

F. R. Agüera^{1,2,3}; A. F. Ansaldi¹; A. Reynoso¹; V.E. Fierro^{1,4}; H.N. Alvarez Villar^{1,2}; E .S. Ayllón^{1,4}; D. A. Aquino^{1,4}¹ CITEFA, Departamento Ciencia y Técnica de Materiales (DEIMAT); ² Univer. de la Mar. Mercante (UdeMM-DICyT).³Universidad Tecnológica Nacional-FRBA; ⁴Escuela Superior Técnica-EST,

Estudio de soldadura de "adi" - austempered ductile iron, con electrodos de níquel puro.*

Resúmen

En el presente trabajo, que forma parte de una serie de experiencias realizadas para analizar las posibilidades de soldar cupones de fundiciones, con tratamiento de austemperado previo, se analizan los resultados obtenidos en las pruebas hechas con electrodos de níquel 100%.

Se efectuaron mediciones de microdureza Vickers - Hv de probetas preparadas especialmente para las determinaciones, tanto en el material de base, zona mezclada, y zona afectada por calor-ZAC. Se vincularon los resultados de estas determinaciones con los componentes microestructurales identificados previamente.

Se realizaron pruebas de caracterización de los materiales de base y el material de aporte, para lo cual se prepararon ensayos de tracción, Charpy, HR_B, y metalografía.

Las pruebas muestran las posibilidades de soldar las fundiciones ADI,

con electrodos de níquel 100%, como así también las dificultades de la técnica usadas y las limitaciones en los resultados obtenidos hasta el momento.

Palabras clave: Soldadura, ADI, Níquel, microestructuras, propiedades.

1. Introducción

Continuando con los análisis de soldaduras de las ADI, *Austempered Ductile Iron* [1], se propone llevar adelante un estudio referido a la unión de estas fundiciones con electrodos de níquel puro. Las ADI son fundiciones tratadas isotérmicamente, a temperaturas que se conocen como de austemperado. La estructura de estos materiales es el resultado de la transformación que sufren las fundiciones esferoidales perlíticas, en inglés *spheroidal graphite-SG*, al ser austenizadas alrededor de 900°C y luego sometidas a transformación isotérmica en el entorno de los 260 a 360°C, resultando una estructura denominada *ausferrita*, constituida

por austenita saturada en carbono con agujas de ferrita precipitada en la transformación isotérmica. [2,3]

Se analizaron las dificultades para lograr un resultado satisfactorio tecnológicamente. Como en experiencias anteriores [1], se estudiaron los aspectos relevantes de la unión soldada y su entorno próximo, tales como el comportamiento del material de aporte y la zona de material mezclado, así también se estudió la zona afectada por el calor-ZAC, cotejando los resultados con respecto de las propiedades de los materiales de base.

1.1. La unión por soldadura

En el desarrollo histórico de las fundiciones, siempre hubo dificultades para realizar la unión por soldadura de piezas coladas. Este aspecto redujo la posibilidad de extender el uso del material, pues se hacía difícil el ensamble de partes y aún la reparación de piezas dañadas. De todas maneras se desarrollaron técnicas y productos que subsanaron este inconveniente en

* Trabajo presentado en las Jornadas SAM/CONAMET 2007 - UTN-FRSN - Buenos Aires, Argentina.

las fundiciones convencionales donde se incluyen las *grises y esferoidales-SG*.

El alto contenido de C en las fundiciones, tanto el grafitico como el contenido en la matriz, es un factor que dificulta enormemente la solubilidad de estos productos. En la bibliografía referenciada, se encuentra el gráfico carbono vs. silicio [4], donde se puede apreciar la ubicación de los aceros al carbono y las fundiciones.

Cabe aclarar, que dentro de los aceros los más aptos para la soldadura son aquellos donde el carbono equivalente es el menor posible. Si bien con la aplicación de procedimientos adecuados se pueden soldar aceros de mayor porcentaje de carbono, podemos tomar un límite para el carbono equivalente del 0,40 %, lo que reduce al extremo inferior izquierdo las aleaciones ferrosas convencionalmente soldables.

