

# Incidencia de la llama oxiacetilénica en la soldadura de un hierro nodular con metal de aporte bronce

**Walber Guerra Lobaina**

[walberg1@infomed.sld.cu](mailto:walberg1@infomed.sld.cu)

Hospital de Baracoa, Guantánamo

**Mabel Fonseca Cruz**

[mfonseca@UHO.edu.cu](mailto:mfonseca@UHO.edu.cu)

Centro Universitario Municipal Frank País, Holguín

**Ledennis Suárez Torres**

[lstorres@ismm.edu.cu](mailto:lstorres@ismm.edu.cu)

**Tomás Fernández Columbié**

[tfernandez@ismm.edu.cu](mailto:tfernandez@ismm.edu.cu)

**Dayanis Fernández Veranes**

Universidad de Moa (Cuba).

**Resumen:** Se determinó la incidencia de la llama oxiacetilénica en la soldadura de un hierro nodular con metal de aporte bronce. El proceso se realizó con llama neutra y con varilla de bronce del tipo RBCuZn-C con diámetro de 2,4 mm. En el cordón de soldadura se obtuvo una zona fundida con la presencia de ferrita, dendritas de fase  $\alpha$  primaria y estructura Widmanstätten, así como la perlita entre los bordes de los granos. La interfase está precedida por la formación de la martensita y nódulos de grafitos degenerados y en la zona afectada por el calor nódulos de grafitos en una matriz de ferrita-perlita. La dureza en las diferentes zonas, desde el material base, incrementa desde 170 HV hasta 234 HV, siendo mayor en la zona fundida.

**Palabras clave:** microestructura; dendritas; hierro nodular; oxiacetilénica.

## **Incidence of the oxyacetylenic flame on the welding of a nodular iron with bronze filled metal**

**Abstract:** The incidence of the oxyacetylene flame in the welding of a nodular iron with bronze filler metal was determined. The process was carried out with a neutral flame and with a RBCuZn-C type bronze rod with a diameter of 2.4 mm. In the weld bead, a molten zone is obtained with the presence of ferrite, dendrites of primary  $\alpha$  phase and Widmanstätten structure, as well as pearlite between the edges of the grains. The interface preceded by the formation of martensite and degenerate graphite nodules and in the heat affected zone graphite nodules in a ferrite-pearlite matrix. The hardness in the different zones, from the base material, increases from 170 HV to 234 HV, being higher in the molten zone.

**Key words:** microstructure, dendrites, nodular iron, oxyacetylene.

## Introducción

Existen métodos para la realización de las uniones metalúrgicas, en algunos casos los materiales involucrados son fundidos y se agrega un material de relleno en la interfase de ambos compuestos. Por otro lado, existen procesos llamados soldadura blanda y soldadura fuerte, en donde los metales a unir no son fundidos, sino que la interfase entre estos es llenada por una aleación fundida. Por consiguiente, la aleación utilizada debe presentar una temperatura de fusión por debajo de la de los metales a unir y también debe ser capaz de mojar ambas superficies en contacto. En la etapa de enfriamiento, durante el proceso de solidificación, un enlace fuerte y durable se debe formar entre el material base y el material de aporte (la soldadura); esta etapa es crítica en términos de fiabilidad de la soldadura.

Plantean Ramos y demás colaboradores (2005) que en los hierros fundidos y durante el proceso de soldadura la microestructura de la matriz que rodea las partículas de grafito también afecta las propiedades mecánicas; esta matriz es básicamente la misma que presenta un acero, es decir, ferrítica, perlítica, austenítica o martensítica. El tipo de matriz obtenida en la fundición depende de la composición química, velocidad de enfriamiento y tratamiento térmico, de ahí la obtención de los diferentes tipos de fundiciones. Las fundiciones más comúnmente soldables son: fundición gris, maleable, nodulares y austenítica.

