

Influencia del calor de aporte en un proceso SMAW sobre los cambios microestructurales y dureza en el cordón de soldadura de un acero ASTM 572-G50 utilizando electrodos AWS E11018-G

Influence of heat input in of process SMAW in change microstructure and hardness in the weld of steel ASTM 572-G50 using electrodes AWS E11018-G

Jorge Vera Alvarado¹, Nilton Zavaleta Gutiérrez¹, H. de Cicco²

Resumen

La estructura del cordón de soldadura está conformada por un conjunto de componentes estructurales, los cuales se originan a partir de las transformaciones inducidas por los ciclos térmicos generados durante la soldadura. Cada componente estructural cumple un rol en el comportamiento mecánico, por lo que su cuantificación es muy importante. El acero ASTM 572 G50 es muy utilizado como acero estructural con una gran diversidad de aplicaciones, en la construcción de puentes, en la industria ferroviaria, marina, etc. En el presente estudio se investiga el efecto producido por el calor de aporte sobre los cambios microestructurales y dureza en el cordón de soldadura. El acero ASTM 572 G50 fue soldado por arco eléctrico manual con electrodo revestido (SMAW), usando como material de aporte electrodos AWS E11018 – G. Los resultados experimentales en la zona de soldadura (última pasada) indican que un incremento del calor de aporte de 1,31 a 2,12 kJ/mm produce un cambio microestructural en el interior de los granos columnares desde ferrita acicular (AF) a ferrita poligonal (PF), ferrita con agregados de carburos (FC) y ferrita con M-A-C alineados (AC). La ferrita en el borde de grano disminuye de 6,2 % a 4,4 % y la dureza de 330 a 240 HV cuando el calor de aporte aumenta de 1,31 a 2,12 kJ/mm.

Palabras clave: soldadura, SMAW, ASTM 572 G50, AWS E11018-G.

Abstract

The structure of the weld bead is formed by a set of structural components which originate from the changes induced by the thermal cycles generated during welding. Each structural component plays a role in the mechanical behavior, so that its quantification is important. The steel ASTM 572 G50 is widely used as structural steel with a wide range of applications in the construction of bridges, railway industry, marine, etc. In the present study investigated the effect of heat input on microstructure and hardness changes in the weld bead. The steel ASTM 572 G50 was welded by manual arc coated electrode (SMAW), using as filler electrodes AWS E11018 - G. The experimental results in the weld zone (last pass) indicate that an increase in heat input from 1.31 to 2.12 kJ / mm occurs change microstructural inside the columnar grains from acicular ferrite (AF) to ferrite polygonal (PF), ferrite carbide aggregate (FC) and ferrite with aligned MAC (AC). In the ferrite grain boundaries decreases de.6, 2% to 4.4% and hardness of HV 330 to 240 when the heat input increases from 1.31 to 2.12 kJ / mm.

Keywords: welding, SMAW, ASTM 572 G50, AWS E11018-G.

Introducción

La estructura del metal de soldadura está formada por un conjunto de elementos microestructurales los cuales se originan de las transformaciones inducidas por los ciclos térmicos. Cada elemento estructural tiene un rol en el comportamiento mecánico y la forma de cuantificarlos es a través de parámetros estructurales.

1 Universidad Nacional de Trujillo,

2 Unidad de Actividad Materiales, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina
e-mail: decicco@cnea.gov.ar

El Instituto internacional de soldadura adopta la siguiente clasificación de los constituyentes de la microestructura en el metal de soldadura: La ferrita proeutectoide que nuclea en los límites de grano de austenita es clasificada como ferrita en borde de grano (GF). La ferrita proeutectoide que nuclea intragranularmente es clasificado como ferrita poligonal (PF). La ferrita Widmanstätten y bainita superior son clasificadas como ferrita con M-A-C alineados (AC). La perlita y ferrita-carburos no alineados producto de la descomposición eutectoide son clasificados como ferrita con agregados de carburos (FC), y un agregado entrelazado de finos listones intragranular de ferrita, orientados aleatoriamente, con una relación de aspecto de 4 a 1 es clasificado como ferrita acicular (AF) [1].

