

DETECCIÓN ÓPTICA DE UMBRALES DE CAMBIO DE FASE EN MUESTRAS METÁLICAS PROVOCADOS POR PULSOS LÁSER DE ALTA POTENCIA

J. Etcheverry, M. Mesaros, M. Marconi, O. Martínez

Laboratorio de Electrónica Cuántica, Departamento de Física,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Se implementaron técnicas ópticas de detección de umbrales de cambio de fase en muestras metálicas (Al comercial) sometidas a la acción de un láser de Nd:YAG operado por pulsos ~ 20 ns FWHM 50 mJ/pulso. Se obtuvo evidencia de la vaporización del material, y de la formación de plasma en la superficie, para fluencias del láser del orden de 1.2 J/cm^2 , y 1.7 J/cm^2 respectivamente. Estos valores están en buen acuerdo con la literatura, y con los resultados de simulaciones numéricas de un problema de calentamiento, fusión y evaporación por láser.

I. INTRODUCCIÓN

Una técnica empleada últimamente explota las variaciones del índice de refracción con la presión o la temperatura, ya sea del material que se está analizando, o para materiales opacos, de otro medio acoplado con éste⁴⁻⁵. En particular, si se hace pasar un haz de láser testigo paralelo a la superficie de una muestra que está siendo irradiada en aire por un láser de potencia, las variaciones de temperatura o presión del aire adyacente a la muestra conducen a una desviación del láser testigo. Esta desviación da información sobre el tipo de perturbación generada en el aire, de su energía etc.¹.

Combinando esta técnica con la medición en tiempo real de la reflectividad², se individualizaron los umbrales de vaporización y daño superficial de muestras de aluminio comercial sometidas a la acción de un láser de Nd:YAG (1064 nm), operado por pulsos de aproximadamente 20 ns de duración, y con energías por pulso en el rango 0-300 mJ.

II. TRABAJO EXPERIMENTAL

El diagrama experimental se muestra en la Fig. 1. A la salida de un par de prismas de ángulo recto (P1) (utilizados para ajustar la altura del haz) se separa el haz infrarrojo de la segunda armónica (532 nm) con otro prisma (P2) y un espejo de aluminio mejorado para infrarrojo (E1). Este haz es enfocado sobre la muestra (montada sobre un posicionador) por medio de una lente (L1) de 25 cm de distancia focal que puede deslizarse sobre una escala graduada. De este modo se regula su distancia a la muestra entre 2 cm y 25 cm, lo que permite trabajar con

fluencias en el rango 0.1 J/cm^2 - 10 J/cm^2 . Se evitó que la incidencia fuera estrictamente normal, recogiendo la reflexión hacia atrás en la muestra pulida en un beam-stop (BS).

Un láser de HeNe incide sobre la muestra con un ángulo ajustable (se emplearon ángulos de 30° u 80° respecto de la normal), y es enfocado por una lente (L2) de 10 cm de distancia focal en un punto interior a la zona iluminada por el láser infrarrojo. A un ángulo especular, la lente (L3) recolima los rayos, enviándolos a un conjunto de atenuadores (A) formado por dos espejos de reflectividades 99% y 98% en el infrarrojo (1064 nm), a un diafragma (D) que bloquea la parte periférica del haz, y finalmente a un fotodetector rápido con tiempo de respuesta \sim

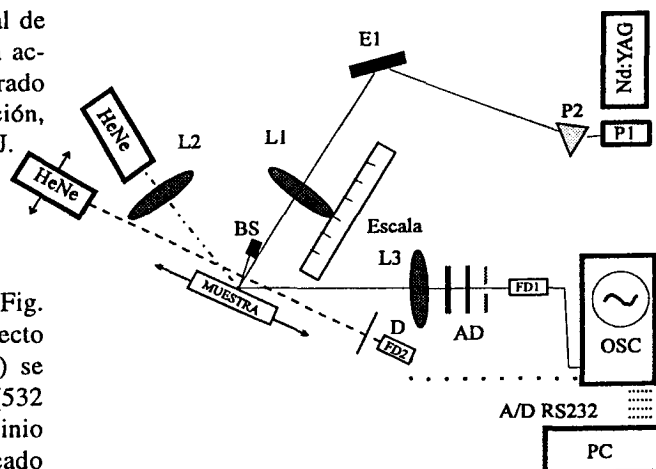


Fig. 1: Diagrama experimental. P1: prismas de ángulo recto; P2: prisma; E1: espejo para infrarrojo; L1: lente $f=25$ cm; BS: beam-stop; L2: lente $f=10$ cm; L3: lente $f=25$ cm; A: espejos de reflectividades 98% y 99%; D: diafragma; FD1: fotodiodo rápido; FD2: fotodiodo rápido.

