

## Tratamiento superficial por láser en materiales compuestos

### Surface treatment by laser in composite materials

VARGAS-OSUNA, Lidia\*†, CABRERA-CORDOBA, Eduardo, ANGUIANO-LIZAOLA, Jorge y DÍAZ-CHACÓN, Juan

*Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ingeniería. Blvd. Benito Juárez S/N, Unidad Universitaria. CP. 21280, Mexicali, Baja California. México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Lidia, Vargas-Osuna / ORC ID: 0000-0002-5205-0224, Researcher ID Thomson: G-3018-2017, CVU CONACYT ID: 208473

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Eduardo, Cabrera-Cordoba / ORC ID: 0000-0001-8239-280X, Researcher ID Thomson: X-3092-2018, CVU CONACYT ID: 228437

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Jorge, Anguiano-Lizaola / ORC ID: 0000-0003-0365-8353, Researcher ID Thomson: X-3199-2018, CVU CONACYT ID: 335447

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Juan, Díaz-Chacón

Recibido 06 de Enero, 2018; Aceptado 16 de Marzo, 2018

#### Resumen

Los métodos convencionales para el tratamiento superficial de los materiales compuestos presentan algunas limitaciones y variaciones que afectan su rendimiento durante y después de la unión. En este trabajo se propone el uso de tecnología láser como un método para modificar la morfología de la superficie de fibra de vidrio, mejorando su adhesión en una unión simple por traslape con resina epóxica. El análisis por microscopía electrónica de barrido mostró patrones simétricos por ablación con láser en la superficie del compuesto. Los resultados de la prueba de tensión confirman un aumento significativo en la resistencia de la unión y una menor variación, en comparación con el grupo de control sometido a un método convencional con lija de papel con carburo de silicio.

**Láser, Materiales compuestos, Tratamiento de superficies, Adhesión**

#### Abstract

Conventional methods for the surface treatment of materials to be joined present some limitations and variations that affect their performance during and after the bonding. This work is about the use of a light-based technology as a method to modify the surface morphology of fiberglass composites to enhance their adhesion in a single lap joint with epoxy adhesive. Examination with scanning electron microscopy showed patterns of laser over the composite surface, and the results of tensile test machine confirm a significant increase in the strength of the joint when compared with the control group submitted to a conventional method with silicon carbide papers.

**Laser, Composites, Surface treatment, Adhesion**

**Citación:** VARGAS-OSUNA, Lidia, CABRERA-CORDOBA, Eduardo, ANGUIANO-LIZAOLA, Jorge y DÍAZ-CHACÓN, Juan. Tratamiento superficial por láser en materiales compuestos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2018, 2-5: 19-24

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: lidia.vargas@uabc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los materiales compuestos de matriz polimérica (PMC), se utilizan ampliamente debido a su costo y ventajas en sus propiedades, como alta resistencia a la tensión, resistencia al desgaste y baja densidad, que pueden satisfacer los requisitos de aplicaciones en industrias como automotriz, aeroespacial, biomédica, civil y microelectrónica. En el caso de los aviones, las estructuras, alas y fuselaje están migrando al uso de materiales compuestos, debido a su baja densidad, que reduce peso, permite un mejor rendimiento y ahorro de combustible.

En aplicaciones de ingeniería, Al unir materiales similares o diferentes la unión con adhesivos, se tienen algunas ventajas en comparación con la unión mecánica. El adhesivo proporciona una alta resistencia en relación con su peso, distribuye la carga de manera uniforme, mejora la fluidez aerodinámica, es lo suficientemente flexible como para permitir variaciones en los coeficientes de expansión térmica y mejorar la apariencia visual (Vinson & Sierakowski, 2002). La etapa crítica es la preparación de la superficie, debido a que la fuerza total depende de una unión adecuada entre el adhesivo y los adherentes. Las técnicas tradicionales implican abrasión con lija de papel, granallado, microabrasión o ataque químico, estos presentan ciertas limitaciones, ya que es crítico un proceso controlado, con alta reproducibilidad para altos volúmenes de producción.

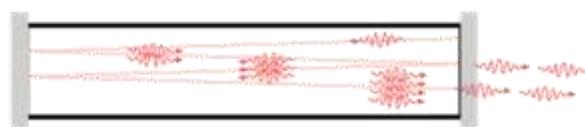
## Tecnologías basadas en la luz

Las tecnologías basadas en la luz son un importante motor económico con potencial para revolucionar el siglo XXI. Tal como lo hizo, la electrónica en el siglo XX. La óptica, la fotónica y la invención del láser, satisfacen necesidades en múltiples campos desde la salud y hasta el desarrollo sostenible. De esta manera, la Asamblea General de las Naciones Unidas (AGNU), proclamó el 2015 como el año internacional de la luz y las tecnologías basadas en la luz (International Year of Light, 2015).

