GESTIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DEL USO DE SISTEMAS LÁSER PARA DESCONTAMINACIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS

KAREN ARLET GUZMÁN GARCÍA
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A. S.M.E.

DANIEL SOLÍS TOVAR
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A. S.M.E.

ALFONSO CÓRDOBA GONZÁLEZ
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A. S.M.E.

MIRIAM LLORET LLORCA
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A. S.M.E.

Durante la vida operacional y el desmantelamiento de las instalaciones nucleares se generan diversas corrientes de residuos radiactivos. En apoyo a los trabajos manuales de descontaminación de dichos residuos y al objeto de reducir la cantidad de material a enviar al C.A. el Cabril, Enusa ha decidido comprobar la efectividad de un sistema láser que permita agilizar las labores de limpieza y que obtenga resultados positivos en cuanto al grado de descontaminación de los residuos. Esta técnica podría no solo utilizarse en las labores de desclasificación, sino también en la reclasificación de RBMA a RBBA, con la asociada reducción de costes y disminución de la logística necesaria para la gestión de los residuos. El análisis de viabilidad incluye pruebas con materiales contaminados y no contaminados, al objeto de cuantificar la capacidad de la técnica láser para la reducción o eliminación de contaminación en piezas metálicas, así como la bondad y rendimientos del método sobre geometrías y materiales diversos. El equipo emite un haz láser, que elimina por ablación gran parte de los contaminantes. En esta ponencia se presentan los resultados de las pruebas realizadas sobre piezas contaminadas de molibdeno, acero inoxidable, y acero al carbono con distintos recubrimientos; obteniéndose para cada material el factor de descontaminación (Bq/cm² final vs Bq/cm² inicial). Por otro lado, se presentan resultados de tiempos de limpieza estimados a raíz de pruebas con material no contaminado. Estos resultados han permitido evaluar la idoneidad de la técnica láser, así como comprobar su aplicabilidad para labores de mantenimiento, puesto que las piezas no se ven afectadas físicamente por el tratamiento.

INTRODUCCIÓN

En apoyo a las labores de descontaminación de los residuos radiactivos generados en la vida y operación de las instalaciones nucleares, y sobre todo en el periodo de desmantelamiento, se evalúa la técnica de descontaminación por láser de los materiales contaminados, ya que según sus características promete ser una técnica con resultados muy favorables.

La descontaminación de los residuos radiactivos consiste, básicamente, en reducir los niveles de actividad, ya sea para poder desclasificar el material , o bien, para convertir los Residuos de Media y Baja Actividad (RBMA) en Residuos de Muy Baja Actividad (RBBA), facilitando así la gestión, logística y coste de los mismos.

La limpieza con láser es una técnica de descontaminación alternativa a los métodos abrasivos. El láser envía pulsos de alta energía sobre la superficie contaminada, convirtiendo los contaminantes en gas o desprendiéndolos de la superficie a través de la presión creada por el láser [Carvalho, 2017]. Las partículas generadas pueden ser canalizadas y filtradas *in situ* por un sistema de aspiración o succión (ver Figura 1 [IAEA 2021]).

La descontaminación por láser tiene una ventaja clara respecto a otros métodos puesto que se reduce la producción de residuos secundarios tales como productos abrasivos, químicos y/o agua, requiriendo tan solo energía eléctrica para su aplicación [IAEA 1999].

Tras evaluar estas condiciones iniciales, ENUSA ha realizado pruebas con un equipo láser para valorar la eficacia de la técnica en procesos de descontaminación de material radiológicamente impactado.