5ns (FD1).

Simultáneamente se tiene otro láser de HeNe, montado sobre un posicionador, cuyo haz se propaga paralelo a la muestra a una distancia ajustable de 3 a 5 mm. Este láser es sensado con un segundo fotodetector rápido (FD2). En todos los casos se trató de que el haz pasara por sobre el centro de la zona iluminada⁵.

Se ha trabajado con muestras de aluminio comercial, sin pulir, y pulidas mecánicamente (lijas hasta 1200 y alúmina tipo F). Para las muestras sin pulir no se realizó la parte de análisis de reflectividad.

En la experiencia se dispara un pulso de láser de Nd:YAG para una posición dada de la lente L1 y se registran simultáneamente las dos señales descritas con un osciloscopio digital LeCroy 9400. Los datos son adquiridos directamente por una PC.

Para estimar la fluencia se midió la energía del pulso con un detector piroeléctrico GENTEC y se calibró el área de la zona iluminada por el láser en función de la posición de la lente sobre la escala. Se calcula que el error en la determinación de la fluencia es del orden del 15%.

II - 1. MEDICIONES DE REFLECTIVIDAD

La variación en tiempo real de la señal de reflexión durante el pulso está dominada por una variedad de efectos no debidos a variaciones genuinas de la reflectividad (desviaciones por la dilata-

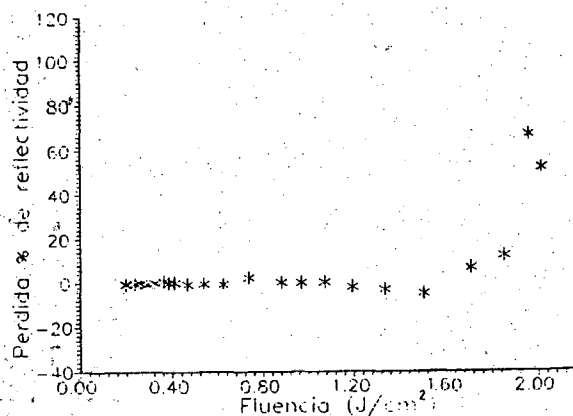


Fig. 2: Variación porcentual de la reflectividad residual vs. fluencia (Al pulido).

ción local de la muestra, o apantallamiento por el material evaporado)¹.

En la Fig. 2 se muestra la variación porcentual de reflectividad luego del pulso en función de la fluencia. Notar la brusca transición para fluencias del orden de los 2 J/cm², y el mejoramiento de la señal luego del pulso para fluencias en el rango de 1.2 j/cm²-1.7 j/cm².

II - 2. MEDICIONES POR TRANSMISIÓN

En las Figs. 3 se muestran perfiles típicos de la señal de transmisión obtenida. Para la escala de