Por otra parte el calor aportado en los procesos de soldadura, modifica las microestructuras y por lo tanto las características originales de las fundiciones ya sean con o sin tratamiento térmico. Uno de los objetivos del trabajo, es buscar la manera de recuperar las estructuras originales o bien minimizar los efectos del trabajo de soldadura sobre los materiales de base. Actualmente la reparación de piezas de fundición gris y esferoidales, se realiza con diferentes técnicas, procedimientos y materiales de aporte, entre ellos esta difundido el uso de electrodos revestidos que depositan un material con alto contenido de níquel, con un porcentaje de carbono del 1,55% aproximadamente, este tipo de electrodos responde a la norma AWS A5.15-90, "Welding

Rods and Covered Electrodes for Welding Cast Iron" es un procedimiento muy usado y los consumibles están disponibles comercialmente. Como se verá, en las experiencias detalladas en este trabajo, el comportamiento de estos productos es aceptable según las primeras pruebas hechas sobre material de base ADI.

El inconveniente adicional que se presenta en las ADI, es el deterioro de la ZAC, pues se pierde la estructura de ausferrita lograda en el tratamiento isotérmico. El problema señalado obliga a plantear soluciones tanto para la aplicación durante un proceso de fabricación de piezas de ADI soldadas, como para eventuales reparaciones de mantenimiento, aunque no necesariamente el proceso deba ser el mismo.

2. Procedimiento experimental

2.1. Definición del material base

El material base fue seleccionado, teniendo en consideración aspectos tecnológicos y económicos. Los aspectos tecnológicos fueron: Propiedades mecánicas: Dureza (H_B , H_{RC} , H_V), Resistencia ($\sigma_{m\acute{a}x}$), Resistencia a la fluencia ($\sigma_{0,2}$), Alargamiento % (ξ), Resiliencia Charpy.

2.2. Colado

Se usó un programa para el modelado del llenado de los moldes. La fusión se realizó en un horno de inducción de 3000 Hz y 50 Tn de capacidad. La temperatura de nodulización fue de 1550°C y la de colado de la aleación de 1450°C. La composición del nodulizante, *Stein SPH4* fue: Si 44,6%, Mg 8,21%, Ca 3,08%, Ce 3,04%, Al 0,55%. Para el moldeo se usó arena aglutinada con un máxi-

mo de 1,1% de resina fenólica, por aspectos ecológicos. Las superficies fueron pintadas con ZrO_2 diluido en alcohol etílico industrial y secadas para colado en el día. En la Figura 1, se esquematiza la forma como se dispusieron los moldes para el colado de las placas.

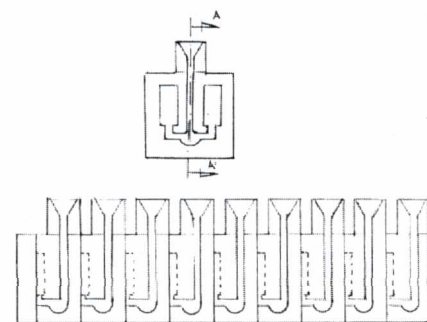


Figura 1: esquema del colado en fuente de las placas para cupones de soldadura

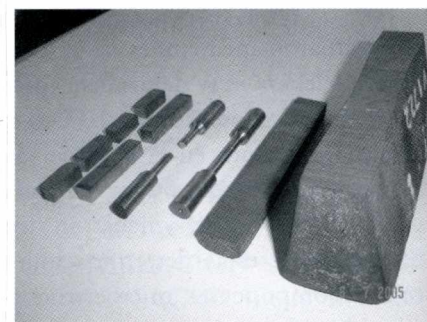


Figura 2: Detalle del bloque "Y", representativo de la colada de las placas, de donde se extrajeron probetas.

2.3. Composición química

En la Tabla 1, se indican los valores de la composición química del material de las placas, determinados con un equipo *spectrolab*.

