

Modificación superficial de aceros y hierros fundidos mediante láser de Nd: YAG.

**R. Sagaró Z.*, J. S. Ceballos R*., H. Carvajal F*.,
J. Mascarell*, R. Cabrera**, W. Ruales****

*Grupo Tribológico, Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Mecánica.

Ave "Las Américas" s/n 90900, Santiago de Cuba, Cuba.

**Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

e-mail: sagaro@rsz.uo.edu.cu

(Recibido el 11 de Enero del 2000, aceptado el 6 de Diciembre del 2000)

Resumen

Se presentan los resultados de los autores en el tratamiento térmico superficial con técnica láser (TTSL). Con el empleo de un láser de Nd: YAG se procedió al endurecimiento superficial de los aceros AISI 1045, W1, W112 y hierros fundidos de tipo laminar y nodular. Los autores prestan atención a las rutas de endurecimiento superficial atendiendo a los parámetros operacionales del láser: potencia incidente en la zona de interacción (P) y la velocidad de barrido del haz de láser (V). De igual forma se establecen valoraciones acerca de las estructuras metalográficas obtenidas. En todos los casos se reportan valores de microdureza Vickers que oscilan entre los 500-900 HV (incrementos de 3-4 veces respecto al sustrato original). Los resultados obtenidos permiten establecer en todos los casos experimentados que el incremento de la velocidad de barrido provocó una disminución de la profundidad de la capa endurecida. Las experiencias del TTSL en los aceros ensayados muestran una tendencia a la disminución de la profundidad del endurecimiento con el incremento del contenido de carbono.

Palabras claves: Endurecimiento superficial, parámetros de operación de láser., microdureza, profundidad de capa endurecida, de fallo, vibraciones.

1. Introducción.

El aumento en las aplicaciones tecnológicas del láser y el creciente interés que ha desatado en determinados procesos industriales vienen dadas por sus características intrínsecas tales como: posibilidad de la absorción superficial de la energía luminosa por parte de los materiales metálicos, el control exacto de las zonas sobre las que se desea trabajar, el control de la potencia del láser que permite diferentes tratamientos, un proceso fácilmente automatizable y una fuente de energía totalmente limpia. [1] El tratamiento térmico superficial de metales con láser (TTSL) persigue obtener un aumento de dureza en la superficie, sólo que para calentar la capa superficial del acero hasta la temperatura de austenización, se emplea el haz proveniente del láser enfocado sobre el material lográndose el enfriamiento por conducción al resto del material de la pieza, sin necesidad de agentes externos. Como todo temple superficial, el TTSL tiene como

objetivo obtener alta dureza en la capa superficial sin alterar las propiedades del sustrato. Parámetros como la potencia incidente del láser, diámetro del haz, adsorción superficial de energía, velocidad de barrido y las propiedades termofísicas del sustrato, determinan la profundidad endurecida y su microdureza [2,3,4].

El estudio realizado pretende presentar la idoneidad del proceso de temple superficial por láser, modificando así una zona de espesor controlado prestando especial interés a los parámetros de operación del láser, reguladores del proceso, como es la influencia de la velocidad de barrido del TTSL aplicado sobre cinco materiales metálicos diferentes.

2. Materiales y Métodos.

Para la realización de los experimentos se utilizó una instalación láser del tipo Nd:YAG de baja potencia acoplado a una mesa X-Y, de forma tal que mediante una óptica de enfoque, el haz incide perpendicularmente

sobre la muestra, variando el diámetro del *spot* por medio del desenfoco de este (fig.1). La tabla 1 recoge las especificaciones técnicas del láser empleado.

Las mediciones de microdureza Vickers fueron realizadas en el microdurómetro SHIMADZU, tipo N, de fabricación japonesa.

Los ensayos fueron practicados en 5 materiales metálicos: aceros AISI 1045, W1 y W112, así como hierros fundidos grises laminares y nodulares. Para las experiencias se emplearon probetas prismáticas de dimensión 40 x 10 x 5 mm. La tabla 2 recoge la composición química de los materiales empleados

Tabla 1 Parámetros del equipo láser LTI 702.

Longitud de onda : 1060 nm	Potencia de salida garantizada: 120 Watts
Diámetro: 3 mm	Régimen de trabajo: Continuo
Divergencia: 2×10^{-3} rad.	Modo : TEM ₀₁

Tabla 2. Composición química de los materiales ensayados.

