

Caracterización microestructural y análisis de precipitados en aleaciones Fe-Cr utilizados en tuberías de incineradores de residuos sólidos urbanos

ALCANTARA-Juan†, MEDINA-Manuel, SALAZAR-Rodrigo & FUENTES-Teresa

Recibido 10 de Abril, 2015; Aceptado 8 de Junio, 2015

Resumen

Objetivo, metodología: Fabricar y caracterizar aceros inoxidable y sus precipitados para elegir el más adecuado para su aplicación en incineradores de residuos sólidos urbanos. En este trabajo se fabricaron cuatro aceros inoxidable ferríticos, se trataron térmicamente a 1100 °C y se caracterizaron por análisis metalográfico, por microscopía electrónica de barrido para estudiar la distribución de los elementos Al, Si, Fe, Cr y Mo, por análisis elemental EDS para estudiar la composición de los precipitados, y se llevaron a cabo ensayos de dureza. Los resultados obtenidos demuestran que el tratamiento termomecánico disminuye el tamaño de los precipitados y es adecuado para su tratamiento térmico posterior. El acero que presenta las mejores propiedades para su uso en incineradores es el Fe9Cr1.5AlSi3Mo.

Precipitación en aleaciones, Residuos sólidos urbanos, Corrosión a alta temperatura.

Abstract

Objective, methodology: Fabrication and characterize four stainless steels and precipitates to select the most adequate for application in municipal solid waste incinerators (SWI). In this study, four ferritic stainless steels were produced, they were heat treated at 1100 °C and characterized by metallographic analysis, scanning electron microscopy to study the distribution of the elements Al, Si, Fe, Cr and Mo, by elemental analysis EDS to study the composition of precipitates, and carried out tests of hardness. The results show that the heat treatment decreases the size of the precipitates and is suitable for subsequent thermomechanical treatment. The steel having the best properties for use in incinerators is Fe9Cr1.5AlSi3Mo.

Precipitate in alloys, Solid Urban Waste, High Temperature Corrosion.

Citación: ALCANTARA-Juan, MEDINA-Manuel, SALAZAR-Rodrigo & FUENTES-Teresa. Caracterización microestructural y análisis de precipitados en aleaciones Fe-Cr utilizados en tuberías de incineradores de residuos sólidos urbanos. Revista de Tecnología e Innovación 2015, 2-3:369-376

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad el uso de nuevos materiales debe cumplir las exigencias de las cada vez más estrictas condiciones de trabajo a nivel industrial. Este trabajo se centra en la fabricación del tipo de aceros empleados en los intercambiadores de calor de los incineradores de residuos orgánicos para la generación de energía eléctrica, estos aceros se encuentran expuestos en condiciones corrosivas, a temperaturas superiores a 400°C. Estos materiales, pueden estar aleados además de con Cr con Cu, Ni, Mo, Nb, Ti, Al y Si. Recientemente se ha encontrado que el Aluminio y el Silicio aumentan la resistencia a la corrosión a altas temperaturas en las aleaciones Fe-Cr (Li, Niu, & Spiegel, 2009). Entre los aceros que son sujetos de constante desarrollo están los aceros inoxidable (Askeland, Fulay, & Wright, 2011). El acero inoxidable es un metal reactivo y se combina con el Oxígeno del aire o en cualquier otra condición oxidante para formar una película sobre el acero que lo aísla del medio agresivo (Castro Sedano, 2001). Entre los materiales que se han estado manejando para resolver esta nueva demanda se encuentran los aceros inoxidables de composición mejorada, ferríticos y austeníticos, con diferentes recubrimientos, sin embargo, los materiales deberán cumplir no sólo con sus características técnicas específicas, sino también con procesos de fabricación de bajo costo. En el presente trabajo se establece la investigación de aceros inoxidables ferríticos con adiciones de Al, Si y Mo, las cuales incrementan la resistencia a la corrosión a alta temperatura para su aplicación en incineradores de residuos sólidos urbanos tanto en México como a nivel mundial (Sanchez Pastén & Spiegel, 2006).