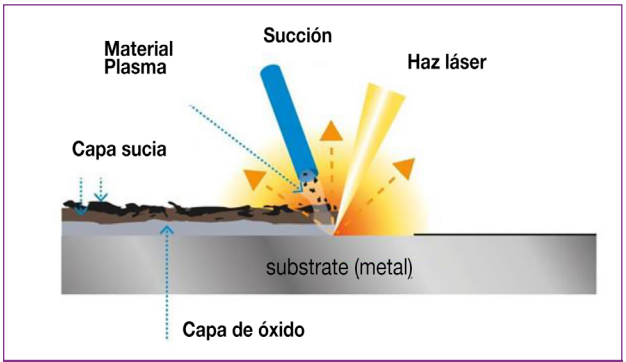

Figura 1. Aplicación de láser en metal.

PRUEBAS CON MATERIAL CONTAMINADO

Para valorar la viabilidad de un equipo láser, se han realizado pruebas con materiales metálicos de diversa tipología presentes en la fábrica de ENUSA en Juzbado. Las probetas seleccionadas contenían contaminación propia del isotópico de la instalación, como son los radioisótopos de uranio. Se analizó la contaminación superficial, fija y desprendible, además del espesor y la rugosidad antes y después de cada tratamiento por láser.

Equipo

El equipo utilizado durante las pruebas fue un equipo portátil de láser pulsado de alta densidad de clase 4, con una potencia final de haz de 100 W, una longitud de onda de 1064 nm y una frecuencia del pulso de 100 kHz.

Las dimensiones (ancho 230 mm, largo 500 mm, alto 330 mm) y peso (15 kg) del equipo lo hacen ideal para transportar y muy cómodo para operar. El equipo no necesita instalación eléctrica de alto voltaje ya que su alimentación es de 110-230 V, 50/60 Hz con un consumo eléctrico de 400 W. El *software* programable permite seleccionar los patrones y parámetros óptimos para cada uno de los materiales y geometrías.

Configuración de las pruebas

Durante las pruebas se utilizó el equipo descrito anteriormente en régimen de alquiler. Este hecho es importante puesto que la operativa de las pruebas fue especialmente diseñada para evitar la contaminación del equipo.

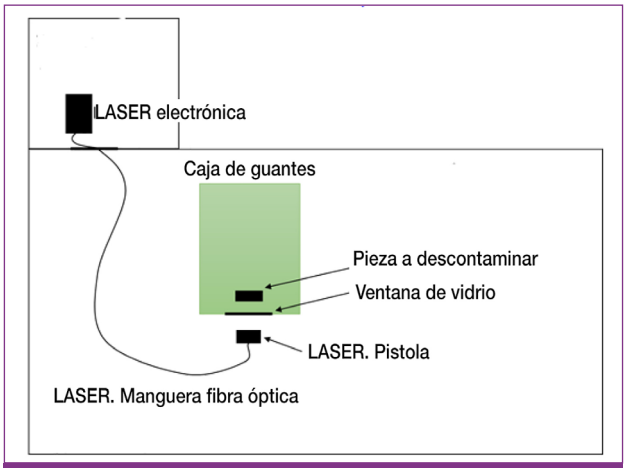

Figura 2. Configuración para las pruebas.

Las probetas impactadas se colocaron dentro de una caja de guantes (por ser un recinto confinado y con aspiración propia), y en una posición con un leve grado de inclinación respecto a la vertical. La operación de descontaminación se realizó desde el exterior de la caja de guantes, haciendo incidir el láser desde el exterior a través de una ventana de vidrio; de este modo los gases generados quedaron confinados en el recinto y posteriormente canalizados por el sistema de aspiración. Con esta configuración se evitó el contacto entre el cabezal y los gases desprendidos, eliminando cualquier riesgo de contaminación en el equipo. Las Figuras 2 y 3 muestran la configuración descrita anteriormente.

