

Aplicación del rayo láser de CO₂ para soldar laminas de acero bajo carbono

Enrique J. Martínez D.*, Miguel A. Cisneros G**

Instituto Tecnológico de Zacatecas, Depto. de Metal Mecánica

Carr. Panamericana entronque a Guadalajara, A.P. 245

Zacatecas, Zac. Tel. y Fax: 4-53-66 y 4-52-66 y 4-76-78

**Instituto Tecnológico de Saltillo, Depto. de Metal Mecánica

Blvd. V. Carranza # 2400 Saltillo, Coah. Tel. 15-32-20 Fax: 15-55-11 Ext. 132

(Recibido el 5 de octubre de 1998; aceptado el 10 de enero de 1999)

Resumen

Debido a que el rayo láser enfocado es un modo de energía calorífica de alta densidad y de diámetro pequeño, se logra con ello una alta relación profundidad / ancho del cordón de soldadura, y se facilita el proceso de soldadura de láminas muy delgadas, lo cual difícilmente se logra con los procesos comunes de soldadura. Esta técnica también presenta la ventaja de que fácilmente se puede automatizar, produciendo soldaduras de alta precisión con baja contaminación.

El trabajo consiste en realizar una investigación sobre el proceso de soldadura de láminas delgadas utilizando un láser de CO₂ de baja potencia en modo continuo, enfocando el láser con una lente de ZnSe y empleando argón industrial para controlar la atmósfera alrededor de la región tratada y evitar la oxidación. Para realizar el proceso, se diseñó un dispositivo para desplazar la muestra a 45° con respecto a la trayectoria del rayo láser en forma precisa; la soldadura se realizó a tope y sin aporte de material.

El trabajo se realizó sobre láminas de acero de bajo carbono de calibre 24 y 26. Las muestras soldadas fueron sometidas a: ensayo de tracción, análisis visual, análisis metalográfico y pruebas de microdureza. Los resultados obtenidos muestran que se puede realizar fácilmente el proceso, mediante el control de las variables más importantes, de tal manera que una vez establecidas, el operador no necesita una gran experiencia en el manejo de esta técnica para realizar el proceso con alta calidad. Los análisis realizados confirman que mediante esta técnica es posible obtener cordones de soldadura uniformes, con buenas propiedades mecánicas.

Palabras claves: Soldadura, láser.

1. Introducción

Un rayo láser enfocado es una fuente de densidad de potencia muy alta que actualmente puede emplearse en la industria. Algunos de estos láseres tienen una densidad de potencia similar a la de un haz de electrones. Las nuevas tecnologías para el procesamiento de materiales aprovechan esta característica, particularmente, en la soldadura de metales y aleaciones.

El objetivo planteado en esta investigación fue obtener cordones de soldadura de calidad en láminas delgadas de acero bajo carbono usando las potencias más bajas posibles del haz láser y optimizando los siguientes parámetros: velocidad de desplazamiento de muestra, flujo de argón y potencia del haz láser para obtener buenas propiedades mecánicas. Se puede pensar en una exitosa alternativa de aplicación de materiales de espesor pequeño sin alterar los factores de seguridad y tener por consecuencia un ahorro muy considerable en los costos de materia prima. Esto es muy importante hoy en día porque

la humanidad demanda un aprovechamiento más eficiente de los recursos naturales, de tal modo que la industria se ve en la necesidad de utilizar materiales cada vez más ligeros y procesos de soldadura mas eficientes, de mejor calidad y menos contaminantes.

En este trabajo se estudió la aplicación de un sistema láser de CO₂ de baja potencia para soldar láminas de acero bajo carbono (comercialmente conocida como lamina negra) de 0.457 y 0.635 mm de espesor respectivamente. Fue necesario diseñar y construir un dispositivo que permitiera posicionar y desplazar las muestras a soldar con precisión. Para controlar la atmósfera en el área de soldadura, se inyectó argón grado industrial utilizando boquillas de diferentes diámetros. El rayo láser fue enfocado con una lente de ZnSe de 50 cm de distancia focal. De cada una de las muestras soldadas se obtuvieron probetas para ensayos de tensión, adicionalmente se realizó un estudio metalográfico y de microdureza al cordón de soldadura y a la ZAT, (Zona Afectada Térmicamente) con la finalidad de determinar la calidad de las muestras soldadas.

