

Evaluación del comportamiento de FeAl 40%at. durante pruebas de forja

O.Flores* y L. Martinez**

* Laboratorio Cuernavaca-instituto de Física, UNAM. Cuernavaca, Morelos, México. A.P. 48-3 C.P. 62251

** Facultad de Química, UNAM. D.F. México.

(Recibido el 20 de noviembre de 1998, aceptado el 27 de enero de 1999)

Resumen

El desarrollo de materiales con mejor desempeño en aplicaciones a alta temperatura ha impulsado la investigación y desarrollo de nuevos materiales con mejor resistencia mecánica y resistencia a la oxidación. En los últimos años se ha desarrollado una intensa investigación en los compuestos intermetálicos, dentro de estos el sistema FeAl aparece como un material potencialmente útil para sustituir a algunos aceros inoxidable y algunas super aleaciones de manera ventajosa. El presente trabajo se realizó en evaluó el comportamiento de FeAl40 con adiciones de B y Al2O3 durante forja a alta temperatura de muestras atomizadas y sometidas a HIP. La presencia de B mejora el comportamiento del FeAl40 así como también la presencia de las partículas de alúmina.

Palabras claves: Aleaciones, forja, materiales, comportamiento mecánico

1. Introducción

Por muchos años el desarrollo de las aleaciones para servicio a alta temperatura en términos de resistencia mecánica y resistencia a la oxidación se ha basado en el Fe, en el Ni, en el Co y en el Ti. Pero a pesar de los avances realizados en las tecnologías de fabricación y control microestructural de los materiales, no ha sido posible un aumento efectivo de la temperatura de operación de estas aleaciones. Los requerimientos de combinación de las propiedades de los materiales para las presentes y nuevas aplicaciones son aparentemente superiores a las mejoras obtenidas en las aleaciones metálicas convencionales. Esta necesidad ha estado impulsando la investigación y desarrollo de materiales alternativos, con mayor resistencia y ligereza, además de una temperatura potenciaj de operación mayor comparada con las presentes aleaciones. Dentro de este contexto, las actividades de investigación y desarrollo están en progreso en un amplio rango de materiales. Dentro de estos se pueden mencionar a los cerámicas, los polímeros, los materiales compuestos y a los compuestos intermetálicos, los que eventualmente encontrarán aplicación.

Uno de los materiales considerados para cubrir esta demanda son los compuestos intermetálicos, motivo de estudio durante los últimos 30 años [1-7]. Estos presentan una variedad de combinación de propiedades que los hace

interesantes y prometedores para cubrir estas necesidades. Dentro de los compuestos intermetálicos el FeAl presenta algunas ventajas sobre algunos otros compuestos intermetálicos. Algunas de estas son: el ahorro de materiales estratégicos, resistencia mecánica atractiva a temperaturas elevadas, una baja densidad combinada con un elevado punto de fusión. Sin embargo, su pobre ductilidad y fragilización por el medio ambiente ha frenado la aplicación potencial de este tipo de materiales.

El desarrollo exitoso de nuevos materiales basados en los compuestos intermetálicos depende fuertemente del mejoramiento de la ductilidad y tenacidad. Los esfuerzos encaminados a lograr estas mejoras se realizan actualmente por varias rutas: adiciones de elementos en solución sólida, modificación de la estructura cristalina, reforzamiento de los límites de grano por microaleación, refinamiento del tamaño de grano y aproximación a un monocristal. Se ha demostrado que la fragilidad de estos compuestos no se debe a propiedades intrínsecas del material, por lo que se hace necesario profundizar en los mecanismos de deformación y fragilización que se presentan en este tipo de materiales. Su posible ductilización permitiría su aplicación en usos estructurales, con los beneficios económicos inherentes a la sustitución de materiales por otros más baratos y de menor densidad manteniendo las propiedades mecánicas y la resistencia a la oxidación.

En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos durante pruebas de forja en el compuesto intermetálico de composición FeAl40%at. con adiciones de B y partículas de Al_2O_3 en muestras producidos por atomización.

