue la baja adhesión entre la capa metálica

y el sustrato de material compuesto, por lo que los siguientes estudios se centraron principalmente en mejorar este punto. En la Figura 3 se muestran los resultados de un ensayo de adhesión sobre un panel metalizado. Todos los ensayos fueron realizados bajo las mismas condiciones y bajo la norma ISO 2409:1994.

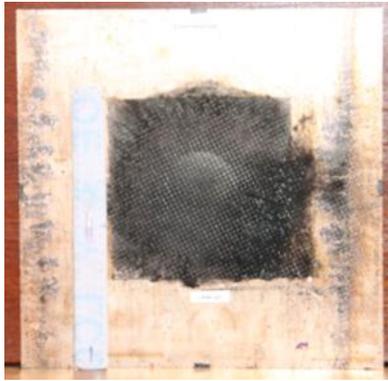


Figura 2. Panel impactado en ensayo de impacto de rayo con intensidad 2A.



Figura 3. Panel ensayado a adhesión bajo la norma ISO 2409:1994 sin mejora superficial.

Para subsanar este problema, se llevaron a cabo dos estudios en paralelo:

- La activación superficial del sustrato mediante un bombardeo iónico previo o efectuado durante la metalización para mejorar los enlaces obtenidos entre el sustrato y la capa metálica mejorando la adhesión global.
- La aplicación durante el mismo proceso de evaporación de una capa extra fina previa a la metalización de un material con buena compatibilidad al sustrato y al metal de deposición. Este material de aporte actúa como anclaje de la capa de metalización sobre el sustrato mejorando la adhesión del conjunto.

Con ambas soluciones se tuvieron resultados válidos para ser aplicados como se puede observar en la Figura 4.

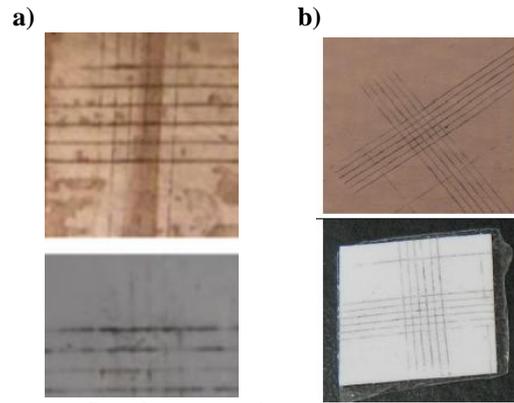


Figura 4. Paneles ensayados a adhesión bajo la norma ISO 2409:1994 con mejora superficial: a) bombardeo iónico; b) capa de anclaje.

Otro factor a tener en cuenta, es la optimización del espesor de la capa metálica, con el fin de obtener la protección necesaria con el mínimo peso. Los primeros ensayos se realizaron con 1 o 2 micras para facilitar el proceso, pero experimentalmente se comprobó que era necesario aumentar el recubrimiento para tener resultados similares en paneles metalizados y en paneles protegidos con los métodos actuales. Fueron numerosos ensayos los que se realizaron hasta determinar el espesor óptimo. Inicialmente se probaron valores entre 1 y 10 micras. Con los resultados obtenidos en los ensayos de impacto de rayo, que se pueden ver en la Figura 5, se determinó el mínimo espesor que proporcionaba una protección similar a la malla de cobre preimpregnada de 72g/m² que se tomó como referencia.

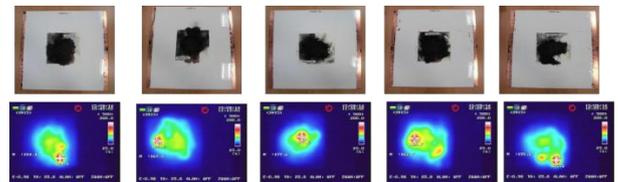


Figura 5. Paneles ensayados a impacto de rayo en zona 2A con diferentes espesores de recubrimiento.