Tabla 1. Composición Química de la fundición esferoidal *as cast*

C:3,35%	Mn:0,58	Ni: 0,58%	Cu: 0,15%	P< 0,026%
Si:2,66%	Cr: 0,30%	Mo: 0,03%	Mg:0,04%	S< 0,015%

2.4. Estimación del carbono equivalente

Normalmente el CE se calcula como:

$$CE = C + 1/3 Si, 3,35 + 1/3 \times 2,66 = 4,23\%$$

Sin embargo a los fines del cálculo del CE y su influencia en la aparición de grietas, es conveniente usar una fórmula que contemple otros elementos [4]

$$CE = C + 0,31Si + 0,33P + 0,45S - 0,028Mn + Mo + Cr - 0,02Ni - 0,01Cu$$

$$CE = 3,35 + 0,8246 + 0,0086 + 0,007 - 0,0162 + 0,031 + 0,25 - 0,0116 - 0,0038 = 4,4396 \text{ aprox. } 4,44\%$$

2.5. Caracterización del material (SG)

La metalografía del material muestra una estructura de fundición esferoidal perlítica con un porcentaje de ferrita menor al 10%, carburos menor al 1%, nodularidad: mayor al 95%, tamaño de nódulos: 7-8, conteo nodular: 200 nódulos/mm². Propiedades mecánicas: Dureza Brinel (H_B) 210; Dureza Rockwel "B" (HR_B) 97; Resistencia a la tracción 720 MPa; Alargamiento a la rotura (ξ) 10%.

2.6. Diseño del tratamiento térmico de austemperado

La intención fue lograr una fundición ADI (Grado I, II,), según la norma ASTM: A 896-90, *Standard*

Specification for Austempered Ductile Iron [3]

El tratamiento térmico se diseñó para lograr: Resistencia, $\sigma_{m\acute{a}x}$. 861 a 1030 MPa; Tensión al límite elástico $\sigma_{0,2}$: 550 a 690 MPa; H_B 269 a 363; H_V 283 a 382; alargamiento específico 7 a 10 %; Energía de Impacto/sup 102 J/cm² a 81 J/cm². Los valores indicados corresponden al intervalo de propiedades considerado apto a los fines propuestos.

2.7. Preparación de probetas

2.7.1. Diseño de la junta para la soldadura

La junta de unión se seleccionó, de las alternativas propuestas en "*Guide for Welding Iron Casting ANSI/AW*" [5], prefiriéndose los que presentan una parte recta para poder colocar termocuplas que registren las variaciones de temperaturas durante los ensayos, mientras que la otra parte a unir, es con un bisel de entre 30° y 45°, para permitir el acceso a la raíz sin inconvenientes. De las dos opciones posibles con las características antedichas, se seleccionó la que además del bisel tiene un talón de 3mm.

2.7.2. Maquinado de las juntas:

La preparación de juntas se realizó siguiendo las dimensiones indicadas en *Guide for Welding Iron Casting ANSI/AW* [5]. En la Figura 3 se ve el detalle de un par de placas que

fueron unidas por soldadura, en la misma se presenta el detalle del maquinado de la junta preparado para realizar la soldadura, en esta vista la placa izquierda no tiene bisel, mientras que la derecha esta chafflanada para permitir el acceso a la raíz.

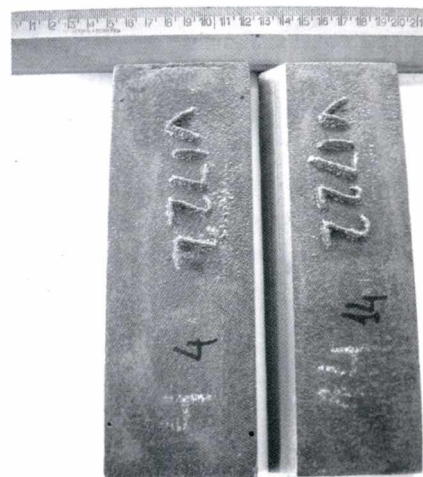


Figura 3: Detalle del maquinado de la junta para realizar la soldadura

2.7.3. Soldadura y material de aporte

El tipo de electrodo que se usó en esta ocasión fue AWS ENi-CI. Composición Química del Material depositado: Ni 95%; C 1,5%; P (0,20% %, mientras que el material depositado que se determinó fue:

Ni 90%; C; P 0,50%; Cu 0,53%; Si 3,50%; Mn 1,80%; Fe resto. Se soldó con polaridad (-) directa. Diámetro de electrodo: 2,5mm. Intensidad de corriente: 50/80 A. Tensión 10/20V. Velocidad de avance 150/180mm/min.

3. Resultados y Discusión

En las Figuras 4 y 5, se ven las micrografías de la zona de aporte, de color

blanco, una zona de mezcla, donde hay esferoides de grafito mezclados, con el níquel y el resto del material base que es ADI Grado II.