La importancia de este tipos de aceros, se debe a sus notables propiedades, una de las más trascendentes, es su gran plasticidad y maleabilidad a elevada temperatura, que permite transformar su forma o dimensiones (Laufgang, 2004).

Desarrollo Experimental

Se fabricó el acero Fe₉Cr₅Mo_{2.5}AlSi de acuerdo a la metodología reportada por (Sanchez Pastén & Spiegel, 2006), ya que es el que presenta mejores propiedades a la corrosión a altas temperaturas y tres variaciones de este modificando los contenidos de Mo, Al y Si. La fusión de estos aceros se realizó en un horno de inducción sin núcleo marca Inductotherm bajo la inyección de argón por la parte inferior por medio de una tobera y en la parte superior del horno con una tapa de acero inoxidable enfriada por agua para mantener una atmosfera libre de oxígeno, partiendo del acero 1020 y ferroaleaciones comerciales. Inicialmente se procesó el acero 1020 descarburándolo y desoxidándolo, luego se adicionaron los elementos de aleación calculados para obtener las composiciones establecidas en la tabla 1. Posteriormente las aleaciones fueron vaciadas en una lingotera de hierro en forma de un prisma trapezoidal. Los aceros fueron cortados en probetas de 1 cm x 1cm x1 cm para poder realizar la caracterización metalográfica por las técnicas de microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (MEB), microanálisis y microdureza Vickers (MDV), cabe mencionar que el equipo empleado para la MEB es un Jeol 6300. A partir del análisis microestructural en su condición de colada se trata a 1100 °C para homogenizar y obtener una mejora en las propiedades mecánicas de los materiales. En la tabla 1 se puede observar las composiciones nominales de los aceros fabricados

Acero	% peso					
	Fe	C	Cr	Al	Si	Mo
Fe9Cr2.5AlSi5Mo	80.9 2	0.08	9.00	2.50	2.50	5.0 0
Fe9Cr2.5AlSi3Mo	82.9 2	0.08	9.00	2.50	2.50	3.0 0
Fe9Cr1.5AlSi3Mo	84.9 2	0.08	9.00	1.50	1.50	3.0 0
Fe9Cr3AlSi3Mo	81.9 2	0.08	9.00	3.00	3.00	3.0 0

Tabla 1 Composiciones nominales de las aleaciones

Resultados

Monitoreo microestructural

La Figura 1 muestra la microestructura de los cuatro aceros fabricados en su condición de colada, en estos se observa una matriz completamente ferrítica, con granos totalmente desiguales y con precipitados al interior y en los límites de estos. Debido a esto se realizó un tratamiento de homogenizado a 1100 °C para redistribuir los elementos de aleación en la matriz ferrítica, ya que si no se aplica dicho tratamiento se puede producir fragilización, heterogeneidad química y microestructural, además de la difusión adecuada de solutos en la matriz, lo que representaría un obstáculo para el procesamiento, sobre todo para la aplicación de un tratamiento termomecánico posterior.

En la figura 2. se observan las micrografías de las muestras de los aceros en su condición de homogeneizado a 1100 °C durante tres horas. De acuerdo a la figura la figura 2 se observa que el grano aumenta su tamaño y es homogéneo así como que los precipitados son más pequeños que en su condición de colada. En las figuras 2 (b), (c) y (d) se muestran granos homogéneos con límites más definidos y con un aumento en el número de precipitados, esto provoca una disminución en la dureza como se reporta en la sección III.4.