2.Procedimiento experimental

Todas las composiciones se dan en por ciento atómico a menos que se indique otra relación. Una aleación maestra de FeAl40 fue fabricada utilizando Fe y Al de 99.99% en peso de pureza. La aleación fue fundida en un horno de inducción bajo una atmósfera protectora de argón seguido de colada por gravedad en un molde cilíndrico de grafito. De la barra cilíndrica se obtuvo una muestra que fue preparada para su observación metalográfica. La barra cilíndrica fue refundida para realizar el ajuste de la composición mediante la adición de B, posteriormente se solidificó por atomización. Durante este proceso se realizó la adición de las partículas de alumina. Las piezas obtenidas fueron seccionadas por electroerosión en una maquina Fine Sodick A320D Mark EXEDW, hasta obtener muestras cúbicas de 1 x 1 x 1 cm. Estas muestras fueron preparadas para su observación metalográfica de la siguiente manera: las piezas fueron desbastadas con lijas del número 120 a 600; posteriormente fueron pulidas con alumina de 1 y 0.3 μm . Para revelar la microestructura se empleó una solución de Glicerol:HCl:HNO₃ en la proporción 3:2:1. Las pruebas de forjas fueron realizadas en muestras atomizadas y con HIP (Hot Isostatic Pressing) durante 1 hr. a 11000C en atmósfera de Ar. Las muestras cúbicas fueron forjadas con un martillo de caída libre con una energía de impacto de $\sim 637J$. La temperatura de calentamiento previo a la forja fue de 1100 °C durante 30 min. Las muestras deformadas fueron seccionadas por la mitad y preparadas para la observación metalográfica con la secuencia antes descrita.

3.Resultados y discusión

La muestra colada en el molde de grafito presenta alta porosidad producida por evolución de gases disueltos durante la solidificación, como puede apreciarse en la Figura 1a; estos son principalmente hidrógeno y oxígeno[8]. La Figura 1b, muestra la microestructura del FeAl40 de colada con tamaño de grano del orden de 1 mm.

Presenta además, grietas intergranulares con desprendimiento de algunos granos haciendo evidente la poca adhesión entre los límites de grano.

La forma de las piezas obtenidas durante la atomización se ejemplifica en la Figura 2. Estas muestran un halo azul alrededor de la base, probablemente producido por

sobrecalentamiento en esta región. La metalografía realizada en la mitad de estas piezas resulta en una distribución heterogénea de los tamaños de grano en las muestras de FeAl40 (a) y de FeAl40+B (b) a diferencia de la de FeAl40+B+ Al_2O_3 (d), esto se muestra en la tabla 1.

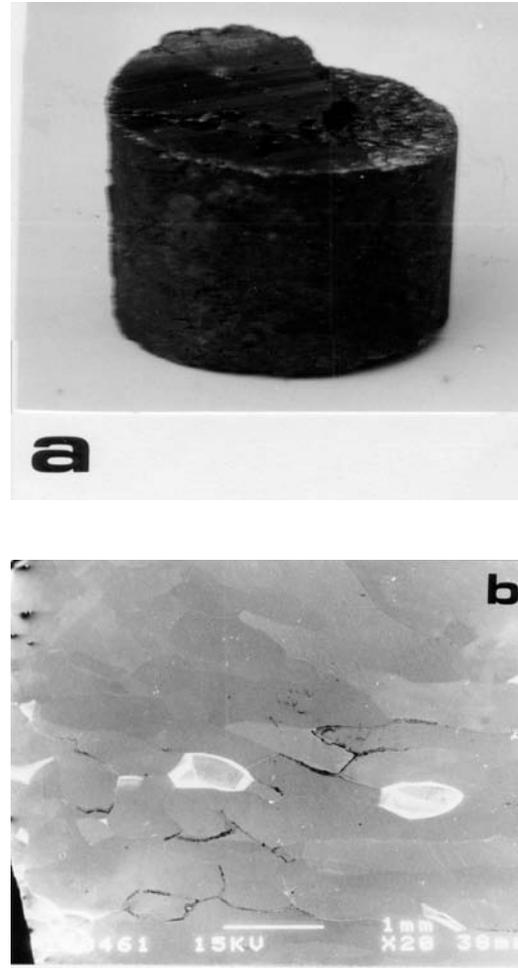


Figura 1: a) FeAl40 de colada con alta porosidad producida por evolución de gases durante la solidificación. b) Microestructura del material de colada.

Esta distribución heterogénea en las piezas (a) y (b) debe ser producida por varios factores que afectan al proceso de atomización, dentro de estos se encuentran: una temperatura del metal líquido mayor a la ideal, una distancia menor de la boquilla al sustrato donde se deposita el atomizado [9]



Figura 2: FeAl40 refundido y solidificado por atomización.

