

MEJORAMIENTO DE LA INTERFASE ALUMINIO-RESINA EPOXICA EN MATERIALES COMPUESTOS LAMINADOS MEDIANTE TRATAMIENTOS QUÍMICO Y FÍSICO

A. Salgado-Mejía^{1,2}, L. Rejón^{2*}, J. Porcayo-Calderón²,
B. Garza-Montoya¹, A. Alvarez-Castillo¹

1. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica y Division de Estudios de Postgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico 27, Zacatepec, Morelos, México, C.P. 62780
2. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Gerencia de Materiales y Procesos Químicos Av. Reforma 113, Col. Palmira, C.P. 62490 Temixco, Morelos México.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se evaluó la influencia del tratamiento químico (con organosilanos) y del tratamiento físico (*sandblasteado*) en la interfase entre la resina epóxica y el aluminio. Los resultados muestran que el tratamiento con el agente acoplante (organosilano), mejora la adhesión en el sistema, lo cual se refleja en una mejor uniformidad de la microestructura resultante. Por otra parte, el *sandblasteado* favorece la interacción entre los materiales originado por una mejor interacción mecánica de la resina epóxica con el aluminio, sin embargo, no se obtuvo una adhesión uniforme en toda la superficie de contacto.

I. INTRODUCCIÓN

El método físico mas común para mejorar la compatibilidad entre resina epóxica y el aluminio consiste en dar un erosionado con arena u otro material duro a presión (*sandblasteado*) a la superficie donde va a ir adherida la resina. En la literatura se menciona que con el sanblasteado y la exposición al medio ambiente se generara grupos –OH en la superficie del aluminio los cuales ayudan a mejora la adherencia¹. Mientras que los métodos químicos utilizan normalmente ácido fosfórico y cromo hexavalente en el proceso. La durabilidad y la firmeza de la unión del aluminio con la resina epóxica es crucial en la generación de estos materiales compuestos y dependen del estado de la superficie del aluminio antes del formación del enlace con la resina, el cual ha permitido el desarrollo de pretratamientos estándares a los metales. El mas conocido a la fecha es el proceso Boeing que consiste en tratar la superficie del aluminio con ácido fosfórico, pero tiene la desventaja de generar subproductos tal es el caso de ácidos contaminantes, los cuales son tóxicos. Esto ha permitido el desarrollado tratamiento menos dañino como lo son los silanos. La generación de esta interfase epóxy-aluminio, mediante enlaces químicos, juega un papel muy importante en durabilidad y resistencia del material compuesto. En este contexto, se han hecho varios estudios utilizando principalmente modelos de moléculas pequeñas, para explicar las interacciones resina-sustrato³. La forma en que la resina epóxica se enlaza o interacciona con el silano presente en el adherente, se ha estudiado mediante técnicas de espectroscopia infrarrojo⁴.

En el presente trabajo se utilizaron dos métodos para mejorar la interfase entre aluminio y resina epóxica. El método químico, utilizando un organosilano, el gama-amino propiltriethoxi silano, y el método físico utilizando *sandblasteado*. La adhesión entre los dos

* A quien dirigir la correspondencia, E-mail: lrej@iie.org.mx

materiales se evaluó en términos de energía de desprendimiento y análisis de la microestructura de la interfase por microscopía electrónica de barrido.

II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Materiales, reactivos y equipo.

Los materiales y reactivos utilizados fueron: Aluminio con un grosor de 3 mm, Granalla de cerámica para realizar el *sandblasteado*, Resina epóxica D.E.R. 331, Agente entrecruzante PACM-amina cicloalifática, agente acoplante (propiltriethoxi silano , clave A1100), Arena malla 200 y Solventes; alcohol etílico, cetona y agua destilada.