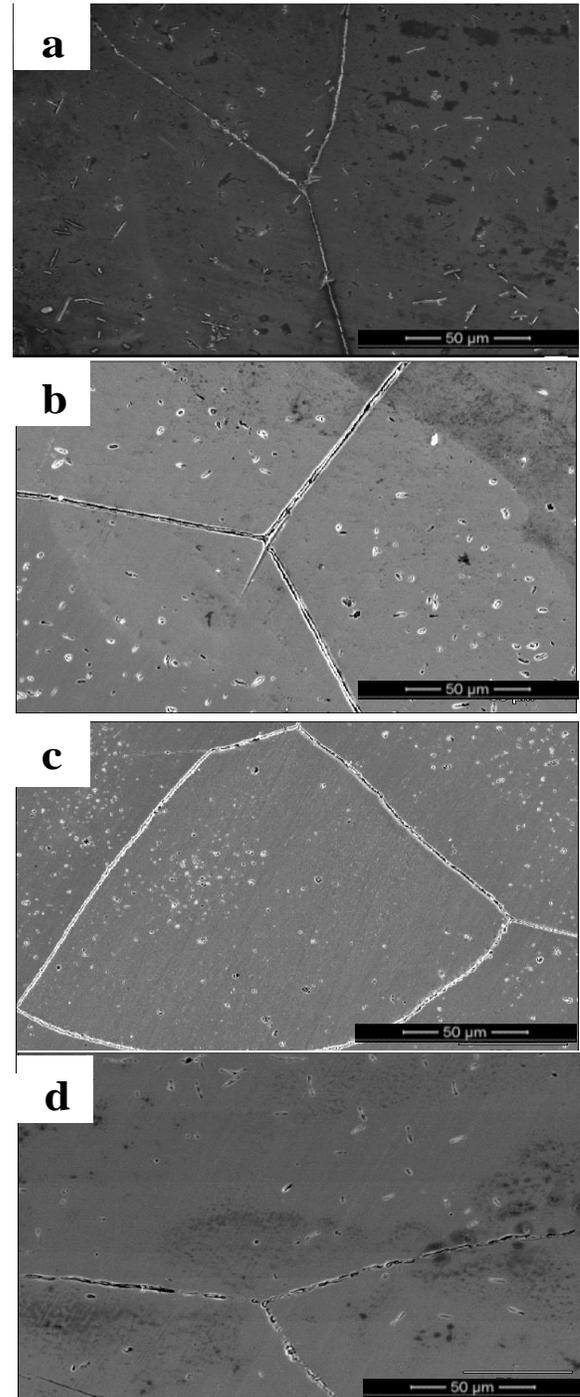


Figura 1 Microestructura de los aceros empleados en condición de colada. a) Fe9Cr2.5AlSi5Mo, b) Fe9Cr2.5AlSi3Mo, c) Fe9Cr1.5AlSi5Mo, d) Fe9Cr3AlSi3Mo.

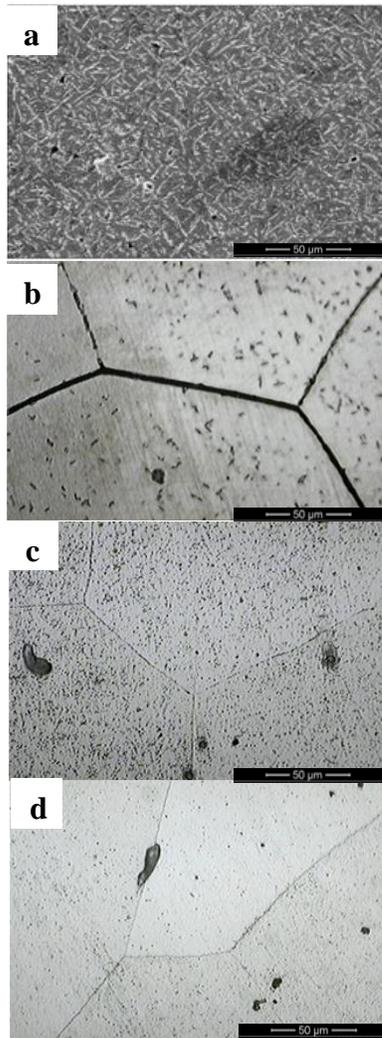


Figura 2 Microestructura de los aceros empleados en condición de tratamiento térmico. a) Fe9Cr2.5AlSi5Mo, b) Fe9Cr2.5AlSi3Mo, c) Fe9Cr1.5AlSi3Mo y d) Fe9Cr3AlSi3Mo

Mapeo por Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)

En la fig.3 se observa el mapeo del acero Fe9Cr2.5AlSi3Mo en condiciones de colada. Los precipitados se encuentran distribuidos homogéneamente, se encuentran también precipitados en los límites de grano, finalmente los demás elementos de aleación se encuentran homogéneamente distribuidos en la matriz.

