

SOLUBILIZADO Y REVENIDO EN DEPÓSITOS DE SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE SUPERMARTENSÍTICO

SOLUBLIZED AND TEMPERED IN SUPERMARTENSITIC STAINLESS STEEL WELDING

Martínez, Juan Manuel^(1,2)(P), Zappa, Sebastián^(1,3), Svoboda, Hernán^(3,4)

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires, Argentina

(2) Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Provincia de Buenos Aires, Argentina

(3) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad de Buenos Aires, Argentina

(4) Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Ciudad de Buenos Aires, Argentina

Dirección de contacto: jmmartinez@inti.gob.ar; (P)

Eje temático: 8. Metalurgia de la soldadura

Resumen

Los aceros inoxidable supermartensíticos son muy utilizados en las industrias del gas y del petróleo gracias a sus propiedades de alta resistencia mecánica, buena tenacidad y resistencia a la corrosión, especialmente en plataformas off-shore. Mediante diferentes tratamientos térmicos post-soldadura (PWHTs) se puede eliminar el contenido de ferrita (que perjudica la tenacidad y la resistencia a la corrosión) y aumentar el contenido de austenita, mejorando la tenacidad y ductilidad. Los parámetros de estos PWHTs son sensibles a la composición química, segregación, velocidad de calentamiento, entre otros aspectos. El objetivo de este trabajo es monitorear las transformaciones de la austenita en la microestructura del metal de soldadura de un acero inoxidable supermartensítico durante diferentes tratamientos térmicos, usando técnicas avanzadas. Para tal fin, a partir del metal de aporte puro de un acero inoxidable supermartensítico se extrajeron muestras que fueron sometidas a tratamientos térmicos de solubilizado, temple y revenido, utilizando un simulador termomecánico Gleeble (GTMS). Durante los ciclos térmicos se monitorearon las transformaciones de la austenita mediante dilatometría y difracción de rayos X de alta energía “in situ”, empleando un haz de luz Sincrotrón (XRD-IS). Las técnicas empleadas permitieron detectar las transformaciones de fase y su cinética, así como determinar las temperaturas críticas de transformación, de forma de optimizar los parámetros de los tratamientos térmicos.

Palabras clave: Austenita Revertida, Sincrotrón; DRX In Situ; Gleeble

Keywords: Reverted Austenite, Synchrotron; DRX In Situ; Gleeble

Los aceros inoxidable supermartensíticos (SMSS) poseen una mayor resistencia mecánica, tenacidad, resistencia a la corrosión y soldabilidad respecto al clásico acero inoxidable martensítico AISI 410/420, introduciéndose, en los últimos años, en las industrias del gas y petróleo, sustituyendo a los aceros inoxidable dúplex en aplicaciones off-shore, por cuestiones económicas. En la soldadura de estos aceros, tratamientos térmicos post-soldadura son usualmente empleados para revenir la martensita, buscando mejorar la tenacidad y ductilidad. Por un lado, tratamientos térmicos de solubilizado a 1000 °C, permiten eliminar el contenido de ferrita delta que podría haber quedado en la microestructura del metal de soldadura. Además, tratamientos térmicos intercríticos revenen la martensita y generan un alto contenido de austenita revertida en la microestructura a temperatura ambiente.

La estabilidad de las partículas de austenita en la microestructura de los SMSS está asociada a cuestiones químicas y estructurales. Es decir, en la estabilidad de austenita no solo influye la segregación de solutos gammágenos, sino también la densidad de dislocaciones. El objetivo de este trabajo es estudiar la transformación de la austenita (retenida y revertida) en la microestructura de un

depósito de soldadura de acero inoxidable supermartensítico durante diferentes ciclos térmicos, asociados a tratamientos térmicos post soldadura, mediante la técnica de difracción de rayos X (XRD) “in situ” de alta energía (Sincrotrón).

Se soldó una probeta de metal de aporte puro según la norma ANSI/AWS A5.22, mediante el proceso de soldadura GMAW, con Ar + 5% He, de acuerdo a lo presentado en la Figura 1.A. El consumible empleado fue un alambre tubular de 1,2 mm del tipo *metal cored*. En la Tabla 1 se muestran los parámetros de soldadura empleados, así como la composición química del metal de aporte puro obtenido, determinada por espectrometría de emisión óptica, a excepción de los contenidos de C, O y N que fueron analizados por técnicas de combustión.