2.2 Caracterización de los materiales compuestos resina epóxica-aluminio

- a) **Pruebas de adhesión.** Las pruebas de adhesión se realizan con cuatro temperaturas (-60°C , -2°C , 25°C y 60°C) y cuatro velocidades de pelado (100 mm/ min., 150 mm/ min., 200 mm/ min. y 254 mm/ min) diferentes para elaborar graficas de comportamiento de la adhesión bajo diferentes condiciones, siguiendo las normas ASTM D3164 -03, D3163-01, D4501-01, D638-02, así como, la NOM-E-88-1979.
- b) **Microscopia electrónica de Barrido (SEM).** Las imágenes de SEM se obtuvieron usando electrones secundarios a voltajes de aceleración de 20-25kV. El equipo utilizado fue un *Carl Zeiss modelo DSM-960*.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra la comparación de las cuatro condiciones experimentales a las que se evaluó el trabajo de desprendimiento (W_d) de la interfase resina epóxica-aluminio en función de la velocidad de desprendimiento o de pelado (V_d) a 25°C . En la Figura apreciamos que al aumentar la velocidad de pelado aumentamos el trabajo de desprendimiento, debido posiblemente al carácter viscoelástico de la resina. En todos los tratamientos encontramos una mejora sustancial de las propiedades de adhesión. El mejor tratamiento corresponde al sandblasteado con tratamiento químico (silano) seguido del sandblasteado sin tratamiento químico. Eso nos indica que el anclaje mecánico debido al sandblasteado juega un papel más importante que los enlaces químicos que se forman entre la resina epóxica y el aluminio, vía el tratamiento con silano del aluminio. En otras palabras, el anclaje mecánico es mejor que el anclaje químico.

En la grafica se observa que a velocidades de pelado mayores la curva con tratamiento químico se separa de la del tratamiento de sandblast, debido a la contribución de los enlaces químicos formados entre el aluminio y el agente acoplante y este a su vez con la resina.

En la Figura 2 se muestran las fotografías tomadas por microscopía electrónica de barrido de la superficie del aluminio con los diferentes tratamientos

Como se puede apreciar, el aluminio sin tratamiento químico y sin sandblasteado (Figura 2a) presenta una superficie totalmente homogénea sin irregularidades superficiales con un poco de grietas que pueden ser considerados defectos superficiales. La Figura 2b nos muestra la

superficie del aluminio tratado químicamente[†]. Tal como se observa el tratamiento químico no es homogéneo, ya que existen lugares (partes blancas, color original del aluminio) donde no se efectuó el tratamiento químico y partes oscuras donde si se efectuó el tratamiento. Aún cuando no se tiene el 100 % de la superficie tratada químicamente se observa un aumento sustancial en el trabajo de desprendimiento (Figura 1). Esto nos indica que se forman enlaces químicos entre el aluminio y la resina epóxica via el silano. Cuando se le aplica el sandblasteado, inmediatamente se observa un cambio en la rugosidad superficial (Figura 2c) lo que explica el aumento sustancial en el trabajo de desprendimiento de la interfase resina epóxica-aluminio, debido, como ya se había dicho con anterioridad, al anclaje mecánico. Finalmente la Figura 2d nos muestra la superficie del aluminio con tratamiento químico y sandblasteado. Comparando las Figuras 3d y 2c, en donde la única diferencia entre ambas es el tratamiento químico. Se aprecia que en la Figura sin tratamiento químico y sandblasteada la rugosidad es mayor que en la tratada químicamente. Esto se debe a que el silano depositado con tratamiento químico en la superficie sandblasteada del aluminio forma una capa que disminuye el perfil de anclaje del aluminio o que no se forman enlaces suficientes entre el silano y la resina epóxica ó el aluminio. En las micrografías del perfil de anclaje reportadas en la referencia 10 de los materiales compuestos para los diferentes tratamientos, se aprecia en la correspondiente a la muestra tratada químicamente y sandblasteada (Figura 2d), que existe defectos en la interfase resina epóxica-aluminio que explicarían el porque no hay una mejora sustancial en el trabajo de desprendimiento comparada con la muestra de aluminio sandblasteada únicamente (Figura 2c).

