

## DESARROLLO DE SOLDADURA LASER EN 316L PARA FUENTES RADIATIVAS SELLADAS

Carlos Espinoza (1), Miguel Sanfillipo (2), Facundo Smietuch (1), Alberto Mender (1), Miguel Prado (2)

(1) Proyecto Fuentes Selladas, Centro Atómico Ezeiza, CNEA, Ezeiza, Argentina.

(2) Materiales Nucleares, Centro Atómico Bariloche, CNEA, S. C. de Bariloche, Argentina.

Email: [espinoza@cae.cnea.gov.ar](mailto:espinoza@cae.cnea.gov.ar)

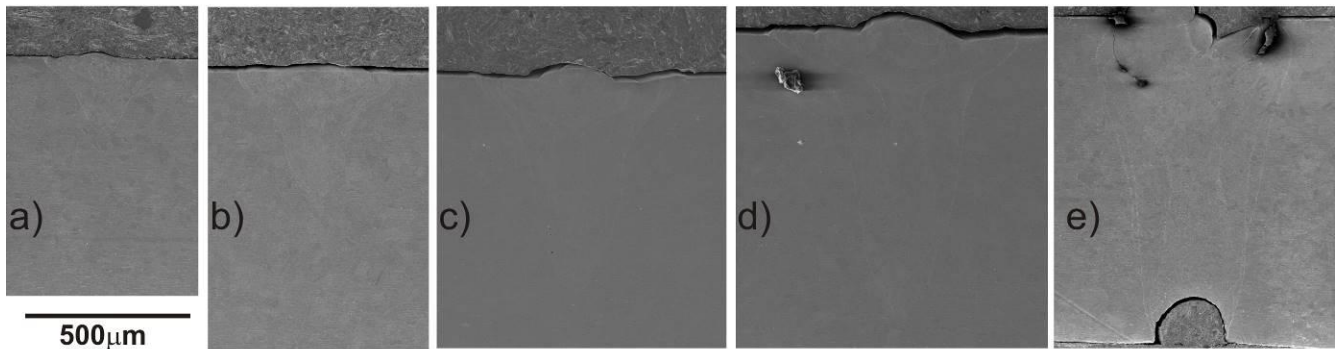
Fuentes selladas de Cs-137 son usadas en aplicaciones médicas para braquiterapia. El Cs-137 es fijado en una matriz vítrea y luego encapsulado en dos cilindros de acero inoxidable 316L, el sellado de las tapas de los cilindros se realiza mediante soldadura láser. Se eligió este acero porque además de sus propiedades mecánicas, posee bajo contenido de carbono que minimiza la precipitación de carburos, posee buena soldabilidad y además tiene excelente compatibilidad biológica. El proceso de soldadura láser se caracteriza por la alta densidad de energía depositada en el material que permite realizar soldadura sin aporte y por generar una mínima zona afectada térmicamente, además es un proceso automatizable, reproducible y tiene un acabado de buena calidad, es una técnica de escaso estudio y desarrollo en el país. Para el aprovechamiento óptimo de esta tecnología es necesario comprender el funcionamiento del láser, el proceso de soldadura, la interacción del material con la radiación láser y la influencia de todos los parámetros experimentales. Algunas de las variables que intervienen en el proceso de soldadura son: potencia, duración, forma y frecuencia del pulso láser, posición focal respecto del material, velocidad de soldadura, gas protector, tipo de soldadura y preparación superficial [1]. En el presente trabajo se muestra el desarrollo de soldadura láser en acero 316L a usarse en fuentes radiactivas selladas, además de la optimización de los parámetros de soldadura láser. Debido a la gran cantidad de variables a estudiar y para optimizar las limitaciones de tiempos, recursos y materiales, se planteo hacer uso de herramientas estadísticas. Los experimentos se diseñaron en bloques utilizando principalmente arreglos ortogonales. Para la optimización de parámetros se recurrió a la metodología de Taguchi. Para el análisis de datos se utilizó regresión lineal y análisis de varianza [2]. Se utilizó un láser pulsado de alta potencia de Nd:YAG, con longitud de onda de 1064nm, energía máxima de 40J, potencia de 100W y duración de hasta 100ms, la radiación es llevada mediante fibra óptica a una mesa de trabajo acoplada a un sistema de control numérico XYZ, mediante flujo de argón se garantiza una atmósfera inerte localizada durante el proceso de soldadura. Para el proceso de búsqueda de parámetros y optimización se trabajo placas de acero inoxidable 316L de 1mm de espesor y luego se realizaron ensayos en cápsulas sin material radiactivo. Para la observación microestructural se prepararon muestras cristalográficas mediante cortes transversales a la dirección de soldadura e inclusión en caliente en baquelita, seguido de desbaste y pulidos con lijas al agua número 120, 240, 320, 600, 1200 y 2400 posteriormente pulido en pasta de diamante de 6 $\mu$ m y 3 $\mu$ m, finalmente se realizó un ataque electrolítico usando ácido oxálico al 10% sometido a 20V durante 20segundos aproximadamente. En un trabajo anterior [3] mostramos el efecto de la potencia, posición focal y duración del pulso en la penetración y calidad de la soldadura, encontrándose los parámetros óptimos de soldadura. La figura 1 muestra imágenes SEM de cordones de soldadura en corte transversal para potencias de 0.4kW, 0.8kW, 1.2kW, 1.6kW y 2.0kW. El proceso de optimización se realizó en dos etapas, la primera para aumentar la penetración de soldadura y la segunda para mejorar la calidad superficial de la misma. Para la optimización tomamos como referencia los valores provistos por el proveedor del láser en las pruebas de factibilidad (fig.2a y 2d), modificando los valores de potencia (0.7kW), duración (6ms) y posición focal (-0,5mm) en la primera optimización logramos triplicar la penetración obtenida pasando de 200 $\mu$ m a 600 $\mu$ m (fig. 2b), pero con una pobre calidad superficial (fig. 2e y 2g). Aplicamos una segunda optimización se logra mejorar la calidad superficial (fig. 2f y 2h) y obteniendo una penetración de 450 $\mu$ m aproximadamente (fig. 2c), variando la posición focal (-0,8mm), la frecuencia (9Hz), velocidad (50mm/min) y forma de pulso. Logramos obtener los parámetros óptimos de soldadura para las fuentes, además una comprensión global de las variables que intervienen en el proceso de soldadura láser.

