Efecto del tratamiento térmico de envejecimiento a un acero microaleado tipo X-60

Gabriella Colombo, Frine Fuguet , Laura Saenz
Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación, Escuela de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, Email: lsaenz@postgrado.uc.edu.ve

Resumen

Se estudia el efecto del tratamiento térmico de envejecimiento realizado al acero microaleado tipo X-60 (ASTM A-808). El tratamiento térmico consta de dos fases: 1) Solubilización de la solución, la cual consistió en someter las probetas de tracción con una hora de permanencia en el horno a 1000 °C y templado en agua y, 2) un proceso de envejecimiento, proceso seguido de la solubilización en el cual se hizo permanecer el material en el horno a una temperatura de 600° C por tiempos de 1, 3, 5, 7 y 10 minutos respectivamente. Las propiedades mecánicas fueron evaluadas en el sentido de laminación utilizando probetas planas por duplicado y a temperatura ambiente en una maquina Instrom. La preparación metalográfica determino que el acero estaba constituido de perlita y ferrita. El mecanismo de fractura observado es el de coalescencia de cavidades, en las muestras tratadas térmicamente se observo la presencia de precipitados. En la condición de 3 minutos de tratamiento fue donde se obtuvo los mayores incrementos en las propiedades mecánicas evaluadas. La máxima capacidad de deformación plástica encontrada fue lograda en las condiciones de uno, cinco y siete minutos de tratamiento térmico.

Palabras clave: acero microaleado, envejecimiento, precipitados.

Effect of the aging thermal treatment over microalloyed stainless stell type X-60

Abstract

The effect of the aging thermal treatment performed over microalloyed stainless steel X-60 (ASTM A-808) is studied. The thermal treatment has two phases: 1) Solution treatment that consists in introducing the specimens for one hour in the furnace at 1000 ºC and water quenched, 2) Aging process for 1, 3, 5, 7, and 9 minutes at 600 ºC. The microalloyed steel has been evaluated with chemistry analysis, microscopy analysis, tension tests and microhardness tests. Plane specimens for tensile testing were machined from the plating; room temperature tensile tests were done by duplicate in Instrom tensile machine. Metallographic preparations determined that stainless steel was formed by ferrite-perlite phases. The mechanical properties were determined over rolled directions. The tension fracture surfaces are the large populations of shadow voids, and in the samples thermally treated, precipitation was observed. The best result for the mechanical properties was obtained for the condition of 3 minutes. The highest capacity of plastic deformation was determined in the cases of one, five and seven minutes of thermal treatment.

Keywords: Aged, microalloyed steel, thermal treatment.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la exigencia de la industria, el hombre se ha visto en la obligación de mejorar las propiedades de los aceros a través de los diferentes porcentajes o la adición de otros elementos. En las últimas décadas, las industrias petroleras y automotrices han creado una demanda para aceros económicos, con propiedades mecánicas continuamente mejoradas; por lo tanto los aceros microaleados juegan un papel importante debido a que incrementan sustancialmente sus propiedades: alta resistencia, tenacidad, soldabilidad y conformabilidad. La ventaja del acero microaleado respecto a los aceros al carbono y los aceros inoxidables,

