

# ESTUDIO DE LA OXIDACIÓN DE CHAPAS DE ACERO ENDURECIDAS POR TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA EFECTUADA CON LÁSER DE CO<sub>2</sub>

G. A. Alvarez<sup>1</sup> y E. Gallego Lluesma<sup>2</sup>.

Laboratorio de Procesamiento Láser (LPL), Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), Campus Tecnológico de Gonnet, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Casilla de Correo 124, (1900) La Plata.

Se ha estudiado la oxidación de chapas de acero 1010, que es la más consumida en nuestro mercado de aceros laminados en frío. Simultáneamente y con el objeto de observar un efecto diferencial, hemos realizado una secuencia de irradiaciones con láser industrial de CO<sub>2</sub>, sobre la superficie de muestras estudiadas de a pares. Los pares de piezas estudiadas consistieron en una irradiada y otra no irradiada. Ambas a posteriori fueron expuestas a agentes corrosivos para la evaluación de su oxidación. El objeto del presente estudio radica en el posible tratamiento a ser realizado *in situ* durante las operaciones de corte robotizado con láseres industriales en operaciones *just in time*. Como resultado se observa un retardo en la oxidación de las chapas endurecidas con láser.

After several years of metalcutting with industrial lasers we have realized that the scrap from cut parts, left outdoors had corrosion on them in a very selective form. We have searched the literature and nothing was found on corrosion of lasercut parts of the most used metal in our country, low carbon steel SAE 1010. The purpose of this work is to irradiate pairs of samples of SAE 1010, under different irradiances. One of the irradiate and the other without laser treatment. The samples later rad undergone an attack of a saline solution to produce pitting on them. Our results are evaluated to be introduced on our industrial laser system as an "*in situ*" treatment which is important for "*just in time*" manufacturing with lasers. We have observed that laser irradiated parts have an slower corrosion speed than those without laser treatment.

## I. INTRODUCCIÓN

Es harto sabido que los tratamientos térmicos se han realizado desde hace mucho tiempo y bien sabido es el comportamiento de los aceros industriales, en los cuales se obtiene un endurecimiento que resulta ser proporcional al contenido de carbono en los mismos. Las primeras aplicaciones industriales de los láseres (CO<sub>2</sub> de 1000W) fueron concretadas por la General Motors Co., Saginaw Steering Gear Division, en 1977<sup>1</sup>. En 1983 la división de Warren de la misma fábrica, comenzó a utilizar láseres de CO<sub>2</sub> de 5 KW para hacer tratamientos y soldar transmisiones. Posteriormente se utilizaron láseres para endurecer las camisas de los cilindros<sup>2</sup>. En abundante bibliografía<sup>3-5</sup> se ha demostrado que los láseres han realizado endurecimientos que llegan inclusive a los límites teóricos del proceso, sin embargo sólo recientemente se ha despertado el interés por los tratamientos térmicos realizados con láser fuera del ambiente de manufactura de las terminales automotrices.

En un trabajo anterior<sup>6</sup> se ha probado que en el caso de acero 1070, el endurecimiento puede llegar a proveer durezas de 65 Rockwell. Sin embargo no hemos detectado trabajos donde se explote la posibilidad de endurecer aceros de bajo tenor de carbono, lo cual resulta obvio, que, para el caso de endurecimiento es un material inadecuado por su bajo tenor de carbono.

En 8 años de trabajo de servicios de corte de aceros hemos podido comprobar que los retazos (scrap) de las piezas cortadas que han quedado en nuestro laboratorio junto a las muestras de trabajo se han oxidado de una forma peculiar. Las muestras de trabajos realizados, guardadas como pruebas de prestación y/o habilidad de manufactura han sido protegidas con barnices o aceites para protegerlas de la humedad ambiente y para inhibir el manoseo de las mismas por terceras personas, que a su vez, con el aceite de sus manos provocarían una oxidación posterior. En cambio, los retazos no recibieron protección alguna. En estas muestras de rezago hemos podido observar que los lugares próximos a la

(1) Profesional de Apoyo CIC

(2) Investigador CIC

zona de corte donde se obtiene una zona afectada por el calor del proceso de corte, se oxidaron en menor grado que el resto de la pieza. Las piezas han sido cortadas en muy diferentes condiciones<sup>7-8</sup>. La mayoría de ellas con auxilio de oxígeno para ayudar al proceso del corte mismo, donde éste ayuda con dos mecanismos, el primero de ellos para oxidar el material que favorece la absorción de la luz infrarroja del láser de CO<sub>2</sub> y el segundo que es inhibiendo la solidificación del material de la piletta de fundido y la presión del gas de aporte hace más eficiente el proceso del corte pues expulsa en forma continua el material en estado líquido. Observando nuestras propias experiencias realizadas en la referencia<sup>6</sup> podemos ver que dependiendo de la existencia de fusión superficial cuando se realiza el proceso de endurecimiento por radiación infrarroja del láser (transformación por solidificación rápida) o por transformación sólido-sólido, y por el tipo de textura producida en la superficie en el proceso de endurecimiento, el óxido se ha producido de diferente manera. Ésto es aún válido para el acero 1070, por observación experimental<sup>8</sup>. La Fig. 1 muestra la fusión superficial del acero 1070 y su cambio de brillo notable en la zona tratada. Este brillo indica que aún se conserva sin corrosión a pesar de haber



*Fig. 1: Acero 1070 con tratamiento térmico láser. El brillo denota la fusión superficial. El mismo brillo después de 5 años muestra la ausencia de óxido.*

sido realizado el tratamiento en mayo de 1989.

