

SOLDABILIDAD DE UN ACERO DE ULTRABAJO CARBONO MICROLALEADO CON NIOBIO Y VANADIO

Martín Saavedra^{1*}, Luis Béjar², Ariosto Medina¹, José Luis Bernal³, L. Zamora⁴, Sergio Anguiano²

1: Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. UMSNH. Morelia, México, D.F.

2: Facultad de Ingeniería Mecánica. UMSNH. Morelia, México, D.F.

3: Universidad Politécnica del Valle de México. México, D.F.

4: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) Salazar Edo de México

* e-mail: smagana@umich.mx

RESUMEN

Un acero experimental para aplicaciones estructurales microaleado con niobio, vanadio y de ultrabajo contenido de carbono (0.02% C, 0.14% Nb, y 0.15% V) fue fabricado por fundición y tratamiento termomecánico. Este acero fue soldado en posición plana por arco sumergido con un electrodo EM13K de acuerdo a las especificaciones de la American Welding Society (AWS). Para determinar los cambios microestructurales y de propiedades mecánicas del acero y de su unión soldada fueron estudiados mediante microscopía óptica, ensayos de tensión y de dureza Rockwell B (HRB). Los resultados obtenidos mostraron que el acero microaleado tuvo una microestructura compuesta de ferrita y perlita, que su resistencia máxima fue de 564 MPa y su valor de dureza de 89.5 HRB. El depósito de la unión soldada tuvo una resistencia máxima de 590 MPa y su dureza estuvo en el rango de 90-95 HRB. No se observaron problemas de agrietamiento y fisuración en la unión soldada. El objetivo de este trabajo fue diseñar un procedimiento de soldadura, evitando problemas de agrietamiento y fisuración, así como determinar las propiedades mecánicas y microestructurales de la unión soldada del acero microaleado y de ultra bajo carbono.

Palabras Claves: Acero microaleado, Unión soldada, Microestructura, Propiedades Mecánicas.

WELDABILITY OF ULTRALOW CARBON STEEL MICROALLOYED WITH NIOBIUM AND VANADIUM

ABSTRACT

An experimental steel with ultralow carbon content for structural applications microalloyed with niobium and vanadium (0.02% C, 0.14% Nb and 0.15% V) was produced by casting in an electrical induction oven and then thermomechanically treated. This steel was welded by submerged arc welding process applying an electrode EM13k according to the specifications of the American Welding Society (AWS). Steel microstructures and mechanical properties were studied applying optical microscopy, tensile and hardness tests. The results showed that microalloyed steel had a microstructure composed of ferrite and perlite. Steel had a tensile strength of 564 MPa and hardness value of 89.5 HRB. Weld deposit of the welded joint had a tensile strength of 590 MPa and a hardness value varying from 90 to 95 HRB. Welded joint had no cracking. The aim of this work was to design a welding procedure to weld a microalloyed steel with niobium and vanadium to avoid cracking problems as well as to evaluate the microstructural and mechanicals properties of the welded joint.

Keywords: Microalloyed steel, Welded join, Microstructure, Mechanicals properties.

1. INTRODUCCIÓN

Los aceros de alta resistencia como los aceros microaleados, son producto de una tecnología en la que se adicionan elementos de micro aleación y se procesa termomecánicamente el acero dando como resultado un material con mejores propiedades, dado que se controla la microestructura del acero. Los elementos de microaleación se requieren en pequeñas concentraciones y son formadores de carburos y carbonitruros, reaccionando con elementos como el carbono, el nitrógeno y el azufre, que siempre están presentes en el acero. Aun a relativamente bajas temperaturas su afinidad induce a la precipitación de fases. A temperaturas elevadas, es decir, en el rango austenítico, los compuestos tienden a disolverse parcial o totalmente en la matriz del acero. La microestructura final que resulta es de pequeños granos ferríticos que favorecen la mejoría de las propiedades del acero como son resistencia a la tensión o al impacto [1-4]. Los aceros estructurales deben de