Denominación	Composición	Características	Dureza (HV)
Acero AISI 1045	0.45% C, 0.7% Mn, 0.3% Si, < 0.03% Cr	Perlita y ferrita en los límites del grano.	210
Acero AISI W1	0.75-0.84% C, 0.15-0.4% Mn, < 0.15% Cr	Estructura perlítica con partículas esféricas de cementita	217
Acero AISI W112	1.25-1.35% C, 0.15- 0.35% Mn, < 0.15% Cr	Estructura perlítica con mayor cantidad de partículas esféricas de cementita.	224
Hierro gris laminar	3.4% C, 4% CE, 0.59 % Mn, 18% Si, 0.18 % Cr	Láminas de grafito en una matriz perlítica.	234
Hierro gris nodular	3.5% C, 4.3% CE, 0.3 % Mn, 2.4% Si.	Nódulos de grafito rodeados de ferrita libre en una matriz perlítica.	297

3. Procedimiento Experimental.

Empleando la instalación láser mostrada en la figura 1, las probetas de los materiales mencionados fueron irradiadas. Como parámetro a considerar se definió la profundidad del endurecimiento, como la máxima profundidad a la que se observó transformación estructural. El control de los parámetros del láser se realizó como sigue:

- **Potencia:** El equipo láser fue debidamente calibrado para lo cual se empleó un potenciómetro de exactitud 0.1 watt. En las experiencias se utilizó 100 watt de potencia. (Trazas 1,2,3).
- **Velocidad:** Se utilizó una mesa X-Y automatizada que funciona bajo una amplia gama de velocidades. Se desecharon los valores de velocidad que propiciaban el fundido del metal, aspecto que no es de interés en el trabajo. Se utilizaron como valores 3,5 mm/s (traza 1), 4,5 mm/s (traza 2) y 5,5 mm/s (traza 3).
- **Diámetro:** Es la variable más compleja de medir. Se reportan diferentes métodos de medición. En el trabajo se empleó el método del quemado de papel, que aunque no es el más exacto ha sido empleado por varios investigadores [2]. No fue parámetro objeto de análisis en este trabajo (dreal=1 mm).

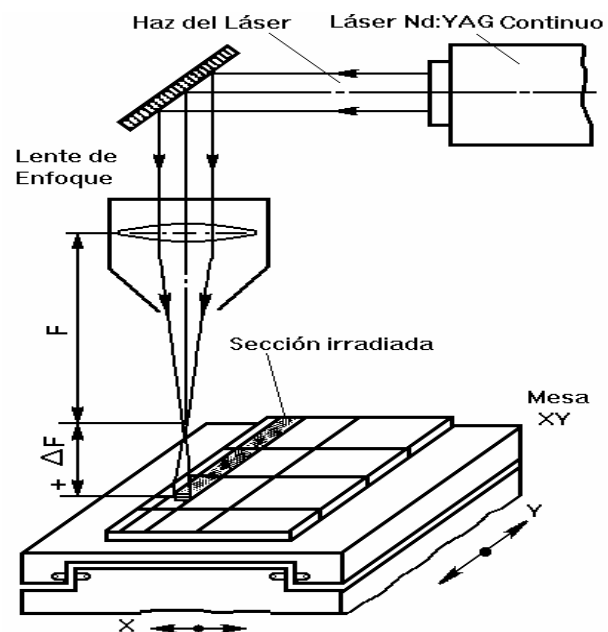


Figura 1. Instalación Experimental.

4. Resultados y discusiones.

En las figuras 2, 3 y 4 son mostrados de forma gráfica los resultados de las mediciones de microdureza Vickers

(HV) realizadas a diferentes profundidades para cada una de las trazas, las cuales representan las velocidades de barridos usadas en el trabajo.

