

Incorporación de Nanotubos de Carbono al Sistema Multicomponente Fe-Cr-Ni-Mn-Ti Mediante Aleado Mecánico

Z. V. Hernandez-Castro², I. Estrada-Guel¹, C. D. Gómez-Esparza¹, M. Rocha-Rubio², R. Martínez-Sánchez¹

¹Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Miguel de Cervantes 120, 31109, Chihuahua, Chih., México.

²Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez (UTCJ), Av. Universidad Tecnológica 3051, 32695, Cd. Juárez, Chihuahua, México.

Resumen

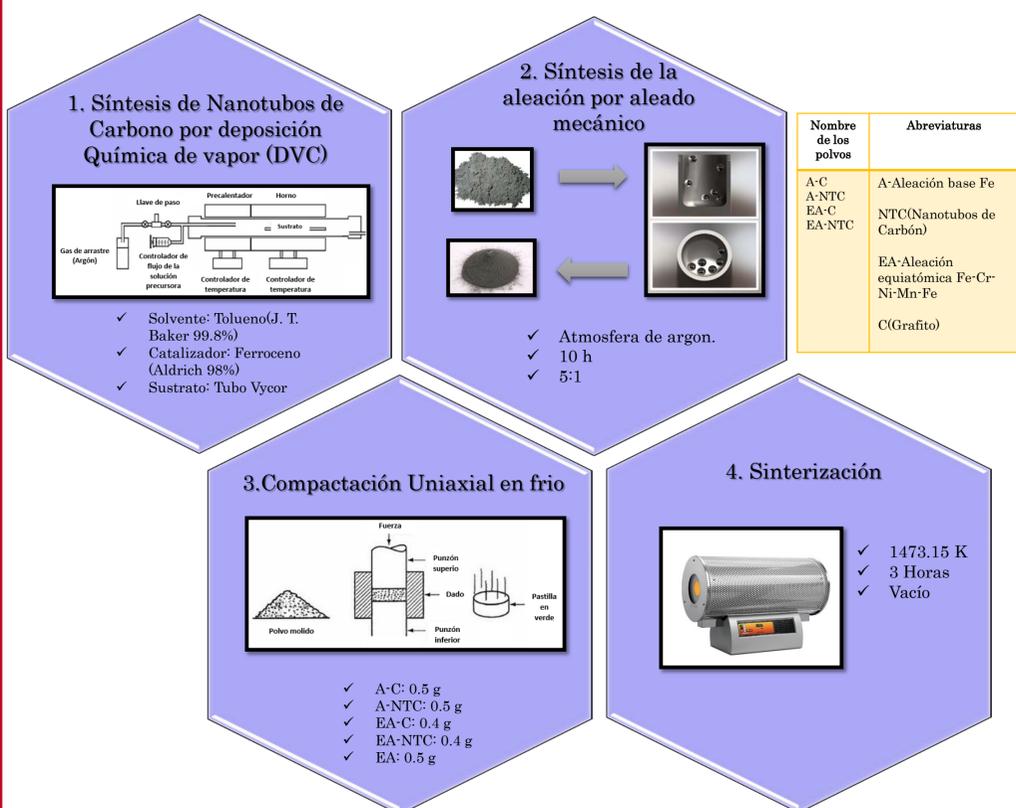
Mediante el proceso de aleado mecánico se incorporará carbono como elemento minoritario al sistema multicomponente Fe-Cr-Ni-Mn-Ti en las variantes de nanotubos de carbono (NTC) y grafito. El sistema multicomponente se comparó con una aleación base hierro con una composición química similar a la del acero AISI 321. Especímenes consolidados fueron obtenidos mediante sinterización a 1200°C durante 3 horas en vacío. Las aleaciones fueron caracterizadas estructural y microestructuralmente mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica de transmisión. Ensayos de microdureza Vickers fueron realizados para evaluar el efecto de la composición química del sistema Fe-Cr-Ni-Mn-Ti y de la adición de NTC y grafito.

