

ESTUDIO COMPARATIVO DEL EFECTO DE HIDRÓGENO EN ACEROS MLC 420 Y SAE 1045 SOLDADOS MEDIANTE SMAW

Mariano N. Inés^{1}, Mariano Bertucelli¹, Graciela A. Mansilla²*

1: Línea de Metalurgia Física, Departamento Metalúrgica/DEYTEMA. Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional. San Nicolás de los Arroyos, Argentina.

* e-mail: mines@frsn.utn.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se realizaron cupones de soldaduras SMAW sobre dos grados de aceros empleando electrodos secos, posteriormente se efectuó carga electrolítica de hidrógeno (H) para simular condiciones agresivas de ingreso de este elemento sobre las probetas de tracción construidas a partir de uniones soldadas con estos consumibles. En primer lugar, el objetivo de este trabajo es comparar la respuesta mecánica de estas muestras con y sin carga electrolítica de H, y en segundo lugar, evaluar mediante la aplicación de ataque metalográfico específico, en qué sectores de la estructura del acero quedó atrapado el H.

Palabras Claves: *Fragilización, Hidrógeno, Soldadura, Aceros, SMAW.*

COMPARATIVE STUDY OF THE HYDROGEN EFFECT IN STEELS MLC 420 AND SAE 1045 WELDED BY SMAW

ABSTRACT

In this work SMAW welding coupons were made on two grades of steels using dry electrodes, afterwards hydrogen (H) electrolytic charge was made to simulate aggressive conditions of H input on tensile samples that were constructed from welded joints. First of all, the objective of this work is to compare the mechanical response of these samples with and without H electrolytic charge, and the second one is to evaluate by means of a specific metallographic technique application, where H was occluded.

Keywords: *Embrittlement, Hydrogen, Welding, Steels, SMAW.*

1. INTRODUCCIÓN

Durante los procesos metalúrgicos de soldadura por arco eléctrico, el ingreso de hidrógeno (H) a la estructura del acero puede provenir de la atmósfera de trabajo, del consumible empleado y también del propio metal base. El efecto en conjunto de una microestructura sensible, junto con una concentración relativamente alta de H y bajo la presencia de esfuerzos triaxiales constituye una combinación ideal para generar fractura inducida por H [1], aún en aceros poco susceptibles a este fenómeno. La sensibilidad o susceptibilidad a la fractura inducida por H de soldaduras se da por una combinación de estos tres factores primarios, [2-4].

Este fenómeno de fragilización que acompaña a los aceros puede ir acompañado de productos de la corrosión, y por consiguiente, experimentar una pérdida considerable de sus propiedades mecánicas cuando éstos se exponen a medios hidrogenados. El hidrógeno es absorbido por el metal de forma atómica (H), causando fragilización, agrietamiento y/o ampollamiento. El agrietamiento inducido por hidrógeno es altamente influenciado por parámetros metalúrgicos como: inclusiones, bordes de grano, dislocaciones, entre otros [5].

Se sabe que la microestructura y la dureza de la zona afectada por el calor (ZAC) de las soldaduras de un acero tienen gran influencia en la Fisuración Inducida por Hidrógeno (FIH). Por ejemplo, la formación de martensita está relacionada con este fenómeno, [6-7], por lo que para evitar o mitigar la FIH deben seleccionarse correctamente los materiales y/o diseñar el proceso de soldadura de tal forma que inhiba la formación de este constituyente.

En este trabajo se llevan a cabo soldaduras SMAW con electrodos básicos en chapas de acero SAE1045 y microaleado MLC420; posteriormente sobre algunos de estos cupones soldados, se realizan cargas electrolíticas de H, y finalmente un estudio del comportamiento frente a sollicitaciones de tracción para poder evaluar el efecto que imparte el H en los cordones de soldadura en estos aceros.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Se realizaron cupones de junta soldada a tope biselados en V de 30°, empleando electrodos revestidos básicos de 3,2mm de diámetro sobre dos tipos de aceros, Tabla 1. Ambos presentaron un índice de grano 5-6 (IRAM- IAS U 500-122). Los consumibles se secaron previamente en una mufla según norma AWS A5.1/A5.1M:2004.

Tabla 1. Composición química de los aceros estudiados.

| Material | %C | %Mn | %Si | %S | %P | %Mo | %V | %Nb | %Al | %Ti | ppm N | ppm B |
|----------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
| SAE1045 | 0.43 | 0.7 | 0.3 | 0.05 | 0.04 | - | - | - | - | - | - | - |
| MLC420 | 0.082 | 1.22 | 0.13 | 0.006 | 0.019 | 0.010 | 0.003 | 0.043 | 0.058 | 0.037 | 40 | 2 |

A partir de las uniones soldadas, se mecanizaron probetas de tracción plana (Figura 1), y sobre un conjunto se efectuó carga electrolítica de H con ánodo de grafito y tensión constante de 2,1V, durante 2 horas. Se utilizó una solución electrolítica 1N H₂SO₄, con el agregado de 0,25 g/L de NaAsO₂ (agente promotor de H). Se realizaron ensayos de tracción transversal a la junta con velocidad de deformación 1,6x10⁻⁴s⁻¹, tanto para las probetas permeadas con H como para aquellas sin carga.