El presente estudio está dirigido a investigar el efecto del calor de aporte durante la soldadura del acero ASTM 572 G50 con la técnica SMAW, usando como material de aporte electrodo AWS E11018 – G, sobre los cambios microestructurales en el metal de soldadura. Para ello se usó el Doc. N° IX–323–84 emitido por el Instituto internacional de soldadura [2].

Medios y materiales

El acero utilizado como material base es el acero estructural ferrítico-perlítico con designación ASTM 572 G50 suministrado por la siderúrgica SIDERPERU con un espesor de 19 mm. Como material de aporte se usó electrodos AWS E11018-G de 4 mm de diámetro, fabricado por la empresa EXSA. La composición química nominal, del material base y material de aporte se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero ASTM 572 G50 y del metal de aporte (% en peso)

Material	C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni
Acero ASTM 572 G50	0,20-0,23	1,20-1,35	0,36	0,04	0,05	-	-
Electrodo AWS E11018-G	0,06	1,50	0,25-0,50	-	-	0,20	1,00

Las planchas fueron soldadas transversalmente a la dirección de laminación, se varió el calor de aporte de manera indirecta con la variación de la intensidad de corriente. Las especificaciones del procedimiento de soldadura son: 50 °C de temperatura de precalentamiento, polaridad directa, oscilación recta del electrodo, velocidad de avance de 10 – 13 cm /min, posición de soldadura 1G, intensidad de corriente de 130, 150 y 230 A, y un voltaje de 24 V. Para el análisis metalográfico se obtuvieron probetas transversales respecto a la dirección de avance del cordón de soldadura, las cuales fueron pulidas hasta paño de 1 um y atacadas con el reactivo nital al 2%. Los ensayos de dureza y medida de porcentaje de fases, se realizaron usando el ensayos: Vickers, según la Norma Germanischer Lloyd – Rulers for classification and construction y el Doc. N° IX–1323–84 IIW (Institute Internacional of Welding).

Resultados y discusión

La naturaleza de los procesos de soldadura por fusión es tal que el metal base adyacente a la soldadura experimenta un amplio rango de temperaturas, resultando en amplias variaciones microestructurales en las distintas regiones de la zona afectada por el calor (ZAC). El material inmediatamente adyacente a la zona de fusión es calentado a una alta temperatura dentro del campo austenítico. Las partículas de segunda fase que precipitaron en etapas previas del procesamiento se disuelven, generando el desanclaje de los límites de grano de austenita con un sustancial crecimiento de grano. Esto da origen a la zona de grano grueso. Conforme incrementa la distancia desde la línea de fusión, la temperatura alcanzada en los diferentes puntos de la ZAC decrece dando lugar a la zona de grano fino, zona parcialmente transformada y la zona esferoidizada, como se muestra en la figura 1. En el caso de soldadura multipasadas, zonas recalentadas dentro de la zona de fusión originan zonas recrystalizadas.

