

COMPORTAMIENTO METALURGICO Y MECANICO DE LA UNION SOLDADA DE ACEROS DE ALTA RESISTENCIA

Yesid Aguilar
Unidad Investigaciones Metalúrgicas,
Sección Materiales - Univalle
Germán Pérez A.
Departamento de Física - Univalle
Carlos Molina
Construcciones Tissot

RESUMEN

Se soldaron los aceros de alta resistencia ASTM A 283-C y ASTM A 515-70 por los procesos de Arco Sumergido (SAW) y de soldadura con electrodo manual revestido (SMAW), con el objetivo de observar y cuantificar los cambios metalúrgicos de la zona de fusión al variar los consumibles y el aporte de calor. Los resultados mostraron que los depósitos de SAW no presentan muchas variaciones en sus porcentajes de fase y por lo tanto sus propiedades mecánicas son similares.

En los depósitos realizados con el proceso SMAW electrodo (E-7018) se obtuvieron altos porcentajes de Ferrita Acicular, presentando por consiguiente los más altos valores de tenacidad Charpy "V".

La tenacidad de la zona térmicamente afectada del acero ASTM A 283-C/B es inferior a la tenacidad del Acero ASTM A 283-C/J debido posiblemente a que en el primero se presenta un crecimiento del grano ocasionado por el ciclo térmico de la soldadura. Por último pudo comprobarse que bajos aportes de calor deterioran la tenacidad de la zona térmicamente afectada del acero ASTM A 515-70.

ABSTRACT

The high strength steels ASTM A 283 C and ASTM A 515-70 were welded by the submerged Arc Welding (SAW) and shielded Metal Arc Welding (SMAW) process, in order to see and quanting the metalurgic changes in the fusion zone as a function of the consumables and the heat input. The SAW deposit results shown that there aren't any change in the phase proportions and then its mechanical properties are very similars.

In the deposits with SMAW process and the E 7018 electrode a high percents of acicular ferrite were obtained, and then the highess Sharpy "V" thoghness.

The thoghness of the heat affected zone of the ASTM A 283-C/B steel is lower than that of the ASTM 515 70 steel due that in the first there is a growing grain size as a consequence of the heat cicle of the process. Finally it can be showed that in the heat-afected zone of the ASTM A 515-70 the lower heat inputs conduce to poor thoghness.

1. Introducción

Los aceros de esta investigación son importados y se utilizan en nuestro país en construcciones soldadas de alta resistencia tales como:

- Fabricación de recipientes de alta presión
- Instalaciones Hidráulicas
- Tanques de almacenaje en la Industria Petroquímica

Estos aceros son soldados con consumibles tanto nacionales como extranjeros, por ejemplo, en el proceso de Arco Sumergido (SAW) la industria nacional produce los alambres y los fundentes son importados.

Estas uniones en la mayoría de los casos presentan un buen comportamiento desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, pero se hace necesario el conocimiento de las transformaciones que ocurren tanto en la zona de fusión como en la zona térmicamente afectada al modificar variables tales como: consumibles, procesos y aportes de calor.

La composición química del metal base y el aporte de calor afectan la microestructura y propiedades mecánicas de la zona térmicamente afectada, por ejemplo, recientemente se detectó en una industria local una sustancial disminución en la resistencia a la tracción de un acero ASTM A 283-C/B al ser soldado por el proceso SAW.

Los objetivos específicos de esta investigación son:

- Conocer la soldabilidad de los aceros de alta resistencia ASTM A 283-C y ASTM 515-70.
- Cuantificar los cambios metalúrgicos de la zona de fusión al variar consumible, procedimiento de soldadura y aporte de calor.
- Correlacionar los cambios microestructurales de la zona de fusión y la zona térmicamente afectada con las propiedades mecánicas (Resistencia y Tenacidad Charpy “V”)