Ceredo-Hernández y Olguin-Montoya (2016) refieren que el hierro es quizás el más común de los hierros colados y muchas piezas industriales están fabricadas de este material. En el caso de fractura de una pieza colada de fundición, la fabricación de una pieza nueva puede ser un costo muy alto, ya que muchas piezas fundidas no son producidas en masa y esto provoca el paro total de una línea de producción, por lo cual una buena opción es la reparación con soldadura. Sin embargo, el proceso de reparación puede ser difícil e inclusive conducir a una nueva fractura de la pieza, debido a la baja soldabilidad de la fundición, por lo cual es necesario contar con un procedimiento de soldadura de reparación detallado, de aplicación inmediata y probado experimentalmente.

Refiere Luddey, Marulanda y Mesa (2007) que la fuente de energía calorífica para lograr la soldadura por fusión de los materiales en los procesos de oxigas, la constituye una llama que se obtiene como resultado de la reacción química durante la combinación o mezcla de un gas combustible y un gas carburante (oxígeno). Esta reacción es

fuertemente exotérmica y la llama a que da lugar, que se dirige, mediante un soplete, a los bordes de la pieza a unir, provoca su fusión y soldadura.

Según Cembrero y Pascual (1999), la generación de calor con gases combustibles contenidos a presión tiene uso en ciertas especialidades industriales como: corte, tratamientos térmicos (temple enérgico, recocido y revenido parciales, alivio de tensiones) doblado, precalentamiento, soldadura blanda (*soldering*) y soldadura fuerte (*brazing*) de metales, cerámicos y aleaciones; debido al control preciso de la flama, a la versatilidad para el manejo y transporte del equipo, lo constituyen en un equipo indispensable en la industria actual.

Pouranvari (2010) es del criterio que el calentamiento se realiza mediante una combustión de gases, utilizando una antorcha o soplete que regula el flujo de los gases. El tamaño de las piezas y la temperatura de fusión de los materiales de aporte determinan la elección del gas combustible tales como: acetileno, propano, metano, metilacetino - propadieno estabilizado, hidrógeno y si estos se van a quemar con oxígeno a presión, aire comprimido o aire atmosférico.

En la soldadura oxiacetilénica, la llama empleada, en dependencia de la proporción de oxígeno y acetileno que la conforma, puede ser de tres tipos: neutra o normal, cuando el contenido de oxígeno y acetileno es aproximadamente el mismo; oxidante, cuando la proporción de oxígeno es mayor en 1,3 veces la de acetileno y carburante, cuando ocurre lo contrario (Moreno-Rodríguez y Pascual-Guillamón, 2016).

La soldadura oxiacetilénica puede ser homogénea o heterogénea, homogénea si el material de aportación es el mismo que el de aporte y heterogénea si es distinto o se sueldan materiales distintos. La mayoría de las técnicas de soldadura fuerte (*Brazing*), soldadura blanda (*Soldering*) y unión adhesiva (*Adhesive Bonding*) emplean un material externo adicional (material de aporte) que actúa como puente entre las superficies de diferentes materiales a los cuales se les desea hacer la unión (Kuk *et al.*, 2004).

El objetivo del trabajo es determinar la incidencia de la llama oxiacetilénica en las transformaciones microestructurales y la dureza en el hierro fundido nodular al ser soldado con material de aporte bronce.

## Desarrollo experimental

### Composición química del hierro nodular

La determinación de los elementos aleantes presentes en la fundición se realizó en un espectrómetro cuántico de masa, ESPECTROLAB 230, con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón. En la Tabla 1 se muestra la composición química obtenida.

Tabla 1. Composición química de la fundición nodular, % en masa

Fundición	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Mg	S	Fe
Hierro nodular	3,36	1,65	1,0	0,17	0,95	1,71	0,03	0,034	Balance

Según la composición química establecida y la determinada por análisis espectral, se puede plantear que los elementos presentes en el hierro fundido nodular están en correspondencia con las normas ASTM A-536-84 (2014).

