

Procesamiento de materiales con láser: principales aplicaciones y desarrollos recientes en manufactura avanzada

Carlos A. Calles Arriaga^{1,*}, A. Castillo-Guzmán² y R. Selvas-Aguilar²

Universidad Politécnica de la Región Ribereña,

Puerto de Tuxpan s/n entre Puerto de Tampico y Chetumal, Col. Jardines de San Germán,

Cd. Miguel Alemán, Tamps.

Universidad Autónoma de Nuevo León,

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas,

Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L.,

*Correo-e: charlykov@gmail.com

Tel. (897) 9723680

RESUMEN

En este trabajo se presentan los principales avances en técnicas de procesamiento con láser y sus aplicaciones. Se revisan los distintos tipos de láseres tales como el CO₂, Nd:YAG y de fibra dopadas con tierras raras. También se revisan las principales aplicaciones en grabado de materiales, en dispositivos de fibra óptica y como herramienta en el proceso de fabricación de celdas solares.

Palabras clave: procesamiento de materiales con láser, láser de fibra óptica, láser de CO₂.

1. INTRODUCCIÓN

La primera demostración práctica de un láser estuvo a cargo de Mainman en 1960 en los laboratorios de investigación Hughes en California [1]. Desde entonces ha sido denominado como una solución en busca de problemas. Entre las aplicaciones actuales se encuentran: en telecomunicaciones, en medicina y en procesamiento de materiales [2-5]. El procesamiento de materiales con láser ha tenido un gran crecimiento en las últimas décadas. Entre los láseres más utilizados encuentran el de CO₂ y Nd:YAG. El primero, con emisión a 10.6 μm , se utiliza en la mayoría de los procesos industriales tales como el grabado de aluminio anodizado, vidrio, acrílico, corte de metales etc. Entre las ventajas que presenta el láser de CO₂ se encuentran su alta eficiencia de operación de alrededor del 15%, su versatilidad para procesamiento de un amplio rango de materiales y su alta calidad del haz. Por otra parte, el láser de Nd:YAG opera a 1.06 μm , longitud de onda a la cual los metales presentan una alta absorción, por lo tanto sus aplicaciones principales se encuentran en grabado y corte de metales. Sus características principales son eficiencia de conversión eléctrica-óptica del 4%, calidad del haz regular y generalmente son de mayor costo que el de CO₂. Recientemente, y debido al desarrollo de fuentes de bombeo más eficientes y de la fabricación de fibras especiales, el láser de fibra óptica dopada con tierras raras se ha posicionado en el mercado de procesamiento de materiales. Particularmente, el laser de fibra dopada con Yb³⁺ es utilizado, especialmente por su longitud de onda a 1.03 μm cuya emisión coincide con la región de alta absorción del metal. Las principales ventajas que presenta el laser de fibra óptica son: excelente calidad del haz, alta eficiencia cuántica de conversión, buena distribución térmica y capacidad de sintonización. Otros láseres utilizados en

procesos industriales son: ArF, diodo láser, excímero, etc. En este trabajo se dan a conocer las principales técnicas para el procesamiento de materiales con laser, así como también las aplicaciones principales y procesos de manufactura avanzada.

2. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO

Los sistemas para el procesamiento de materiales con láser se componen básicamente de tres secciones: una computadora con software especializado para realizar diseños y envío de datos; hardware que incluye el propio láser y el sistema opto-mecánico para controlar la trayectoria del haz; y por último el espacio para la pieza o material a procesar (ver fig. 1(a)). Las técnicas más utilizadas para controlar la trayectoria del haz son: por medio de galvanómetros ó cabezas de marcaje (ver fig. 1(b)) o por medio de sistemas de espejos con movimiento traslacional en x - y (ver fig. 1(c)). El primer sistema tienen la ventaja de poder operar a muy altas velocidades, pero están limitados a un área del orden de centímetros. Por otra parte, el sistema con movimiento x - y opera típicamente en áreas más extensas pero está limitado en velocidad.

