

## EFFECTO DE TRATAMIENTO TÉRMICO EN ALEACIONES FeAl<sub>1%</sub>atLi EXPUESTAS A PRUEBAS DE OXIDACIÓN EN DIFERENTES TEMPERATURAS.

Effects of heat treatment in FeAl<sub>1%</sub>atLi alloys in oxidation test at different temperatures.

### RESUMEN

La adición de Li en aleaciones intermetálicas base Fe<sub>3</sub>Al ayuda en la mejora de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. Las aleaciones se producen con técnicas convencionales de vaciado usando crisoles de SiC y se someten a un tratamiento térmico de 400°C por 144h. Se realizaron pruebas de oxidación de alta temperatura en termobalanza con atmósfera estática a temperaturas de 650, 800 y 900 °C las cuales indicaron una diferencia en la cinética de oxidación entre las muestras con tratamiento térmico y sin el. Por análisis de Microscopía electrónica de barrido se pudo ver que la capa de oxidación es más uniforme cuando se tiene tratamiento térmico.

**PALABRAS CLAVES:** Tratamiento térmico, Aleaciones FeAl<sub>1%</sub>atLi, oxidación, Alta temperatura

### ABSTRACT

*The addition of lithium in intermetallic alloys based on Fe<sub>3</sub>Al improves mechanical properties and corrosion resistance. This alloys are produced by conventional induction furnace techniques, using SiC crucibles and a thermal treatment of 400° C by 144 h. Oxidation tests of high temperature were carried out in a Thermogravimetric analyzer (TGA) in a static atmosphere at 650, 800, and 900 °C. this tests revealed a differences in the oxidation kinetic between the samples with the thermal treatment and those without the treatment. A scanning electron microscopy (SEM) analysis, revealed that the oxidation layer is more uniform when the thermal treatment is applied.*

**KEYWORDS:** Heat treatment, FeAl<sub>1%</sub>atLi alloys, high temperature oxidation.

### DIANA MOYA NEVAREZ

Ingeniero Civil, M. C.  
Candidato a Ph.D.  
[diana.moya@cimav.edu.mx](mailto:diana.moya@cimav.edu.mx)

### J. CHACON NAVA

Corrosion science and Ingeniering,  
PhD  
Investigador titular  
[jose.chacon@cimav.edu.mx](mailto:jose.chacon@cimav.edu.mx)

### F. ALMERAYA CALDERON

Material science, PhD  
Investigador titular  
[facundo.almeraya@cimav.edu.mx](mailto:facundo.almeraya@cimav.edu.mx)

### G.GONZALEZ RODRIGUEZ

Corrosion science and Ingeniering,  
PhD  
Investigador titular  
[ggonzalez@uaem.mx](mailto:ggonzalez@uaem.mx)

### A. MARTÍNEZ-VILLAFANE

Físico Matemático, Ph.D.  
Investigador titular  
[alberto.martinez@cimav.edu.mx](mailto:alberto.martinez@cimav.edu.mx)

\*Centro de Investigación en  
Materiales Avanzados S.C.  
(CIMAV).

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a la excelente resistencia a la oxidación en alta temperatura, densidad y un costo relativamente bajo [1,2], las aleaciones base Fe<sub>3</sub>Al y FeAl a pesar de su pobre ductilidad son recomendables ya que en la industria uno de los parámetros más importantes es la corrosión o deterioro del material ya que genera grandes pérdidas económicas cada año; tomando en cuenta que en hornos e incineradores existen cambios de temperatura y en ocasiones formación de sales fundidas que destruyen el material y pueden provocar graves fallas, se ha estudiado el comportamiento de intermetálicos base FeAl con adiciones de Li, y se ha encontrado que mejora la resistencia a la corrosión en sales fundidas [3].

La adición de Li a compuestos de FeAl mejora la ductilidad, también si se agrega Ni aumenta el esfuerzo y aumenta los valores de dureza [4], es por ello

que el interés en el estudio de aleaciones intermetálicas adicionadas con otros metales a incrementado ya que si se observan mejoras en las aleaciones.

Una de las partes importantes que se debe controlar en una aleación es la microestructura y la adición de elementos, ya que estos mejoran las propiedades mecánicas [5-7]. Por otro lado los tratamientos térmicos favorecen a los intermetálicos en la resistencia a la corrosión [8] ya que reducen la velocidad de corrosión cuando están expuestos a diferentes atmósferas corrosivas y altas temperaturas.

La finalidad del presente trabajo es estudiar la velocidad de corrosión en aleaciones de FeAl<sub>1at%</sub>Li con y sin tratamiento térmico, en un medio estático a temperaturas de 650, 800 y 900°C con una duración de 48h, mediante TGA y Microscopía electrónica de barrido (MEB).

### Procedimiento experimental.

Aleaciones con relación  $Fe_3Al$  se obtienen con técnicas convencionales de vaciado. La adición de 1,3 y 5 %at de Li se hacen con una pureza de elementos de 99.9% y se funden en crisoles de SiC. Los lingotes resultantes son acorde a la norma ASTM E800b, con dimensiones cilíndricas de 1.27 cm de diámetro y 5.08 cm de longitud en secciones de prueba, las dimensiones en la sección final son de 6.35 cm.