**REFERENCIAS**

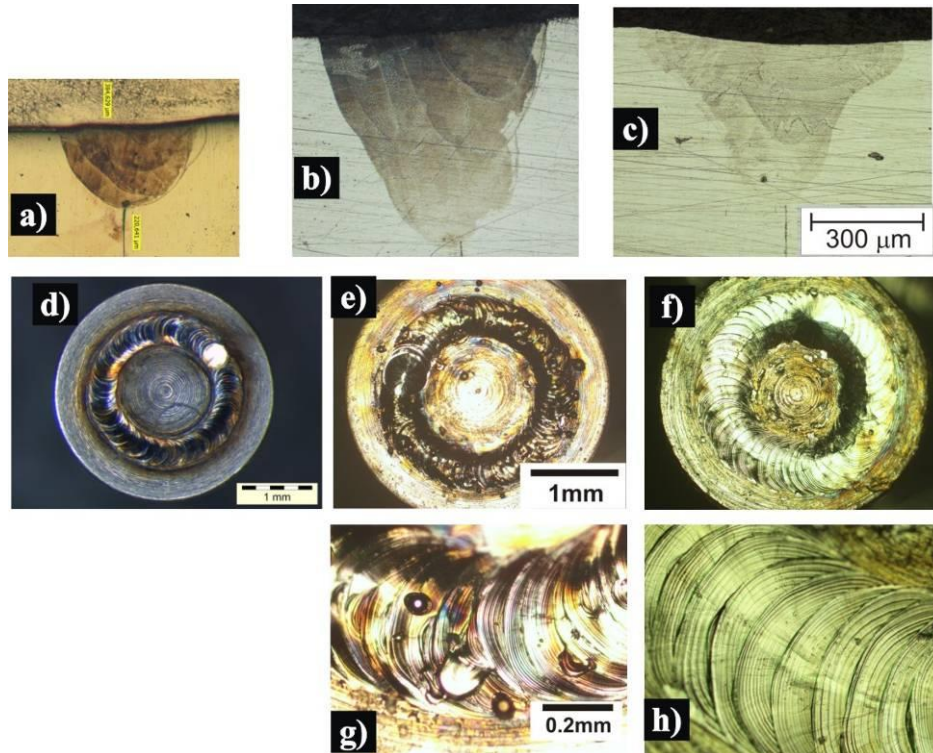
- [1] Ni Xiansheng, Zhou Zhenggan, et al., The use of Taguchi method to optimize the laser welding of sealing neuro-stimulator. *Opt. Laser Eng.* (2011) 49: 297–304.
- [2] Taguchi G. *Introduction of quality engineering*. Tokio: Asian Productivity Organization;(1990).
- [3] C. Espinoza, et al., Optimización de Soldaduras en acero Inoxidable 316L Para Fuentes Radiactivas Selladas. XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 2014.

**AGRADECIMIENTOS**

A Daniel Wilbenberg, Gustavo Becker, Alberto Caneiro, Alejandra Flores, Pablo Vizcaino por su ayuda en las distintas etapas de este trabajo y uso de sus laboratorios.



**Figura 1.** Imágenes SEM de corte transversal de cordones de soldadura láser con potencia máxima de haz *a)* 0,4kW. *b)* 0,8kW. *c)* 1,2kW. *d)* 1,6kW. *e)* 2,0kW.



**Figura 2.** Proceso de optimización de soldadura láser. *a)-d)* Muestra de referencia. *b)-e)-g)* Primera optimización en la penetración de soldadura. *c)-f)-h)* Segunda optimización en la calidad superficial de soldadura. *a), b)* y *c)* en la misma escala. *e)* y *f)* en la misma escala. *g)* y *h)* en la misma escala.