2. Materiales y Procedimiento Experimental

2.1 Materiales

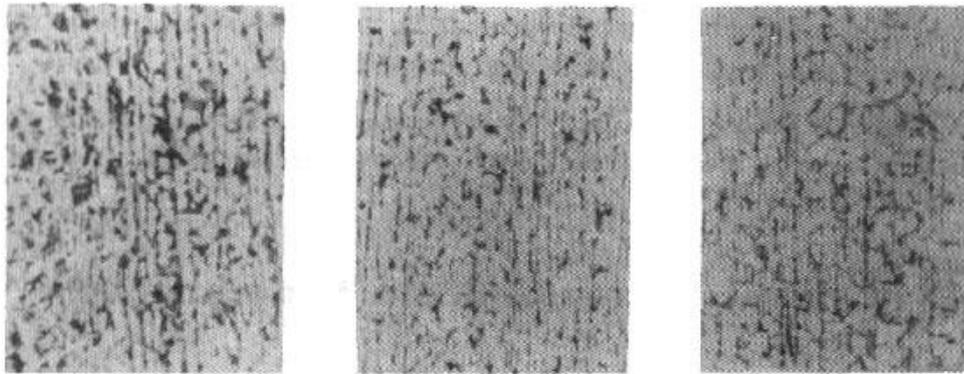
Los aceros a soldar fueron láminas de 8 y 11 milímetros de espesor del tipo ASTM A 283-C y ASTM A 515-70 laminadas en caliente, suministrados por la Industria TISSOT. Estos aceros son importados por la industria nacional y se utilizan en construcciones soldadas de alta resistencia tales como: recipientes a presión, instalaciones hidráulicas y tanques de almacenaje para la industria petroquímica.

La composición química y propiedades mecánicas de estos materiales están listadas en la Tabla 1. Los consumibles utilizados en la soldadura son: fundentes F-503, F-860 y F-761 y alambres EL-12 y EM-12 para el proceso SAW y el electrodo E 7018 para el proceso SMAW.

2.2 Análisis Metalográfico

Para el Análisis Metalográfico se cortaron muestras del metal base en la dirección transversal al sentido de laminación, las probetas fueron atacadas con nital 4% y observadas en el microscopio óptico a 200X. En la Figura 1 se muestran las microestructuras y el sentido de laminación del metal base. Se observaron dos fases mayoritarias, ferrita de color blanco y perlita de tono oscuro.

Con base a estas fotografías fue medido el tamaño de grano por el método planimétrico propuesto por Jeffries (1).



(a) (b) (c)

Figura 1 Microestructura de los materiales base, 200X, Nital 4%. (a) Acero ASTM A 283 C/B, (b) Acero ASTM A 283-C/J, (c) Acero ASTM A 515-70

2.3 Procedimiento de Soldadura

De los anteriores aceros se prepararon platinas de 150 milímetros de ancho y 500 milímetros de largo, para la aplicación de la soldadura a tope de penetración total. El material se soldó a temperatura ambiente, manteniendo la temperatura de entrapasadas inferior a 100°C . Las temperaturas fueron medidas con una termocupla de contacto.

En la Tabla 2 se listan el tipo de material, el proceso de soldadura utilizado, la combinación de consumibles, las variables del proceso y las dimensiones de las muestras. Todas las muestras fueron soldadas en posición plana con electrodos de diámetro 2.4 y 3.2 milímetros para los procesos SAW y SMAW, respectivamente.

2.4 Ensayos Mecánicos

Para ensayos de tracción se prepararon 4 muestras planas, dos al inicio del cordón y dos al final, de acuerdo a recomendación de ASME, Sección IX (2). Las probetas fueron mecanizadas y ensayadas de acuerdo a las

especificaciones de la norma ASTM E 8-86. Los ensayos se realizaron en una máquina universal de 60 toneladas de capacidad, en las condiciones en que fueron soldadas.

Para los ensayos de dobléz fueron extraídas muestras del inicio y el final del cordón. Una de ellas fue ensayada por la zona del último cordón (cara) y otra por la zona del primer cordón (raíz), tal como lo recomienda el código ASME, Sección IX (2).

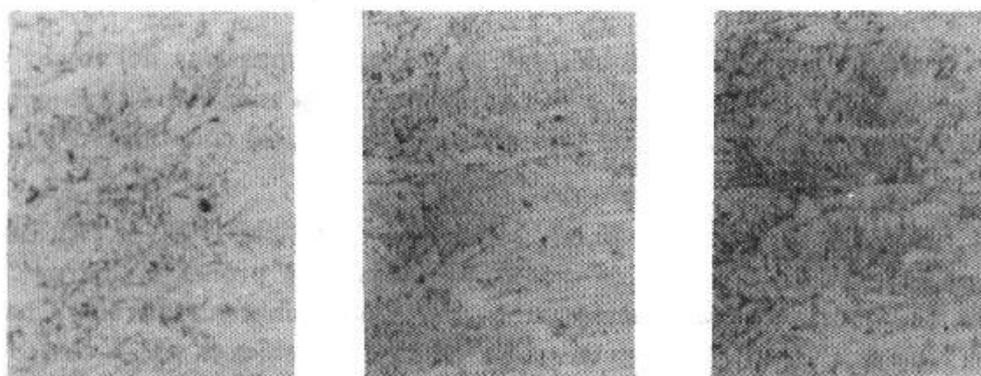
Para los ensayos de impacto, según norma ASTM E 23-86 (3), de las platinas de 11 milímetros de espesor se prepararon probetas Charpy "V". De las láminas de 8 milímetros se mecanizaron probetas reducidas Charpy "V" de $6 \times 10 \times 55$ milímetros. La entalla fue ubicada en el centro del depósito y en el centro de la zona térmicamente afectada (ZTA). Todos los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente y en las condiciones en que fueron soldadas.