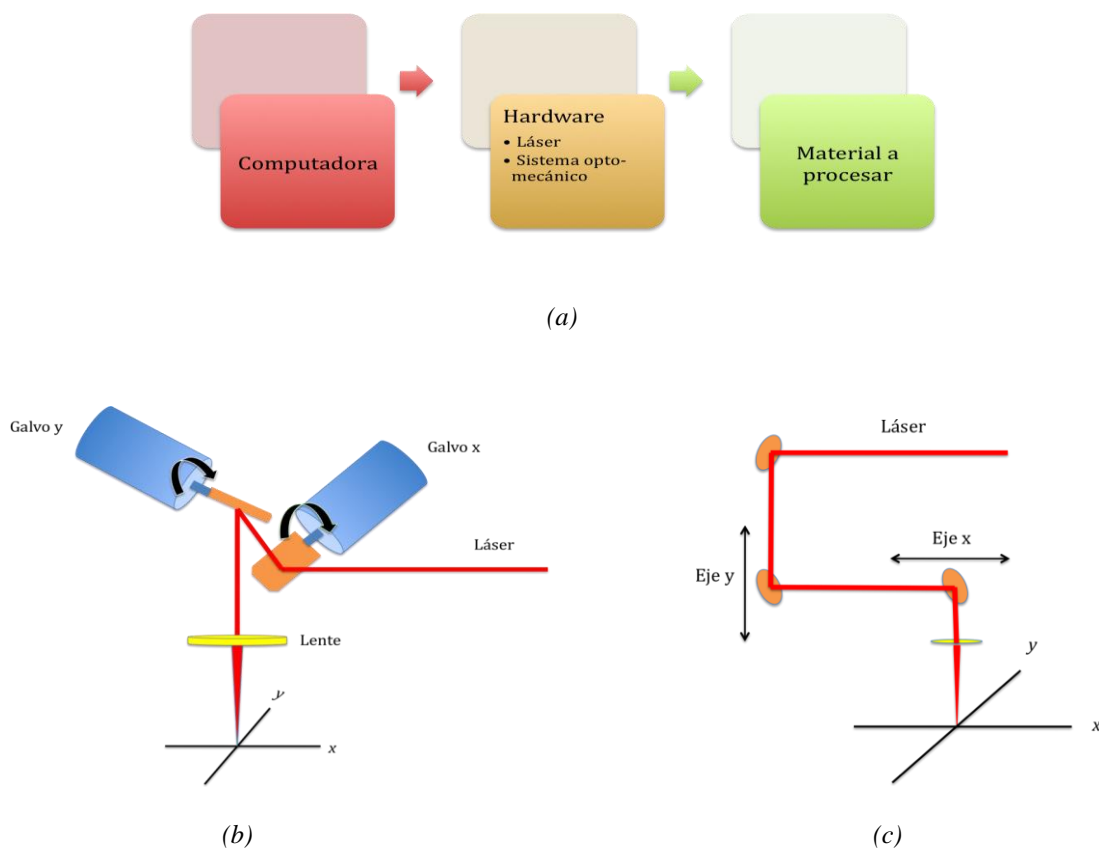


Fig. 1 – Sistema de procesamiento de materiales con láser. (a) Diagrama de bloques del sistema; (b) Sistema opto-mecánico a base de movimiento rotacional de espejos por medio de galvanómetros; (c) Sistema a base de movimiento traslacional de espejos (x - y).

3. PRINCIPALES APLICACIONES

Las principales aplicaciones del láser se encuentran en las áreas de: grabado, corte, perforación y soldadura [6]. En procesos industriales, se puede utilizar el grabado con láser para indicar números de serie, fechas de caducidad, logotipos, etc. La ventaja de este proceso, frente a métodos tradicionales es que se logra un grabado permanente y de alta resolución, tomando en cuenta que en el caso del láser de CO₂ se puede enfocar hasta un área de unas decenas de micras. Además, se tiene una velocidad alta, por lo que se puede utilizar para procesos de producción en serie.