Después del fundido la homogenización se lleva a cavo mediante un tratamiento térmico a temperatura de 400°C en un periodo de 144 horas. Las piezas fueron cortadas con un disco abrasivo de SiC quedando así muestras con dimensiones aproximadas a 2.5 X 5 X 1 mm. La caracterización de microestructura se obtiene usando MEB, con una preparación metalográfica basada en pulido mecánico teniendo como acabado final pasta de diamante de 1µm y posteriormente el gravado químico se lleva a cavo con una solución de 50%  $CH_3COOH$ +33%  $HNO_3$ +17%  $HCl$ .

Las muestras se someten a una prueba de corrosión por medio de termogravimetría (TGA) en atmósfera estática durante 48 h a temperaturas de 650, 800 y 900°C; siendo estas con tratamiento térmico y sin tratamiento térmico.

Después de la prueba de corrosión se llevan al MEB para observar la morfología de óxidos y se procede a determinar la velocidad de corrosión detectada de acuerdo al cambio de peso.

### Resultados

La combinación de elementos es usada recientemente para aumentar las propiedades mecánicas en aleaciones intermetálicas de FeAl estas pueden ser mejoradas con diferentes elementos o combinación de ellos, por ejemplo la adición de Li aumenta la ductilidad en estas aleaciones [4]. En esta investigación se observa el efecto de agregar 1% at de Litio a un intermetálico base  $Fe_3Al$ .

En las figuras 1 y 2 se observa que la ganancia en peso cambia dependiendo de la temperatura a la que se exponga, es decir que las muestras expuestas durante 24 horas a 650, 800 y 900 °C en una atmósfera estática muestran una variación en cuanto al cambio de peso, dependiendo si estas tienen tratamiento térmico o no; siendo las expuestas con temperatura de 650 °C las que tienen un cambio mayor.

En la tabla 1 se indican las velocidades de corrosión obtenidas en cada uno de los casos y es notoria la diferencia de Kp para muestras con tratamiento térmico y sin tratamiento térmico siendo las primeras las que presentan menor velocidad de corrosión a excepción de

las muestras a 900 °C que tienen una Kp mayor cuando están tratadas

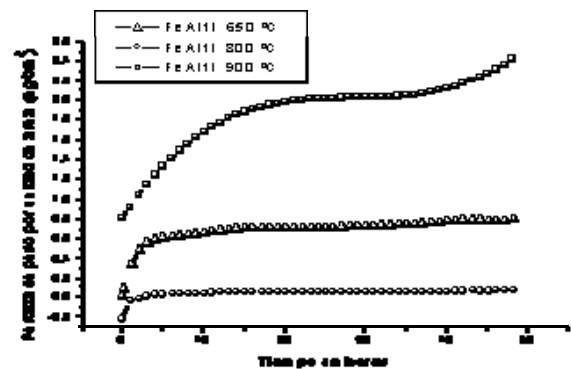


Figura 1. Gráfica de Análisis Termogravimétrico (TGA) a muestras de  $FeAl_{1\%}$  con Tratamiento Térmico a Temperaturas de 600, 800 y 900°C.

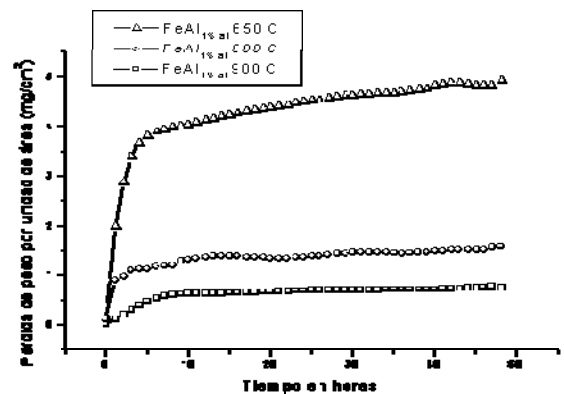


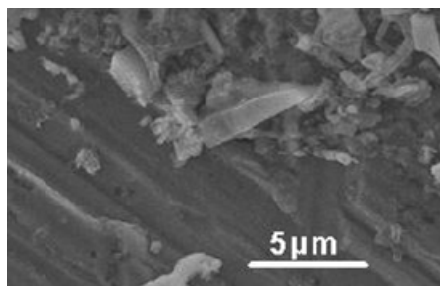
Figura 2. Gráfica de Análisis Termogravimétrico(TGA), a muestras de  $FeAl_{1\%}Li$  sin Tratamiento Térmico a Temperaturas de 650, 800 y 900°C

En las imágenes tomadas en el Microscopio electrónico de barrido es claro observar el óxido formado en mayor cantidad en muestra sin tratamiento térmico que en  $FeAl_{1\%}Li$  con tratamiento térmico a temperatura de 650°C (Fig. 3 a y b).