El estudio de la luz ha llevado a aplicaciones que dan forma a nuestra sociedad de la información. Las comunicaciones de fibra óptica permiten el internet de alta velocidad que usamos hoy.

Los láseres pueden codificar cientos de terabytes de datos para almacenar una base de conocimiento en constante crecimiento. Las tecnologías basadas en la luz nos ayudan a explorar el espacio con telescopios equipados con sensores que recopilan datos desde el ultravioleta hasta el infrarrojo del espectro e incluso mapean nuestro Universo en su infancia al capturar el fondo cósmico de microondas: la radiación remanente del Big Bang. Del mismo modo, la detección remota desde satélites también nos está ayudando a comprender mejor nuestro planeta, predecir el clima, monitorear y manejar la contaminación (International Year of Light, 2015).

El láser, es un acrónimo en inglés de "amplificación de luz por emisión estimulada de radiación". Es un dispositivo que consiste en un medio de ganancia y una cavidad óptica. El medio de ganancia es una sustancia que puede pasar de un estado de energía más alto a uno más bajo y transfiere la energía asociada al rayo láser. Los gases como el neón, el helio y el argón son excelentes medios de ganancia, al igual que los cristales dopados con átomos de tierras raras, como el itrio, el aluminio y el granate. Una fuente de alimentación externa, generalmente corriente eléctrica, estimula el medio de ganancia al estado excitado. La cavidad óptica consiste esencialmente dos espejos paralelos que reflejan repetidamente un haz de luz a través del medio de ganancia. Cada vez que el rayo pasa a través del medio de ganancia, aumenta en intensidad (Figura 1).



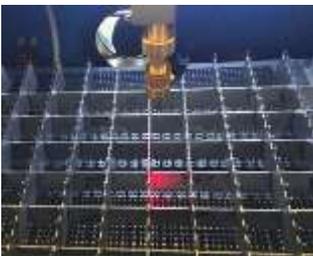
**Figura 1** Esquema de funcionamiento del láser

Conceptualmente, el funcionamiento del láser es similar a una bombilla incandescente; sin embargo, la luz generada por un láser es coherente, lo que significa que tiene una sola longitud de onda y se emite en un haz bien definido (Newell, 2009).

El láser de CO<sub>2</sub> se basa en una mezcla de gases dentro de un tubo de vacío generalmente helio, argón, nitrógeno y CO<sub>2</sub>, donde se mantiene una descarga eléctrica que excita a las moléculas de gas hasta desprender fotones.

Se ha descubierto que el helio más ligero, liberan fotones a una menor energía, estos fotones a su vez excitan al  $\text{CO}_2$ , en un efecto de cascada y mejoran la eficiencia energética del láser. Resultando en un haz de luz amplificada, coherente y monocromático, que se utiliza ampliamente para el procesamiento de materiales como: a) cortar materiales plásticos, madera, tableros, entre otros, que presentan una alta absorción a  $10.6 \mu\text{m}$  y requieren niveles moderados de potencia de 20-200 W. b) metales de corte y soldadura, como acero inoxidable, aluminio o cobre, aplicando potencias de varios kilovatios. c) marcado con láser a diversos materiales (Paschotta, 2008). En la Figura 2 se puede apreciar la mesa de trabajo del láser de  $\text{CO}_2$ .

Los láseres de  $\text{CO}_2$  utilizados para el procesamiento de materiales compiten con los láseres de estado sólido, como los láseres YAG y los láseres de fibra que operan en el régimen de longitud de onda de  $1 \mu\text{m}$ . Estas longitudes de onda más cortas tienen las ventajas de una absorción más eficiente en una pieza de trabajo metálica y la posibilidad de conducir el haz a través de cables de fibra. No hay láser de fibra óptica para  $\text{CO}_2$  con una longitud de onda de  $10.6 \mu\text{m}$ .



**Figura 2** Mesa de trabajo de laser de  $\text{CO}_2$

El producto de parámetro de haz potencialmente más pequeño de los láseres de  $1 \mu\text{m}$  también puede ser ventajoso. Sin embargo, este último normalmente no puede ser bombeado por lámparas de alta potencia y los láseres bombeados por diodos tienden a ser más caros.