2. Experimentación, material y equipo utilizado

Se utilizó un acero 1006, ya que el Fe es el metal que presenta menos problemas de reflexión del haz láser de 10.6 μm de longitud de onda. Se utilizaron dos calibres para llevar a cabo el proceso de soldadura: calibre 26 (0.4572 mm) y calibre 24 (0.635 mm). Las láminas fueron cortadas en rectángulos de 5 x 6 cm de acuerdo a las normas ASTM A 370 - 77 y ANSI/AWS

D1.1-90, para obtener de cada una de las muestras soldadas cuatro probetas para ensayo de tensión y dos más para análisis metalográfico y prueba de microdureza Hv (50 gr) respectivamente, la figura 1 muestra esquemáticamente la posición.

Para realizar el proceso de soldadura, se utilizó un sistema láser de CO₂ marca Milles Griot modelo 2400 en modo de onda continua (CW). Para determinar la potencia del haz láser sin localizar. Se utilizó un potenciómetro de lectura directa en Watts para medir la potencia.

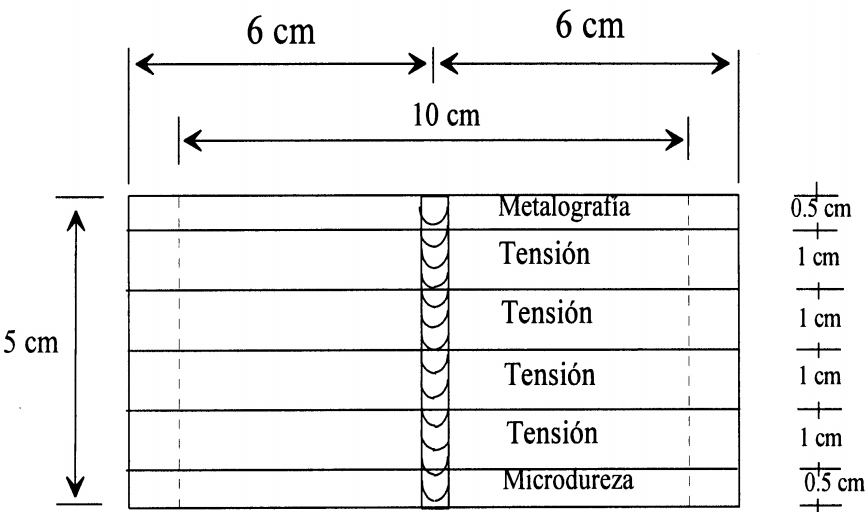


Figura 1. Localización de las probetas de ensayo en la lámina soldada.

Las láminas obtenidas después de ser soldadas, fueron analizadas macroscópicamente sin ataque. de este modo, se seleccionaron las láminas que soldaron adecuadamente para maquinar probetas para tensión (fig. 1). Las muestras obtenidas para el análisis metalográfico y de microdureza, fueron desbastadas y pulidas a espejo mediante el método mecánico. El análisis metalográfico para las primeras láminas soldadas, consistió solamente en observarlas en un microscopio óptico pulidas y sin ataque para determinar el estado de la solidez en el cordón de soldadura. Tomando en cuenta las sugerencias de la norma antes mencionada, para las dos últimas muestras se realizó el estudio metalográfico en forma completa, atacadas con nital al 2%, durante 6 segundos; así mismo, el ensayo de microdureza solamente se aplicó a estas dos, cuyas indentaciones se hicieron en las siguientes condiciones: a 50, 150, 250 y 350 μm del frente del cordón, formando una línea perpendicular a la superficie, dándose 150 μm de separación entre línea y línea evitando de esta forma la interferencia entre indentaciones.

3. Dispositivo Experimental

A fin de realizar el proceso de soldadura en forma segura y precisa, fue necesario diseñar un mecanismo (fig. 2) con desplazamiento de la lámina solamente en una sola dirección; también el mecanismo de desplazamiento fue diseñado de tal manera que mantuviera la muestra firmemente a 45° con respecto al rayo láser. Con respecto a la inyección de Ar, se habilitó el dispositivo con un medio que mantuviera una boquilla de inyección en forma firme para eliminar el efecto de vibración durante el proceso de la soldadura. Como medio motriz se utilizó un taladro profesional de velocidad variable (0 a 300 r.p.m.) y reversible de 12.7 mm (1/2 pulg), el cual fue habilitado con un sistema controlador de la velocidad de desplazamiento en forma reproducible. Para disminuir la reflexión de la radiación se usó pintura comercial color negro como material recubridor absorbente.