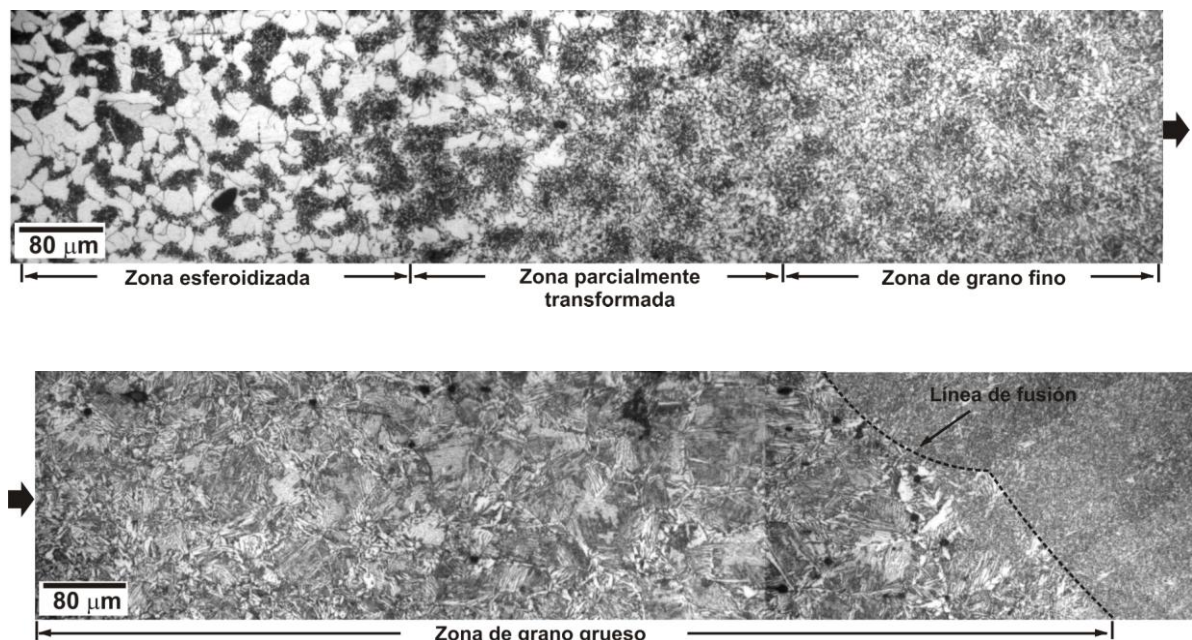


Figura 1. Microestructura de la zona afectada por el calor mostrando (de izquierda a derecha) la zona esferoidizada, zona parcialmente transformada, zona de grano fino, zona de grano grueso, línea de fusión, y zona del cordón de soldadura. Acero ASTM 572 G50 soldado mediante el proceso SMAW con un calor de aporte de 1,31 K J/mm.

En la figura 2 se muestra de manera detallada las macrografías de los cordones de soldadura, los valores de dureza con las regiones donde se hicieron las mediciones, y las microestructuras correspondiente a las diferentes regiones evaluadas en el acero ASTM 572-G50 soldado con los diferentes calores de aporte evaluados.