Introducción

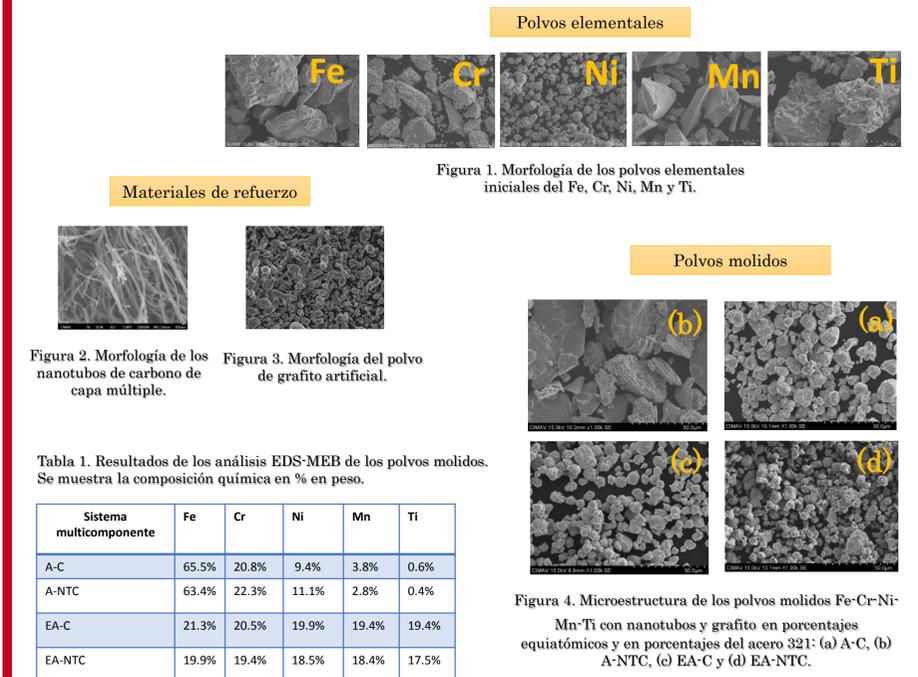
Las aleaciones que contienen 5 o más elementos en porcentajes equiatómicos o cercana a la equiatómica, reciben el nombre de aleaciones de alta entropía (HEA por sus siglas en inglés High-Entropy Alloy) o también son conocidas como sistemas multicomponentes y fueron desarrollados por Jien-Wei Yeh en el 2004 [1-3]. Tienen la particularidad de poseer estructuras simples y estables del tipo FCC y BCC [4]. Estos materiales tienen prometedoras propiedades que pueden superar a las de las aleaciones de la metalurgia tradicional. Aunque las HEA son sistemas de elementos multi-principales, se han reportado estudios sobre adiciones en menores cantidades de elementos no metálicos como el carbono. Sin embargo, existen muy pocos estudios sobre el reforzamiento de HEA con nanotubos de carbono. Como es bien sabido, el carbono es un elemento aleante que en la metalurgia tradicional se utiliza principalmente para la fabricación de acero.

Dentro de los tipos de aceros destacan los aceros inoxidable, en los cuales, el Cr es el principal elemento aleante. A parte de la resistencia a la corrosión, son muy rígidos y tenaces presentando módulos de Young ultra, altos y valores de resistencia a la tracción muy elevados [5, 6, 7, 8]. La serie AISI 200 es una de más populares dentro de los aceros inoxidable austeníticos. La adición de Mn se emplea para sustituir parcialmente la cantidad de Ni (reducir costos) y la adición de Ti para prevenir la formación de carburos que fragilizan el acero. El objetivo de este trabajo es adicionar grafito y carbono al sistema equiatómico Fe-Cr-Ni-Mn-Ti, y a su vez compararlo con un sistema cuya composición química sea similar a la del acero AISI 321, para evaluar la ventaja de una composición equiatómica de acuerdo a la definición de las HEA, así como el efecto de NTC.

Desarrollo Experimental



Caracterización de polvos



Caracterización de productos sinterizados

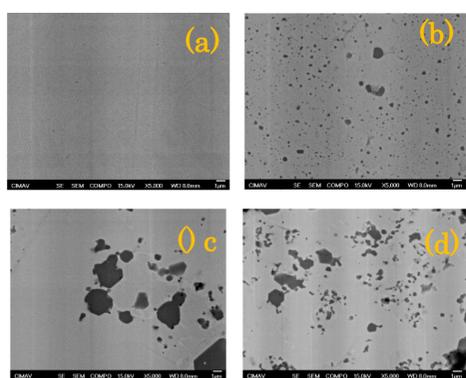


Figura 7. Imágenes de MEB con electrones retrodispersados mostrando la microestructura de los productos sinterizados: (a) A-C, (b) A-NTC, (c) EA-C y (d) EA-NTC.

Tabla 2. Composición química de los precipitados formados en la fase oscura de los productos equiatómicos sinterizados, analizados por MEB (% atm.)