### Preparación de la junta y electrodo para la soldadura

Para el proceso de unión del hierro fundido nodular se realizó una junta a tope con preparación de bordes en simple V a 60°, como se muestra en la Figura 1, en planchas de 270x100x8 mm, según recomendaciones de la norma AWS D11.2. Se seleccionó un electrodo desnudo del tipo varilla de aporte para soldadura oxigas. Se emplearon los procedimientos siguientes:

1. Preparación del biselado en V previo a la soldadura.
2. Punteado del material.
3. Soldadura.



t - espesor de la plancha, 10 mm  
 C - ángulo del bisel, 60°  
 A - abertura de raíz, 2 mm  
 B - altura de la garganta, 2 mm

Figura 1. Preparación de la junta, recomendada por la norma AWS D11.2. Fuente: ANSI/AWS D11.2 (1989).

### Varillas de aporte para soldadura del hierro nodular

Para la soldadura del hierro nodular, mediante proceso de soldadura oxiacetilénica, se seleccionó una varilla de bronce de 2,4 mm de diámetro (AWS A5.8-89). En la Tabla 2 se muestra la composición química.

Tabla 2. Composición química de la varilla RBCuZn-C, % en masa

AWS A5.27	Cu	Sn	Zn	Fe	Mn	Si
RBCuZn-C	56-60	0,8-1,1	Resto	0,25-1,2	0,01-0,5	0,04-0,15

Su principal campo de aplicación es la soldadura de hierro fundido, acero dulce, cobre y sus aleaciones. Recomendada para aplicaciones en aceros, reparaciones de hierro fundido, cobre y sus aleaciones, relleno de superficies desgastadas. La soldadura de bronce permite obtener depósitos con características mecánicas sobresalientes en resistencia y ductibilidad, además de ser homogénea.

En la Tabla 3 se muestran los parámetros de soldadura empleados para la deposición del relleno de bronce en la unión soldada.

Tabla 3. Parámetros para la soldadura oxiacetilénica

Revestimiento	Orificio de la boquilla	Presión de los gases		Flujo del acetileno
		Acetileno	Oxígeno	
Espesor	Diámetro	Pa	Pa	l/min
mm	mm	Pa	Pa	l/min
8	8	0,7	0,51	0,50

En la deposición de los cordones en la unión del hierro fundido nodular, para la fusión se empleó la llama neutra, relación 1:1 de oxígeno y de acetileno con temperatura de 1 400 °C aproximadamente.

### Comportamiento microestructural

Se empleó un microscopio óptico binocular marca NOVEL modelo NIM-100, dotado de una cámara instalada el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe. Para observar las probetas se nivelaron en un dispositivo con plastilina. La microestructura de la Figura 2 se corresponde con la estructura metalográfica de la muestra patrón del hierro fundido nodular.

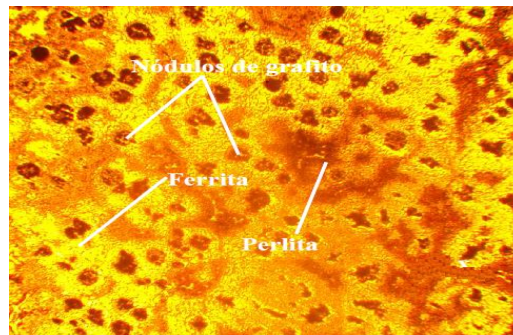


Figura 2. Microestructura del hierro fundido nodular.

Los microconstituyentes presentes en la microestructura son los nódulos de grafito en formas de esferas en una matriz ferrítica-perlítica. El grafito se encuentra en forma de nódulos, encontrándose también redondeadas como algo degenerados. El tamaño de los nódulos no es homogéneo y se puede observar cómo algunos nódulos se encuentran degenerados. La ferrita se localiza alrededor de los nódulos de grafito.