Por estas razones, los láseres de  $\text{CO}_2$  todavía se utilizan ampliamente en el negocio de corte y soldadura, especialmente para piezas con un espesor superior a unos pocos milímetros, y sus ventas representan más del 10% de todas las ventas globales de láser a partir de 2013.

Esto puede, en cierta medida, cambiar en el futuro debido al desarrollo de láseres de disco fino de alta potencia y cables de fibra avanzados en combinación con técnicas que explotan la alta calidad del haz de dichos láseres. (Paschotta, 2008).

En este trabajo, se utilizó un láser de  $\text{CO}_2$  infrarrojo convencional como método alternativo para la preparación de superficies de compuestos de fibra de vidrio como una alternativa al método tradicional de abrasión con lija de papel. El procesamiento con láser incluye: la microablación o eliminación de material mediante sublimación en un proceso sin contacto libre de daños térmicos o mecánicos, generando patrones geométricos o texturas en la superficie que modifican las propiedades del material con respecto a la humectación, adherencia y dureza.

### Metodología a desarrollar

#### Preparación y evaluación de las muestras

El propósito de este trabajo fue asegurar una topografía de superficie controlada y replicada capaz de mejorar la resistencia de adherencia de un polímero reforzado con fibras (FRP), cuando se unen con adhesivo epóxico en una junta simple por traslape. El flujo mostrado a continuación, se propone como un método para evaluar la mejora de la adhesión mediante el uso del láser para la preparación de la superficie de compuestos de FRP:

- Paso 1.* Fabricación de paneles compuestos.
- Paso 2.* Preparación de la superficie por: a) abrasivo y b) tecnología láser.
- Paso 3.* Unión simple por traslape con adhesivo epoxi de paneles tratados.
- Paso 4.* Evaluación de adherencia de acuerdo con estándares ASTM.

#### Fabricación y tratamiento de superficies de paneles compuestos

Laminados de  $25.4 \times 100 \text{ mm}$  y  $2.5 \text{ mm}$  de espesor, fueron elaborados por el método manual o hand lay-up en inglés.

La matriz consiste en resina epóxica y endurecedor 1101 del proveedor Fiber Glast, en una proporción de mezcla de 3:1. El refuerzo de fibra de vidrio tejida con hilos con una orientación a  $0$  y  $90$  grados respectivamente.

La preparación de las muestras previo a su unión consistió en un tratamiento superficial para marcar en el área de traslape de 25.4 mm de la orilla, para un total de cinco paneles en cada una de las siguientes condiciones: a) tratamiento tradicional con papel de carburo de silicio (SiC) para el grupo de control, b) tres diferentes recetas de tratamientos con láser de CO<sub>2</sub> identificadas como T1, T2 y T3.

El equipo láser utilizado durante la experimentación es una máquina de grabado y corte láser Shenhui CO<sub>2</sub> de 50W. Las variables durante la configuración de los parámetros de las recetas fueron la velocidad de escaneo y la distancia entre líneas o espacios llenos, como se describe en la Tabla 1. El objetivo fue configurar una receta láser adecuada y capaz de obtener un buen control en la superficie modificada sin daños en las fibras (Figura 3).

Tratamiento	Control	Láser T1	Láser T2	Láser T3
Descripción	Papel de carburo de silicio (SiC) de 180 granos	Potencia: 50 watts Corriente: 20 amp Velocidad: 150 mm/s Avance: 100µm	Potencia: 50 watts Corriente: 20 amp Velocidad: 150 mm/s Avance: 150µm	Potencia: 50 watts Corriente: 20 amp Velocidad: 150 mm/s Avance: 150µm. Muestra en ángulo de 45 grados

**Tabla 1** Descripción de los tratamientos aplicados en las superficies de los paneles



**Figura 3** Diferentes tratamientos del láser de CO<sub>2</sub> sobre material compuesto de fibra de vidrio

### Evaluación de la fuerza de adhesión

Después del tratamiento de la superficie, los paneles se sometieron a una unión simple con adhesivo epóxico del proveedor Fiber Glast.

La parte A y B se mezclaron en una proporción 1: 1 con un tiempo de curado de 6-8 horas a 77 °F. Se agregaron microesferas de vidrio con una altura promedio de 0.070 mm para controlar el espesor de la línea de adhesivo.

El esquema y las dimensiones de los paneles, incluido el área de traslape, se muestran en la Figura 4.