tener como propiedad importante la buena soldabilidad, por esto se sueldan satisfactoriamente por cualquier proceso de soldadura de arco eléctrico. El proceso de soldadura por arco sumergido se aplica esencialmente para soldar aceros de espesores medianos para lo que se tiene que considerar la composición química del acero, la selección del material de aporte y la resistencia del acero entre otras propiedades.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Material: El acero se fabrico por fundición en un horno de arco eléctrico de 25 Kg. de capacidad, se vacio en lingoteras metálicas de sección cuadrada de 63.5 mm y 300 mm de longitud, que se secciono en partes con dimensiones de 63.5 mm por 65 mm. Estos lingotes se sometieron a un tratamiento termomecánico de laminación en caliente, que consistió en un recalentamiento a 1180 ° C, se deformato en un laminador de 50 toneladas de capacidad hasta obtener placas de 12.7 mm de espesor, con una temperatura final entre 850 y 900°C, posteriormente enfriados en el medio ambiente. Las placas así obtenidas son las empleadas en la unión soldada. La figura 1 muestra el bisel para la soldadura que se seleccionó de acuerdo con el material, espesor, posición de la soldadura y tipo de proceso [5].

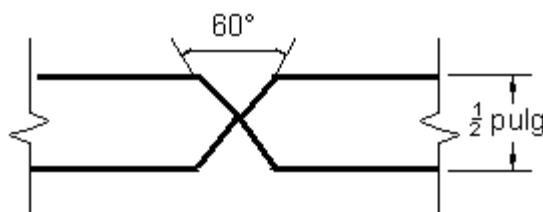


Figura 1. Forma de preparación de la unión para la soldadura

La unión se hizo a tope con diseño en doble V, con un ángulo de 60 grados. El electrodo aplicado de acuerdo con la AWS (American Welding Society) fue el EM13K de 3.12 mm.

Procedimiento: El proceso de soldadura aplicado para soldar el acero de bajo carbono y microaleado con niobio y vanadio es de arco sumergido con método automático. Este procedimiento se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Procedimiento de soldadura de un acero microaleado con niobio y vanadio.

Espesor	12.7 mm
Proceso	Arco sumergido
Posición de la soldadura	Horizontal
Diseño de la junta	Doble V, 60°
Num. de pasadas	2
Tipo de corriente	Directa
Electrodo	AWS-EM13K
Fundente	F7AO
Corriente	440 Amps, 450 Amps.
Voltaje	29.5 V
Velocidad de la soldadura	18.5 cm/min.

Ensayos: Los practicados a la unión soldada fueron: De tensión del material y del depósito, de dureza del material y de la unión y de metalografía de la unión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La composición química del acero microaleado se presenta en la Tabla 2, en la que se puede observar que se trata de un acero de muy bajo carbono, 0.029%, que el contenido de manganeso es de 1.59 %. El contenido del vanadio fue de 0.15%, el niobio 0.14% y el de cromo de 0.14%; estos elementos son de considerarse por su contribución a la resistencia del material y su comportamiento metalúrgico. Los elementos se agregaron en las proporciones indicadas con el objetivo de incrementar la resistencia en el acero mediante la combinación de su composición química y el procesamiento termomecánico empleado.

Tabla 2. Composición química del acero microaleado con niobio y vanadio (% en peso).

<i>Elemento</i>	<i>Contenido %</i>
C	0.029
Mn	1.59
Si	0.19
Mo	0.139
Ni	0.027
Al	0.65
Cr	0.14
V	0.15
Nb	0.14

La composición química del depósito de soldadura se presenta en la Tabla 3, en la que se puede apreciar que el contenido de carbono es 0.085 %, es decir, un contenido mayor que el del metal base. En este depósito el manganeso se encuentra en una cantidad de 1.22 % y menor que la del metal base. El contenido de silicio es de 0.56 % y si es mayor en el acero o metal base. Los contenidos anteriores son resultado de la combinación durante la fusión del metal base y el electrodo empleado. En este caso, el contenido de carbono del electrodo es mayor a 0.1% y su contenido de manganeso es de 0.90%

Tabla 3. Composición química del depósito de soldadura.

<i>Elemento</i>	<i>Contenido (% peso)</i>
Carbono	0.085
Manganeso	1.22
Silicio	0.56

Los ensayos mecánicos que se aplicaron a la unión soldada y al metal base fueron el de tensión como un criterio de aceptación de la unión en cuanto a resistencia, de acuerdo con el Código de la AWS (Structural Welding Code) [6]. Los resultados del ensayo se presentan en la Tabla 4, en la que se incluyen los valores obtenidos para el acero microaleado y para el depósito de soldadura practicado longitudinalmente.