Se debe recordar que esta probeta se soldó con electrodo de Níquel 100%, sobre ADI. Luego se ve en la interfase de material base con el aporte, *martensita* caracterizada por las agujas en zig-zag, que luego se va mezclando con la *ausferrita* de color gris a gris oscuro. En la Figura 6 se aprecian nódulos de grafito, rodeados de *martensita* y metal de aporte. En Figura 7 se aprecia el detalle de la mezcla de *ausferrita* y *martensita*, con mayor aumento, x 1000.

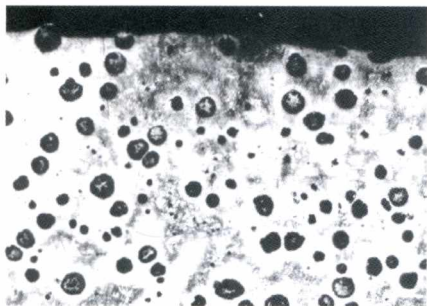
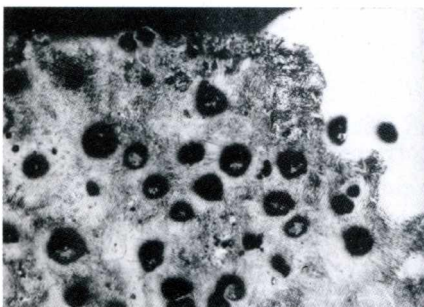


Figura 5: Probeta 2: x 100, ataque nital 2; 30 seg



En la Tabla 2, se indican los valores de los ensayos de tracción y flexión por choque, Charpy de las probetas *as welded*. El resultado es el promedio de tres determinaciones para cada ensayo. En el caso de las probetas de tracción se tomo una longitud inicial de 50mm.

Tabla 2: Valores de los ensayos de tracción y Charpy sin entalla				
Rmax [MPa]	R 0,2% [MPa]	Alargamiento [%]	Estricción [%]	Resiliencia [J/cm2]
270 ± 5	245 ± 5	2,5 ± 0,5	5 ± 0,5	23 ± 2

En la Figura 8, se presenta un gráfico de distancias en μm , Vs. dureza Vickers, HV50gr. El inicio del gráfico es en la parte del aporte de soldadura, 95% Níquel, con un promedio de 230 HV50gr, hasta los 4000 μm , descartando el primer dato que se toma como ajuste del indentador. Luego entre 4000 y 5500 μm la dureza toma valores elevados y con mayor disparidad, notándose una trepada desde los 250 hasta 700 HV50gr, se interpreta esta zona como la mezcla de *ausferrita* y *martensita*, donde la *martensita* es poca al inicio, se estabiliza en una distancia de aproximadamente 150 μm y luego vuelve a caer con una pendiente de mezcla

acentuada hacia los 6000 μm , donde se vuelve a estabilizar la dureza en el material base ADI, que promedia 440 HV50gr. Fuera de este análisis, aparecen puntos de mayor dureza, entre 790 y 840 HV50gr, en la zona *ausferrita* + *martensita* que se debe a

la presencia de carburos que son las fases mas duras de estas aleaciones. Los carburos aparecen en varias etapas de los procesos, desde el mismo enfriamiento de la fundición esferoidal, hasta en la soldadura misma. Si bien en nuestro caso los carburos son indeseables, aparecen por las condiciones termodinámicas y/o cinéticas de los procesos. Finalmente también se presentan puntos muy blando con respecto al promedio de las zonas en análisis, esto se debe a los nódulos de grafito. De este análisis surge otro aspecto a resaltar que es la dureza del material de aporte, que está en el entorno del 50% de la del material base.