**Figura 4** Esquema y dimensiones de las placas en unión por traslape simple

Se consideraron los métodos de prueba ASTM D1002 y D5868 para evaluar la mejora de la resistencia al corte de los paneles de fibra de vidrio, unidos en traslape simple con adhesivo. Las muestras se sometieron a prueba de tensión con una velocidad de carga de 13 mm/min hasta su falla en una máquina de prueba de 100 kN modelo Galdabini Quasar 100.

Existen diferentes clases de modos de falla en uniones con adhesivos que se establecen de acuerdo con el estándar ASTM D5573 (Figura 5).



**Figura 5** ASTM 5573 Clasificación de modos de falla en uniones con adhesivos

Las principales características de los modos de falla se describen a continuación:

Id	Tipo	Descripción
1	AF	Falla de adhesivo: separación en la interfaz adhesivo-adherente
2	CF	Falla cohesiva: dislocación dentro del adhesivo
3	TLCF	Falla cohesiva de capa fina: caracterizada por una ligera capa de adhesivo en una superficie y una capa gruesa del adhesivo que queda en la otra
4	FTF	Falla de fibra-rotura: dentro de la matriz de FRP, caracterizada por la aparición de fibras de refuerzo en ambas superficies
5	LFTF	Falla ligera de fibra-rotura: caracterizada por una capa delgada de matriz de resina de FRP visible en el adhesivo, con pocas o ninguna fibra de vidrio transferida desde el material compuesto al adhesivo
6	SB	Falla de panel-rotura: se produce una separación dentro del FRP, pero fuera de la superficie de unión,
7	MX	Falla mixta: cualquier combinación de las diferentes clases.

**Tabla 2** Clasificación del modo de falla en unión con adhesivos

Resultados

Evaluación por microscopía electrónica de barrido

Las superficies tratadas, incluido el grupo de control y los tres grupos de láser, se analizaron con el microscopio electrónico de barrido JEOL JSM6360 (SEM), para observar su aspecto y descartar fibras dañadas. En el caso de las muestras tratadas con papel de carburo de silicio presentan una superficie no uniforme con algunas fibras expuestas en áreas pequeñas (Figura 6).

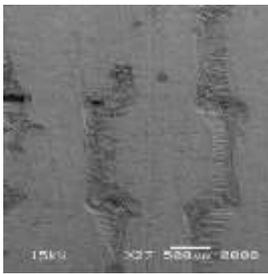
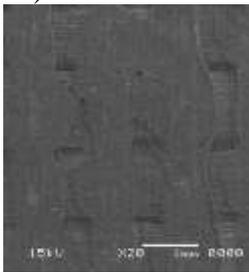


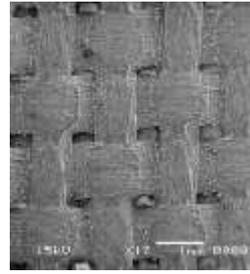
Figura 6 Imagen SEM de la muestra de control tratada con papel de carburo de silicio

En relación con las muestras tratadas con láser de CO2, el grupo T1 no mostró fibras expuestas significativas como las muestras de control. Figura 7a. Los paneles del tratamiento T2 presentaron fibras expuestas completamente en direcciones verticales y horizontales sin daños, pero con un mínimo de resina. Figura 7b. Las muestras T3 sometidas a los mismos parámetros de T2, pero con una inclinación de 45 grados, presentaron fibras sin daños y parcialmente expuestas en ambas direcciones. Figura 7c.

7a)



7b)



7c)

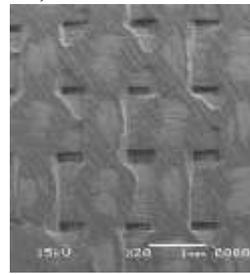


Figura 7 Imágenes SEM del grupo de láser de CO2 con a) Tratamiento T1, b) Tratamiento T2 y c) Tratamiento T3

Resultados de la prueba de tensión

Para evaluar si se produjo un aumento en la resistencia de la junta, entre los paneles de control y los tratados con láser, se sometieron a una máquina de ensayo por tensión.

Respecto a los resultados globales de la carga máxima, hay una mejora significativa en los paneles sometidos a recetas con tratamiento láser en comparación con el grupo de control con una carga promedio de 2234 N.

La receta láser T1 fue superior al control con 3080N y la receta T2 presentó la carga más alta con un promedio de 5140 N. Por otro lado, se puede observar menor variación en la receta T3 y con un promedio de 4994 N ligeramente debajo de T2, (Figura 8).