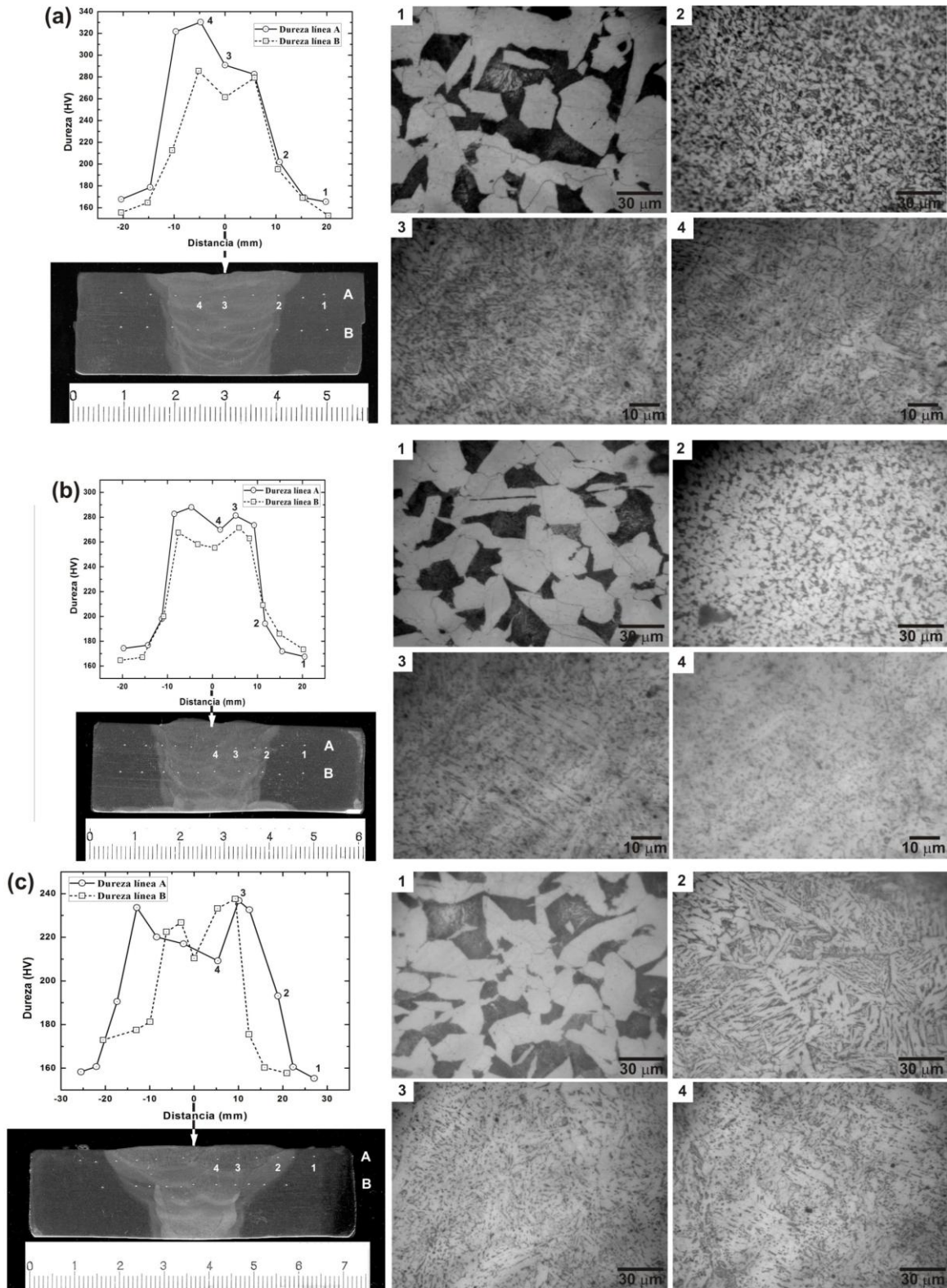


Figura 2. Variación de la dureza y cambios microestructurales a través de la junta soldada del acero ASTM 572 G50, usando como material de aporte el electrodo AWS E11018-G mediante el proceso SMAW. Los calores de aporte fueron (a) 1,31 K J/mm. (b) 1,51 K J/mm y (c) 2,12 K J/mm.

Un incremento en el calor de aporte en el rango de 1,31 a 2,12 KJ/mm produce una ligera disminución en la ferrita en borde de grano como se muestra en la tabla 2, sin embargo, su efecto en la disminución de la dureza es mayor. Este comportamiento es debido a que el calor de aporte determina las condiciones térmicas bajo las cuales toma lugar la solidificación. Un incremento en el calor de aporte produce un aumento en el ancho de los granos columnares, como se puede observar comparando las figuras 3, 4 y 5. Es ampliamente conocido que la austenita de grano grueso se transforma a una velocidad mucho menor que una austenita de grano fino debido a la menor área de borde de grano disponible para la nucleación de la ferrita. El efecto resultante de este cambio en el tamaño de grano austenítico, en el comportamiento frente a las transformaciones del metal de soldadura, se traduce en una disminución de la fracción en volumen de ferrita en borde de grano a medida que aumenta el tamaño de grano austenítico, debido a que hay menor cantidad de borde disponible para la nucleación de ferrita [3].

Tabla 2. Efecto del calor de aporte en el porcentaje de ferrita proeutectoide

Calor de aporte (kJ/mm)	% ferrita proeutectoide	Desviación estándar
1,31	6,2	0,84
1,51	6,0	1,00
2,12	4,4	0,55