La mayoría de los procesos de grabado con láser se pueden realizar con potencias menores de 50 W. En el caso del corte, una de las ventajas principales es la calidad. A diferencia de otros métodos utilizados como prensas o el corte con plasma, la pieza no requiere de procesos posteriores de pulido, por lo que representa un ahorro en tiempo. Una de las principales aplicaciones del corte con láser se encuentra en la fabricación de vehículos (corte de chasis) además del corte de silicio para fabricación de celdas solares [7]. Por otra parte, se puede emplear el láser en perforación. Para esto se utilizan principalmente pulsos ultracortos (del orden de pico o femto segundos). Entre los productos que se benefician de esta tecnología se encuentran las impresoras de inyección de tinta, dispositivos biomédicos y sistemas mecánicos microelectrónicos [8-9]. Otra aplicación de se encuentra en la soldadura. En este proceso, el láser funde el material con lo cual se puede soldar fácilmente [10-11]. Este proceso puede incluir metales o polímeros. En la siguiente sección se presentan algunos trabajos de manufactura con láser.

4. MANUFACTURA AVANZADA

Además de los procesos convencionales, en años recientes el láser se ha empezado a utilizar en procesos de manufactura avanzada. Estos procesos van desde fabricación de rejillas de periodo largo para filtros acoplados en fibra óptica hasta su implementación como herramienta de fabricación de celdas solares de bajo costo. A continuación se dan a conocer algunos de estos procesos especializados.

4.1 Fabricación de rejillas de periodo largo.

Las rejillas de periodo largo se forman por una serie pequeñas perturbaciones en el índice de refracción de una fibra óptica. Estas modificaciones periódicas en la fibra generan que los modos que viajan en el núcleo, sean acoplados al revestimiento. Esto da como resultado bandas de rechazo a una longitud de onda determinada que esta dada por:

$$\lambda_{res} = \Lambda(n_{01} - n_{mn}), \quad (1)$$

donde λ_{res} representa la longitud de onda central de la resonancia de transmisión, Λ es el periodo de la rejilla, n_{01} es el índice efectivo del modo fundamental del núcleo y n_{mn} es el índice efectivo del modo LP_{mn} del revestimiento.

Entre las aplicaciones de este tipo de rejillas se encuentran: filtros ópticos para telecomunicaciones, sensores de fibra óptica o dispositivos de bombeo para láseres de fibra. El proceso de fabricación de estos elementos puede ser mediante: empalmadoras de fibras, por medios mecánicos o mediante laser de CO₂. La fabricación de rejillas mediante láser tiene la ventaja que se pueden diseñar y realizar patrones complejos, por ejemplo rejillas de periodo largo aperiódicas [12-15]. La

fabricación de rejillas con láser consiste en grabar puntos a lo largo de la fibra como se muestra en la Fig. 2. Además el tiempo de fabricación es considerablemente menor que por medio de las otras técnicas, por lo que se tiene la capacidad de fabricación en serie.

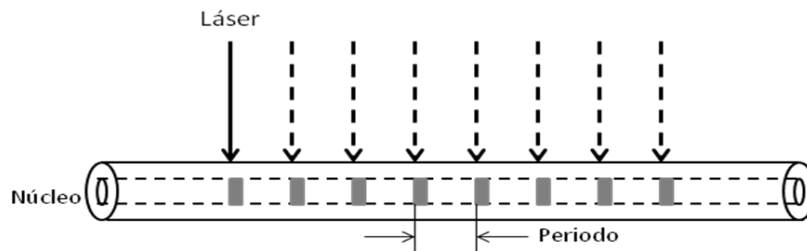


Fig. 2. – Fabricación de rejillas de periodo largo.

En un estudio realizado [16], se fabricaron rejillas de periodo largo por medio de láser de CO_2 de guía de onda excitado por RF. La fibra utilizada fue de tipo SMF-28. El proceso consistió en hacer incisiones en la fibra mediante el láser y optimizar los parámetros de potencia y de velocidad de impresión. Además se fabricaron rejillas con periodos de $\Lambda = 152 \mu\text{m}$, $228 \mu\text{m}$ (fig. 3) y $304 \mu\text{m}$. En la figura 4 se muestran los resultados del espectro de absorción de la rejilla fabricada.