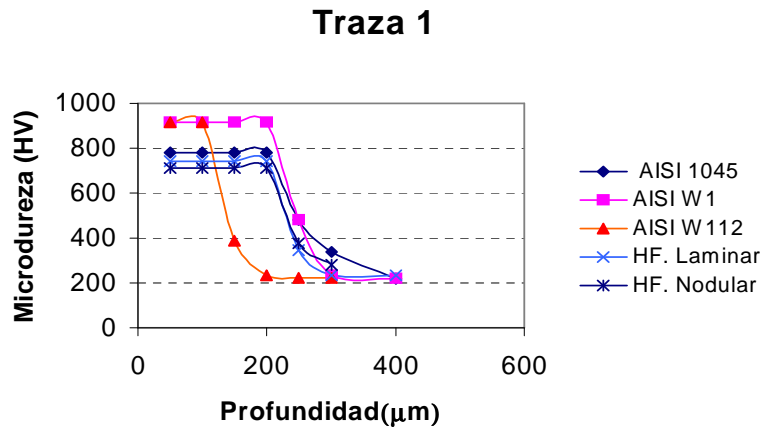


Figura.2 Correlación entre la microdureza (HV) y la profundidad de la capa tratada térmicamente por Láser (v=3.5 mm/s).

De forma general, en las figuras 2, 3 y 4 se observa que los mayores valores de microdureza en la capa superficial producto del TTSL se obtuvieron en los aceros AISI W1 y W112, producto de su composición química y las transformaciones microestructurales que de ella y el TTSL se derivan, esto independiente de la velocidad de barrido usada en los ensayos. También existió un perfil de microdureza generalmente similar en la mayoría los materiales ensayados.

Como se observa en la figura 2 la profundidad de la capa endurecida en los ensayos realizados para una velocidad de barrido de 3.5 mm/seg. fue aproximadamente de 200 µm, con excepción del acero

AISI W112 el cual alcanzó una profundidad endurecida de 100 µm. Con el posterior incremento de la velocidad se constató una disminución del espesor de la capa endurecida como se observa en las figuras 3 y 4. Como fue visto, el acero AISI W112 presentó un comportamiento diferente al resto de los materiales tratados, o sea, la profundidad de la capa endurecida fue menor que en el resto de los materiales. Esto está relacionado con la concentración de carbono del acero y la energía necesaria para la transformación martensítica.

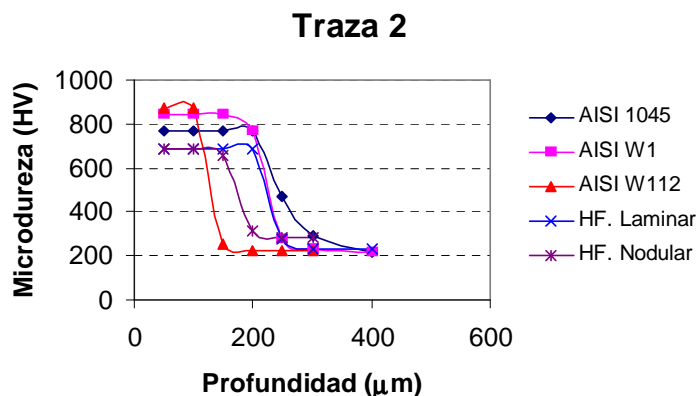


Figura. 3 Correlación entre la microdureza (HV) y la profundidad de la capa tratada térmicamente por Láser (v =4.5 mm/s).

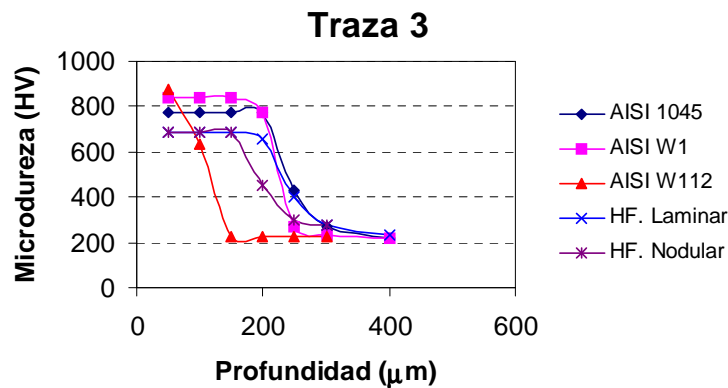


Figura 4. Correlación entre la microdureza (HV) y la profundidad de la capa tratada térmicamente por Láser ($v = 5.5$ mm/s).

La variación de la velocidad de barrido en los niveles empleados en los experimentos, no provocó variaciones significativas de los valores de microdureza de la capa tratada.

Como se puede inferir, en todos los materiales tratados se reportan penetraciones de temple en diferentes profundidades, con evidente aumento de su dureza.