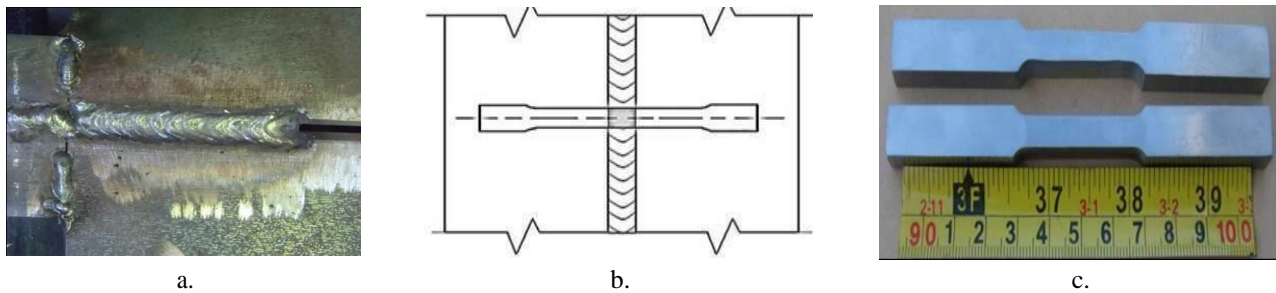


Figura 1. Esquema de un cordón de soldadura y del cupón con la ubicación de la probeta de tracción.

Se determinaron barridos de microdureza Vickers en el metal de soldadura (MS) y en la línea de fusión (LF). Además se analizó la microestructura mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM). Para revelar la presencia de H se utilizó la técnica de decoración con la plata desarrollada por Schober y Dieker [8].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los resultados de las curvas σ - ϵ obtenidos, ver Tabla 2, se desprende que, independientemente del grado de acero, las muestras cargadas con H, esto es, MLC420 (C) y SAE1045 (C), presentaron aumento de la tensión de fluencia (σ_F) y resistencia a la tracción (σ_R) respecto de sus pares sin carga de H, es decir, MLC420 (S) y SAE1045 (S). Sin embargo, en ambos casos el H provoca una leve disminución del alargamiento a la carga máxima.

Independientemente de la presencia de H, ambos aceros rompieron en el MS, comportamiento relacionado con las estructuras martensíticas originadas en la zona de la LF (MLC420) y reforzado por el H anclado en esa estructura, y con el frágil desarrollo de ferritas en bordes de grano del MS para el SAE 1045.

Tabla 2. Resultados ensayos mecánicos.

| Muestra | σ_F (MPa) | σ_R (MPa) | ΔL (mm) | H_V |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------|
| MLC420 (S) | 503,4 | 576,4 | 8,1 | 190 |
| MLC420 (C) | 515,9 | 594,6 | 6,5 | 200 |
| SAE1045 (S) | 466,4 | 661,4 | 4,6 | 529 |
| SAE1045 (C) | 471,1 | 680,7 | 4,2 | 596 |

Las superficies de fractura de las muestras de acero SAE 1045, con carga de H, evidencian sectores localizados de falta de ductilidad, Figura 2b, con áreas que denotan clivaje, no obstante es posible diferenciar un leve aumento del tamaño de los dimples en consonancia con lo expresado en [9], en cambio para el MLC420 hidrogenado, Figura 2d, se observaron grietas, consistente con el comportamiento mecánico descrito previamente y en conexión con [10] explicando el menor alargamiento evidenciado en las muestras cargadas.

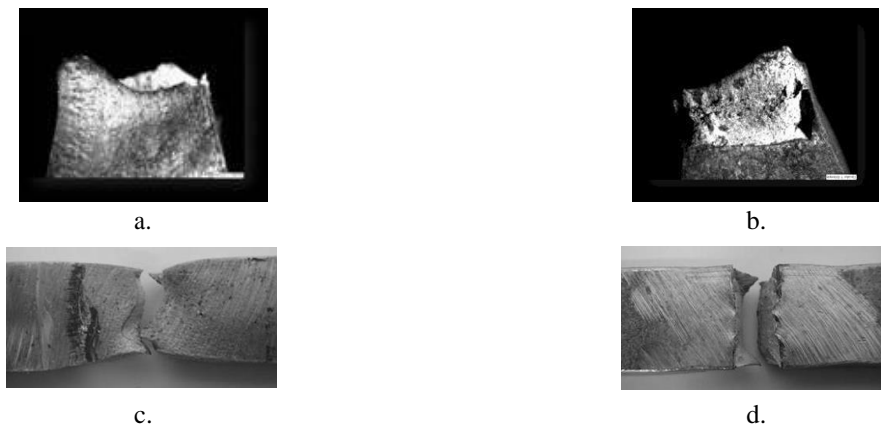


Figura 2. Superficies de fracturas en muestras sin carga de hidrógeno: a. Muestra SAE1045(S) y c. Muestra MLC420(S), y con carga electrolítica de hidrógeno: b. Muestra SAE 1045(C) y d. Muestra MLC420(C).