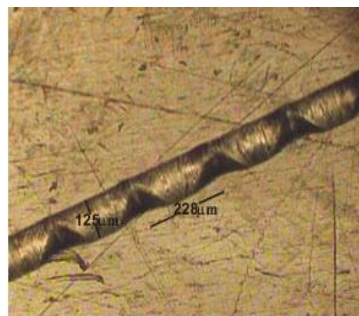


Fig. 3.- Rejilla de periodo largo fabricada con láser de CO_2 con periodo de $228 \mu\text{m}$ [16].

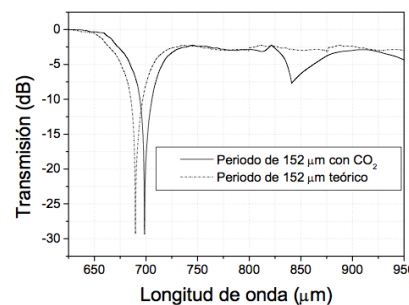


Fig. 4.- Espectro de absorción de rejilla con periodo de $228 \mu\text{m}$ en fibra SMF-28 [16].

4.2 Acopladores para fibra óptica

Uno de los problemas principales en el manejo de fibra óptica es el proceso de alineación. Una solución a este problema es la fabricación de empalmes temporales, los cuales deben tener tolerancias de fabricación muy bajas. Mediante micro maquinado con láser se fabricaron acopladores de fibra con bajas pérdidas en sustrato de acrílico [17]. El estudio consistió de dos etapas: primeramente, se optimizó la profundidad del grabado en función de la potencia para una velocidad constante de 10 cm/seg (fig. 5).

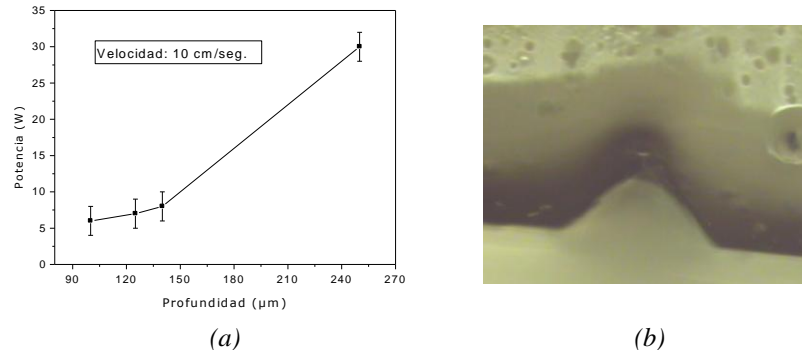


Fig. 5. - Optimización de dimensiones de v-grooves (canales) para acoplador [17], (a) Cambio de la profundidad en función de la potencia, (b) Perfil de grabado con láser en relieve en sustrato de acrílico.

Después de la optimización de la profundidad de los canales, la segunda etapa consistió en la fabricación del acoplador completo. Para esta etapa también se utilizó el proceso de corte con láser. En la figura 6 se puede observar el acoplador de fibra. Los resultados obtenidos mostraron pérdidas por acoplamiento de 0.1 dB. Entre las ventajas del conector se encuentran: facilidad de utilización, manufactura de alta calidad, además de que la implementación se realiza a velocidades superiores que otros métodos.

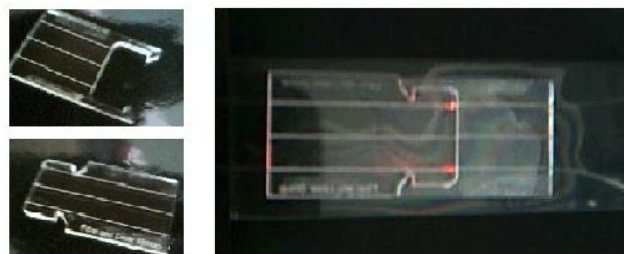


Fig. 6. - Acopladores de fibra manufacturados con láser [17].