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

es la composición química de los elementos aleantes, ya que éstos se encuentran en porcentajes muy bajos, proporciones de centésimas, lo cual hace que estos aceros sean más accesibles económicamente y con buenas propiedades mecánicas; sin embargo, éstas se pueden mejorar realizando tratamientos termomecánicos o tratamientos térmicos. Actualmente en SIDOR, principal siderúrgica de Venezuela, se fabrica el acero microaleado denominado X-60, el cual debido a la exigencia de procesos de ingeniería, se requiere ampliar la capacidad de uso de este material, por esta razón es necesario alterar las propiedades del mismo para aumentar la resistencia y la dureza, lográndose este objetivo con la realización del tratamiento térmico de envejecimiento. El objetivo del reforzamiento por precipitación es crear, en una aleación tratada térmicamente, una dispersión densa y fina de partículas precipitadas en una matriz de metal conformable. Las partículas precipitadas actúan como obstáculos del movimiento de las dislocaciones y, de ese modo, refuerzan la aleación tratada térmicamente. La presente investigación tiene la finalidad de ampliar la gama de uso del acero microaleado X-60 en aplicaciones industriales mediante el conocimiento del mismo. El acero microaleado X-60 es una creación relativamente nueva que busca cumplir las exigentes necesidades del sector industrial, y ha nacido de la idea de fabricar aceros económicos y con propiedades mecánicas mejoradas, por lo que los creadores del mismo se basan en la disminución de la cantidad de elementos aleantes [1].

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Material utilizado

El material utilizado es un acero microaleado tipo X-60 procedente de un proceso de colada continua producido por la siderúrgica del Orinoco, SIDOR, en forma de planchones de 500x500 (mm^2) con 14 mm de espesor.

2.2. Caracterización del Material

El análisis químico que se le efectuó al acero es del tipo cuantitativo, mediante la espectrofotometría por absorción atómica. La composición Química es mostrada en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero microaleado tipo X-60 (% Peso).

%C	**%Mn**	**%Si**	**%S**	**%P**
0,175	0,63	0,23	0,01	0,05
%Al	**%Ni**	**%Mo**	**%Cu**	**%Cr**
0,001	0,013	0,001	0,009	0,005

Las propiedades mecánicas fueron evaluadas a través del ensayo de tracción, las probetas fueron maquinadas acorde con la norma ASTM A370 [2],[3]. Las dimensiones de la probeta plana utilizada son mostradas en la Figura 1.

G = 50.0 ± 0.10 mm A = 60 mm
W = 12.5 ± 0.25 mm B = 50 mm
R = 13 mm C = 20 mm
L = 200 mm T = 5 mm

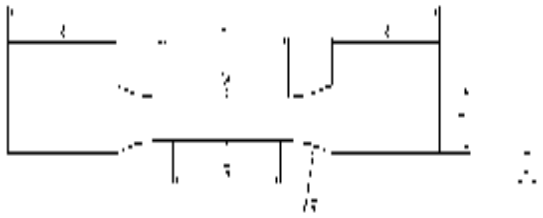


Figura 1. Dimensiones de la probeta de tracción utilizada.

2.3. Tratamiento Térmico

El tratamiento térmico realizado es el envejecimiento, el cual consiste en dos fases: primero se somete el material a un tratamiento, a una temperatura de solubilización de 1000 ºC con duración de una (1) hora, para luego ser templadas al agua. La segunda fase es el proceso de envejecimiento el cual se realizó a una temperatura de 600 ºC con una permanencia en el horno de 1, 3, 5, 7, y 10 min., y posteriormente el enfriamiento al aire, se realizo. Dichos tratamientos se efectuaron en un horno eléctrico, y además se utilizaron tres (3) probetas de tracción para cada condición.

2.4. Ensayo de Microdureza

La microdureza fue evaluada con la técnica Vickers (HV) utilizando una carga de 200 gramos.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

3. RESULTADOS

3.1 Ensayos Mecánicos

El efecto del tiempo de envejecimiento sobre el esfuerzo de fluencia σ_{ys}, el esfuerzo real uniforme máximo σ_{UTS}, y la ductilidad %RA, conduce a un incremento en la resistencia mecánica y una reducción de la ductilidad a medida que el tiempo de envejecimiento se incrementa. Este resultado no es sorprendente, ya que ha sido establecido que la mayoría de los tratamientos de endurecimiento de las aleaciones metálicas están asociados con una disminución de la ductilidad [4-6]. La mayor ductilidad (reflejada por la reducción de área) se obtuvo a 1 minuto de tratamiento con un 12,4 % de incremento con respecto a la condición original, seguida por la condición de 5 minutos con un porcentaje de incremento del 12,1 % y la condición de 7 minutos con un 11,2 %.