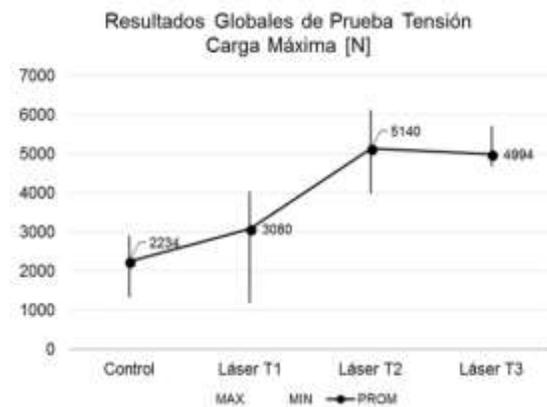


Figura 8 Gráfica comparativa de los resultados de carga máxima de la prueba de tensión

## Conclusiones

Aun cuando la media para el tratamiento en T1 para la prueba de tensión fue superior a la encontrada en las muestras de control con lija de papel, los rangos en los resultados se traslapan y no es posible diferenciarlos. Ambas presentan falla cohesiva (CF), la cual ocurre en el adhesivo. La alta desviación encontrada para el T1 es mayor, lo que representa una mayor variación del proceso.

Los tratamientos T2 y T3 presentaron la falla de fibra-rotta (FTF) caracterizada por la aparición de fibras de refuerzo en ambas superficies. Éstos últimos fueron encontrados superiores para la prueba de adhesión en un 60%, para ambos casos se incrementó el avance entre líneas a 150 micrones evitando el traslape entre las líneas.

En T2 se observa un mayor ataque sobre el plástico y una sobre exposición de las fibras. Al girar la muestra en un ángulo de 45 grados, disminuye la remoción de plástico y la exposición de la fibra mejorando el control sobre el proceso, disminuyendo la desviación estándar y por lo tanto permitiendo encontrar una solución óptima.

Respecto a la elongación máxima encontrada, el tratamiento T1 y el control presentaron ambos 1.4 mm. Sin embargo, en los tratamientos T2 y T3 éste aumentó hasta 2.8 mm. Lo que parece indicar que en los tratamientos T2 y T3, la fibra expuesta y el adhesivo se unen de manera más íntima formando una nueva unión controlada por el adhesivo.

## Agradecimiento

A la Universidad Autónoma de Baja California por el financiamiento del proyecto a través del programa de convocatorias internas de apoyo a proyectos de investigación.

## Referencias

ASTM International. (s.f.). *D1002-10 Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)*. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D1002.htm>.

ASTM International. (s.f.). *ASTM D5573-99 Standard Practice for Classifying Failure Modes in Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Joints*. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D5573.htm>.

ASTM International. (s.f.). *ASTM D5868-01 Standard Test Method for Lap Shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bonding*. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/D5868.htm>.

Calik, A. (2016). Effect of adherend shape on stress concentration reduction of adhesively single lap joint. *Engineering Review*. 36(1). 29-34.

Heidarpour, F., Farahani, M., & Ghabezi, P. (2018). *Experimental investigation of the effects of adhesive defects on the single lap joint strength*. International Journal of Adhesion and Adhesives, 80128-132. doi:10.1016/j.ijadhadh.2017.08.005

International Year of Light. (2015). Recuperado de <http://www.light2015.org/Home.html>.

Mercy, Lilly & , Senguttuvan. (2015). Joint Strength analysis of single lap joint in glass fiber composite material. *International Journal of applied engineering research*. 10(7). 16535-16545.

Newell, J. (2009). *Essentials of modern materials science and engineering*. Hoboken, New Jersey: John Wiley.

Paschotta, R. (2008). *Encyclopedia of laser physics and technology [versión electrónica]*. Weinheim, Alemania: Wiley-VCH., <https://www.rp-photonics.com>

Powell, J., & Kaplan, A. (2013). A comparison of fiber and CO2 laser cutting. *Industrial Laser Solutions*. 28(5). 6.

Tzetzis, D. (2008). The role of surface morphology on the strength and failure mode of polymer fiber reinforced single lap joints. *Journal of Materials Science*. 43(12). 4271-4281. doi:10.1007/s10853-008-2621-2.

Vinson, J. R., & Sierakowski, R. L. (2002). *The behavior of structures composed of composite materials*. Dordrecht, Netherlands: Springer.