Sistema multicomponente	Fase oscura						
	Fe	Cr	Ni	Mn	Ti	C	O
EA-C	-	-	-	-	56.48%	14.76%	28.76%
EA-NTC	-	-	-	-	54.69%	16.46%	28.85%
Fase clara							
EA-C	28.56%	34.6%	12.95%	19.47%	4.37%	-	-
EA-NTC	29.05%	35.25%	13.08%	18.37%	4.25%	-	-

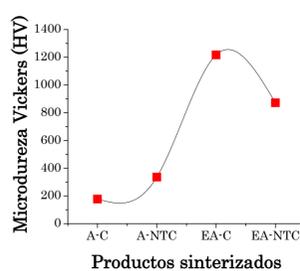


Figura 8. Gráfica de la microdureza de los productos sinterizados: A-C, A-NTC, EA-C, EA-NTC.

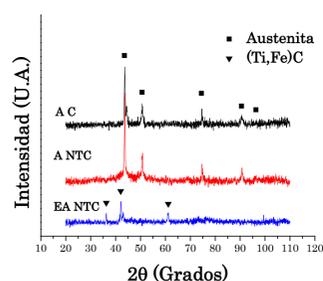


Figura 9. Patrón de difracción de los productos sinterizados.

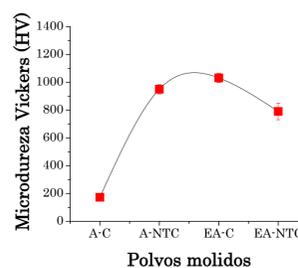


Figura 5. Gráfica de la microdureza de los polvos molidos: A-C, A-NTC, EA-C, EA-NTC.

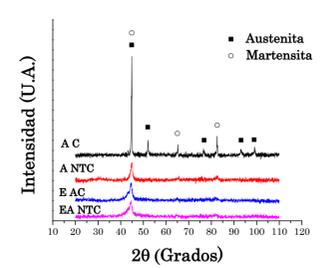


Figura 6. Patrón de difracción de los polvos molidos.

Conclusión

Mediante aleado mecánico se sintetizaron exitosamente sistemas multicomponentes Fe-Cr-Ni-Mn-Ti con adiciones de nanotubos de carbono y grafito. De acuerdo a las observaciones en MEB, hay un efecto significativo entre la adición de grafito y NTC sobre la morfología de la aleación en polvo. Los NTC favorecen la formación de partículas redondeadas, lo cual a su vez tuvo un efecto positivo sobre la compactación en frío y la sinterización de los especímenes. De acuerdo a los resultados de microdureza, los sistemas equiatómicos obtuvieron un mayor endurecimiento con respecto al sistema base Fe, esto pudiera deberse a la formación de una fase rica en Ti identificada mediante MEB. Para el sistema base Fe, la mayor dureza fue alcanzada por la muestra reforzada con NTC, mientras que para el sistema equiatómico el mayor endurecimiento fue alcanzado por la aleación reforzada con grafito sintético, sin embargo, esta muestra presentó un mayor grado de dificultad para ser compactada en frío y un mayor porcentaje de porosidad en la condición de sinterizada.

Agradecimientos

Agradezco la participación de D. Lardizábal-Gutiérrez, C. Garay-Reyes, K. Campos-Venegas, W. Antúnez-Flores y E. Guerrero-Lesttarjete

Referencias

- [1] D. G. William D.Callister Jr, Materials science and engineering: an introduction, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc., 1940. [2] J. H. William F. Smith, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, Mexico: McGrawHill, 2004. [3] J. F.Shackelford, Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN, SA., 2005. [4] N. W. B. S. M. U. G. J. B. S. Singh, Decomposition in multi-component AlCoCrCuFeNi high-entropy alloy, 2011. [5] Viviana Jehová González Velázquez, Nanomateriales de Carbono, síntesis, funcionalización y aplicaciones, Universidad Carlos III de Madrid, Leganes, 2015. [6] S. Ghosh, K. A. Sood, N. Kumar, Carbon nanotube flow sensor, Science, vol. 299, p. 1042-1044, 2003. [7] A. Peigney, C. Laurent, E. Flahaut, R. R. Bacsa, A. Rousset, Specific surface area of carbon nanotubes and bundles of carbon nanotubes, Carbon, vol. 39, n° 4, pp. 501-514, 2001. [8] J. Zhao, A. Buldum, J. Han, J. P. Lu, Gas molecule adsorption on nanotubes and their bundles, Nanotechnology, vol. 13, n° 2, p. 195, 2002.