Tabla 1. Tamaños de grano medido en μm , medidos en las tres piezas fabricadas por atomización, las regiones se muestran en la Figura 3.

Región	FeAl40	FeAl40+B	FeAl40+B+Al ₂ O ₃
1	31	95	29
2	128	159	28
3	120	147	28
4	114	189	24
5	20	22	22
6	114	278	21
7	154	189	18

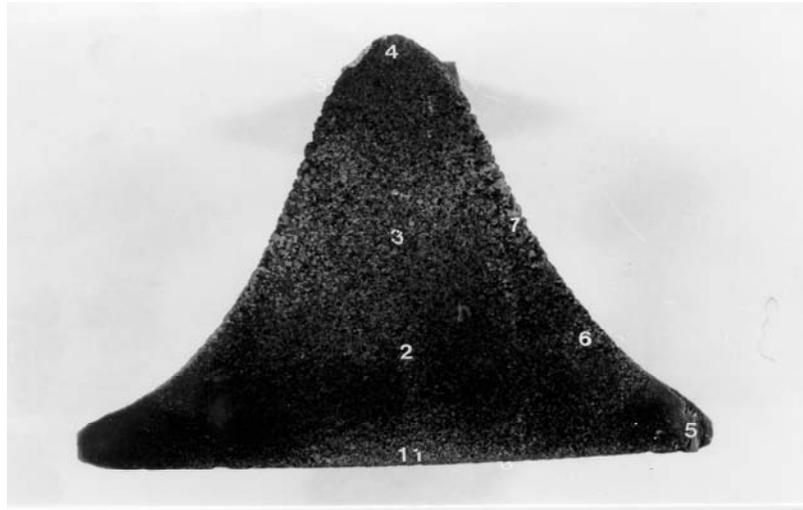


Figura 3: Corte longitudinal de la pieza de FeAl40 + B, se indican las regiones donde se realizaron las mediciones de tamaño de grano.

En La Figura 4. se muestran las muestras forjadas, las tres primeras muestran desprendimiento de material, estas corresponden a FeAl40, FeAl+B y FeAl+B+HIP. Las dos últimas que no muestran este desprendimiento de material corresponden al

FeAl+B+Al₂O₃ y FeAl+B+Al₂O₃+HIP.

En la Tabla 2. se muestra el listado de las muestras sometidas a forja y los resultados de las mediciones de dureza microdureza, macrodureza y % de deformación



Figura 4. Muestras atomizadas forjadas. a) FeAl; b) FeAl40 + B; c) FeAl40 +B + HIP; d) FeAl40 + B + Al₂O₃ y e) FeAl40 + B + Al₂O₃ + HIP.

Tabla 2. Resultados de las mediciones de dureza, microdureza y porcentajes de deformación obtenidos de las muestras atomizadas (A) y forjadas(F).

Material	MICRODUREZA, HV 0,2		MACRODUREZA, HRC		DEF.(%)
	(A)	(F)	(A)	(F)	
FeAl40	434	532	46	49	4.7*
FeAl40+B	462	544	43	52	6.3*
FeAl40+B+HIP	374	536	42	47	5.0
FeAl40+Al ₂ O ₃	766	544	40	52	4.4
FeAl40+Al ₂ O ₃ con HIP	466	566	44	52	4.4

*Las muestras sufrieron fractura de los bordes.

Los resultados de microdureza muestran en general un endurecimiento del material durante la prueba de forja. Las deformaciones obtenidas no son muy grandes y los tres primeros casos el material resulta fracturado en los bordes de las muestras. A pesar de esto es evidente que la presencia del B si mejora el comportamiento plástico del FeAl40[5] , aunque no de manera sobresaliente.

En las Figuras 5a y 5b se ejemplifica el resultado del proceso de HIP en las muestras, es notoria la disminución de la porosidad del material en ambos casos, esto demuestra la efectividad del proceso de HIP en la compactación de las muestras sin gran cambio en la distribución de tamaños de grano y con una disminución en la dureza del material.