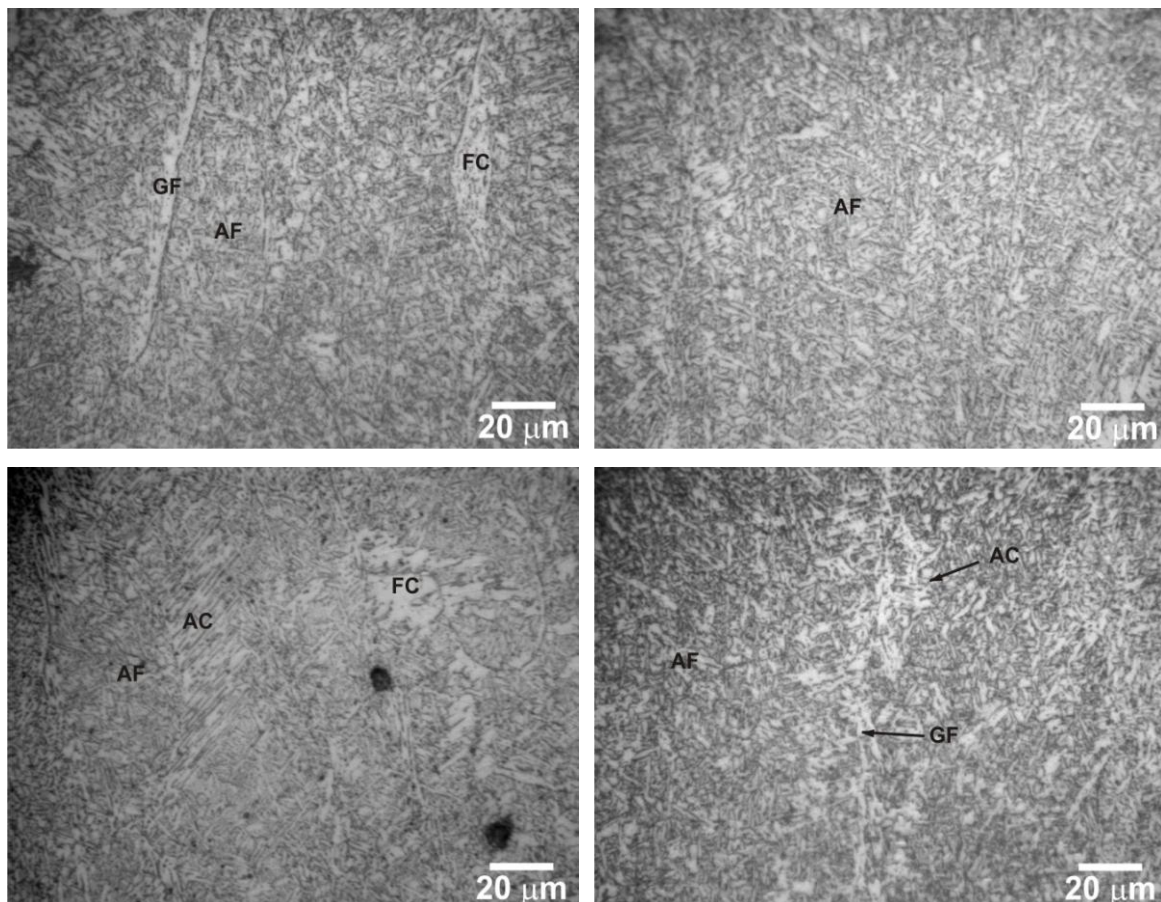


Figura 3. Microestructuras correspondientes a diferentes regiones de la zona de fusión (última pasada) mostrando ferrita en borde de grano (GF), ferrita acicular (AF), ferrita más agregados de carburos (FC), y ferrita con M-A-C alineados (AC). Calor de aporte: 1,31 KJ/mm.