Para el ensayo de microdureza se utilizó el procedimiento de dureza Vickers. Se realizó con una carga de 50g, donde se midieron los diámetros de la huella de la punta de diamante penetrada en un tiempo de 15 s; las medidas se tomaron para dos puntos de prueba seleccionados aleatoriamente en la superficie de las probetas. En la Tabla 4 se muestra el procedimiento empleado para la medición de la dureza en las diferentes zonas.

Tabla 4. Procedimiento para la medición de la dureza

Zona	0,5	1,25	2,5	3,75	5	6,25	7,5	8,75	11,25	12,5
ZAC	HV	HV							HV	HV
Interfase			HV					HV		
Zona fundida				HV	HV	HV	HV			

Como se observa se realizó un barrido desde la zona afectada por el calor (ZAC), hasta la zona fundida, lo cual permitirá evaluar esta propiedad en cada una de las zonas formadas por la unión soldada.

## Resultados y discusión

### Análisis microestructural de la zona fundida

Para observar los cambios microestructurales obtenidos del proceso de soldadura de la fundición nodular se analizaron los perfiles obtenidos en los depósitos. La Figura 3 se corresponde con la zona fundida. El análisis metalográfico consistió en la observación e identificación de las características de las estructuras metalográficas.



Figura 3(a). Muestra 1. (b). Muestra 2. (c). Muestra 3.

En las microestructuras se observan dendritas de fase  $\alpha$  primaria y estructura Widmanstätten; se percibe la perlita entre los bordes de los granos de la fase  $\alpha$ , que constituye la matriz de la estructura formada en la zona fundida. La perlita se forma por el contenido de carbono en el hierro nodular (3,36 %) y el contenido de hierro del metal de aporte, con 1,2 % aproximado del elemento hierro. Las altas temperaturas provocaron la formación de las agujas de Widmanstätten.

En el análisis de la microestructura de la soldadura del hierro nodular con electrodo del 56 % de Cu, se observa difusión entre el metal base y el de aporte. El calentamiento previo, por una parte, elimina residuos y humedades, evitando inclusiones de gases; por otra, este calentamiento favorece la difusión en caliente de la matriz ferrítica del metal base con la aleación del electrodo, optimizando las características de la unión entre los dos materiales, criterio que ha sido expuesto por Fernández-Columbié y demás colaboradores (2014).



### Microestructura de la interfase de la unión

La interfase en la soldadura, por ser la línea donde el material base es parcialmente fundido y está en contacto directo con la piletta (cordón de soldadura), los granos empiezan con el crecimiento epitaxial y de forma perpendicular a esta película, la cual contiene un refinamiento de grano por el choque térmico (temperatura) propia de la soldadura. La Figura 4 se corresponde con el análisis microestructural realizado en la interfase de la unión soldada.



Figura 4(a). Muestra 1. (b). Muestra 2. (c). Muestra 3.

En la interfase del cordón, producto del ciclo térmico de soldadura, la velocidad de calentamiento y enfriamiento que fueron altas, se observa cerca de esta zona la presencia de una línea que divide la zona fundida de la zona afectada por el calor. En esta franja de difusión hay presencia de una estructura de fase  $\alpha$ , la formación de la martensita y nódulos de grafitos degenerados en el borde. La solución sólida  $\alpha$  con granos en el interior de ferrita son en mayor cantidad y de mayor tamaño, aunque siguen siendo relativamente finos.

### Microestructura de la ZAC de la soldadura

En la Figura 5 se muestra el comportamiento microestructural de la zona afectada térmicamente, la cual es afectada por la temperatura que se introduce por la llama.