Tabla 2. Propiedades Mecánicas del acero microaleado tipo X-60 en su condición original (CO) y luego de ser tratado térmicamente.

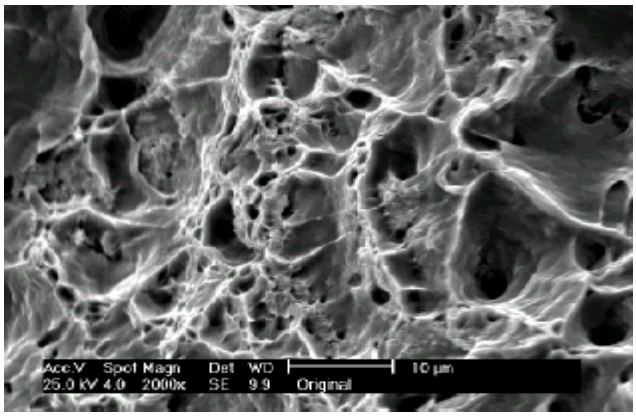
Condición	S_{ys} (0,2%) MPa	S_{UTS} MPa	RA (%)	n	HV (200 gr.)
OR	290	443	65	0,37	298
1 min	428	503	73	0,31	339
3 min	467	544	70	0,25	461
5 min	443	513	73	0,22	368
7 min	429	508	72	0,31	350
10 min	395	486	70	0,29	330

En la Tabla 2 se observa que el coeficiente de endurecimiento n disminuye a medida que aumenta el tiempo del tratamiento hasta la condición de 5 minutos. A partir de esta condición los precipitados se estabilizan y se comienza a recuperar su capacidad de deformación plástica [5], [6].

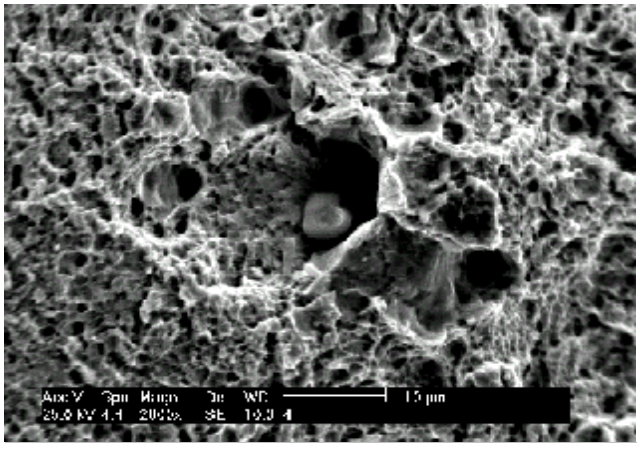
La mayor microdureza fue obtenida en la condición de 3 minutos de tratamiento con un aumento del 55 % respecto a la condición original, debido al endurecimiento provocado en el material producto de la formación de precipitados [7], [8].

3.2. Superficie de Fractura

Las superficies de fractura de las muestras de tracción fueron observadas a través de la técnica de microscopia electrónica de barrido (MEB), En la Figura 2 se puede observar la superficie de fractura de la muestra en su condición original, OR y la condición de envejecida a 600 °C por 3 minutos de tratamiento. El mecanismo de fractura es el de coalescencia de cavidades, enteramente dúctiles. Se evidenció la presencia de precipitados (ver Figura 2b), y por ED-X se determinó que los precipitados estaban compuestos por manganeso, molibdeno y aluminio en todas las condiciones de tratamiento térmico.



a) Condición Original



b) Condición de envejecimiento a 600 ºC por 3 min

Figura 2. Micrografía de la superficie de fractura del acero microaleado tipo X-60 observado por la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB) en la: a) Condición original. b) Envejecido a 600 ºC por 3 minutos.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

4. CONCLUSIONES

Se logró la formación de precipitados por efecto del tratamiento térmico de envejecimiento realizado al acero microaleado X-60 a una temperatura de 600 ºC, presentando un máximo de resistencia mecánica a los 3 minutos, obteniéndose un aumento de las propiedades en un 22,7 % en cuanto a la resistencia máxima a la tracción, y un 61 % en el esfuerzo de fluencia al ser comparado con la condición original.