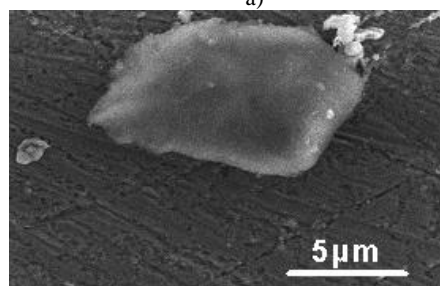
Al exponer las muestras a una temperatura de 800 °C se tiene que el aumento de peso es mínimo en comparación a las muestras expuestas a 650 y 900 °C pero si se observa que la formación de la capa de óxido es diferente, ya que en la muestra tratada térmicamente se presenta una capa uniforme y en la muestra sin tratamiento hay secciones de costra (Fig. 4 a y b)

FeAl <sub>1%</sub> at Li	Con tratamiento térmico	Sin tratamiento térmico
Temperatura (°C)	Kp (g <sup>2</sup> cm <sup>4</sup> s <sup>-1</sup> )	Kp (g <sup>2</sup> cm <sup>4</sup> s <sup>-1</sup> )
650	7.3X10 <sup>-3</sup>	4.1X10 <sup>-2</sup>
800	1.63X10 <sup>-3</sup>	1.2X10 <sup>-2</sup>
900	2.27X10 <sup>-4</sup>	.85X10 <sup>-2</sup>

Tabla 1. Kp de muestras con y sin tratamiento térmico a 650, 800 y 900 °C

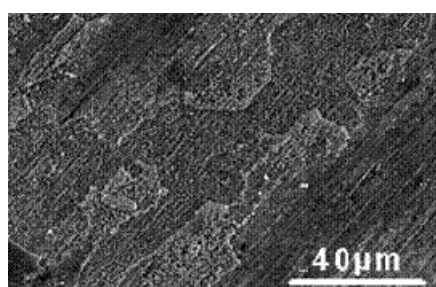


a)



b)

Figura 3. Imágenes en Microscopio Electrónico de Barrido de muestras de FeAl<sub>1%</sub>Li en una atmósfera estática a 650°C a)tratamiento térmico, b) con tratamiento térmico.



a)

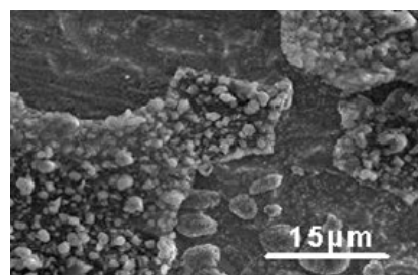


Figura 5. Imágenes en Microscopio Electrónico de Barrido de muestras de FeAl<sub>1%</sub>Li en una atmósfera estática a 900°C a) sin tratamiento térmico, b) con tratamiento térmico

### Conclusiones

1. El tratamiento térmico en aleaciones de FeAl<sub>1%</sub>atLi disminuye la velocidad de corrosión en temperaturas de 650 y 800 °C.
2. A 800°C la capa de oxido es mas uniforme en muestras con tratamiento que sin el.
3. La ganancia en peso desminuye en muestras con tratamiento térmico cuando se exponen a 650°C.
4. A 900°C el rompimiento de la costra es igual con y sin tratamiento térmico.

### Bibliografía

- [1] J. Klöwer , *Proceedings of the Second International Conference on Heat-resistant Materials* Gatlinburg,, Gatlinburg, TN, 11-14 September, 1995.
- [2] P.F. Tortorelli, K. Natesan, Mater. “Critical factors affecting the high-temperature corrosion performance of iron aluminides” *Sci. Eng. A* 258 (1998) 115-125.
- [3] J.G. González-Rodríguez, A. Luna-Ramírez, M. Salazar, J. Porcayo-Calderon, G. Rosas and A. Martínez-Villafañe, “Molten salt corrosion resistance of FeAl alloy with additions of Li, Ce and Ni “ *Materials Science and Engineering: A* [Volume 399, Issues 1-2](#), 15 June 2005, Pages 344-350
- [4] M. Salazar, A. Albiter, G. Rosas, R. Perez, “Structural and mechanical properties of the AlFe intermetallic alloy with Li, Ce and Ni additions” *Materials science and ingenieering A351* (2003) 154-159.
- [5] R. Balasubramaniam, “Alloy development to minimize room temperature hydrogen embrittlement in iron aluminides”. *Alloys Compounds* 253-254 (1997) 148-151
- [6] C.T. Liu, E.P. George, P.J. Maziasz, J.H. “Recent advances in B2 iron aluminide alloys: deformation, fracture and alloy design” *Schneibel, Mater . Sci Eng. A258* (1998) 229-235
- [7] V.K. Sikka, D. Wilkwning, J. Liebetrau, B.Mackey, “Melting and casting of FeAl-based cast alloy” *Sci. Eng. A258* (1998) 229-235. Measurement and Interpretation of Internal/Residual Stresses
- [8] Gonzalez-Rodriguez J.G.; Casales M.; Amaya M.; Martinez L., “Effect of heat treatment on corrosion behaviour of deposited Fe-40Al intermetallics” [British Corrosion Journal](#), Volume 36, Number 1, January 2001 , pp. 65-69(5).