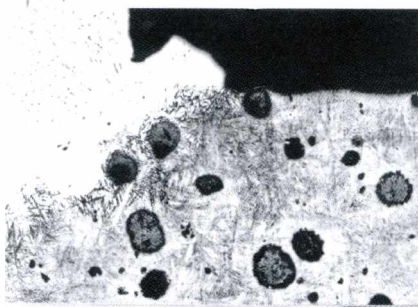


Figura 6: Probeta2: x 200, ataque nital 2; 30seg

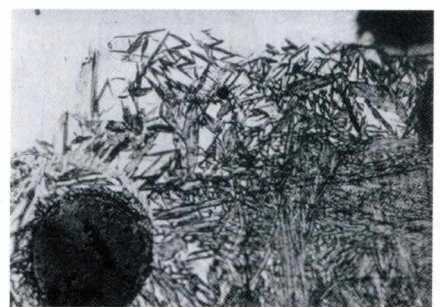


Figura 7: Probeta2: x 1000, ataque nital 2; 30seg

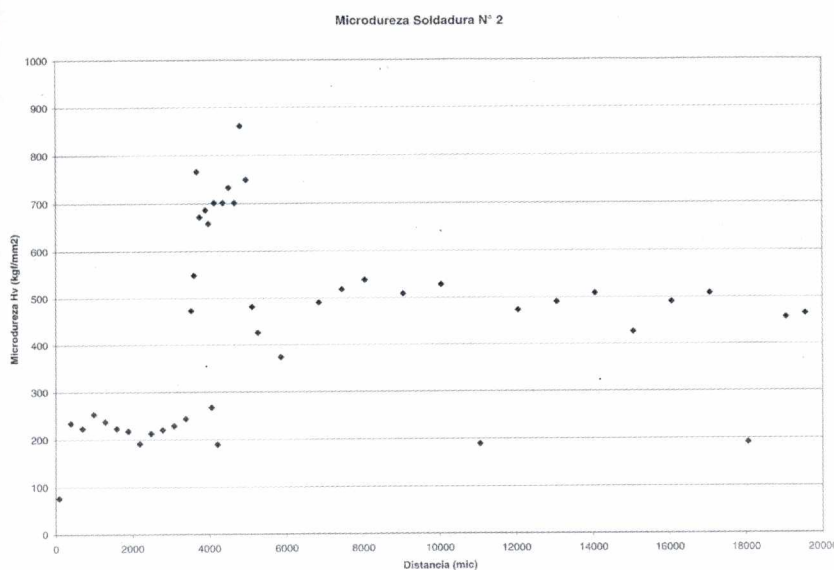


Figura 8: Gráfico de Dureza Hv50gr Vs. Distancia, μm desde el borde externo de la soldadura con Níquel puro sobre ADI.

4. Conclusiones

- Las experiencias de soldadura con electrodos de base níquel, sobre ADI, permiten observar que la unión es posible, aunque deben resignarse propiedades mecánicas.
- Las soldaduras se realizaron a temperatura ambiente sin precalentamiento ni poscalentamiento.
- El material de aporte, níquel 100%, se usa en otros tipos de fundiciones grises y esferoidales sin tratamientos térmicos.
- La resistencia de la soldadura, que rompe en el material de aporte, es

un 45% de la del material base, la dureza cae un 50% y la resiliencia es también menor en un 50%, por lo que se analizarán otros materiales de aporte con mayor resistencia y dureza.

- Las microestructuras del material de aporte, Zona de mezcla y ZAC, son analizadas en las probetas *as welded* y se comparan con las propiedades relevadas.

5. Referencias

1. F. R. AGÜERA, ANSALDI; REYNOSO, FIERRO, ALVAREZ VILLAR y AYLLÓN "Experiencias de Soldadura de

ADI - *Austempered Ductile Iron*, con Electrodos Básicos Base Hierro de Bajo Contenido de Hidrógeno y Mínimo Aporte Calórico". Anales CONAMET/SAM 2006, Sexto Congreso de Metalurgia,

2. BRUCE L. BRAMFITT "Effect of composition, processing, and structure on properties of irons and steels." ASM Handbook N°20- Material Selection and Design. ASM 1997, p357-382
3. ASTM 897 M-90, Standard Specifications for Austempered Ductile Iron Casting
4. ASM Metal Handbook, "Vol. 6, Welding, Brazing, and Soldering", 9th edition, ASM International, Ohio, 1993, p.1745-1781 (versión digitalizada)
5. ROGER A. BUSHEY, ASM Metal Handbook, Vol. 6, Welding, Brazing, and Soldering "Guide for Welding Iron Casting ANSI/AW", ASM International, 1993 p. 1755.

6. Agradecimientos

A las autoridades de la Universidad de la Marina Mercante-UdeMM y el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas - CITEFA, que sostienen el proyecto SOLADI. A los Ingenieros J. Sikora y M. Caldera del INTEMA- UNMdel Plata.