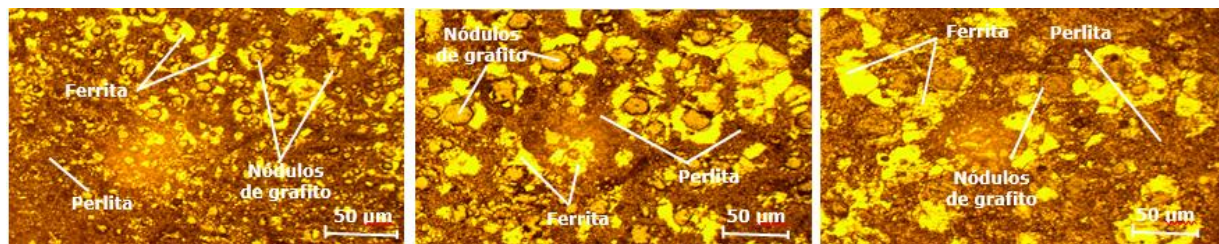


Figura 5(a). Muestra 1. (b). Muestra 2. (c). Muestra 3.

En esta zona se observan los nódulos de grafito en formas de esferas en una matriz ferrítica-perlítica, con una formación similar a la del metal base. Las esferolitas presentan una estructura más conformadas que las de la estructura inicial que, por el efecto del calor, se ha modificado su estructura; estas esferolitas ahora presentan en su interior estructura perlítica. La formación de la perlita, luego de la temperatura, ocupa una mayor área sobre la matriz. Se observa una zona uniforme, con distribución de esferolitas de menor tamaño, que le confieren características resistentes mayores que las del metal base (Ferrer *et al.*, 2007).

La zona afectada por el calor (ZAC) en la soldadura del hierro fundido se caracteriza por el rápido enfriamiento en comparación con la tasa de enfriamiento durante la fundición. Las propiedades de la soldadura, como de las secciones de hierro fundido, expuestas a altas temperaturas esta zona, difiere del resto de la fundición o material base. Las porciones de hierro fundido alcanzan altas temperaturas durante la soldadura que provocan que el carbono se difunda al interior de la austenita. Tras el enfriamiento, la austenita se transforma en productos de descomposición como la perlita, según lo expuesto por Viada-Estévez y Fernández-Columbié (2020)

### Análisis de la microdureza en las diferentes zonas

Para determinar la dureza, luego de aplicado el ciclo térmico de soldadura, se analizaron las muestras en cada una de las pasadas realizadas. En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos.

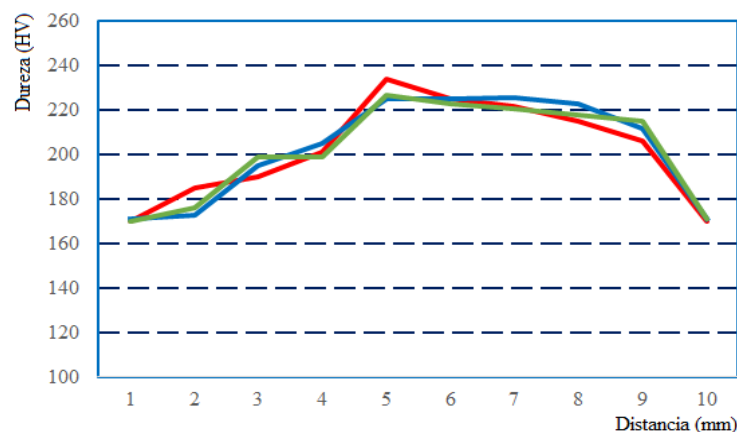


Figura 6. Resultados de la microdureza a diferentes distancias.

En los perfiles de dureza realizados, y según los resultados que se muestran, se puede plantear que en la primera muestra (rojo) existe un incremento de dureza desde 170 HV

hasta 234 HV en la zona fundida; sin embargo, en la segunda (verde) no se mantiene el mismo comportamiento, ya que esta propiedad desciende hasta 225 HV y en la tercera (azul), entonces hay un ligero incremento hasta 227 HV. El material se afecta térmicamente debido al calor de aporte generado por el proceso y como varía la zona afectada térmicamente de acuerdo al proceso.