La eficacia del TTSL se demuestra cuando se comparan los resultados del tratamiento de temple convencional (temple 820-850°C con enfriamiento en agua y sin revenido) aplicado a un acero AISI 1045, el cual por este método alcanza durezas del orden de los 551 HV, sin embargo las durezas alcanzadas producto del TTSL fueron del orden de 780 HV.

Es necesario señalar que el acero AISI 1045 sometido a TTSL tenía una estructura resultante de un normalizado, en el cual la cementita está presente en forma laminar en la estructura perlítica rodeada de ferrita reticular, todo lo cual dificulta el proceso de austenización.

Como se conoce el normalizado refina el grano y forma ferrita reticular. La gran separación entre las formaciones ferríticas y perlíticas dificultan la austenización completa [5,6].

De las figuras anteriores se desprende que las probetas irradiadas con láser presentaron valores de microdureza HV del orden de 780-916 HV, valores muy superiores a los alcanzados por un temple convencional, resultado por demás muy conveniente por cuanto está soportado por un sustrato dúctil que corresponde a la zona afectada por el láser y que se corresponde con la dureza del material base.

En el caso de los aceros tratados los mayores valores de microdureza se consiguieron en los aceros de mayor contenido de carbono (AISI W1 y W112).

En cuanto a la influencia de los parámetros operacionales del láser, los resultados apuntan a confirmar lo reportado por la literatura, así como por trabajo de los autores [3,4,7]. La velocidad de barrido influye de manera negativa en la penetración del endurecimiento al disminuir el tiempo de interacción y lograr un gradiente térmico suficiente para que la temperatura fluya a mayores profundidades.

5. Análisis de la microestructura.

Todas las muestras presentaron evidentes transformaciones bajo la acción del láser. Las microestructuras observadas pueden agruparse de manera general en tres tipos: la zona no transformada térmicamente, de total transformación martensítica y la zona de transición.

Las figuras 5a y 5b muestran la microestructura del acero AISI 1045 tratado con láser en la que se puede observar claramente la zona totalmente transformada y el sustrato no transformado.

Bajo el microscopio se detectó en todos los casos en la zona próxima a la superficie una martensita fina y en la medida que se avanza en profundidad una zona de martensita un poco más burda de menor dureza.

En la zona de transición se observan zonas parcialmente transformadas (martensita) y zonas sin transformar (perlita y algo de ferrita) y finalmente en la zona que corresponde al metal base se mantiene la estructura inicial del sustrato de perlita + ferrita.

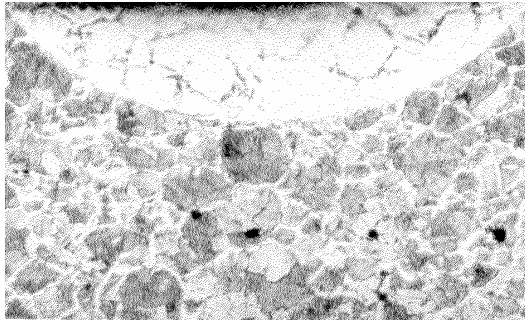


Figura 5a Microestructura del acero AISI 1045 (100 X) zona tratada (parte superior blanca) y la no tratada, parte inferior (perlita + ferrita)

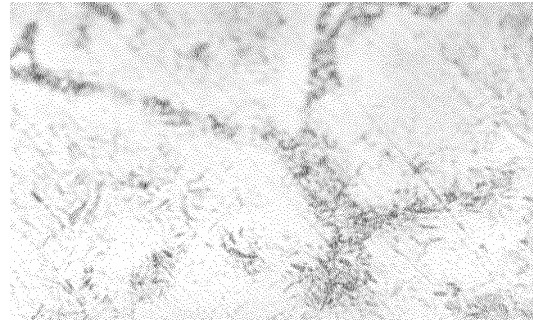


Figura 5b.Zona de transición: martensita (blanca) y algo de trostita (gris).

El acero AISI W1 mostró, que en la zona próxima a la superficie se obtuvo martensita fina y los carburos casi completamente disueltos, distribuyéndose homogéneamente en la matriz metálica. A mayor profundidad la martensita adoptó una estructura burda de menor dureza y aumentó la cantidad de carburos sin disolver. En la zona de transición existían zonas parcialmente transformadas (martensita + cementita) y zonas sin transformar (perlita + cementita).