El material que nos interesa estudiar en este momento, por su mayor consumo en nuestro mercado, son los aceros de bajo contenido de carbono pues son los más utilizados en aplicaciones donde haya que doblar, cortar y soldar. En estos procesos siempre se asocia la corrosión. En el acero 1010 hemos observado que, las chapas que hemos corta-

do con láser y hemos dejado desprotegidas, se oxidan en el borde del corte, pero en menor grado el corte mismo, que ofició de pared de la piletta de fundido. Esta pared por un corto tiempo ha estado a la máxima temperatura que el material consigue estar en estado sólido. Además ha estado en contacto con el gas de asistencia del corte. Aún en el caso del corte auxiliado con oxígeno se observa que esta pared no se oxida tanto como el resto de la pieza observada. Esta observación es válida para la mayoría de los laminados de bajo tenor de carbono. Esto puede explicarse por la evaporación de impurezas de bajo punto de fusión y por la volatilización de la región intergranular en donde hubieran actuado como el cátodo de una micropila de corrosión, donde impurezas de bajo punto de fusión se localizan debido a: 1) su menor temperatura de fusión hacen que sean las últimas en solidificarse, y ésto sucede en la región intergranular, y 2) las impurezas típicas (azufre, fósforo, etc.) y sus compuestos absorben en mayor cantidad la radiación infrarroja y son volatilizados de la pared de la piletta de fundido. Cualquier intento de explicar el comportamiento de la solidificación de una aleación binaria se realiza a partir de consideraciones basadas en un diagrama de equilibrio. Para el caso del acero este diagrama sólo se aplica cuando el enfriamiento es muy lento, como suele ser el caso de las aleaciones fundidas. Para el resto de los tratamientos utilizados en la fabricación de piezas de acero al carbono, las estructuras que se encuentran, son las de los diagramas metaestables. En el caso del tratamiento con láser, estos diagramas no pueden utilizarse pues las velocidades de calentamiento y enfriamiento son varios órdenes de magnitud mayores que lo que normalmente se utilizan al confeccionar estos diagramas.

La microestructura observada en la región de corte está además formada por una distribución en el tamaño de grano que es mucho más pequeña que en el resto de las zonas afectadas por el calor debido al proceso de corte. La zona afectada por el calor puede observarse macroscópicamente por el cambio en las propiedades ópticas de la superficie cerca de la región de corte. Esta región presenta zonas brillantes y zonas opacas, siendo estas últimas las afectadas por las temperaturas más altas.

En nuestra observación de las piezas cortadas hace varios años, se pone de manifiesto que, desde la zona del corte en estos metales puede distinguirse la zona afectada por el calor y el comportamiento que presentan en un régimen de oxidación, el óxido no se produce en una región en particular alejada de

dicho borde. No obstante esta observación sistemática del efecto y tener nuestras notas de los trabajos efectuados, no podemos sacar conclusiones anticipadas por tres motivos, a saber: 1) No podemos decir nada respecto de la temperatura a la que ha llegado la superficie de la chapa en cada región con diferentes propiedades ópticas. 2) No podemos saber si este efecto es muy dependiente de la potencia del láser ya que la mayoría de las muestras observadas fueron cortadas con un láser de potencia constante donde se variaba la velocidad de corte, siendo esta última variable no anotada pues no era de interés industrial, y por último, 3) La chapa de acero al carbono en la Argentina se comercializa en su mayoría por sus propiedades mecánicas y no por su composición química. Una chapa F16 se compra porque el cliente sabe que resiste 16 Kg por mm<sup>2</sup> de tracción. Ésto es un dato útil pues quiere repujarla, conformarla, doblarla, hacerle nervaduras para obtener rigidez estructural sin tener que trabajar con chapas más gruesas, etc. pero nada se dice acerca de su composición. Resulta pues notable la sistemática evidencias de las piezas acumuladas y la necesidad de entender el comportamiento del proceso de oxidación de las mismas.

## II. MANUFACTURA FLEXIBLE CON LÁSERES

Con el advenimiento de las nuevas tecnologías de procesamiento láser se pueden producir las piezas a partir de dibujos almacenados en medios de memoria y las piezas pueden ser pensadas para ser componentes sin considerarse la posibilidad de realizar trabajos en forma secuencial a ser realizadas en otros ambientes. El tratamiento térmico "in situ" es importante dentro de la tecnología "just in time" pues ésto evitaría la demora en tiempo de espera de la secuencialidad de los tratamientos. Estos tratamientos térmicos superficiales con láser poseen además la ventaja de ser localizados, sin afectar al resto de la pieza. Por ejemplo un endurecimiento contra el desgaste sólo se realizaría en un lugar donde la pieza entrara en contacto con el elemento que la desgasta.