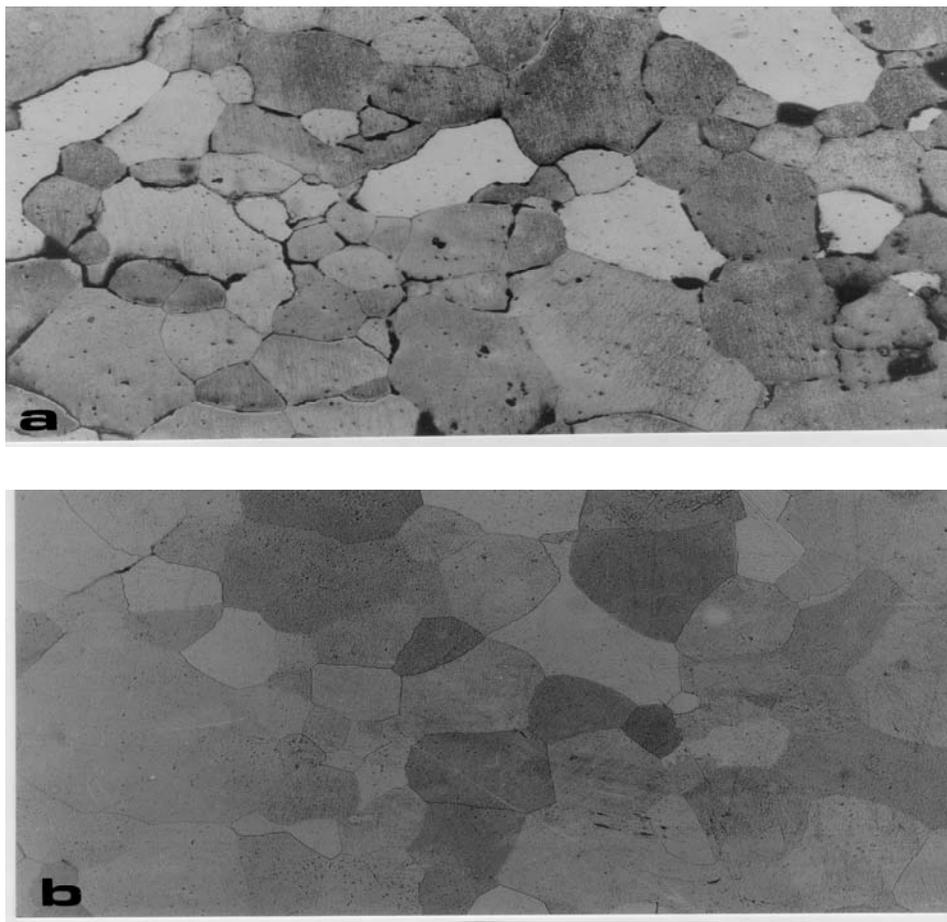


Figura 5. a)FeAl40 + B atomizada y b) FeAl40 + B + HIP

En la Figura 6a y 6b se ejemplifican las microestructuras de las muestras obtenidas en el material sin partículas de alúmina y con la presencia de las mismas. Mientras que en las muestras libres de partículas se tiene una microestructura deformada y con

recristalización y crecimiento de grano en las muestras con alúmina el tamaño de grano no cambia apreciablemente debido a que los fenómenos de recristalización y crecimiento de grano son inhibidos por la presencia de las partículas de alúmina.