Posteriormente, se hicieron baterías de paneles con similares condiciones para comprobar la repetitividad del proceso. Todos los ensayos se realizaron con paneles pintados con imprimaciones y pinturas aeronáuticas con el fin de comparar con la situación real, y comprobando la compatibilidad entre el metal depositado y las imprimaciones y pinturas. En este caso no hubo problemas de compatibilidades.

En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos para ensayo de impacto de rayo y la termografía del impacto de una de las baterías de paneles realizados con las mismas características y ensayados en las mismas condiciones.

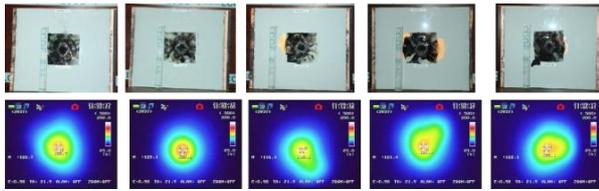


Figura 6. Paneles ensayados impacto de rayo en zona 2A y termografía del momento del impacto.

Por último se realizó una caracterización completa del conjunto con las dos soluciones aportadas para conseguir la adhesión, en los que se estudiaron el envejecimiento, la corrosión entre sustrato y capa metálica, estabilidad térmica, conductividad eléctrica, rugosidad final, etc. De todos los ensayos se obtuvieron resultados satisfactorios, validando tanto la aplicación como las soluciones de mejora de adhesión.

También se analizó la posibilidad de aplicar la solución a paneles de mayores dimensiones y con cierta curvatura. Los resultados fueron buenos, viendo una posibilidad de escalar industrialmente el método estudiado. En la Figura 7, se muestra el demostrador fabricado con curvatura y mayor dimensión [3].



Figura 7. Demostrador curvo con gran dimensión.

5.- CONCLUSIONES.

En el proyecto se ha desarrollado un método para la mejora de conductividad eléctrica de materiales compuestos, basado en la metalización superficial del componente. La metalización se logra por evaporación térmica del metal en cámara de vacío, y la condensación de este vapor sobre el sustrato de material compuesto.

Los resultados obtenidos son muy satisfactorios, lográndose una protección contra impacto de rayo similar a la de las soluciones empleadas actualmente, y pudiendo extrapolarlo a situaciones con menor requerimiento eléctrico, como puede ser la evacuación de corrientes producidas en equipos eléctricos.

La solución desarrollada en este proyecto reduce el peso respecto a la solución actual en al menos un 50% y es un proceso automatizable. El proceso de evaporación y deposición tiene un tiempo estimado entre 3 y 10 minutos, dependiendo del metal empleado y el espesor final depositado. Por tanto, el proceso automatizado permite una gran reducción del tiempo de fabricación, ya que se elimina la tarea de incluir manualmente la malla o lámina metálica para mejora de conductividad que se realiza en la situación actual.

En contraposición, la aplicación del proceso a grandes superficies, como puede ser un revestimiento de ala o de fuselaje, requiere de una cámara de medio vacío de grandes dimensiones. Esto supone una fuerte inversión inicial que puede no hacerlo rentable para series cortas. Durante el servicio, el mantenimiento de esta cámara también puede suponer un gasto importante. Igualmente, al aumentar el tamaño de la cámara, se incrementa el porcentaje de metal depositado en las paredes de la cámara, y por tanto desperdiciado. Este es un efecto a considerar en el diseño de la cámara y posición del componente para reducir al máximo las pérdidas de material.

También hay que destacar la capacidad del método para depositar el metal sobre cualquier superficie, tanto plana como con curvatura suave.

Por último reseñar la posibilidad de personalizar la capa metálica necesaria para cada caso, tanto en espesor como en mezcla de materiales, lo que permite reducir al mínimo el coste de material utilizado y el peso final del elemento.

6.- REFERENCIAS

- [1] Nogueroles, P., López, B., Sánchez, L. "Method for increasing the electrical conductivity of a composite part surface", Patente 16382228.1-1373.
- [2] Albella J.M., "Evaporación térmica en vacío", <http://www.icmm.csic.es/fis/esp/evaporacion.html>.
- [3] Sánchez L., López B., "Final report and applicability"