Igualmente interesa aquí pues, ver la posibilidad de hacer un tratamiento que pudiera inhibir la oxidación y aunque no fuera una inhibición muy fuerte, valdría si tuviera el valor agregado de no perforarse antes de alcanzar la vida útil del bien producido sin el aporte de tratamientos anticorrosivos en baños líquidos, pinturas especiales, etc..

## III. ESTUDIO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO 1010

Los estudios que hemos realizado estuvieron orientados a corroborar la resistencia al ataque localizado en una solución de Cloruro de Sodio de 3,5 gm / l, a pH3 acidificado con HCL durante 16 horas a temperatura ambiente (23°C).

Las picaduras (*pitting*) localizadas observadas son más pequeñas en la zona tratada con láser y menos numerosas.

Se observa en el borde de la zona térmicamente afectada por el tratamiento hileras de picaduras pequeñas en las áreas donde se superponen los barridos del tratamiento, hecho ya apuntado por Escudero y Bolló<sup>9</sup>.

Un hecho nuevo observado es la inactividad corrosiva del mismo material en el mismo medio en idénticas condiciones en el lado reverso de la probeta que en nuestro caso fue de 2 mm en vez de 25 mm de las referencias (9-11). Este efecto debemos atribuirlo al hecho de que con una probeta más fina los efectos de conducción no son los dominantes y se obtuvo un recalentamiento de la pieza sin el efecto



Fig. 2A: Acero 1010 con irradiación láser sometido al ataque en solución molar 0,5 de ClNa, sin efectos manifestos.



Fig. 2B: La muestra gemela no irradiada con marcas del "pitting" que se ha formado en el mismo baño.

del solapamiento de las pasadas del láser. La prueba con las probetas gemelas se ilustra a continuación. La Fig. 2A muestra el acero 1010 con el mismo ataque en las mismas condiciones realizado en forma simultánea.

En el caso de láseres pulsados, que será nuestro próximo estudio, los gradientes térmicos pueden ser muy grandes debido a la gran potencia del láser en bajos regímenes de energía, donde la conducción juega el papel predominante.

#### IV. CONCLUSIONES

La observación y estudio realizados demuestran que tratamientos térmicos en acero de bajo tenor de carbono hasta ahora despreciados por los métodos convencionales son posibles de realizarse en la manufactura flexible con láseres industriales y se demuestra que la propiedad interesante de reducir la velocidad de corrosión puede ser un valor agregado importante en las aplicaciones donde han de aplicarse antióxidos, pinturas o impresiones para la conservación de las piezas cortadas. Sin embargo lo más importante es que este servicio podrá realizarse con la misma instalación sin la necesidad de otros insumos y sin el servicio de terceras partes que puedan poner en compromiso los tiempos de entrega que conforman los precios acordados con los clientes.

#### AGRADECIMIENTOS

Al CONICET (PID-BID) y la CIC por el continuo patronazgo y apoyo a nuestro trabajo. A la firma OXICORTE por el continuo soporte y la ayuda recibida en la preparación de probetas, para este estudio.

#### REFERENCIAS

1. Miller J. E. and Wineman J. A., "Laser hardening at Saginaw Steering Gear", Metal Progress 111, 5, 38 (1977).
2. Hick A. J., "Rapid Surface Treatments - A review of laser and electron beam hardening" Heat Treatment of Metals, 1, 1 (1983).
3. Singh, J. and Mazumder, J., "Laser in Manufacturing" IFS Ltd. London, UK. (1986).
4. de Damborenea J., Wccrashinge W. M. and West, D. R. F. "Proc. of Conf. Lasers 89", New Orleans, USA (1989), preprints.
5. Clark L., Colwan R. L. and Walken, "Intergranular Corrosion of Stainless Steel Alloys", STP 656, ASTM-Filadelphia, 99-132 (1987).
6. Ebro J., Pieklo C. A., Berreta J. C. y Gallego Lluésma E. "Procesos Metalúrgicos Asistidos con Gases", VII Congreso Argentino de Soldadura, Instituto Argentino de Siderurgia, Buenos Aires, set. 21-23 (1988).
7. Gallego Lluésma E. "Corte Láser de precisión de Metales", 73° Reunión de la AFA, Mar del Plata, oct. 17-21, 1988.
8. Pomarico J. A. y Gallego Lluésma E. "Un estudio sobre las texturas de aceros 1045 y 1070 endurecidos con láser", Jornadas Metalúrgicas SAM 89, Morón, Buenos Aires, mayo 1989.
9. Escudero M. L., and Belló J. M., "Laser Surface treatment and corrosion behaviour of martensitic stainless AISI 420 Steel".
10. Galvele J. R., "Corrosion", Monografía de la O.E.A.(1979) Materials Science and Engineering, A158, 227 (1992).
11. Carbucicchio M., Palombarini G. and Savoretli, "Wet corrosion of a CW power laser melted AISI 304 Stainless Steel", Nuclear Instr. and Methods in Phys. Res. B76, 170 (1993).