Procedimiento de pruebas

El estudio se ha centrado en los residuos radiactivos de tipología metálica, tales como; acero al carbono, aluminio, acero inoxidable y placas de molibdeno. Las placas de molibdeno se utilizan para posicionar las pastillas de uranio durante el proceso de sinterizado de las mismas; en este caso la contaminación de las placas de molibdeno se encuentra muy incrustada debido al propio proceso, que conlleva la reutilización de las placas durante muchos ciclos a elevadas temperaturas. Teniendo en cuenta la posible revalorización del material y la cantidad de placas existentes, ENUSA ha considerado de elevado interés evaluar la capacidad de descontaminación para este material. Por otro lado, debido al elevado el grado de contaminación y la penetración del mismo, los resultados obtenidos en se consideran extrapolables y conservadores respecto a los residuos de las CCNN.

El plan de trabajo se dividió en una serie de subtareas:

- Trabajos anteriores a la aplicación del láser:
  - Medida de rugosidad y espesor de las piezas.
  - Medida de contaminación superficial desprendible de la probeta mediante frotis.
  - Medida de contaminación superficial de las piezas. Como el contaminómetro no abarca toda la superficie de las mismas, las piezas se dividieron en secciones adecuadas a la ventana del equipo, anotándose sobre las mismas la medida de contaminación superficial. La Figura 4 muestra el aspecto final de las piezas:
- Aplicación del láser:
  - Posicionado de la pieza contaminada en el interior de la cabina.
  - Aplicación del láser desde fuera de la cabina, atravesando el cristal e incidiendo sobre la pieza.
- Trabajos posteriores a la aplicación del láser:
  - Medida mediante frotis de la contaminación desprendible.
  - Limpieza de la pieza con un trapo para la eliminación de dicha contaminación desprendible.

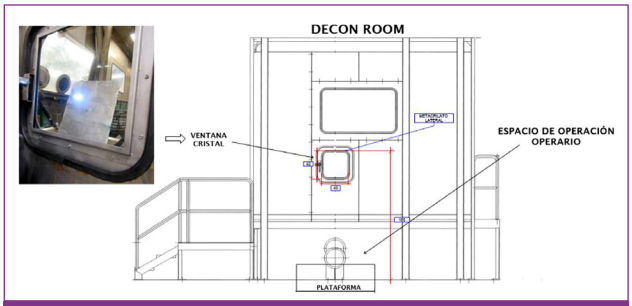

Figura 3. Aplicación de láser en metal.

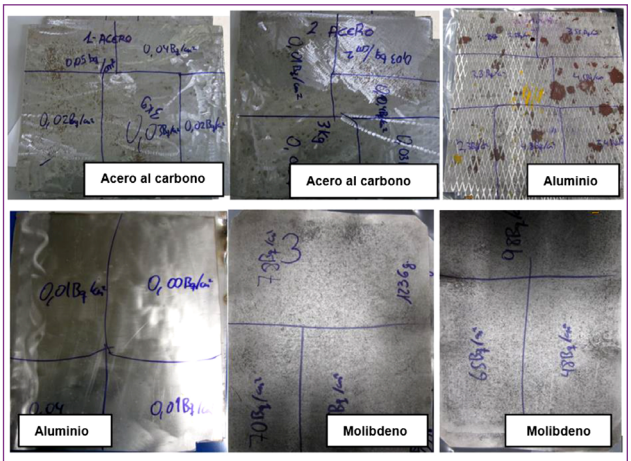

Figura 4. Probetas seccionadas.

– Medida de la contaminación superficial de las piezas. Antes de realizar dichas medidas, las piezas vuelven a dividirse en las mismas secciones establecidas anteriormente para mantener una trazabilidad más precisa de cómo se reduce la contaminación. En la Figura 5 se refleja el proceso de remarcado y medida para una placa de molibdeno.
– Medida de rugosidad y espesor de las piezas.

La aspiración de la propia cabina extraía todas las partículas generadas durante el tratamiento. En todas las probetas se realizó solo 1 pasada del láser, salvo en la probeta de molibdeno, donde en una de sus zonas se incidió hasta en 8 ocasiones, los resultados se muestran continuación.