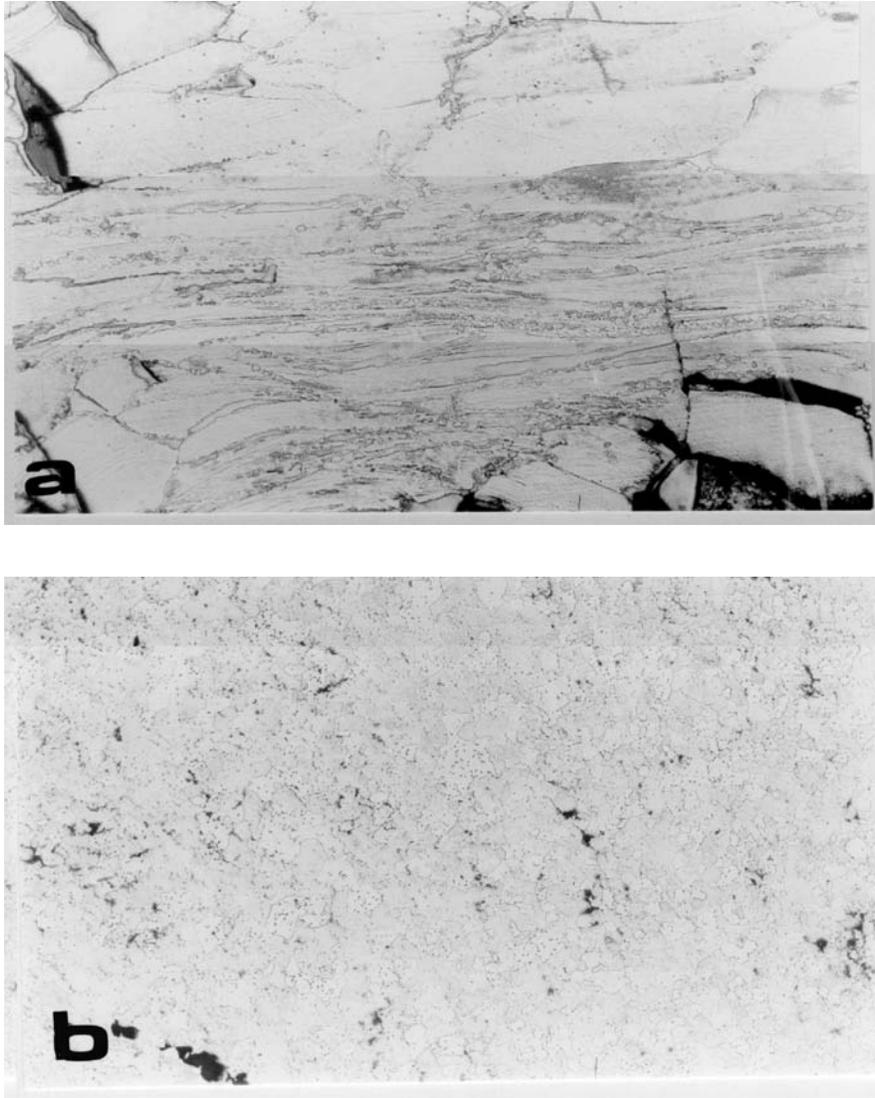


Figura 6. Microestructuras obtenidas en las muestras forjadas. a) FeAl40 + B+ HIP, b) FeAl40 + B+ Al₂O₃ + HIP

En la Figura 7 se muestra un acercamiento de la muestra FeAl40+B+Al₂O₃ con alúmina (partículas blancas), estas se encuentran preferencialmente en las fronteras de grano pero también dentro de los granos;

Las zonas fracturadas de las muestras muestran un modo mezclado de fractura transgranular - intergranular,

además de formar pequeños cúmulos de partículas en las porosidades del material. La fenomenología de la interfase FeAl/Al₂O₃ ha sido estudiada previamente[10] y se mostró que estas no muestran reacción en la interfase. ver Figura 8a; y en zonas muy pequeñas fracturas como la mostrada en la Figura 8b.

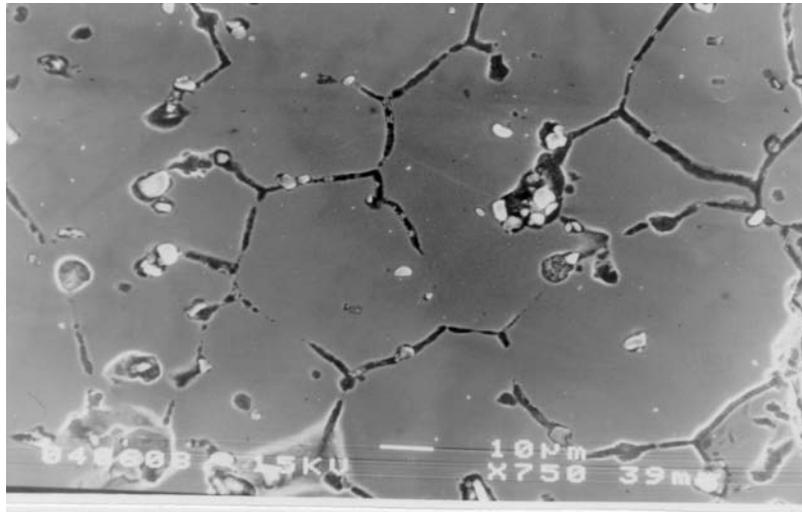


Figura 7. Acercamiento de la muestra FeAl40 + B+Al₂O₃ con alúmina (partículas blancas).