Tabla 1: Parámetros de soldadura y composición química del MAP

Tensión (V)	Corriente (A)	Velocidad (mm/seg)	Calor aportado (kJ/mm)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	C (%)	O (ppm)	N (ppm)	Fe (%)
29	298	5	1,7	12,13	6,27	2,69	0,012	390	50	Bal.

Mediante la técnica de dilatometría se determinaron las temperaturas críticas a diferentes velocidades de calentamiento (1, 10 y 100 °C/segundo). Definida la velocidad de calentamiento y, con la intención de maximizar el contenido de austenita revertida a temperatura ambiente, se seleccionó una temperatura de revenido intercrítico 50 °C por encima de Ac1. Para monitorear la evolución microestructural, la muestra fue irradiada con un haz de luz de alta energía XRD, donde se realizaron adquisiciones (durante 3,15 s, momentos en azul) y Scan (durante 300 s, momentos en rojo) de la Figura 1.B. La misma posee una serie de números indicativos de las diferentes etapas, para estudiar la evolución microestructural que tuvo lugar (1: Scan en condición como soldado a 25 °C; 2: Adquisiciones durante el calentamiento a 1000 °C; 3: Adquisiciones a 1000 °C; 4: Adquisiciones en el enfriamiento a 25 °C; 5: Scan a 25 °C luego del solubilizado; 6: Adquisiciones durante el calentamiento a 665 °C; 7: Scan a 665 °C; 8: Adquisiciones en el enfriamiento a 25 °C; 9: Scan a 25 °C luego del solubilizado y revenido).

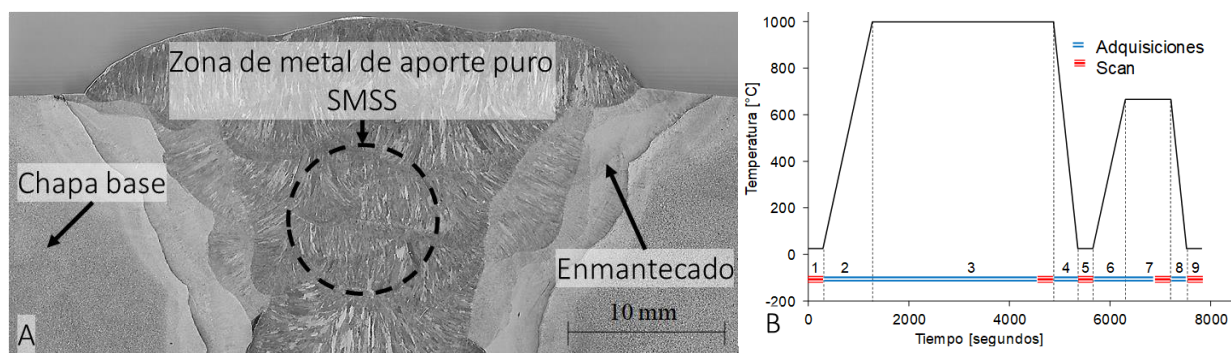


Figura 1.- A: Macrografía de la probeta de metal de aporte puro. B: Ciclo térmico de solubilizado y revenido. Tiempo en Adquisición (azul) y Tiempo en Scans (rojo) de XRD.

En la Figura 2 se muestran las curvas de dilatación en función de la temperatura, para las diferentes velocidades de calentamiento, donde se pueden visualizar las temperaturas críticas. La temperatura de revenido intercrítico definida fue de 665 °C, a fin de maximizar el contenido de austenita revertida en la microestructura a temperatura ambiente. La Figura 3 muestra un espectro de XRD de la etapa 1; de la etapa 8 y de la etapa 9 (Figura 1). Se identifican los picos correspondientes a la austenita (A) y a la martensita (M), para las diferentes etapas (de la 1 a la 9). En condición como soldado, (etapa 1) se puede observar que la microestructura, estuvo constituida por una matriz martensítica con un bajo contenido de austenita retenida, de aproximadamente 3 %. Durante los calentamientos, los picos

de A y M se desplazan hacia la izquierda (menores ángulos), asociado a fenómenos de dilatación. A partir de los 615 °C comienzan a crecer los picos de A y a disminuir los de M, indicando que se ha superado la Ac1. Posterior al solubilizado la microestructura está formada por un 100 % de martensita fresca. Con el revenido intercrítico a 665 °C se alcanza un 6% de austenita, un 36 % de martensita fresca y un 58 % de martensita revenida, condición que aporta una alta tenacidad y ductilidad. En la Figura 1 se muestra el contenido de austenita en etapas isotérmicas.