Tabla 4. Propiedades mecánicas del material base y del depósito de soldadura.

<i>Propiedad</i>	<i>Material base</i>	<i>Depósito</i>
Resistencia máxima (MPa)	564	590
Elongación (%)	30	25

Haciendo un análisis comparativo de las propiedades mecánicas, los resultados del ensayo de tensión, indican que el depósito de la soldadura tiene una resistencia mayor que la del acero microaleado, cumpliendo así con el criterio de aceptación, al ser más resistente la unión que el metal base [4]. Lo anterior se puede atribuir al refinamiento de grano que se presentó en las diferentes regiones de la unión soldada. Mediante el procedimiento de soldadura aplicado. En la figura 2 se presenta la micrografía de la unión soldada, donde se aprecian los depósitos de soldadura por ambos lados y las diferentes partes de la unión; material base, zona afectada térmicamente y los depósitos. En la micrografía se puede apreciar que no existen defectos de agrietamiento o irregularidades en los cordones ya que después de realizar el primer cordón la placa se gira para poder realizar el segundo depósito de soldadura, el cual se lleva a cabo con una temperatura relativamente alta y apropiada para favorecer la calidad de la unión. Así también se ilustra de donde se tomaron los valores de dureza a través de toda la unión soldada.

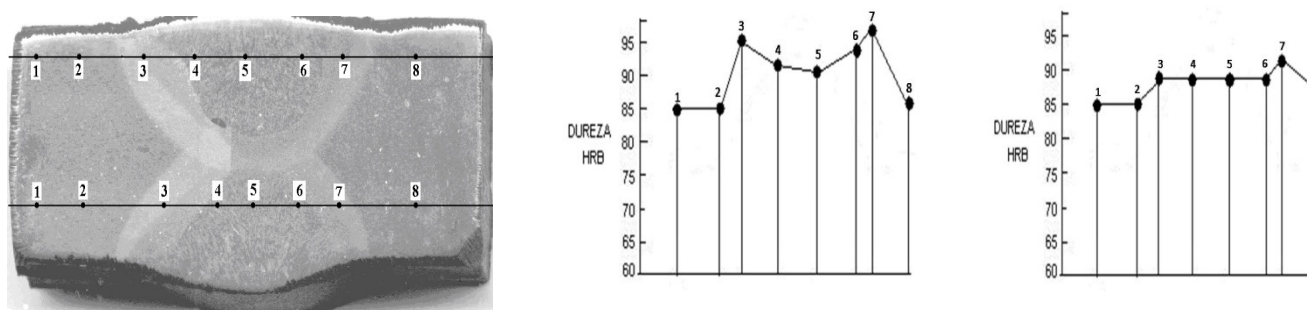


Figura 2. Micrografía de la unión soldada del acero microaleado, Tomada directamente de la probeta, Nital 2%.

Valores de dureza (HRB) de la unión soldada, línea superior y línea inferior.

El ensayo de dureza se aplicó como criterio para evaluar la resistencia a la deformación plástica a través de la unión soldada, comparando ésta en las partes de la unión. Mediante un patrón de dos líneas horizontales, figura 2. Los valores fueron tomados en los puntos que se indican en la fotomicrografía y corresponden a las diferentes regiones o zonas de la unión como son material base, zona de refinamiento de grano y depósito de soldadura, no corresponden exactamente a una línea vertical debido a que el segundo cordón de soldadura se encuentra un poco desfasado con respecto al primer cordón, pero si a las mismas regiones analizadas. De acuerdo con los valores de dureza que se obtuvieron de la unión, en la parte superior, se puede observar que la dureza en su valor se conserva en un rango de 85 a 95 HRB. el metal base tiene un valor de dureza de 89.5 HRB y en la zona afectada térmicamente se tienen valores de dureza de 95 HRB (puntos 3 y 7). En la región de la parte central del depósito, hacia la derecha, la dureza incrementa de 90 HRB (punto 5) a 95 HRB (punto 7), siendo el valor más alto el que corresponde a un punto cercano a la zona afectada térmicamente de la unión soldada. Lo mismo ocurre en la línea de la parte inferior de la unión, sin embargo, las variaciones de dureza son menores. La variación de los valores de dureza indica también una variación en la microestructura de la unión soldada. El análisis de esta microestructura, se hace considerando que debe de haber una variación de la microestructura por la influencia del calentamiento y el enfriamiento en un rango de temperaturas desde la temperatura de fusión hasta la del medio ambiente. En la Fig. 3 se muestra la microestructura ferrítica perlítica del acero microaleado o metal base, consistente en una matriz de ferrita (región clara de la microestructura) típica de un acero de bajo carbono. La región oscura de la microestructura pertenece a la fase perlítica, la cual se analizó en diferentes regiones con magnificaciones mayores a las presentadas. En la Fig. 4 se evidencia la microestructura en la zona de la ZAT (zona afectada térmicamente), donde se observa que el grano se vuelve más fino. Siendo del tipo ferrítico perlítico. Las imágenes fueron tomadas a 200 aumentos (200X), en ambos casos, las micromarcas están indicando la diferencia en los tamaños de grano. En la Fig. 5 se ilustra la microestructura en la región de la ZAT con el depósito de soldadura, zona de crecimiento de grano (ZCG),