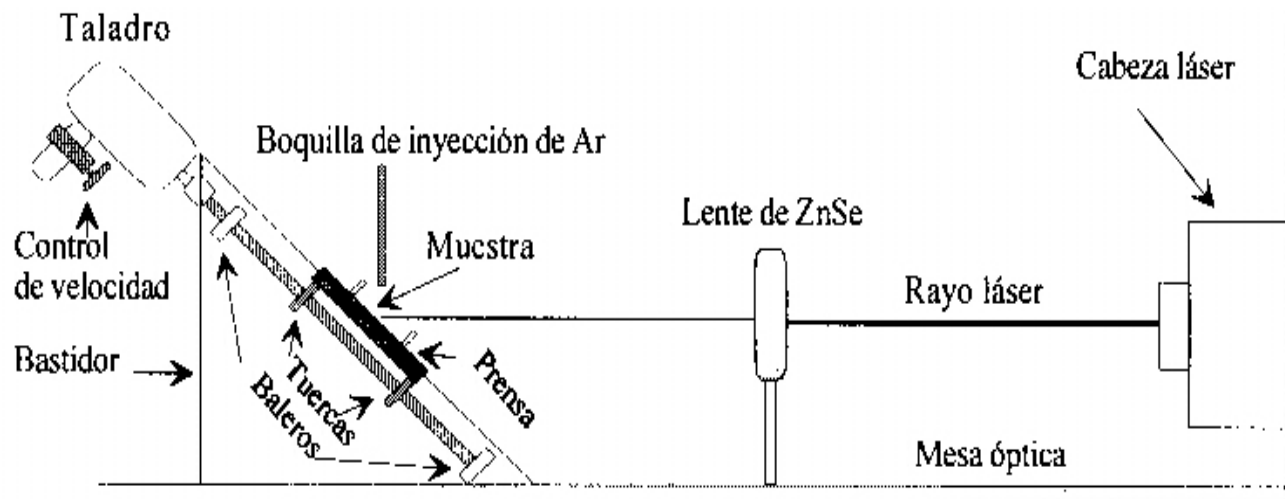


Figura 2. Diagrama esquemático del dispositivo experimental.

4. Principales variables del proceso

1)Potencia del haz láser:

En esta investigación se estuvo trabajando con diferentes potencias del haz, desde 60 a 130 watts para las láminas calibre 26, y de 120 a 180 watts para las láminas calibre 24, con el fin de determinar experimentalmente la potencia mínima necesaria para obtener buenos cordones de soldadura en ambos calibres.

2)Velocidad de desplazamiento de la muestra:

En los experimentos realizados, la velocidad de desplazamiento se varió de 0 a 2.7 mm/seg para ambos calibres de las láminas, pero como la potencia debería ser la mínima, se determinó la mínima velocidad confiable de tal forma que los eventos fueran reproducibles.

3)Flujo de argón:

A fin de controlar la atmósfera para evitar la oxidación en la zona soldada, se utilizó argón grado industrial, en el

rango de 0.674 a 0.05 lt/min. Con la finalidad de direccionar el Ar. hacia la zona de trabajo se usaron tres tipos de toberas de inyección, dos de ellas fijas de tubo de Cu y una de manguera flexible. Para determinar en primera instancia la posición óptima de la inyección del Ar, se usó la manguera flexible con dos boquillas (de Cu) cuyos diámetros internos fueron de 3.175 y 6.34 mm respectivamente, moviéndose el chorro de Ar alrededor del haz láser incidente y variando su ángulo de incidencia con respecto al plano de la muestra de 0 a 180°. Las toberas fijas, se colocaron cada una de ellas en la posición determinada por la boquilla flexible para determinar el efecto de la presión del flujo de argón sobre el proceso de soldadura.

Parámetros de operación.

La tabla 1 muestra los principales parámetros de operación utilizados en las muestras soldadas durante el desarrollo de la experimentación.