3. Resultados Experimentales y Discusión

3.1 Análisis Metalográfico

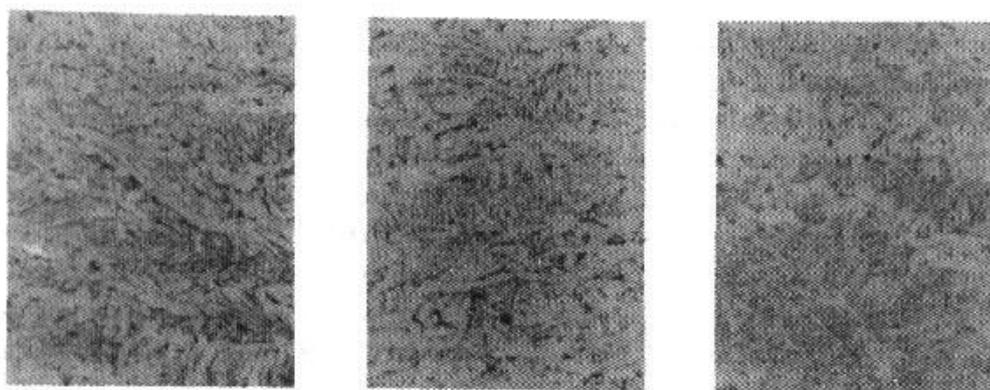
a) Zona de Fusión

En las Figuras 2 y 3 se muestra el efecto del alambre y del fundente sobre la microestructura de la región de grano columnar de los depósitos, realizados en los aceros ASTM A 283-C/B y 283 C/J para el proceso SAW. Se puede observar que las estructuras mayoritarias presentes son de ferrita acicular, ferrita widmanstatten, ferrita proeutectoide y perlita. La mejor combinación fundente-alambre para el aporte de calor de 1.2 KJ/milímetros se obtiene con el depósito E 761 y EM-12 ya que presenta más ferrita acicular. Esto es debido al mayor contenido de Mn del alambre. El Mn promueve la formación de ferrita acicular (4,5) a expensas de la ferrita proeutectoide. Este microconstituyente mejora las propiedades mecánicas del depósito principalmente la tenacidad, ya que su tamaño de grano refinado ($1\text{a}3\mu\text{m}$) retarda el crecimiento de cualquier fisura que trate de propagarse a través de esta región, además mejora la resistencia a la fluencia y a la tracción del depósito.



(a) (b) (c)

Figura 2 Efecto de la variación del electrodo y el fundente sobre la microestructura de la región de grano columnar acero ASTM 283-C/B, proceso SAW, nital 4%, 1.2 KJ/milímetros, 200X. (a) Depósito F860, EL-12, (b) Depósito F503, EL-12, (c) Depósito F761, EM-12.



(a) (b) (c)

Figura 3 Efecto de la variación del electrodo y el fundente sobre la microestructura de la región columnar, acero ASTM 283-C/J, proceso SAW, nital 4%, 1.2 KJ/milímetros, 200X. (a) Depósito F860, EL-12, (b) Depósito F503, EL-12, (c) Depósito F761, EM-12.

Se notó además que el porcentaje de ferrita acicular es mayor en el depósito sobre el acero ASTM A 283-C/J, debido a que éste posee un mayor contenido de carbono y la dilución entre el metal base y el de aporte incrementa el porcentaje de carbono en la piletta fundida. Micrografías en la región de grano refinado muestran igualmente un mayor refinamiento en los depósitos antes mencionados, mostrando además las estructuras ferrita y perlita.