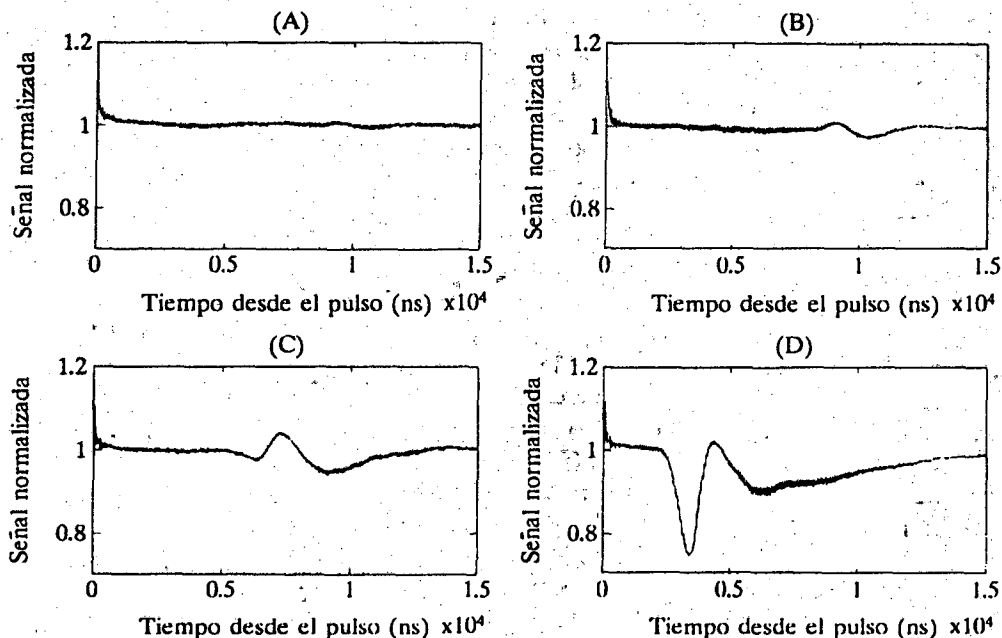


Fig. 3: Perfiles típicos de la señal de transmisión vs. fluencia en aluminio sin pulir. (A): 3 J/cm²; (B): .76 J/cm²; (C): 1.3 J/cm²; (D): 2.3 J/cm².

tiempo de interés, son responsables del comportamiento observado la onda de choque producida por la dilatación del material, y a fluencias más altas, la vaporización del material⁵.

El pico que se observa para $t = 0$ es debido al pulso de láser infrarrojo, utilizado como trigger. A medida que crece la fluencia, aparece una oscilación de amplitud creciente, y con un retardo t_R respecto del pulso de láser cada vez menor. En la Fig. 4 se muestra la amplitud de la señal en el primer mínimo en función de la fluencia, mientras que en la Fig. 5 se muestra el retardo de la onda de choque. Los datos se obtuvieron para una distancia haz-muestra de aproximadamente 3 mm (estimado por medición directa).

Notar que la amplitud de la onda de choque es pequeña en el intervalo de fluencias $0 \leq F \leq 1.3 \text{ J/cm}^2$ y luego aumenta en forma rápida, estabilizándose a fluencias altas. El punto de inflexión se encuentra en $\sim 1.7 \text{ J/cm}^2$.

Para el retardo de la onda de choque t_R se observa una zona donde es aproximadamente constante $0 \leq F \leq 1.7 \text{ J/cm}^2$, disminuyendo luego lentamente, con un punto de inflexión en 1.7 J/cm^2 . Para fluencias altas se estabiliza en $\sim 2800 \text{ ns}$.

Considerando aplicables las soluciones de Taylor - Sedov para la onda de choque producida por una explosión que libera una energía E inicialmente concentrada en un punto, se deduce que la velocidad de la onda de choque es proporcional a $t^{-3/5}$, mientras que la energía de la onda de choque es proporcional a t_R^{-2} ³⁻⁶. En la Fig. 6 se muestra la energía así calculada; se observa un umbral mucho más definido en 1.3 J/cm^2 .

Un examen fenomenológico cualitativo muestra que a fluencias de 1.7 J/cm^2 aparece un brillo azul intenso sobre la superficie, debido a la formación y posterior decaimiento de plasma. Este valor coincide con el punto de inflexión en las curvas obtenidas que marca por lo tanto el comienzo del apantallamiento intenso del haz incidente por el plasma, con la consecuente pérdida de eficiencia para las interacciones del láser con el material.

III. CONCLUSIONES

La identificación de los umbrales de vaporización y formación de plasma es clara, y ambas técnicas coinciden. Los resultados son además consistentes con los obtenidos por las técnicas acústicas⁷. No hay diferencias significativas entre los umbrales obtenidos para aluminio pulido y aluminio sin pulir⁷.