Tabla 1. Parámetros de operación usados en las muestras soldadas.

No. de muestra	Potencia del haz (watts)	Vel. de desplazamiento (min/seg)	Flujo de Ar (lt/min)	Espesor de muestra (calibre)	Densidad de energía (J/MM ²)
1	120	2	0.05	26	66.67
2	120	0.67	0.05	26	199.01
3	120	0.63	0.05	24	211.64
4	150	0.73	0.05	24	228.31
5	170	0.55	0.05	24	343.43
6	130	2.7	0.05	26	53.5
7	130	1.85	0.05	26	78.08
8	130	0.55	0.05	26	226.63
9	180	0.55	0.05	24	363.64

5. Resultados

Ensayo de tensión.
La tabla 2 muestra el esfuerzo máximo a la tensión

promedio obtenido en el material base y la tabla 3, el correspondiente a las muestras soldadas así como también la posición de la fractura en las probetas ensayadas.

Tabla 2. Resultados del ensayo de tensión del material base.

Calibre	Esfuerzo máximo promedio Kg/mm ²
26	25.72
24	26.21

Tabla 3. Resultados del ensayo de tensión para las muestras soldadas.

No. de muestra	Posición de la fractura		Esfuerzo máximo promedio Kg / mm ²
	En el cordón	Fuera del cordón	
1	*		20.12
2	*		24.67
3	*		10.71
4	*		14.49
5		*	22.93
6	*		17.76
7	*		23.89
8		*	26.42
9		*	25.83

Para analizar en forma sencilla el efecto de la velocidad de desplazamiento de la muestra y la potencia del haz sobre el esfuerzo máximo a la tensión, la figura 4 presenta la densidad de energía

sobre el esfuerzo máximo a la tensión. Donde se aprecia que el esfuerzo máximo a la tensión aumenta al disminuir la velocidad o al aumentar la potencia.

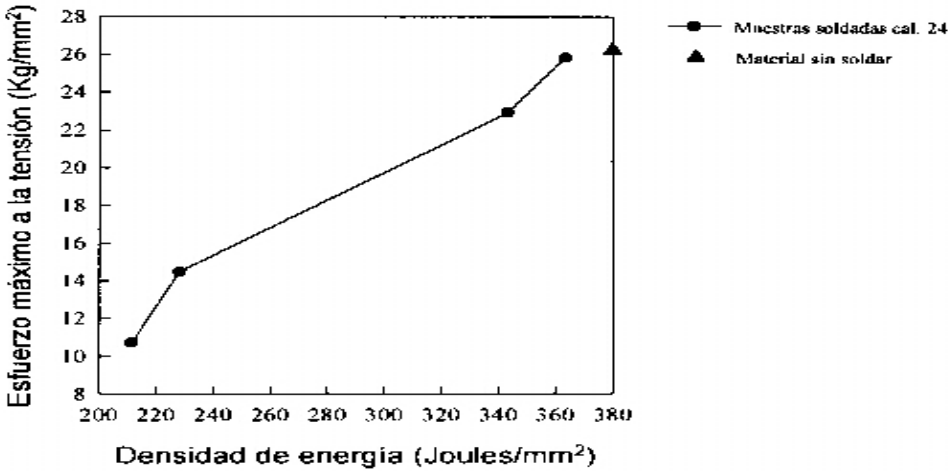


Figura 3. Efecto de la densidad de energía del haz láser sobre el esfuerzo máximo a la tensión.

La calificación de la calidad de las muestras soldadas se hizo en relación al esfuerzo máximo a la tensión del material sin soldar

(esfuerzo máximo relativo), según la norma. especificada, la tabla 4 muestra los resultados obtenidos.

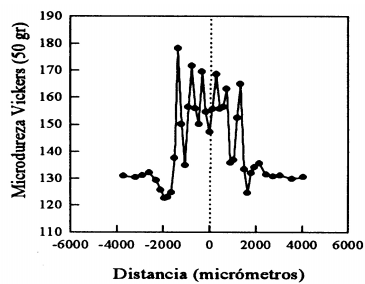
Tabla 4. Calidad de las muestras ensayadas.