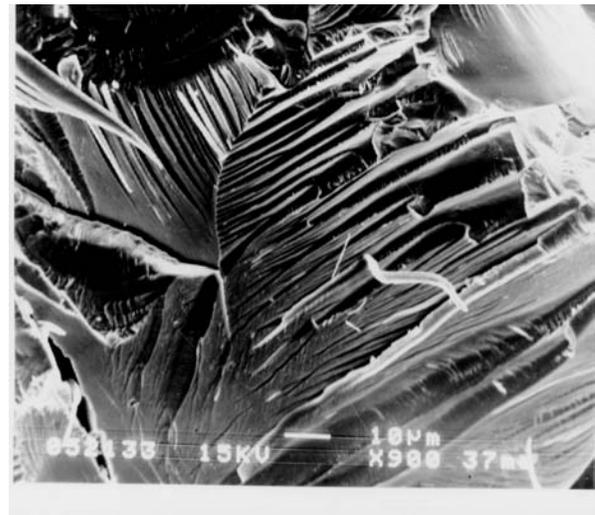
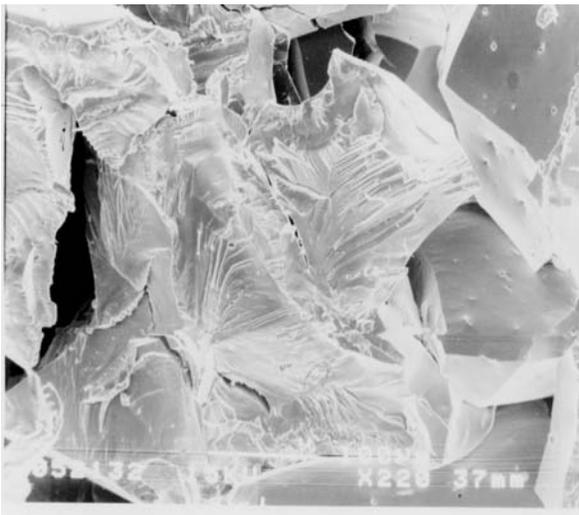


Figura 8. Aspectos de la fractura en la muestra de FeAl40 forjada. a) Fractura de modo mezclado transgranular – intergranular y b) Detalle de una fractura con aspecto ramificado.

4. Conclusiones

La solidificación del intermetálico FeAl40 por atomización repercute en un refinamiento apreciable del tamaño de grano y es mayor con la presencia de partículas de alúmina. La presencia de B en estos materiales mejora un poco la ductilidad del material y en el caso de la presencia adicional de las partículas de alúmina se mejora notablemente la resistencia a fracturarse durante la prueba de forja.

Bibliografía

1. J. H. Westbrook, ed.; "Mechanical Properties of Intermetallic Compounds". Wiley, New York (1960), 435 pp-
2. J. H. Westbrook, ed.; "Intermetallic Compounds". Wiley, New York (1967), 663 pp.
3. H. Kear, C. T. Sims, N. S. Stoloff and J. H. Westbrook; eds. "Ordered Alloys: Structural Applications and Physical Metallurgy". Claitor, Baton Rouge, LA (1970), 580 pp.

4. C. Koch, C. T. Liu and N. S. Stoloff; eds. "High-Temperature Ordered Intermetallic Alloys-I". Materials Research Society, Pittsburgh (1985). Los simposios siguientes de esta serie han sido publicados como sigue:
 5. 11 (1987), 111 (1989), IV (1991), V (1993) y VI (1994).
 6. H. Whang, C. T. Liu, D. P. Pope and J. O. Stiegler; eds. "High Temperature Aluminides and Intermetallics". TMS/AIME, Warrendale, PA (1990), 593 pp.
 7. Darolia, J. J. Lewandowski, C. T. Liu, P. L. Martin, D. B. Miracle and M. V. Nathal; eds. "Structural Intermetallics". The Minerals, Metals & Materials Society (1993).
 8. Schneibel and M. A. Crimp; eds. "Processing, properties and Applications of Iron Aluminides". TMS, San Francisco, CA (1994), 345 pp.
-

Evaluation of the behavior of FeAl 40%at. during forge tests

Abstract

The development of materials with better acting in applications to high temperature has impelled the investigation and development of new materials with better mechanical resistance and resistance to the oxidation. In the last years an intense investigation has been developed in the compound intermetálicos, inside these the system FeAl appears potentially as a material useful to substitute to some stainless steels and some super alloys in an advantageous way. The present work was carried out in I evaluate the behavior of FeAl40 with additions of B and Al₂O₃ during forge to high temperature of atomized samples and subjected to HIP. The presence of B improves the behavior of the FeAl40 as well as the presence of the alumina particles.

Key words: Alloys, forges, materials, mechanical behavior