## Conclusiones

Al soldar el hierro nodular con varilla de bronce del tipo se obtiene una zona fundida, con la presencia de ferrita, dendritas de fase  $\alpha$  primaria y estructura Widmanstätten, así como la perlita entre los bordes de los granos.

La incidencia del calor en la unión soldada provoca en la interfase la formación de la martensita y nódulos de grafitos degenerados y en la zona afectada por el calor nódulos de grafitos en una matriz de ferrita-perlita.

En el barrido de dureza realizado en las diferentes zonas se determina que existe un incremento desde 170 HV hasta 234 HV, siendo mayor en la zona fundida, lo cual está asociado a la formación de dendritas de fase  $\alpha$  primaria y estructura Widmanstätten.

## Referencias bibliográficas

ASTM A536-84. 2014. Standard Specification for Ductile Iron Castings. ASTM International, West Conshohocken, PA.

AMERICAN WELDING SOCIETY AWS-AWS D11.2-1989-R2006 Guide for Welding Iron Castings-AWS. Consulta: 15 feb 2019. Disponible en: [https://kupdf.net/download/american-welding-society-aws-aws-d11-2-1989-r2006-guide-for-welding-iron-castings-aws\\_59f6c103e2b6f530247f12f6\\_pdf#](https://kupdf.net/download/american-welding-society-aws-aws-d11-2-1989-r2006-guide-for-welding-iron-castings-aws_59f6c103e2b6f530247f12f6_pdf#)

CEMBRERO, J. Y PASCUAL, M. 1999. Soldabilidad de las fundiciones de grafito esferoidal. *Rev. Metal* 35(2): 392-401.

CEREDO-HERNÁNDEZ, E. Y OLGUIN-MONTOYA, J. 2016. *Recuperación de piezas de hierro colado por soldadura*. Tesis de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Azcapotzalco. Ciudad de México.

- FERNÁNDEZ-COLUMBIÉ, T.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, I.; CORREA-SUÁREZ, R. Y ALCÁNTARA-BORGES, D. 2014. Junta de soldadura disímil de la aleación HK-40 y del hierro fundido 24. *Ingeniería Mecánica* 17(2): 98-107.
- FERRER, C.; SALAS, F.; MAITA, P. A.; OROZCO, J. Y PASCUAL, M. 2007. Resistencia a la fractura de la soldadura de fundición dúctil realizada con varillas de fundición laminar y con electrodos de Fe-Cr-Ni y de Ni, con y sin precalentamiento. *Anales de la Mecánica de Fractura* 2(1): 533-536.
- KUK, J.; JANG, K.; LEE, D. Y KIM, I. 2004. Effects of temperature and shielding gas mixture on fatigue life of 5083 aluminum alloy. *Journal of Materials Processing Technology* (155-156): 1408-1414.
- LUDDEY, J.; MARULANDA, A. Y MESA, D. 2007. Recuperación y soldabilidad de fundición de hierro. *Scientia Et Technica* XIII(037): 237-242.
- MORENO-RODRÍGUEZ, R. Y PASCUAL-GUILLAMÓN, M. 2016. *Soldadura de fundición dúctil con fundición gris y aporte de varilla de níquel al 98% procedimiento TIG*. Proyecto final de grado. Valencia. 50 p.
- POURANVARI, M. 2010. On the weldability of grey cast iron using nickel-based filler metal. *Dezful* 31(3): 32-54.
- RAMOS, F.; POZO, J.; DÍAZ, E. Y VELÁSQUEZ, E. 2005. Reparación por soldadura de tapas agrietadas, de hierro fundido. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Colombia* 34: 35-41.
- VIADA-ESTÉVEZ, A. Y FERNÁNDEZ-COLUMBIÉ, T. 2020. Comportamiento de la microestructura de uniones de hierro fundido con diferentes materiales de aporte. *Minería y Geología* 36(1): 92-105.