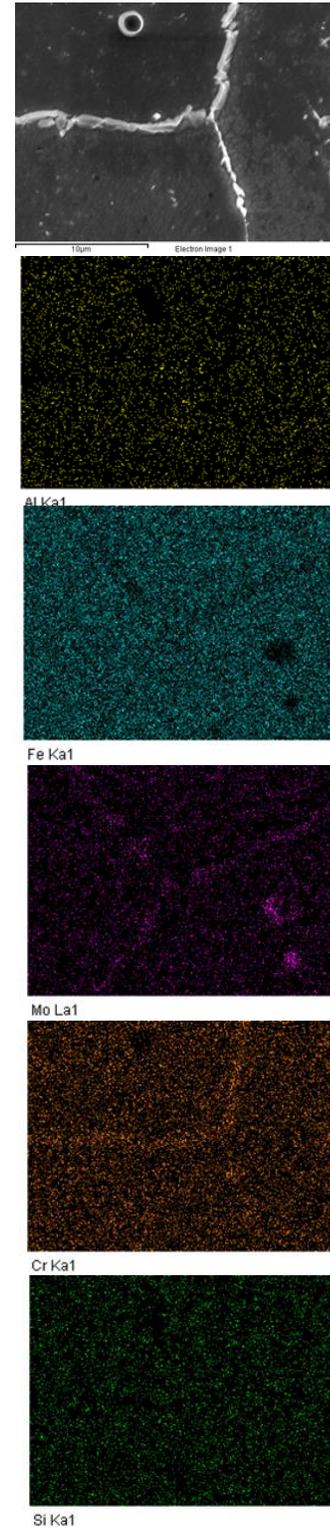


Figura 3 Mapeo del acero Fe9Cr3AlSi3Mo

En la fig. 4. Se muestra el mapeo del acero Fe9Cr3AlSi3Mo en condiciones de colada, se observan precipitados en forma de laminillas, las cuales son ricas en Cromo, Molibdeno y un poco de Hierro; los demás elementos se encuentran de forma homogénea en la matriz, igualmente se observan precipitados en los límites de grano.

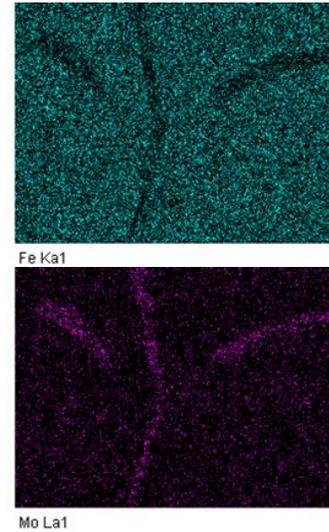
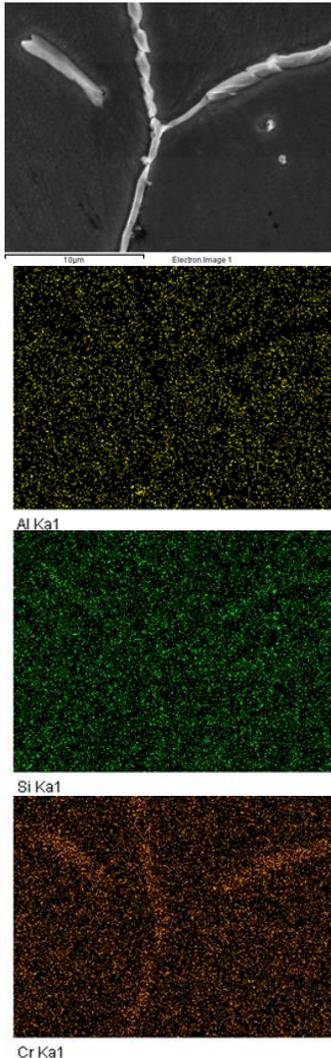