No. de muestra	Esfuerzo máximo relativo (%) [σ_{Max} mat. sold / σ_{Max} mat. sin sold]	Calidad de la soldadura		
		Excelente	Buena	Mala
1	79.93			*
2	95.92		*	
3	40.87			*
4	55.29			*
5	87.5		*	
6	69.05			*
7	92.86		*	
8	102.71	*		
9	98.56	*		

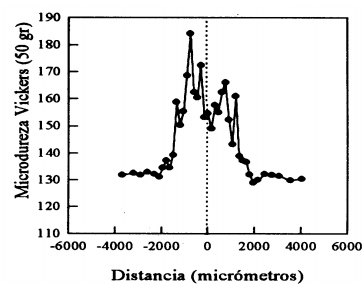
*Se considera de buena calidad la soldadura si: 1) La probeta en el ensayo de tensión rompe fuera del cordón de soldadura, 2) La probeta en el ensayo de tensión rompe en el cordón de soldadura cuyo esfuerzo máximo relativo es superior o igual al 85 %.

6. Prueba de microdureza

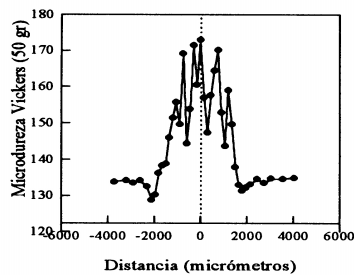
Las figuras 5 presenta los resultados de microdureza obtenidos en las muestras 8 y 9 que presentaron los mejores valores de esfuerzo máximo a la tensión y que cumplieron con el objetivo inicialmente planteado. La línea punteada indica el centro del cordón de soldadura.



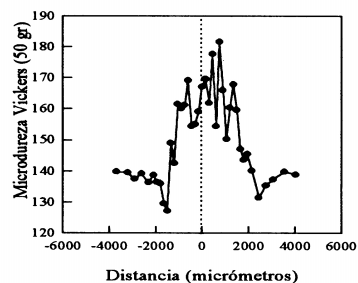
a). Microdureza a 50 micrómetros del frente



b). Microdureza a 150 micrómetros del frente



c). Microdureza a 250 micrómetros del frente



d). Microdureza a 350 micrómetros del frente

Figura 5. Microdurezas obtenidas en las muestras No. 8 y 9, a) a 50 μm del frente, b) a 150 μm del frente, c) a 250 μm del frente, d) a 350 μm del frente.

Con la ayuda del micrómetro del microscopio usado para determinar la microdureza, se realizaron las mediciones de la zona de fusión y de la zona afectada térmicamente, mediante el

cambio de microestructura en la muestra atacada con nital, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Dimensiones obtenidas mediante cambio estructura.

No. de Muestra	Lugar de medición	Longitud (μm)	Longitud total(μm)
8	ZAT	1,050	3380
	ZF	1,430	
	ZAT	900	
9	ZAT	1,050	3350
	ZF	1,400	
	ZAT	900	

La tabla 6. muestra la longitud total promedio de la zona afectada (ZAT y ZF) para la muestra 8 y 9 respectivamente, deducida a partir de las gráficas de microdureza, en donde se

tornó como inicio y final de la zona afectada en cada gráfica, los puntos cuyas microdurezas fueron las más bajas.

Tabla 6. Dimensiones deducidas del ensayo de microdureza.

No. muestra	Longitud total (μm)
8	3,700
9	3,930

7. Resultados del análisis metalográfico

Las muestras No. 1, 3, 4 y 6, presentaron una deficiente penetración de la soldadura, ocasionado por la baja densidad de energía aplicada, lo cual se muestra en la figura 6.

La fotografía 7 muestra la solidez obtenida en las muestras No 2 y 7, en donde se puede ver un cordón de soldadura angosto, ocasionado por la falta del control del proceso: la densidad de energía fue insuficiente, provocando que la fusión no fuera uniforme, lo que favoreció regiones de curvatura baja en el centro del cordón de soldadura.