Resultados y discusión

La Tabla 1 muestra la evolución de la contaminación superficial tras la aplicación del láser. Tal como se ha indicado anteriormente, en una sección de la placa de molibdeno se ha realizado más de una pasada con el equipo láser, al objeto de ver cómo varía la eficacia de la técnica al aumentar el número de pasadas.

Como se puede observar, la eficacia mostrada por el equipo para la descontaminación de piezas es muy elevada para todos los materiales ensayados, consiguiendo una reducción mayor del 85 % en todos los casos. Para el análisis correcto de los resultados hay que tener presente que las piezas de molibdeno, aparte de estar contaminadas, han sido sometidas a procesos térmicos que han favorecido la incrustación de la contaminación.

Figura 5. Medida de contaminación superficial de placa de molibdeno tras aplicación del láser.

Para los materiales de acero al carbono, acero inoxidable y aluminio se observan reducciones drásticas en la contaminación superficial con una solo pasada. Por tanto, se puede concluir que para piezas con contaminación superficial no muy incrustada (como sería la mayor parte de materiales en centrales nucleares) la aplicación del láser en una o dos pasadas (dependiendo del grado de contaminación inicial) podría ser suficiente para la descontaminación total de las piezas.

Por otro lado, para el caso del molibdeno se ven reducciones en la contaminación que por norma general van disminuyendo porcentualmente respecto a la pasada anterior, llevando incluso a la imposibilidad física de reducir más la contaminación debido al acabado cada vez más brillante de la superficie. Por tanto, esto lleva a la conclusión de que para material con contaminación muy incrustada la aplicación del láser para la descontaminación total de la pieza conllevaría un número de pasadas muy elevado, lo que podría solventarse con un equipo de mayor potencia que necesitara menos pasadas para alcanzar el mismo nivel de contaminación. En cualquier caso, esta técnica sería muy efectiva para la reclasificación de material de RBMA a RBBA.

Aunque no se haya descontaminado por completo la placa de molibdeno, los resultados son excelentes, consiguiendo una reducción total del 98 %. Además, los valores alcanzados son suficientes como para poder plantear una metodología de desclasificación para este material.

Respecto a la contaminación desprendible, se observa un gran aumento de esta tras la aplicación del láser, especialmente en las placas de molibdeno. Esto hace pensar que esta técnica penetra en los poros del material, desprendiendo las partículas de uranio, que después quedan depositadas sobre la superficie en forma de contaminación despren-

Material	Sección	CSF inicial (Bq/cm²)	Número pasada láser	CSF final (Bq/cm²)	% reducción	% reducción total
Molibdeno	1	48	2	13	73%	98%
			3	7	46%	
			4	4	43%	
			5	1,3	68%	
			6	0,75	42%	
			7	0,68	9%	
			8	0,66	3%	
	2	65	2	12,9	80%	
Acero al carbono	-	0,05	1	0,00	100%	
Acero inoxidable	-	0,7	1	0,10	86%	
Aluminio	-	4	1	0,50	88%	

Tabla 1. Contaminación Superficial Fija tras la aplicación del láser.

dible. Para el resto de materiales, menos contaminados, este comportamiento no ha tenido una tendencia tan clara.

Por último, las medidas de espesor y rugosidad arrojan que, con precisiones del orden de las decenas de micras, no existe una variación apreciable de estos parámetros. Por tanto, en principio esta técnica mantiene la integridad del material y no altera las propiedades físicas del material. Por ello, además de utilizar dicha técnica para desmantelamiento, también podría ser aplicable para el mantenimiento periódico de componentes y equipos.

PRUEBAS CON MATERIAL NO CONTAMINADO

Complementariamente a las pruebas realizadas con material contaminado, se realizaron ensayos con material no contaminado. Se aprovechó el hecho de encontrarse fuera de una zona controlada, para realizar ensayos con gran variedad de materiales y geometrías, que de otra manera no habría sido posible realizar. El objetivo de las pruebas realizadas era comprobar la viabilidad técnica del sistema láser para desprender las primeras capas del material. Para ello, se realizaron pruebas sobre diferentes materiales, superficies y recubrimientos, evaluando asimismo la variación de sus propiedades físicas tras la aplicación del láser. La Figura 6 muestra varios ejemplos de los materiales ensayados.