Analizando los incrementos de microdureza, se aprecia un mayor endurecimiento en las muestras con carga de H del acero SAE1045, tanto en el MS como en la LF, Tabla 2. Según propuesta de [11] y a través de la expresión(1), se calcula un Índice de Fragilización por H (IFH) que mide el efecto sobre la respuesta en tracción a través de la variación del área respecto a la muestra sin H.

$$IFH(\%) = \frac{(\%Ra_c - \%Ra_s)}{\%Ra_c} \quad (1)$$

Donde Ra_c representa el porcentaje de reducción de área en la muestra cargada, y Ra_s es el porcentaje de reducción de área de muestra seca.

En este sentido, resulta que el acero MLC 420 presentó el mayor índice (15) respecto del acero SAE1045 (11), quedando de manifiesto la mayor sensibilidad a la fractura por H del acero microaleado, lo que resulta consistente también con la menor elongación evidenciada por las probetas con carga de H respecto de las secas.

Mediante técnicas metalográficas especiales se determinaron los sitios de atrape de H evidenciados por partículas de Ag (metálica) precipitadas que cuando se observan con un microscopio electrónico se muestran

como partículas blancas, Figura 3.



Figura 3. Técnica de decoración con Ag [8] en: a. SAE 1045, y b. MLC 420.

En el acero SAE1045 se detectó gran cantidad de partículas de Ag vinculadas con las agujas de martensita en la interfase LF/MS, Figura 3a, justificando el aumento de la tensión máxima [10] pero no afectando el alargamiento, evidencia que se condice con lo indicado en Tabla 2. Por otra parte, en el acero MLC420 se observó escasa cantidad de partículas de Ag precipitadas, éstas asociadas a inclusiones de óxidos complejos de Ti-Mn-Si-Al en la región del MS (ver Figura 3b), consistente con el comportamiento mecánico evidenciado y manifiesto en una fractura con alto grado de fragilidad. Es decir, que el hidrógeno incorporado provocó un índice de fragilización mayor y condujo a un menor alargamiento.

4. CONCLUSIONES

Se puede concluir que si bien ambos aceros no son susceptibles a fenómenos de fragilización por hidrógeno, bajo las condiciones experimentales aquí impuestas, el acero microaleado MLC420 resultó ser el más sensible. Por consiguiente, deberán tenerse en cuenta los cuidados pertinentes para evitar el empobrecimiento de las propiedades mecánicas y su consecuente fragilización durante su procesamiento.

5. REFERENCIAS

- [1]. Pitrun M. The Effect of Welding Parameters on Levels of Diffusible Hydrogen in Weld Metal Deposited Using Gas Shielding Rutile Flux cored wires. Thesis Ph.D. Australia: The University of Wollongong, Dpt. of Materials Engineering, 2004.
- [2]. Pekka N. Predictive Model for the Prevention of Weld Metal Hydrogen Cracking in High Strength Multipass Welds. Thesis Ph.D. Finlandia: University of Oulu, Faculty of Technology, 2003.
- [3]. Gangloff R. P. Comprehensive Structural Integrity, Elsevier Science Press. 2003.
- [4]. Pitrun M. The Effect of Welding Parameters on Levels of Diffusible Hydrogen in Weld Metal Deposited Using Gas Shielding Rutile Flux Cored Wires. Thesis Ph.D. Australia: The University of Wollongong, Dpt. of Materials Engineering, 2004.
- [5]. Réquiz R, Camero S, Aristizabal V, Rivas A. Revista de Metalurgia. 2008; 44 (2): 101-112.
- [6]. Losz JMB, Saboury S, McNutt TM. ISIJ International. 1995; 35 (71).
- [7]. Nanninga N, Grochowski J, Heldt L, Rudman K. Science. 2010; 1237.
- [8]. Schober, Dieker C. Metallurgical Transactions A. 1983; (14A): 2440-2442.
- [9]. Albístur-Goñi, A, Fernández-Carrasquilla J. Revista de Metalurgia. 2008; 44 (2): 113-128.
- [10]. Tiwari GP, Bose A, Chakravartty JK, Wadekar SL, Totalni MK, Aira RN, Fotedar RK. Materials Science and Engineering. 2000; (A286): 269-281.
- [11]. Echegoyen R, Zappa S, Svoboda HG, Surian ES, De Vedia, LA, "Daño por Hidrógeno en Depósitos de Soldadura de Acero Inoxidable Supermartensítico". En: Congreso SAM/CONAMET 2009. Buenos Aires, Argentina. 2009.