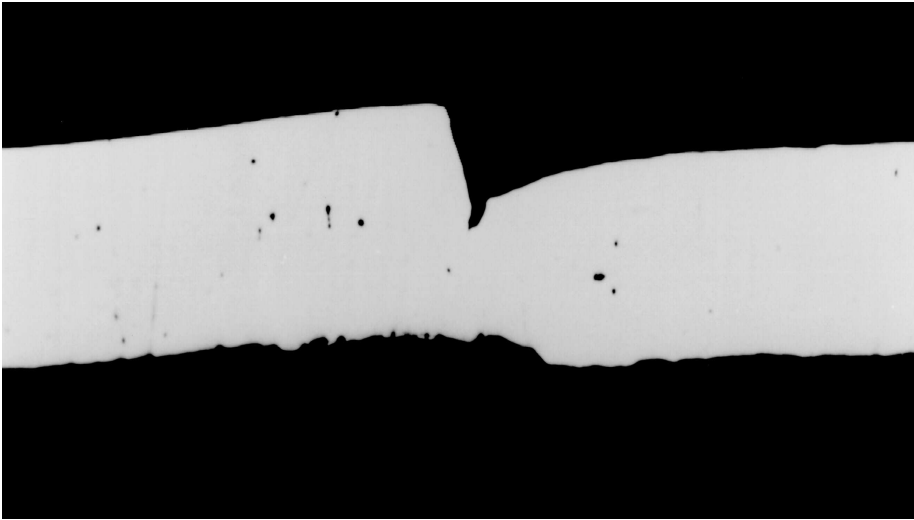


Figura 6. Metalografía obtenida en las muestras No. 1, 3, 4 y 6, sin atacar, 50 X. Donde se aprecia una mala solidez en el cordón de soldadura.



Figura 7. Metalografía de las muestras No. 2 y 7, sin atacar, 50X. La metalografía reveló un cordón de soldadura socavado cuya solidez fue regular.

La microestructura obtenida en la sección transversal del material base se muestra en la figura 8: La matriz consta de ferrita equiaxiada de grano fino, siendo más fina en el centro que

en la orillas de la probeta, lo cual se debió al proceso de fabricación de la lámina.

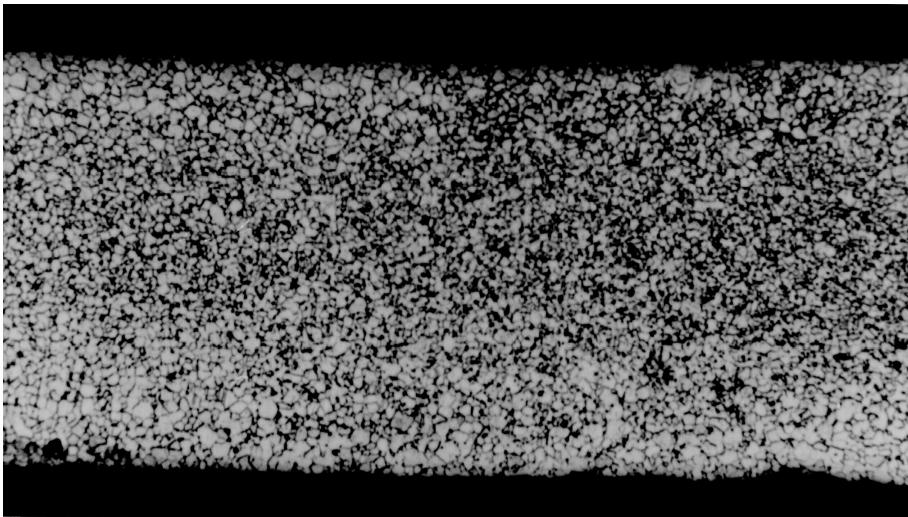


Figura 8. Metalografía de la sección transversal de la muestra base sin soldar, atacada con nital, 1 00 X.

Las metalografías obtenidas en las muestras que cumplieron con el objetivo planteado (8 y 9), revelaron que el centro del cordón de soldadura estuvo formado por ferrita equiaxiada de grano basto con ferrita acicular gruesa y ferrita columnar, mientras que en la zona afectada térmicamente, se reveló ferrita acicular fina

y ferrita equiaxiada de grano medio (más basta que la ferrita del material base en el límite con este). La figura 9 muestra la microestructura obtenida, observada a 50X. esta metalografía revela la diferencia de microestructura entre la zona afectada por el proceso de soldadura y el material base.