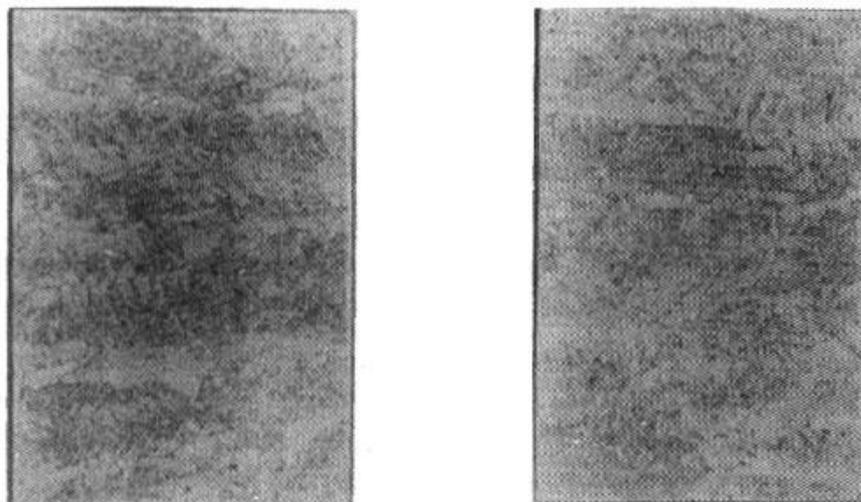
En la Tabla 3 se listan los resultados del análisis metalográfico cuantitativo de fases de los depósitos en la zona columnar, medidos según (6).

Estos mismos aceros fueron soldados con el proceso SMAW con aportes de calor entre 0.7 y 2.5 KJ/milímetros. Las microestructuras del último cordón muestran que, al igual que en el proceso SAW, los microconstituyentes mayoritarios son ferrita acicular, ferrita proeutectoide, ferrita widmanstätten y perlita.

Los mayores porcentajes de ferrita acicular se obtienen con aportes de calor bajos, de acuerdo con los resultados de Evans (7). El aumento de las otras fases, con los mayores aportes de calor, se debe a una disminución de la velocidad de enfriamiento que permite la nucleación de ferrita de borde de grano y perlita. Los porcentajes de ferrita acicular obtenidos por este proceso son sensiblemente mayores que aquellos obtenidos por el proceso SAW (Tabla 3).

En la Figura 4 se muestra la microestructura del último cordón de los depósitos realizados con el proceso SMAW, la ferrita aparece con una coloración blanca y la perlita con una coloración oscura.

Las microestructuras de los depósitos hechos sobre el acero ASTM A 515-70, a 2.4 KJ/milímetros por el proceso SAW, muestran que al igual que el acero ASTM A 283-C, el porcentaje de ferrita acicular más alto es el obtenido con el alambre EM-12 y el fundente F761.



(a)

(b)

Figura 4 Microestructura del último cordón de los aceros ASTM A 283-C/B y ASTM A 283 C/J soldados por el proceso SMAW nital 4%, HI = 1.24 KJ/milímetros, 200X.

En la tabla 3 se listan los porcentajes de fases cuantificadas en la región columnar del último cordón depositado en el acero ASTM A 515-70.

En la región de grano fino de este depósito se observaron las fases ferrita y perlita y un mayor refinamiento de grano para la combinación EM-12 y F761.

Este acero fue soldado también por el proceso SMAW y en la región columnar las micrografías de la Figura 5 muestran las mismas fases reportadas, siendo que la ferrita acicular presenta mayores porcentajes para depósitos con bajo aporte de calor. Este valor es similar al alcanzado con el proceso SAW utilizando un alambre de medio manganeso y el fundente F761.