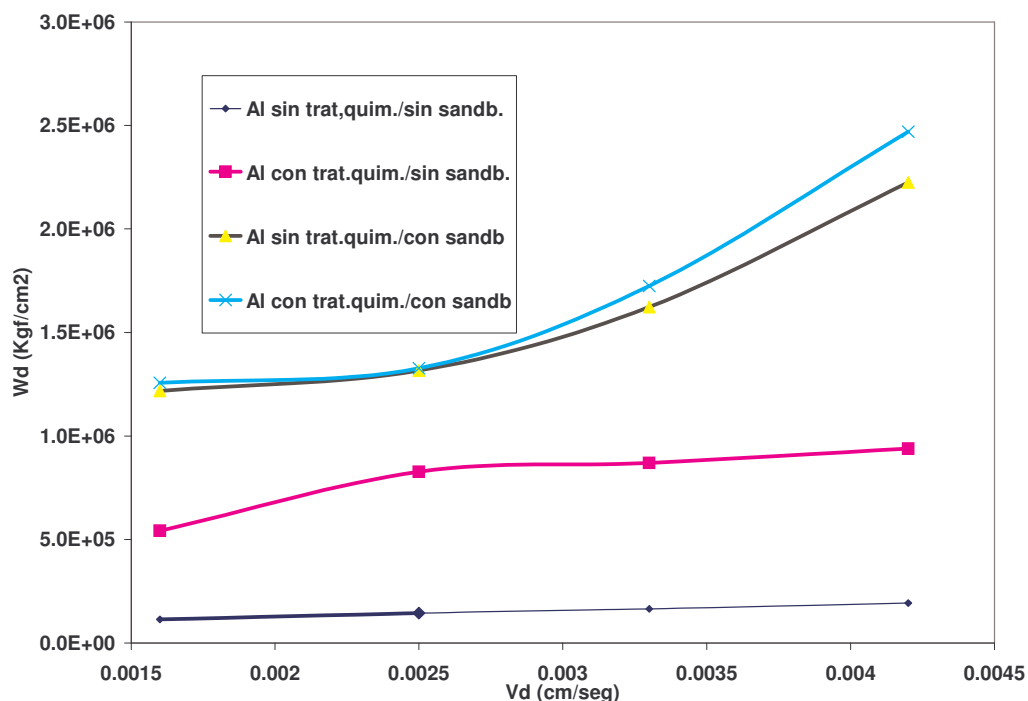


Figura 1. Comportamiento de la adhesión a 25 °C

[†] Cabe aclarar que el tratamiento químico se refiere al tratamiento del aluminio con silanos.