4.3 Manufactura de celdas solares.

Una de las áreas más prometedoras del procesamiento de materiales con láser se encuentra en la manufactura de celdas solares, específicamente en el grabado de patrones de películas delgadas [18]. Este proceso, incrementa la absorción en las celdas y por lo tanto se incrementa su eficiencia. Básicamente, el proceso consiste en grabar un patrón después de cada paso de depósito de los

módulos de películas delgadas (ver Fig. 7). Al final se obtiene un arreglo de cristal fotónico (fig. 8) que permite extender la absorción sobre un rango más amplio de longitudes de onda.

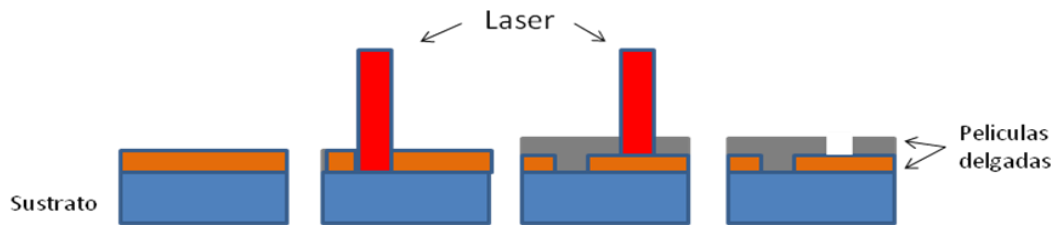


Fig. 7.- Proceso de inscripción de celdas solares con láser [18].

Otra aplicación del láser en el proceso de manufactura de celdas solares esta en el aislamiento de los bordes. El aislamiento es importante para evitar cortos circuitos entre la capa activa y los lados posteriores. Entre las principales ventajas del aislamiento con láser se encuentran: alta precisión y la disminución de riesgos de daños mecánicos a las celdas. Además del aislamiento de bordes y el grabado de patrones para el aumento de eficiencia las aplicaciones del láser (Nd:YAG y Nd:Vanadio pulsados) incluyen perforación de alta calidad y corte de silicio.

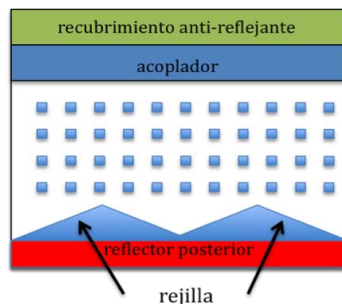


Fig. 8.- Arreglo de cristal fotónico en celda solar [18].

5. CONCLUSIONES

La manufactura con láser presenta importantes ventajas sobre métodos tradicionales entre las cuales se encuentran: versatilidad, rapidez, alta resolución, etc. En este trabajo, se presentaron las principales aplicaciones del procesamiento de materiales con láser, así como también, los procesos actuales de manufactura avanzada. En primer lugar, se presentó un estudio de fabricación de rejillas de periodo largo, el cual consistió en optimizar los parámetros de potencia y velocidad de barrido del láser. Al final se comprobó la eficiencia de esta técnica de fabricación, obteniendo una rejilla de periodo largo con alta absorción alrededor de $700 \mu\text{m}$ para un periodo de $228 \mu\text{m}$. En segundo lugar, se presentó la fabricación de acopladores temporales de fibra óptica totalmente manufacturados con láser. En este caso se obtuvo un acoplador fácil de utilizar y con pérdidas por acoplamiento relativamente bajas (0.1 dB). Finalmente, se mostró el proceso de inscripción de celdas solares para fabricar arreglos de cristal fotónico. Este tipo de arreglos permite incrementar la absorción en las celdas y por lo tanto propician el aumento en la eficiencia de operación. El constante desarrollo en

diseño de láseres y técnicas de fabricación permitirá mejorar los procesos de producción que se requieren en la industria.