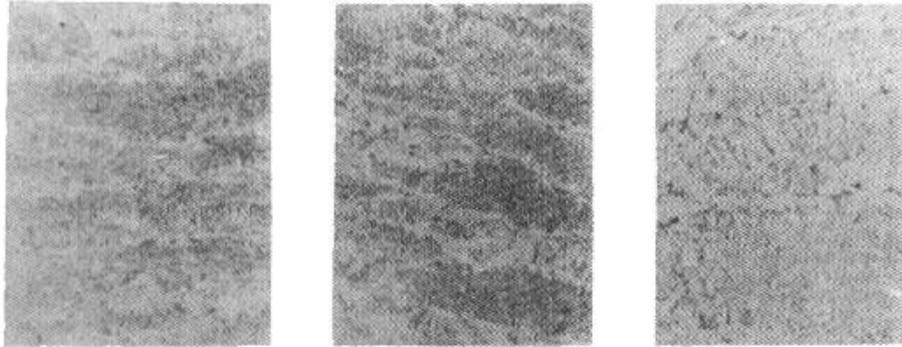
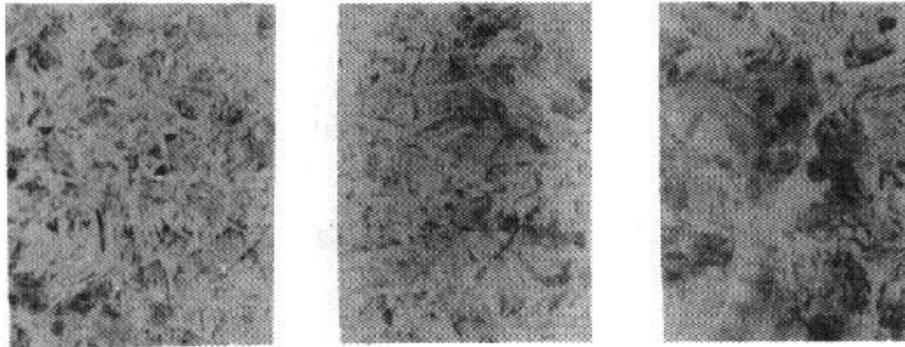


Figura 5 Microestructura de la zona de fusión de depósitos E-7018. ASTM A 515-70, nital 4%, 200X.

b) Zona Térmicamente afectada

La Figura 6 muestra la microestructura de la región de grano recocido de la zona térmicamente afectada del acero ASTM A 283-C/J soldado con el proceso SAW. Las fases predominantes son la ferrita widmanstätten, la ferrita de borde de grano y la perlita. La morfología del metal de base (Figura 1) es cambiada debido al calentamiento ocasionado por el ciclo térmico. El acero ASTM A 283 C/B presentó una estructura similar.

Utilizando el proceso SMAW se soldaron los mismos aceros y para bajos aportes de calor se detectaron en la ZTA estructuras aciculares, las cuales tienden a desaparecer con el incremento del aporte de calor. Se observó además un pequeño incremento en el tamaño de grano con el aumento del aporte de calor H.I. Para $HI = 0.7$ KJ/milímetros se obtienen estructuras aciculares y para $HI = 2.0$ y 2.5 KJ/milímetros se obtiene perlita, ferrita de borde de grano y ferrita widmanstätten. La perlita se incrementa con el aporte de calor. Se nota además que el ancho de la ZTA se incrementa con el HI.



(a)

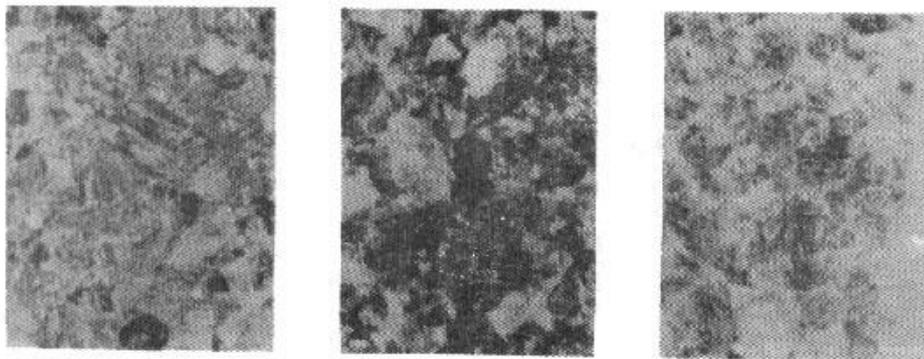
(b)

(c)

Figura 6 Región de grano recrecido (ZTA) de acero ASTM A 283-C/J, proceso SAW, nital 4%, 200X.

Para el acero ASTM A 515-70 soldado por el proceso SAW y un aporte de calor de 2.4 KJ/milímetros, se observó que la ZTA no muestra modificaciones significativas al cambiar el fundente y las microestructuras presentes son perlita, ferrita de borde de grano y ferrita widmanstätten.

Las micrografías de la ZTA del acero ASTM A 515-70 para diferentes aportes de calor muestran que para bajos aportes, $III = 0.7$ KJ/milímetros, aparecen estructuras aciculares y para altos aportes se promueven la formación de perlita y ferrita de borde de grano. En la Figura 7 se muestra la microestructura de la región de grano recrecido de la zona térmicamente afectada de estos aceros.



