

Implementación de la técnica de fricción agitación (PFA) para la modificación y refuerzo de aleaciones de aluminio y su efecto en las propiedades mecánicas

Implementation of the friction stir processing (FSP) for the modification and reinforcement of aluminum alloys and its effect on the mechanical properties

Juan Camilo Ramírez Herrera¹ Óscar León Mejía López²

Universidad Nacional Abierta y a Distancia / Institución Universitaria Pascual Bravo

Resumen

La técnica Friction Stir Processing –PFA–, puede modificar la microestructura de materiales metálicos o conformar un material compuesto, generando un refinamiento de grano en el material; modificándolo y cerrando porosidades de procesos previos, produciendo nuevas texturas cristalográficas, alterando en la zona procesada las propiedades mecánicas del compuesto o de la aleación. En el presente escrito, basado en los trabajos de diferentes autores, se muestra que propiedades como la plasticidad, dureza y maleabilidad en aleaciones de aluminio, una vez son procesadas por PFA, cambian, atribuyendo esto a la homogenización y refinamiento del tamaño de grano gracias a las deformaciones plásticas que la técnica genera. En el caso de producir mediante la técnica de PFA un material compuesto, usando diferentes metodologías de deposición de agentes reforzantes, se ha evidenciado que se generan cambios en las propiedades físicas y mecánicas en la zona procesada de la pieza cuando se logra introducir dichas partículas en la matriz de la aleación.

Palabras clave: procesamiento por fricción agitación (PFA), refinamiento de tamaño de grano, material compuesto de matriz metálica, aluminio.

Abstract:

The friction stir processing (FSP) technique can modify the microstructure of metallic materials or form a composite material, generating a grain refinement in the material; modifying it and closing porosities from previous processes, producing new crystallographic textures, altering the mechanical properties of the compound or alloy in the processed zone. In the present work, based on the works of different authors, the properties as plasticity, hardness and malleability in aluminum alloys, once they are processed by PFA, change, attributing this to the homogenization and refinement of the grain size thanks to the plastic deformations that the technique generates. In the case of producing a composite material using the PFA technique, using different reinforcing agent deposition methodologies, it has been shown that changes are generated in the physical and mechanical properties in the processed area of the piece when said particles or agents are introduced. in the alloy matrix.

¹ Investigador principal, UNAD. <https://orcid.org/0000-0003-2703-6145>, correo: juanc.ramirez@unad.edu.co

² Docente ocasional, Institución Universitaria Pascual Bravo. <https://orcid.org/0000-0002-1252-2805>, correo: oscar.mejial@pascualbravo.edu.co

Keywords: Friction Stir Processing (FSP), Aluminum, refinement of grain structure, composites, mechanical properties.

1. Introducción

El aluminio, de uso cada vez más frecuente en la industria automotriz, aeronáutica y estructural, entre otras razones por su buena relación resistencia peso y resistencia a la oxidación, ha sido tema de múltiples investigaciones para modificar y mejorar sus propiedades mecánicas y tribológicas para usarlo en aplicaciones cada vez más exigentes. De acuerdo con dichas exigencias, la técnica de PFA se ha convertido en una variable versátil y útil en búsqueda de mejorar propiedades, mostrando también una alternativa para la obtener materiales compuestos; lo cual ha llamado la atención de la comunidad científica.

Los métodos de Procesamiento por Fricción Agitación y Soldadura por Fricción Agitación, fueron descubiertos

en 1991 en el Reino Unido pero investigada a fondo por diferentes autores (Mishra & Ma, 2005), consiste una técnica que usa una herramienta que gira y se desplaza sobre el material a procesar o unir, usando una herramienta que consta de dos partes fundamentales, un hombro y un pin (Elangovana & Balasubramanian, 2008) (ver Figura 1). Las técnicas generan una intensa deformación plástica que conjuntamente con el calor producido por la fricción, permiten la unión o la alteración del material; modificando el tamaño de grano, generando recristalización y modificación de la textura, por otro lado, inclusión de partículas, en este caso agentes reforzantes, tal y como se muestra en la Figura 2 (Mishra & Ma, 2005).