A la vista de los resultados, la aplicación del láser es efectiva para distintos tipos de materiales metálicos, con diferentes acabados y geometrías complejas. Al igual que en el material impactado, se ha observado que la eficacia de limpieza es menor cuanto mayor brillo presenta el material, como puede producirse al quedar la superficie del material muy brillante tras varias pasadas. Con un equipo de mayor potencia se eliminaría dicha limitación pues se reduciría el número de pasadas necesarias.

Para la estimación de las velocidades de limpieza sobre las diferentes materiales, se marcaron ciertas zonas en las piezas más relevantes y se registró el tiempo empleado en la limpieza de dichas superficies. Como resultado, se obtuvo una estimación del tiempo empleado en aplicar el láser en 1 m^2 de material, obteniéndose rendimientos bajos para el equipo utilizado (100 W), que aumentarían casi de forma lineal con la potencia del equipo. Si bien cabe destacar que el rendimiento es claramente dependiente del material y del tipo de contaminación.

Los rendimientos estimados para los equipos de mayor potencia podrían competir en tiempo con las técnicas de descontaminación actualmente empleadas, con la ventaja inherente de la ausencia de residuos secundarios. Asimismo, la automatización del proceso, en aquellos casos en los que sea posible reduciría aún más el tiempo empleado en la descontaminación de material metálico.

Figura 6. Materiales no contaminados ensayados.

Por último, se observa que el peso de la pistola y el ángulo y distancia focal a mantener durante la aplicación del láser hacen complicada la operación del equipo por una única persona durante tiempos prolongados. No obstante, existen múltiples soluciones desde un brazo soporte que descargue al operario del peso de la pistola durante su manejo, hasta la automatización total del equipo.

CONCLUSIONES

Tras los ensayos realizados en piezas contaminadas con isotopos de uranio, ENUSA ha comprobado la efectividad de la técnica laser para descontaminación de material impactado, tanto en superficies ligeramente contaminadas como en superficies porosas con contaminación incrustada. Cabe destacar que tras la aplicación de varias pasadas, al quedar el material muy brillante el láser disminuye drásticamente su eficacia.

Esta conclusión se considera extrapolable para piezas contaminadas con isotopos artificiales, como los existentes en las centrales nucleares.

Además, la técnica laser no altera las propiedades físicas del material, por lo que este tipo de sistema puede también ser utilizado en el mantenimiento de equipos.

Durante su aplicación, se requiere una aspiración localizada para recoger el material desprendido.

Los tiempos necesarios para la aplicación podrán disminuirse utilizando equipos de elevada potencia, así como automatizando los procesos.

Por tanto, ENUSA considera que la técnica láser cuenta con una gran número de posibilidades dentro del sector nuclear. La experiencia y conocimientos adquiridos refuerzan la posición de ENUSA de cara a apostar por su utilización en la prestación de servicios tanto para operaciones de mantenimiento de equipos como para tareas de gestión de residuos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a Agustín Pérez Fonseca (Servicio de PR) y Saúl de la Hoz Rodríguez (Gestión de Residuos Radiactivos) de la Fábrica Enusa Juzbado.

REFERENCIAS

– L. Carvalho, W. Pacquentin, M. Tabarant, M. Dal, H. Maskrot, et al.. Decontamination of metallic surfaces by nanosecond laser ablation. International Conference On Laser Ablation 2017, Sep 2017, Marseille, France. International Conference On Laser Ablation 2017, 2017. hal-02417751.

– IAEA 1999. State of Art Technology for decontamination and dismantling of Nuclear Facilities. Technical report series 395, International atomic agency, Vienna 1999.

– IAEA [online]. Nuclear Wiki Decontamination Laser ablation. Consulta [03082021].