(a)

(b)

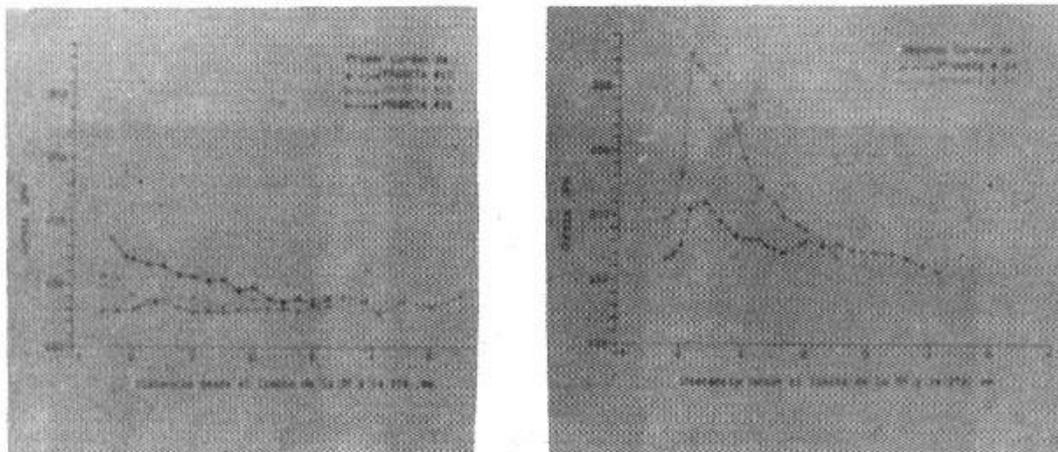
(c)

Figura 7 Región de grano recrecido (ZTA) de acero ASTM A 515-70, proceso SMAW, nital 4%, 200X.

3.2 Ensayos de Dureza

En la Tabla 4 se listan los valores de las durezas máximas obtenidas en la ZTA y los valores de dureza promedios obtenidos en la zona de fusión.

En la Figura 8 se muestra la variación de la dureza en función de la distancia desde el metal depositado hasta el metal base sin modificar, para los aceros ASTM A 283-C/B y ASTM A 515-70 soldadas por el proceso SMAW. Se nota que los mayores valores de dureza se obtienen para bajos aportes de calor, lo cual está de acuerdo con los análisis metalográficos obtenidos (estructuras aciculares).



(a)

(b)

Figura 8 Dureza DPH contra distancia. a) Acero ASTM A 283-C/B con el electrodo 7018 y diferentes HI. b) Acero ASTM A 515-70 para el electrodo 7018 y diferentes HI

3.3 Resistencia a la Tracción y Ensayos de Doblado

Los resultados de resistencia a la tracción y del alargamiento en 50.8 milímetros, para cada una de las probetas soldadas mediante los procesos SAW y SMAW, se muestran independientes del tipo de depósito y del aporte de calor; las muestras, que no tenían defectos de soldadura, fallaron por el metal de base. Esto sugiere que la resistencia de los consumibles es superior a la del material de base. La resistencia del metal de base no varió significativamente al ser sometido al ciclo térmico.

No se observaron fallas en las muestras ensayadas por doblado y las en placas radiográficas no presentaron defectos de soldadura.

3.4 Ensayos de Impacto Charpy "V"

En la Tabla 5 se listan los datos obtenidos del ensayo Charpy "V" para probetas reducidas de aceros ASTM A 283-C/B y ASTM A 283 C/J y para probetas normalizadas del acero ASTM A 551-70.

En la Tabla 5 se nota que los valores de la energía absorbida para la ZF es muy similar para los aceros ASTM A 283-C con el proceso SAW y además estos resultados concuerdan con los datos obtenidos para el conteo de fases mostrado en la Tabla 3. Los bajos valores de energía absorbida en

estos depósitos se deben principalmente a los altos porcentajes de perlita y ferrita proeutectoide presentes. La perlita, en particular, incrementa la resistencia a la tracción, pero disminuye la tenacidad. Por otro lado la ferrita proeutectoide por tener un tamaño de grano relativamente grande deteriora también la tenacidad de los aceros.

Se nota además en la Tabla 5 que los valores de la energía absorbida para los depósitos hechos con el electrodo E7018 en los aceros ASTM A 283-C son mayores y esto es una consecuencia de los mayores porcentajes de ferrita acicular y la considerable disminución de la cantidad de perlita.

Igualmente en la Tabla 5 se puede notar que los resultados de tenacidad para la ZTA, en el acero ASTM A 283-C/J son mayores que para el acero ASTM A 283-C/B y esto se debe posiblemente al mayor tamaño de grano de este último material en esta región.