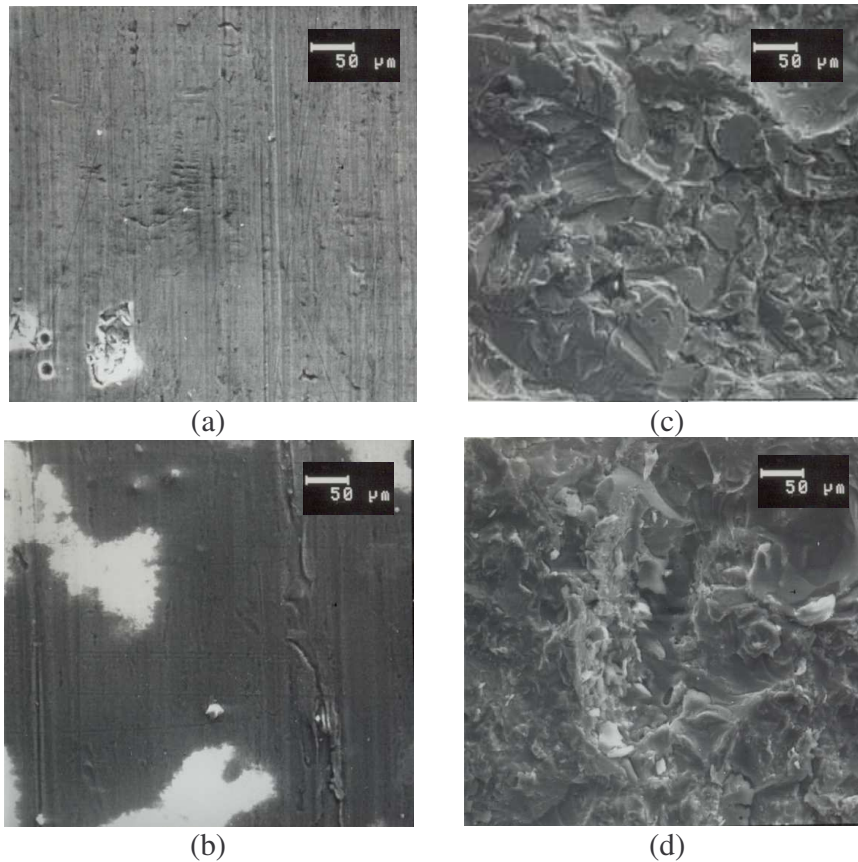


Figura 2. Fotografías de la superficie de aluminio a 200 aumentos: (a) sin tratamiento y sin sandblasteado; (b) sin tratamiento y con sandblasteado; (c) con tratamiento y sin sandblasteado; y (d) con tratamiento y con sandblasteado

IV. CONCLUSIONES

El mejor tratamiento para aumentar la adhesión en la interfase resina epóxica– aluminio en términos económicos es el tratamiento físico (sandblasteado) ya que resulta casi idéntica la mejora al del tratamiento químico y sandblasteado

En el tratamiento químico (reacción de silanización superficial) al utilizar el agente acoplante provocamos la existencia de enlaces químicos en la interfase aluminio–resina epóxica, debido a la mejora sustancial al compararlo con el materiales compuesto hecho de aluminio sin ningún tratamiento.

Agradecimientos

El tercero y último autor desean agradecer al COSNET (Clave del proyecto 391.02-I) por el apoyo económico al proyecto y el enorme apoyo brindado por parte del Instituto de Investigaciones Eléctricas en el desarrollo de la parte experimental.

REFERENCIAS

1. Leonardo Rejón García, Tesis de Maestría, “Estudio de la adhesión entre Elastómero y Plástico Reforzado”, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, 1990.
2. M.D. Ellul and A.N. Gent, J. Polym. Sci., Polymer. Phys, 1984, 22 ,
3. J.W. Brosch, Y. Mikawa y R. J. Jacobsen, Chemical Far Infrared Spectroscopy, 1968 .
4. Bonin, HW; Bui, VT; Pak, H; Poirier, E; Harris, H. J Appl. Polym. Sci., 1998, **67**, 37.
5. McQueen RC; Miron RR; Granata Rd., J. Coatings Technology, 1996, 68, 75.
6. Berman JB; Albers RG; White SR., J. Adv. Mater, 1995, 27, 18. Affrossman S., MacDonald SM, Langmuir, 1996, 12, 2090 .
7. Digby, R. P.; Shaw, S. J. Int. J. Adhes. Adhes. 1998, 18, 261.
8. Whitten, MC; Lin, CT. Ind. Eng. Chem. Res., 1999, 38, 3903
9. He, J; Gelling, VJ; Tallman, DE; Bierwagen, GP., JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, 2000, 147, 3661.
10. Angel Salgado Mejía, Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, “MEJORAMIENTO DE LA INTERFASE ALUMINIO-RESINA EPOXICA EN MATERIALES COMPUESTOS LAMINADOS MEDIANTE TRATAMIENTOS QUÍMICO Y FÍSICO”, Diciembre del 2006 (a ser presentada)