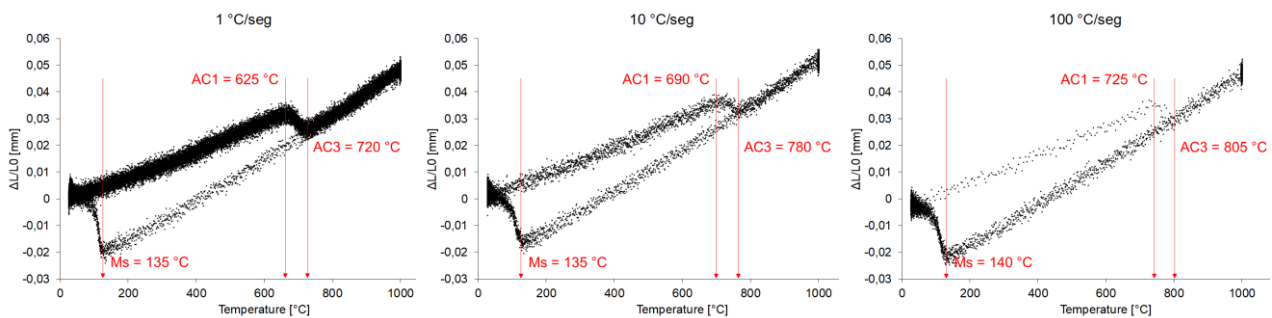


Figura 2: Curvas de dilatometría para diferentes velocidades de calentamiento

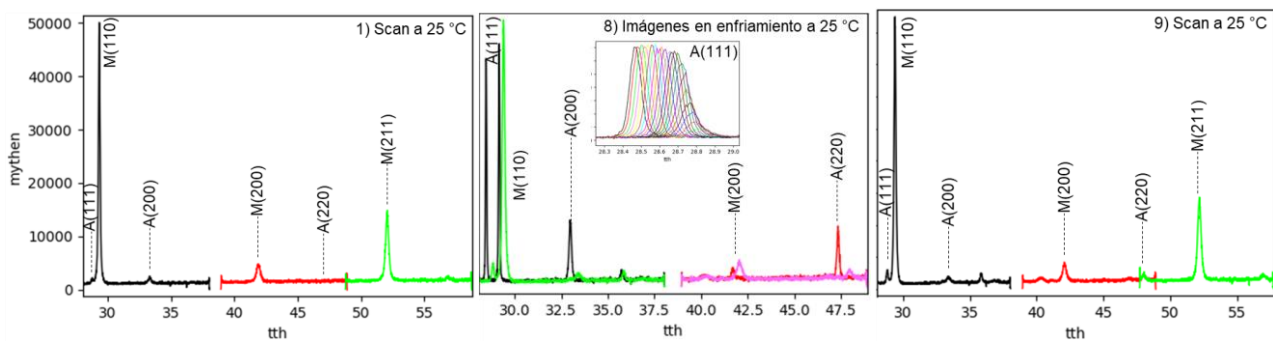


Figura 3: Etapas: 1, 8 y 9. 1: Scan en condición como soldado a 25 °C; 8: Adquisiciones en el enfriamiento a 25 °C; 9: Scan a 25 °C luego del solubilizado y revenido

Teniendo en cuenta los resultados experimentales, se llegó a las siguientes conclusiones:

1) Al aumentar la velocidad de calentamiento (1 a 100 °C/s), las temperaturas críticas de transformación aumentan entre 85 y 100°C. Además, el intervalo de transformación (Ac3-Ac1) se achica levemente, conforme aumenta la velocidad de calentamiento.

2) Luego del tratamiento térmico de solubilizado, a temperatura ambiente, se obtiene una estructura completamente martensítica, pero con una composición química uniforme. Dicha uniformidad química altera las temperaturas críticas de transformación y por ende, el contenido de austenita revertida a temperatura ambiente luego del revenido intercrítico.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a CONARCO ESAB, a Air Liquide, al INTECIN-CONICET, al LNLS (Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón) y a la FI-UNLZ.

Referencias

- [1] Zhang, Y. (2017). Microstructure Evolution and Orientation Relationship of Reverted Austenite in 13Cr Supermartensitic Stainless Steel During the Tempering Process. *Materials*, vol. 12, pp. 1-12.
- [2] Zappa, S. (2017). Effect of Post-weld Heat Treatment on the Mechanical Properties of Supermartensitic Stainless Steel Deposit. *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 26, pp. 514-521.