Los resultados de la energía absorbida para el acero ASTM A 515-70 por el proceso SAW muestran que en la ZF la tenacidad es menor como consecuencia de los bajos contenidos de ferrita acicular, aumentando para la combinación EM-12-F761 para el cual el contenido de ferrita acicular es mayor. En la ZTA los resultados son similares y consecuente con la micrografía observada.

Los resultados obtenidos por el proceso de arco manual (SAMW) muestran en la ZF valores mucho mayores en la energía absorbida que para el proceso SAW y esto se debe a que con este proceso se obtiene mayor cantidad de ferrita acicular y a que el número de cordones depositados es mayor lo cual provoca un mayor porcentaje de fase recristalizada de tamaño de grano fino.

Para la ZTA de este material se observa que la energía absorbida es baja para bajos aportes de calor ocasionada por la presencia de estructuras aciculares. Para mayores aportes de calor aumentan las energías absorbidas como consecuencia del desaparecimiento de las estructuras antes mencionadas.

4. Conclusiones

1. En los depósitos de arco sumergido no existen variaciones considerables en la microestructura y la fase mayoritaria es la ferrita proeutectoide.

2. Los ensayos de tracción reflejan las observaciones microestructurales ya que las fases que se obtienen en la ZF incrementan la tracción por encima de la resistencia del metal base.
3. La presencia de perlita en los metales depositados con el proceso SAW deteriora la tenacidad en todos los aceros estudiados.
4. La tenacidad del metal depositado es mayor en el proceso SMAW ya que el electrodo E7018 induce mayores porcentajes de ferrita acicular.
5. La tenacidad de la zona térmicamente afectada es inferior en el acero ASTM A 283-C/B debido a que el tamaño de grano en este material es mayor que el tamaño de grano en el acero ASTM A 283-C/J.
6. Incrementos en el aporte de calor disminuyen los porcentajes de ferrita acicular en concordancia con otros trabajos reportados.
7. La mejor combinación alambre-fundente para el proceso SAW se presenta en el depósito EM 12 F761 debido a que el alambre EM-12 contiene un mayor porcentaje de Mn el cual incrementa la ferrita acicular.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la División de Proyectos Cooperativos del CIID y a la industria Construcciones TISSOT por el financiamiento y apoyo de esta investigación.

TABLA 1. Composición Química y Propiedades Mecánicas de los Aceros

ELEMENTO	C	Mn	S	P	Si	Ni	Cr	No	Cu	Sn	Al	V
Muestra 1												
ASTM A 283-C/B	0.13	0.40	0.013	0.01	0.06	0.01	0.07	0.007	0.02	0.02	0.012	0.002
Muestra 2												
ASTM A 283-C/J	0.16	0.64	0.014	0.01	0.04	0.01	0.05	0.007	0.01	0.02	0.002	0.002
Muestra 3												
ASTM A 515-70/J	0.23	1.10	0.016	0.01	0.16	0.01	0.05	0.007	0.08	0.02	0.002	0.002
Muestra 1												
ASTM A 283-C/8		420		27								
Muestra 2												
ASTM A 283-C/J		428		30								
Muestra 3												
ASTM A 515-70/J		566		24								

Resistencia a la tracción MPa en 50.8 mm² de grano

Tamaño

de grano

Tabla 2. Datos Experimentales y Procesos

METAL BASE Y PROCESO	ALAMBRE	FUNDENTE	HEAT IMPUT KJ/mm	DIMENSIONES (Espesor)
ASTM A 515-70/J SAW	EL-12	F-503	2.3	11 mm
	EL-12	F-761	2.3	
	EL-12	F-860	2.3	
	EM 12	F-761	2.3	
ASTM A 283-C/J SAW	EL 12	F-503	1.24	8 mm
	EL-12	F-761	1.24	
	EL 12	F-860	1.24	
	EM 12	F-761	1.24	
ASTM A 283-C/B SAW	EL-12	F 503	1.24	8 mm
	EL-12	F 860	1.24	
	EL-12	F-761	1.24	
	EM-12	F-761	1.24	
ASTM A 515-70/J SAW	E-7018	-	0.7	11 mm
	E-7018	-	1.2	
	E-7018	-	2.5	
ASTM A 283-C/J SAW	E-7018	-	0.7	8 mm
	E-7018	-	1.5	
	E-7018	-	2.4	
ASTM A 283-C/B SAW	E-7018	-	0.7	8 mm
	E-7018	-	1.4	
	E-7018	-	2.1	