Se evidenció la presencia de precipitados a través de la técnica de microscopía electrónica de barrido (M.E.B.), por ED-X se determinó que los precipitados estaban compuestos por manganeso, molibdeno y aluminio en todas las condiciones de tratamiento térmico.

La mayor ductilidad se obtuvo a 1 minuto de tratamiento con un 12,4 % de incremento con respecto a la condición original, seguida por la condición de 5 minutos con un porcentaje de incremento del 12,1 % y la condición de 7 minutos con un 11,2 %.

La mayor capacidad de deformación plástica, reflejada por el coeficiente de endurecimiento se obtuvo en las condiciones de 1 y 7 minutos de tratamiento, con un porcentaje de decrecimiento de un 16,21 % con la respecto a la condición original.

El coeficiente de endurecimiento n disminuye a medida que aumenta el tiempo del tratamiento hasta la condición de 5 minutos. A partir de esta condición los precipitados se estabilizan y se comienza a recuperar su capacidad de deformación plástica.

La mayor microdureza se presentó a los 3 minutos de tratamiento con un aumento del 55 % respecto a la condición original, debido al endurecimiento provocado en el material producto de la formación de precipitados y a la microestructura presente (ferrita y martensita).

En las fractografías realizadas sobre las superficies de fractura de las muestras de tracción se observa una superficie con una gran cantidad de cavidades, reflejando una buena ductilidad en el material para todas las condiciones, denotando un mecanismo de fractura por coalescencia de cavidades, tanto en la condición original como en las condiciones tratadas térmicamente.

Mediante la técnica de microscopía óptica se observa en el material una microestructura de ferrita y perlita en la condición original y luego de ser tratado térmicamente dicha microestructura se transforma en martensita y ferrita [7].

5. RECONOCIMIENTOS

Los autores reconocen el financiamiento del proyecto N° 99-03, y la ayuda menor para realización de Tesis otorgada por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo, CDCH-UC.

6. REFERENCIAS

[1] Mathias Militzer, Warren J. Poole. (1998). "Precipitation Hardening of HSLA steels". Materials Technology. Steel Research 69.

[2] Annual Book of ASTM Standards. (1978). "Steels plate, sheet, strip and wire; Metallic coated product". Philadelphia: American Society for testing and materials.

[3] ASTM METALS HANDBOOK. (1990). **"**Mechanics Testing". Vol. 10. Tenth Edition.

[4] Honeycomb, R.W.K. (1998). "Steels Microstructure and Properties". London: Edward Arnold Publishers.

[5] Meter, A. Trotón, Vito y Collangelo, J. (1987). "Ciencia de Materiales para Ingeniería". Prentice-Hall Hispanoamericano, S.A. Segunda Edición.

[6] Smith, William F. (1998). "Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales". Editorial McGraw-Hill. Segunda Edición. España.

[7] Delgado, Paola y De Menezes, Liliana. (1999). "Evaluación de la tenacidad a fractura y tenacidad a impacto de un acero microaleado X-60 de fabricación nacional". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica. Universidad de Carabobo.

[8] Barrios, Kianly y Pérez, Carlos. (1999). "Evaluación de las propiedades mecánicas de un acero miocroaleado X-60 sometido a diferentes tiempos de permanencia en el horno y enfriado al aire". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica. Universidad de Carabobo.

[9] Aguilar, César. Cedeño, Vicente. (2000). "Determinación de microestructura de acero al carbono y fundiciones de hierro mediante análisis computarizado de imágenes". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica. Universidad de Carabobo.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com