Figura 4 Mapeo del acero Fe9Cr3AlSi3Mo

Análisis puntual de precipitados

Debido a que se observa la presencia de precipitados en los aceros, se realizaron análisis puntuales. En las micrografías de las figuras 5 y 6 se observan tanto la microestructura (a). Una micrografía a mayores aumentos donde se observan claramente los precipitados en los límites de grano (b). Y finalmente la micrografía representativa de donde se realizó el análisis puntual (c).

En las Figuras 5c y 6b se observan las micrografías de los aceros en donde los precipitados son como agujas alargadas, los cuales al realizarles 10 análisis puntuales a cada acero para obtener un resultado más confiable de los elementos presentes, debido a que igualmente se realizaron mapeos que nos indicaron la presencia de Hierro (Fe), Cromo (Cr) y Molibdeno (Mo), dichos resultados de pueden observar en la Tabla de Elementos presentes en precipitados y observándose en la tabla que el contenido de elementos de aleación no afecta en la composición de los precipitados.

Muestra	Elemento (% atómico)		
	Fe	Cr	Mo
Fe9Cr2.5AlSi5Mo	75.86	10.02	2.00
Fe9Cr2.5AlSi3Mo	47.71	11.00	4.98
Fe9Cr1.5AlSi3Mo	53.69	10.85	0.00
Fe9Cr3AlSi3Mo	35.37	16.39	7.08

Tabla 2 Elementos presentes en precipitados.

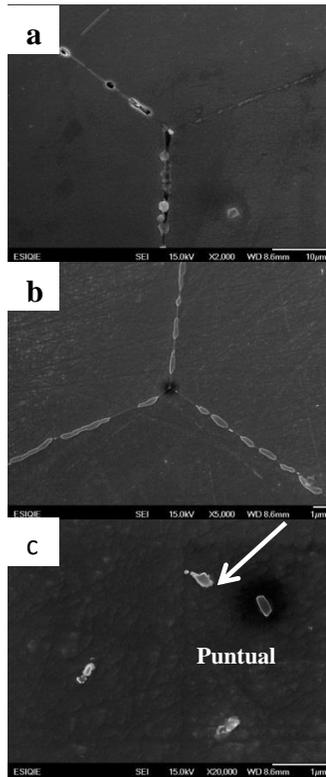


Figura 5 Micrografías de la aleación Fe9Cr1.5AlSi3Mo. a) Micrografía a 2000x b) Micrografía a 5000x y c) Micrografía a 20,000x indicando análisis de precipitados

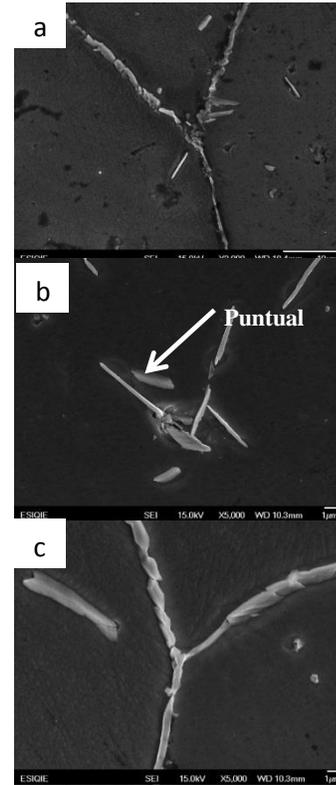


Figura 6. Micrografías de la aleación Fe9Cr3AlSi3Mo a) Micrografía a 2000x, b) Micrografía a 2000x indicando análisis de precipitados de la aleación y c) Micrografía a 5000x.