donde se puede apreciar un cambio de forma del grano, transformándose en forma alargada y mas grande, siendo en la parte izquierda de la región más pequeño y en el depósito ya de tipo columnar exclusivamente, lo que se observa claramente en la Fig. 6.

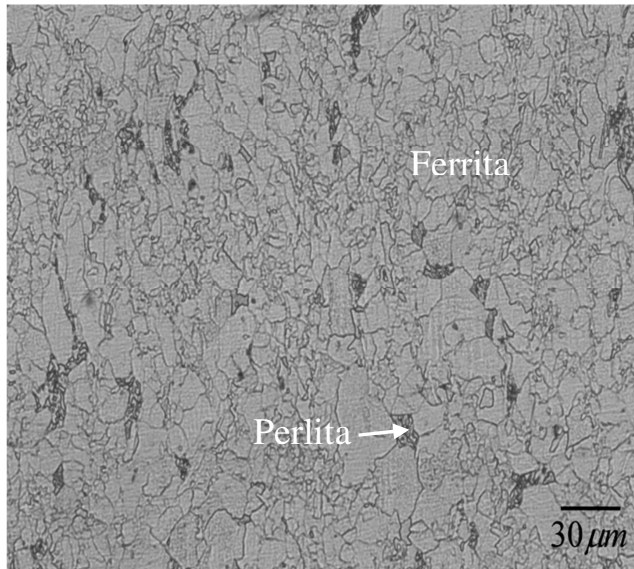


Figura 3. Micrografía del material base, 200X, nital 2%, microestructura de ferrita y perlita