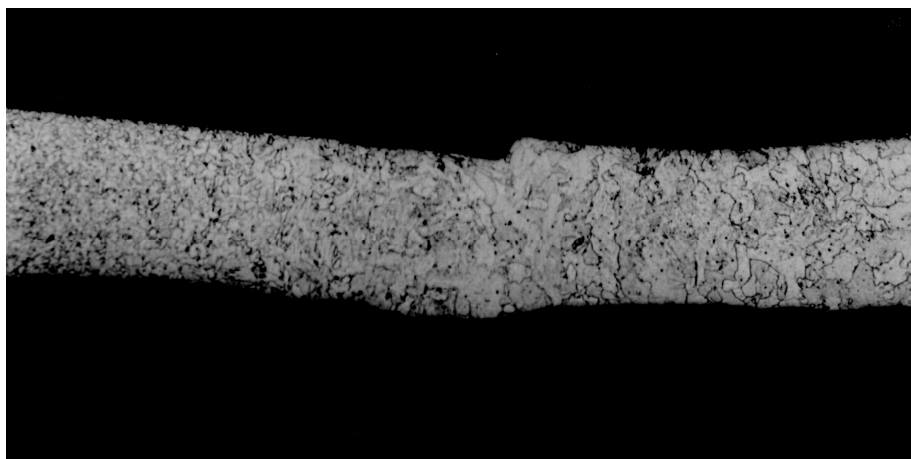


Figura 9. Metalografía obtenida en la zona afectada por la soldadura, atacada con nital, 50 X.

Bibliografía

1. John Powell, Hans Engstrom, Claes Magnusson, May 1994 Laser surface treatment: mechanisms and techniques part 1 & II, The Fabricator 4(24):77-87.
2. Mazumder, J. and Steen, W.M, June 1981, Laser welding of steels used in can making Welding Journal 60(6):19-25.
3. Holbert, R.K. Mustaleski, T.M., and Frye, L.D. August 1987, Laser beam welding of stainless steel sheet, Welding Journal 66(8):21-25.
4. Seretsky, J. and Ryba, E. R. July 1976, Laser welding dissimilar metals: titanium to nickel, Welding Journal 55(7):208-11.
5. Sharp, C.M. and Nilsen, C.J. January 1988, High speed laser beam welding in the can making industry, Welding Journal 67(1): 25-28.
6. Morgan-Warren, E.J. March 1979, The application of laser welding to overcome joint asymmetry, Welding Journal 58(3):76-82.
7. E.A. Metzbowler, October 1995, Temperatures in the Keyhole, Metallurgical & Materials Transactions 5(26 B): 1029-1033.
8. C.J. Dawes, August 1983, CO₂ laser welding low carbon steel sheet, the Welding Institute 8(R248): 261-266.
9. Annual Book of Astm Standards, 1981, Metals-Physical, Mechanical, corrosion Testing; Erosion and Wear; Effect of Temperature, Part 1 0.
10. Structural Welding Code - Steel, Effective January 1, 1990; ANSI/AWS dl. 1-90, An American National Standard Twelfth Edition

Application of the ray laser of CO₂ to weld sheets of steel low carbon

Abstract

Because the ray focused laser is a heating energy way of high density and of small diameter, it is achieved with it a high relationship depth / wide of the welding cord, and the process of welding of very thin sheets is facilitated, that which difficultly is achieved with the processes common of welding. This technique also presents the advantage that easily you can automate, producing weldings of high precision with low contamination.

The study consists on carrying out an investigation on the process of welding of thin sheets using a laser of CO₂ of low power in continuous way, focusing the laser with a lens of ZnSe and using industrial argon to control the atmosphere around the treated region and to avoid the oxidation. To carry out the process, you design a device for ' to displace the sample at 45° with regard to the trajectory of the ray laser in precise form; the welding was carried out to it collides and without material contribution.

The work was carried out on sheets of steel of low carbon of caliber 24 and 26. The welded samples were subjected to: traction rehearsal, visual analysis, analysis metalográfico and microdureza tests. The obtained results show that it can be carried out the process easily, by means of the control of the most important variables, in such a way that once established, the operator doesn't need a great experience in the handling of this technique to carry out the process with high quality. The carried out analyses confirm that by means of this technique it is possible to obtain uniform welding cords, with good mechanical properties.

Key words: Welding, laser.