Microdureza HV

Se tomaron mediciones de dureza a muestras de colada y homogeneizadas. Las mediciones se llevaron a cabo de forma longitudinal y transversal con las siguientes condiciones carga 100 gf y un tiempo de indentación de 12 segundos. Se realizaron 10 lecturas por cada muestra.

En todos los casos se observa una reducción en la dureza por efecto del tratamiento térmico de homogenizado, así como una mayor homogeneidad entre las mediciones realizadas a las muestras. El acero Fe9Cr3AlSi3Mo presenta claramente una mayor dureza debido a sus altos contenidos de aleantes, principalmente el molibdeno.

On

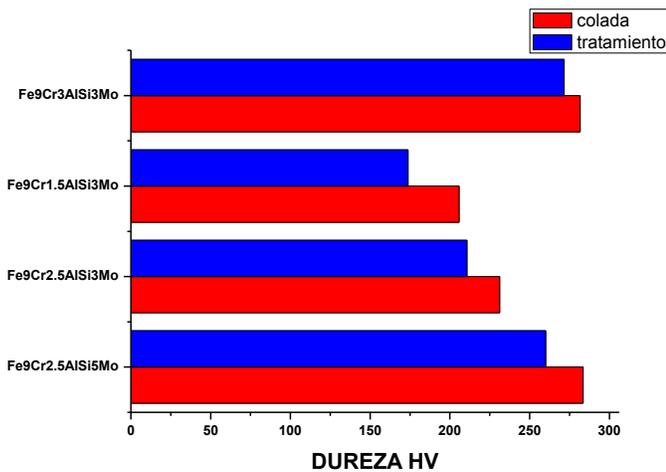


Figura 7 Dureza de los materiales

Al realizar ensayos de dureza al acero Fe9Cr1.5AlSi3Mo presentó valores de dureza muy variados debido a la presencia de precipitados en su condición de colada, pero después del tratamiento térmico resulta ser el de menor dureza y gran homogeneidad en las mediciones tomadas. En forma general, se observa un efecto muy marcado debido a los precipitados formados sobre la dureza del material. Sólo se probó una condición de tratamiento térmico (950°C y 3 h), pero otras condiciones podrían hacer variar el comportamiento de los precipitados.

Conclusiones

Debido a la heterogeneidad química y microestructural que presentan los aceros, impiden la difusión adecuada de solutos en la matriz, por lo que es un obstáculo para el procesamiento sobre todo para la aplicación de deformación plástica. Las características antes citadas se consideran importantes ya que afectan negativamente en el refinamiento del tamaño de grano.

El acero más indicado para su tratamiento termomecánico posterior es Fe9Cr1.5AlSi debido a que al realizarle el tratamiento térmico disminuyó su dureza esto puede dar pauta para su posterior procesamiento termomecánico y su uso en los incineradores de residuos sólidos para la generación de energía.

Los elementos de aleación Aluminio y Silicio se distribuyeron homogéneamente en la matriz, por otro lado el Hierro Cromo y Molibdeno formaron precipitados tanto en los granos como en los límites de grano pero al aplicarles el tratamiento térmico hubo una disminución en tamaño, pero aumento el número de estos precipitados.

Referencias

- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2011). Ciencia e ingeniería de materiales. México D. F.: CENGAGE Learning.
- Castro Sedano, D. (2001). Apuntes sobre aceración y colada continua. México D. F.: IPN.
- Laufgang, S. G. (2004). Tratamiento térmico de soldadura – prueba hidráulica de gasoductos. México D. F.: Termo Soldex S.A.

Li, Y. S., Niu, Y., & Spiegel, M. (2009). High temperature interaction of Al/Si modified Fe-Cr alloys with KCl. *Corrosion Science*, 1799-1815.

Sanchez Pastén, M., & Spiegel, M. (2006). High temperature corrosion of metallic materials in simulated waste incineration environments at 300-600 ° C. Dortmund: Shaker Verlag.