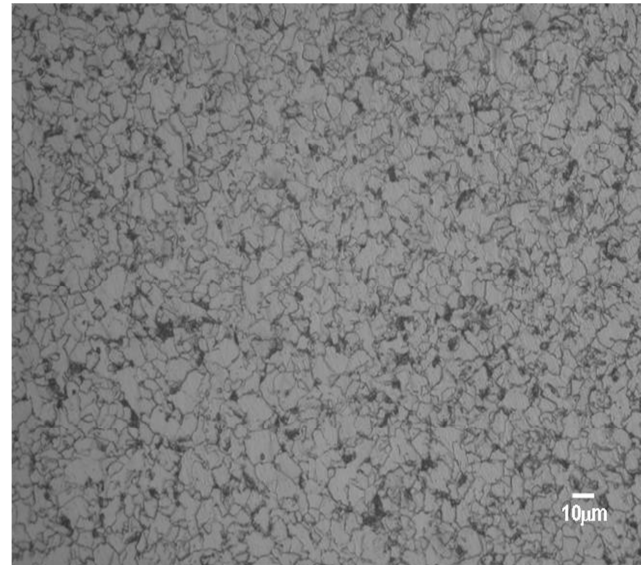


Figura 4. Microestructura de la zona afectada térmicamente, 200X, nital 2 %

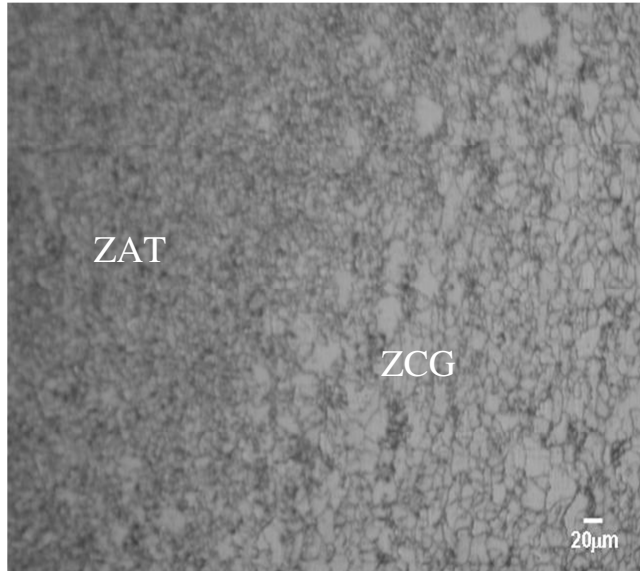


Figura 5. Microestructura en la interfase de la zona afectada térmicamente (ZAT) con el depósito de soldadura, zona de crecimiento de grano (ZCG). 200X, Nital 2%.

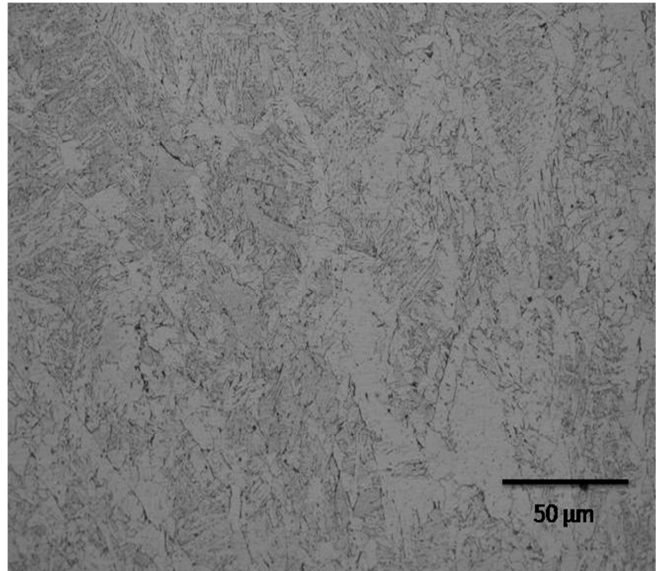


Figura 6. Microestructura del depósito de soldadura, 500X, nital al 2%

4. CONCLUSIONES

La realización de este trabajo permitió llegar a las conclusiones siguientes:

- El acero microaleado con niobio y vanadio de tipo experimental fue soldado satisfactoriamente mediante el proceso de soldadura de arco sumergido aplicado automáticamente, mediante el procedimiento de

soldadura diseñado, que e presenta en la Tabla 1.

- El acero microaleado tiene una microestructura de grano fino, de ferrita y perlita, típica de un acero de bajo carbono. Su dureza fue de 89.5HRB y una resistencia a la tensión de 564 MPa, ligeramente menor que la resistencia del depósito de soldadura de 590 MPa y una dureza de 90 HRB.
- La zona afectada térmicamente presento una microestructura ferrítica-perlítica de matriz de ferrita con una dureza máxima de 95 HRB. En esta zona hubo un refinamiento de grano.
- La microestructura del depósito de soldadura tuvo una matriz de ferrita, siendo su grano de tipo columnar. Los valores de dureza en el depósito son mayores que los del material base o acero microaleado, comprobando así su mayor resistencia.
- La unión soldada está libre de defectos.

5. REFERENCIAS

- [1]. Xio-Huai Xue, Yi-Yin Shan and Song-Nian Lou, Mater. Sci. Eng. 2006; 285: 438-440.
- [2]. M. Niikua, *et al.*, J. Mater. Process. Technol. 2001; 117: 341.
- [3]. M.C. Zhao, F.R. Xiao, Y.Y. Shan, Y.H. Li and K. Yang, Acta Metall. 2002; 38: 283.
- [4]. Morris Cohen, S.S. Hansen. On the Fundamental of HSLA Steels, Proceeding of an International Conference on HSLA Steels: Metallurgy and Application 1985. Beijing (China): HSLA Steels' 85.
- [5]. American Welding Society Welding Handbook, Vols 1-5.
- [6]. American Welding Society Structural Welding Code, D1- 92.