La estructura del acero AISI W112 por su parte, presentó después del TTSL algunas peculiaridades pues la ZAC tenía 4 zonas bien definidas. La zona no afectada por el láser presentaba una microestructura correspondiente a una perlita globular. Inmediatamente una zona de transición con perlita globular y trostita y por encima de esta una estructura de martensita fina y perlita globular. Finalmente y correspondiendo con el diámetro del haz una zona exclusiva de martensita muy fina. En cuanto a las transformaciones en los hierros fundidos grises, laminares y nodulares, y que están condicionados al proceso de solubilización de las láminas de grafito, los resultados corroboraron los resultados de otros autores [7,8]. En el hierro laminar

(Figuras 7a y 7b), por ejemplo, para las diferentes condiciones de realización de los ensayos, los resultados mostraron en todos los casos una zona afectada por el calor con una incompleta disolución del grafito en la zona martensítica endurecida por el TTSL. La incompleta disolución del grafito, en relación con los resultados reportados por Schaaf puede estar relacionada con la baja potencia empleada.

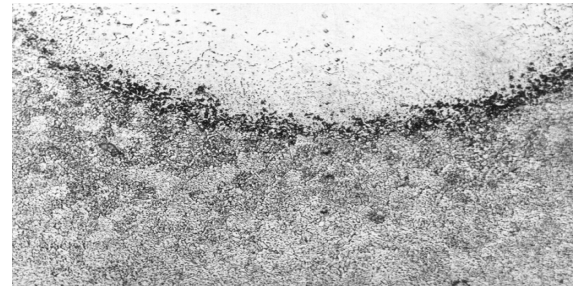


Figura 6.Estructura metalográfica del acero AISI-W112 después del TTSL:

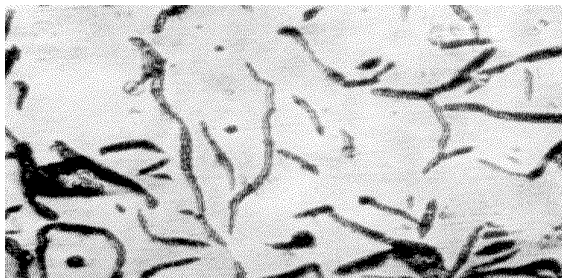


Figura 7a. Microestructura del hierro gris laminar con TTSL, laminas de grafito en matriz martensítica.

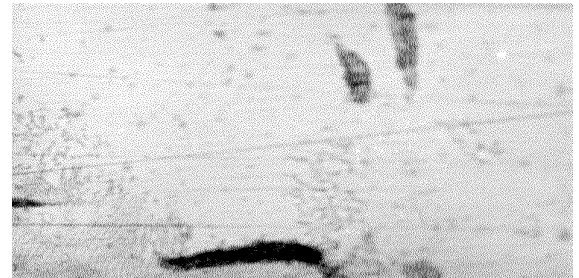


Figura 7b. Microestructura del hierro gris laminar láminas de grafito parcialmente disueltas y substrato de perlita laminar.

En cuanto al hierro fundido nodular (figuras 8a y 8b), la zona afectada por el láser mostraba una martensita fina con grafito nodular

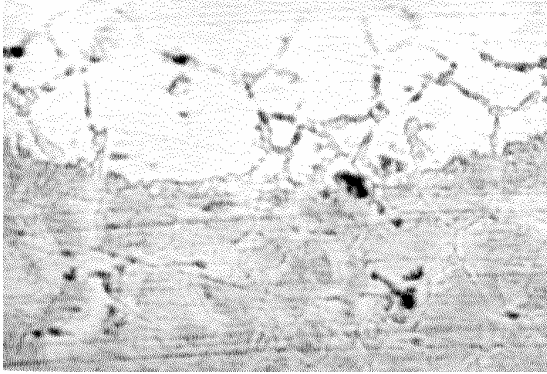


Figura 8a. Microestructura del hierro fundido nodular luego del TTSL. Zona afectada con martensita y grafito nodular no disuelto y sustrato.

Como es conocido los nódulos de grafito presentan gran dificultad a ser disueltos totalmente. Este resultado parece estar justificado porque en las regiones que circundan el nódulo de grafito, la solución sólida de austenita presenta un contenido de carbono de 2-2.3 % y puede por tanto tener una alta estabilidad. Otro detalle significativo está relacionado con una caída más abrupta de la dureza en profundidad del hierro nodular que puede estar relacionada con la disolución de la cementita, el rápido calentamiento, la razón de enfriamiento y la nueva precipitación de la fase.