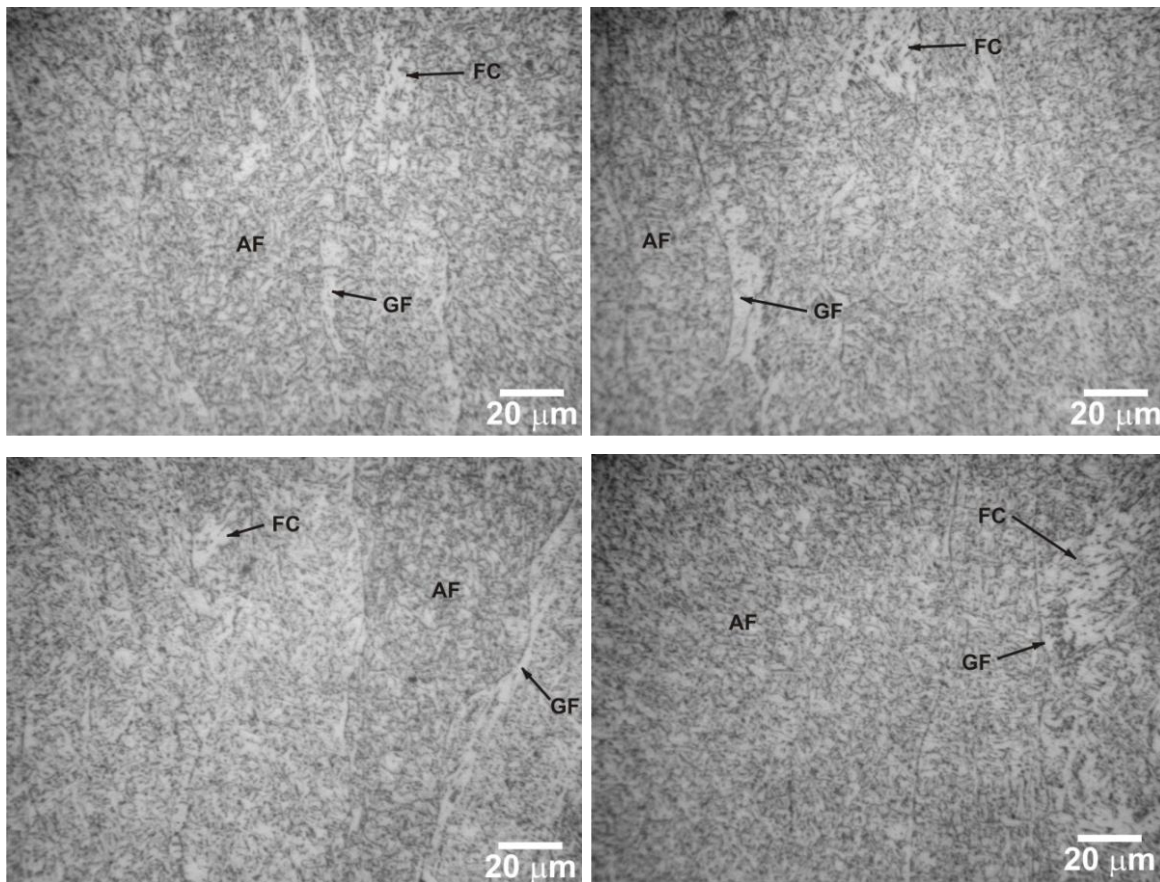


Figura 4. Microestructuras correspondientes a diferentes regiones de la zona de fusión (última pasada) mostrando ferrita en borde de grano (GF), ferrita acicular (AF), y ferrita más agregados de carburos (FC). Calor de aporte: 1,51 KJ/mm.

En las soldaduras de los aceros el tiempo de enfriamiento desde 800°C a 500°C, denominado $\Delta t_{8/5}$, es ampliamente aceptado como un índice adecuado para las condiciones térmicas bajo las cuales tiene lugar la transformación de austenita-ferrita. En el caso de flujo de calor tridimensional (chapa gruesa), el $\Delta t_{8/5}$ será proporcional al calor de aporte neto [4]. Un bajo calor de aporte produce un pequeño $\Delta t_{8/5}$, es decir, un alto grado de sobreenfriamiento de la austenita durante el enfriamiento continuo. Esto produce una alta velocidad de nucleación de la ferrita. De este modo resulta una fina estructura acicular que ocupa todo el interior del grano austenítico, como se observa en las figuras 3 y 4 para 1,31 y 1,51 KJ/mm respectivamente. Un posterior incremento en el calor de aporte produce un aumento en el $\Delta t_{8/5}$, es decir, una disminución en el grado de sobreenfriamiento. Esto a su vez produce que la microestructura en el interior de los granos de austenita cambie de ferrita acicular (AF) a ferrita poligonal (PF), ferrita con M-A-C alineados (AC) y ferrita con agregados de carburos (FC) [5, 6]. Esto último puede ser observado en la figura 5, para un calor de aporte de 2,12 KJ/mm. Estos cambios microestructurales originados por el calor de aporte han originan los cambios en la dureza observados.