Tabla 3. Porcentaje de fases en función de las combinaciones Alambre-Fundente para el Proceso SAW. AF = Ferrita Acicular, PF = Ferrita Proeutectoide, P = Perlita, WF = Ferrita Wideanstatten

MATERIAL	DEPOSITO	PORCENTAJES DE FASES				HI KJ/mm
		AF	PF	P	WF	
ASTM A 283-C/B SAW	EL-12 F503	29	53	15	3	1.24
	EL-12 F860	25	59.5	15	0.5	
	EL-12 F761	22	65	13	-	
	EM 12 F761	33	56	9	2	
ASTM A 283-C/J SAW	EL-12 F503	30	52.2	14.1	3.5	1.24
	EL-12 F860	24.9	59.7	14.2	1.2	
	EL-12 F761	21.9	64	14	-	
	EM 12 F761	47.5	33.8	18.7	-	
ASTM A 515-70 SAW	EL 12 F503	16.2	48.7	32.5	2.6	2.3
	EL 12 F860	22.5	51.9	26.0	-	2.3
	EL-12 F761	34.7	40.9	23.6	-	2.3
	EM-12 F761	68.8	30.8	0.4	-	2.3
ASTM A 515-70 SAW	E 7018	65.6	3.28	-	1.6	0.7
	E 7018	41.5	53.7	3.9	0.8	2.5
	E 7018	56.0	41.9	1.15	0.8	1.7
ASTM A 283-C/J SAW	E 7018	43.6	51.7	4.7	-	1.5
	E 7018	65.6	32.7	-	1.6	0.7
	E 7018	26.7	63.8	9.5	-	2.5
ASTM A 283 C/B SAW	E 7018	43	52	5	-	1.4
	E 7018	18.6	72	8.5	0.87	2.1
	E 7018	53.8	39.1	3.9	3.1	

Tabla 4. Valores característicos de dureza

PROCESO	MATERIAL	HI	DUREZA MAX. ZTA	DUREZA PROMEDIO ZF
SAW	ASTM A 515-70	2.3	197	168
	ASTM A 283-C/J	1.2	163	156
	ASTM A 283-C/B	1.3	146	160
SAW	ASTM A 515-70	1.5	210	167
	ASTM A 283-C/J	1.4	153	160
	ASTM A 283-C/B	1.4	157	175

Tabla 5. Datos de Ensayos Charpy "V" en los diferentes aceros por los Procesos SAW y SMAW

MATERIAL	PROCESO	DEPOSITO	Aporte de Calor KJ/mm	Energía Absorbida (J)	
				ZF	ZTA
ASTM A 283-C/B	SAW	EL12-F503 EL12-F860 EL12-F761 EM12-F761	1.23	39.8 42.0 39.5 32.5	32.3 27.5 32.6 29.7
	SMAW	E 7018	0.7 1.4 2.0	66.4 61.7 73.7	23.6 26.0 31.6
ASTM A 283-C/J	SAW	EL12-F503 EL12-F860 EL12-F761 EM12-F761	1.23	39.5 39.7 38.5 39.3	70.1 66.4 68.1 70.2
	SMAW	E 7018	0.7 1.4 2.5	52.9 54.7 55.1	45.8 60.3 73.4
ASTM A 515-70	SAW	EL12-F503 EL12-F860 EL12-F761 EM12-F761		53.8 75.2 74.2 95.2	176.3 152.5 151.1 158.4
	SMAW	E7018	0.7 1.2 2.5	159.0 117.3 131.4	165.8 130.6 146.2

5. Referencias Bibliográficas

R.T. De Hoffe and F.N. Rhines "Quantitative Microscopy", McGraw-Hill, New York, 1968, p.422.

Código ASME, sección IX, 1987

Annual Book of ASTM Standards, Volume 03 : 01, 1986

G.M. Evans “*Effect of Mn on the microstructure and properties of all-weld deposits*”, IIW, Doc. II-A 432-77.

A.C. Agudelo, G. Pérez, R. Arroyo y Y Aguilar “*Influencia del manganeso sobre la microestructura y propiedades mecánicas del depósito tipo E 8018-C1*”, Memorias del XIII Congreso Nacional de Soldadura, Bogotá, 1990.

Metalografía Cuantitativa. The Welding Institute, Characterization of Weld Metals LD21875, March/April, 1975.

Evans, G. M., “Effect of Carbon on the microstructure and properties of C-Mn all-weld metal deposits”. Oerlikon-Schwebmitt 40, No. 99, S.17-31, Zurich (1982).