REFERENCIAS

- [1] Maiman, T.H. (1960). "Stimulated optical radiation in ruby". *Nature* 187 (4736): 493–494.
- [2] K.F. Kleine and K.G. Watkins, "Fiber laser for micro cutting of metals", Photonic West, San Jose Convention Center, CA, USA, January 2003.
- [3] B.C. Gahan and Bill Shiner, "New high-power laser enables cutting-edge research", *Laser technology*, Winter 2004, pp. 29-31, 2004.
- [4] M. Gulsoy, T. Celikel, O. Kurtkaya, A. Sav, A. Kurt, R. Canbeyli, and I. Cilesiz, "Application of the 980-nm diode laser in stereotaxic surgery", *IEEE Journal of selected topics in Quantum Electronics*, Vol. 5, No. 4, 1999.
- [5] M. C. Gower, "Industrial applications of laser micromachining", *Optics Express*, Vol. 7, No. 2, July 17, 2000.
- [6] T. Frauenpreiss, "CO₂ Lasers: The industrial workhorse", *The Photonics Handbook*, pp. 202-204, 2003.
- [7] C.K. Chung and M.Y. Wu, "A hybrid CO₂ laser processing for silicon etching", *Optics Express*, Vol. 15, No. 12, June 11, 2007.
- [8] R. R. Gattass, L. R. Cerami, and E. Mazur, "Micromachining of bulk glass with bursts of femtosecond laser pulses at variable repetition rates", *Optics Express*, Vol. 14, No. 12, June 12, 2006 .
- [9] Henry Helvajian, Peter D. Fuqua, William W. Hansen, and Siegfried Janson, "Laser microprocessing for nanosatellite microthruster applications", *Focused on Laser Precision Microfabrication*, No. 32, January, 2001.
- [10] J. H. Song, P. O'Brien, and F. H. Peters, "Optimal laser welding assembly sequences for butterfly laser module packages", *Optics Express*, Vol. 17, No. 19, Sept. 14, 2009.
- [11] T. Tamaki, W. Watanabe, and K. Itoh, "Laser micro-welding of transparent materials by a localized heat accumulation effect using a femtosecond fiber laser at 1558 nm", *Optics Express*, Vol. 14, No. 22, Oct. 30, 2006.
- [12] Yi-Ping Wang, Jian-Ping Chen, and Yun-Jiang Rao, "Torsion characteristics of long-period fiber gratings induced by high-frequency CO₂ laser pulses", *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol. 22, No. 6, June 2005.
- [13] S. W. James and R. P. Tatam, "Optical fibre long-period grating sensors: characteristics and application", *Meas. Sci. Technol.* 14, pp. 49–61, 2003.
- [14] Ming Yan, Shouyu Luo, Li Zhan, Zhiming Zhang, and Yuxing Xia, "Triple-wavelength switchable Erbium-doped fiber laser with cascaded asymmetric exposure long-period fiber gratings", *Optics Express*, Vol. 15, No. 7, Apr. 2, 2007.
- [15] H. W. Lee and K. S. Chiang, "CO₂ laser writing of long-period fiber grating in photonic crystal fiber under tension", *Optics Express*, Vol. 17, No. 6, March 16, 2009.
- [16] A Castillo-Guzmán, D Ceballos, R Selvas-Aguilar, C Calles-Arriaga, y I Torres-Gomez, "Rejillas de Periodo Largo Grabadas en Fibras Ópticas Estándares con un Láser de CO₂", Publicado en el XLX Congreso Nacional de Física SMF, y extenso arbitrado del XX Reunión Anual de la AMO, Veracruz, Ver., artículo OPTICA-2007, p 1-5, 2007.

- [17] C Calles-Arriaga, R Selvas-Aguilar, y A Castillo-Guzmán, Multi-ranuras con forma de V-groove en un sustrato maquinado con CO₂ para uniones de arreglos de fibras ópticas, Publicado en el XLX Congreso Nacional de Física SMF, y extenso arbitrado del XX Reunión Anual de la AMO, Veracruz, Ver., artículo OPTICA-2007, p 1-4, 2007.
- [18] A. Chutinan, N. P. Kherani, and Stefan Zukotynski, “High-efficiency photonic crystal solar cell architecture”, Optics Express, Vol. 17, No. 11, May 2009.