El valor que surge de resultados numéricos para

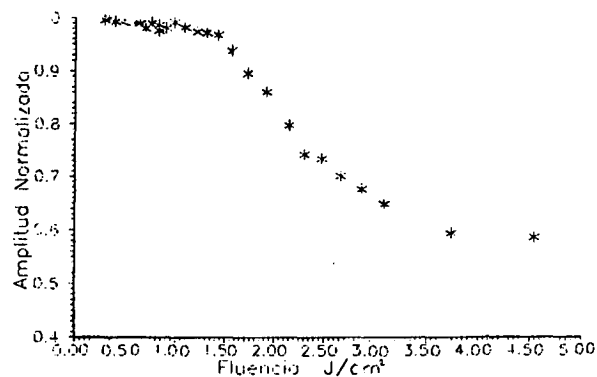


Fig. 4: Amplitud del primer mínimo de la señal de transmisión (muestra de Aluminio sin pulir)

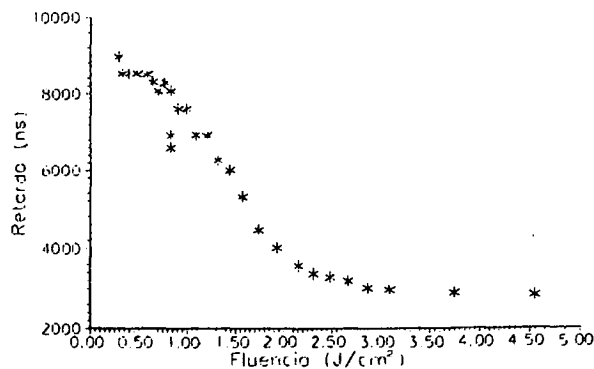


Fig. 5: Retardo de la onda de choque (muestra de Aluminio sin pulir)

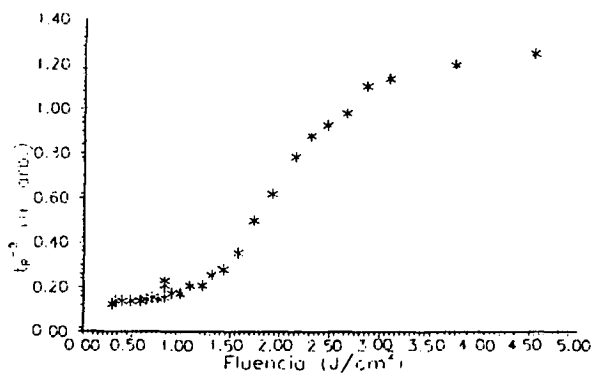


Fig. 6: Tiempo de retardo a la -2 vs. fluencia para datos de aluminio sin pulir.

el comienzo de la vaporización (1.7 J/cm^2) es un 30% mayor que el experimental ($\sim 1.2 \text{ J/cm}^2$)⁸. La diferencia no es significativa tratándose de aluminio comercial, y considerando el amplio margen de valores para la reflectividad del aluminio utilizado en la literatura (entre .65 y .89).

REFERENCIAS

1. *Photoacoustic, Photothermal and Photochemical Processes at Surfaces and in Thin Films*. Ed. P. Hess. Springer Verlag (1989).
2. C. T. Walters, A. H. Clauer. *Appl. Phys. Lett.* **33**, (8) (1978).
3. L. Landau, E. Lifchitz. *Mécanique des Fluides*. Ed. MIR. Moscú. (1971).
4. F. Fama, M. A. Harith, V. Palleschi, A. Salvetti, D. P. Singh, M. Vaselli, G. V. Dreiden, Yu. I. Ostrovsky, I. V. Semenova. *J. Appl. Phys.* **69**, (3) (1991).
5. J. A. Sell, D. Heffelfinger. *J. Appl. Phys.* **69**, (3) (1991).
6. P. E. Dyer, J. Sidhu. *J. Appl. Phys.* **64**, (9) (1988).
7. M. Mesaros, J. Etcheverry, M. Marconi, O. Martinez, G. Bilmes, J. O. Tocho. *Anales AFA*, **4**. Para publicar.
8. J. Etcheverry. *Simulaciones numéricas*. Presentado para publicar. *Anales AFA* **4**.