6. Conclusiones.

- Los resultados obtenidos en los ensayos de dureza en el TTSL son superiores a los obtenidos por los métodos convencionales de tratamiento térmico, lo que pone en evidencia las ventajas del temple localizado con láser.
- En todos los casos de los aceros tratados la dureza en las capas superficiales osciló entre los 500-916 HV, coincidiendo los mayores valores de dureza con los aceros de mayor contenido de carbono. Las estructuras metalográficas se caracterizaron por una martensita fina en la zona de total transformación, una más burda en la zona de transición con presencia de perlita, ferrita y carburos en diferentes grados.
- En los dos tipos de fundiciones analizadas (laminar y nodular) las durezas alcanzadas fueron muy similares (≈ 700 HV) y una estructura

incompletamente disuelto y rodeado por una especie de anillos brillantes, atribuibles, a la austenita retenida.

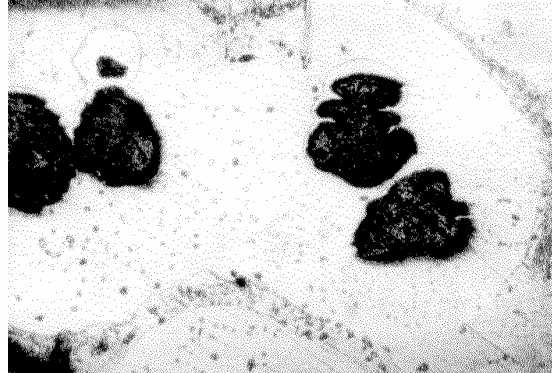


Figura 8b. Microestructura del hierro fundido nodular luego del TTSL. Nódulo de grafito rodeado de austenita retenida en una matriz martensítica.

metalográfica matizada por un alto grado de disolución del grafito en la fundición laminar y la presencia del nódulo de grafito y austenita retenida en el hierro nodular en una matriz martensítica.

- Se comprobó que el aumento de la velocidad de barrido provocó una disminución de la capa endurecida. También se observó que para los niveles de velocidad de barrido usados en la experimentación no hubo variación apreciable de la dureza de la capa tratada.

7. Referencias bibliográficas.

1. .Damborenea, J.J. Segundo Curso de Ingeniería de Superficies, CSIC, España 1998.
2. .Steen, W. Surface heat treatment of En 8 steel using a 2 kW continuous wave CO₂ laser. Metals Technology, December 1979, p 456-462.
3. .Shang, H.M. On the width and depth of hardened zones during laser transformations hardening of tool steels. Journal of material processing technology, 23 (1990).
4. .Ceballos, J., Sagaró. Modificación superficial del acero AISI W1 mediante láser de Nd:YAG. Revista Metalurgia 34 (2), 1998. Edición especial de la I Conferencia Iberoamericana de Síntesis y tratamiento de materiales por láser, CSIC, Madrid, España.

5. .López, V. Influence of previous structure on laser surface hardening of AISI 1045 steel. ISIJ International V-35 (1995), p 1394-1399.
 6. .Ruiz, J. Effect of surface laser treatment on the microstructure and wear of grey iron. Materials and Design, volume 17, number 5/6, p 267-273, 1996.
 7. .Visscher, H. The influence of laser line hardening of carbon steel AISI 1045 on lubricated wear against steel AISI 52100. Wear of Materials Conference, Massachusetts, EU, 1995.
 8. .Schaaf, P. Laser remelting of cast iron: a Mössbauer study. Journal of materials science 26 (1991), p 5019-5024.
-

Steels and cast irons superficial modification by means of laser Nd: YAG.

Abstract

This paper exposes the experiences of researchers on the laser surface heat treatment. The hardening of AISI 1045, W1, W112 steels and cast irons flake and nodular was carried out by using a Nd: YAG laser. Operation parameters of laser, like beam power (P) and traverse speed of the laser spot (V) are closely with hardening depth. Authors present some analyses about metallographic studies. In all cases are reported Vickers microhardness about 500-900 HV (three or four times higher than original substrates). Relations between microhardness and depth of hardening are presented for the processed materials. Experimental results showed that the increased scan speed produces a decrease on depth hardening. By other hand there is a direct relation between carbon containing on steels with the occurrence of austenitic process.

Key words Laser surface hardening, laser operation parameters, microhardness, hardening depth.