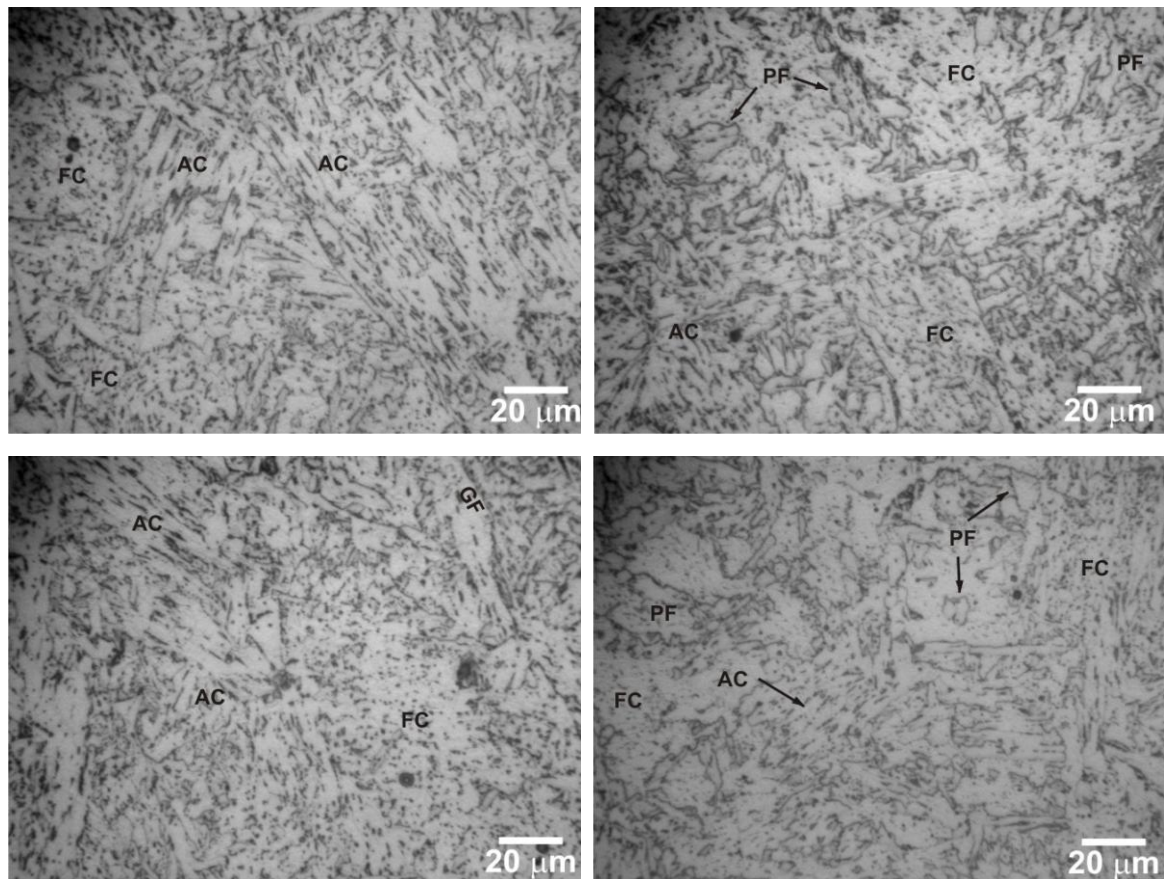


Figura 5. Microestructuras correspondientes a diferentes regiones de la zona de fusión (última pasada) mostrando ferrita en borde de grano (GF), ferrita poligonal (PF), ferrita más agregados de carburos (FC), y ferrita con M-A-C alineados (AC). Calor de aporte: 2,12 KJ/mm.

Conclusiones

El análisis microestructural de la zona de fusión (ultima pasada) realizado a partir de fotomicrografías ópticas obtenidas de las muestras soldadas del acero ASTM 572 G50 con diferente calor de aporte, permiten señalar que un incremento del calor de aporte produce una disminución de la ferrita en borde de grano y un cambio en los constituyentes intragranulares desde ferrita acicular a ferrita poligonal, ferrita con M-A-C alineados y ferrita con agregados de carburos. Esto a su vez produce una disminución en la dureza conforme incrementa el calor de aporte.

Referencias bibliográficas

- ASM Handbook (2004). Metallography and Microstructure, ASM International Materials Park, OH. Vol.9.
- Pargeter, R.J. y Dolby, R.E. (1984). Identification and quantitative description of ferritic steel weld metal microstructure – Interim report. IIW Doc. No IX-1323-84.

Grong, O. y Matlock, D.K. (1986). Microstructural development in mild and low-alloy steel Weld metals”. *International Metals Reviews*, 31:175-196.

De Vedia, L.A. y Svoboda, H.G. (2004). *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura*.

Christensen, N. y Simonsen, T. (1981). *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 10:156.

Solari, M. (1995). “Metalurgia del Metal de Soldadura”. Proyecto Multinacional de Materiales OEA-CNEA, IT-52/95.