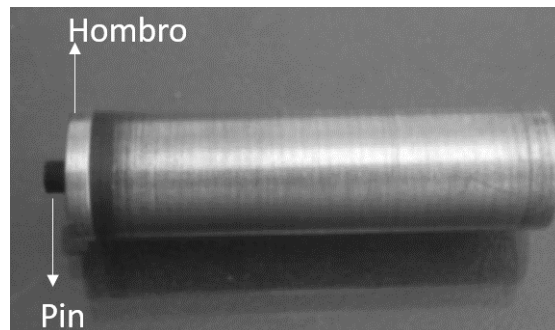


Figura 1: Herramienta usada en la técnica de Procesamiento por Fricción Agitación. Adaptada de (Y. Mazaheri et al. 2011).

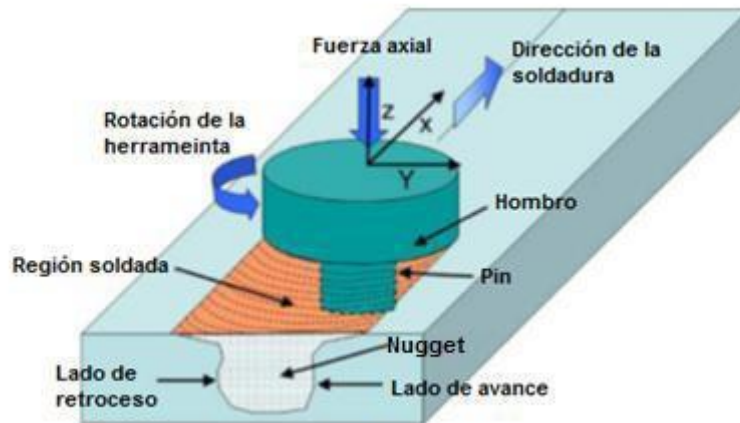


Figura. 2: Diagrama de la técnica Procesamiento por Fricción Agitación. Adaptado de Mishra & Ma (2005).

El PFA se puede usar en un lugar específico de la pieza para cambiar su microestructura sin afectar el resto del material, lo cual es una ventaja significativa frente a otros procesos de modificación superficial y subsuperficial. El refinamiento de este y el nivel de mezcla de material de refuerzo depende principalmente de los parámetros de proceso, como la geometría de la herramienta, penetración, fuerza ejercida en el material, velocidad de rotación y de avance, pues ellos gobiernan el flujo del material y los gradientes de temperatura a lo largo del recorrido de la herramienta (Ramírez, Ochoa & Bohórquez, 2018).

2. Metodología (o desarrollo del tema, según sea el caso)

Gracias a la alianza entre la UNAD y la Institución Universitaria Pascual Bravo, en la articulación de proyectos de ciencia, tecnología e investigación, se podrá llevar a cabo el uso de equipos como máquinas, herramientas, equipos de pruebas

mecánicas como tracción universal, dureza, pruebas de desgaste, caracterización metalográfica, entre otras, para evaluar la modificación de las propiedades del aluminio modificado por PFA.

La herramienta, conformada por pin y hombro tiene parámetros propios de ella como la longitud del pin, diámetro del hombro y del pin, pero su desempeño se ve influenciado por la velocidad de rotación y de avance. Lo anterior, si se observa como un conjunto, es fundamental para que la técnica de PFA logre cambiar la microestructura del material, realice un refinamiento de grado, mezcle en la matriz metálica las partículas que se desean incluir en ella para la creación del compuesto.

Al ser una técnica que se ha ejecutado en aleaciones de aluminio, los parámetros planteados, como velocidad de rotación de la herramienta y avance de la misma, son algo fundamental y a tener en cuenta. La

zona procesada Nugget y cordón son evidencia que suministran información fundamental sobre la exitosa ejecución de la técnica y permiten determinar, usando diferentes técnicas de caracterización, si las partículas fueron mezcladas con éxito y si existe algún daño interno o externo dentro de la aleación (Ramírez, Ochoa & Bohórquez, 2018).

3. Discusión

El estudio realizado sobre las afectaciones que sufre una aleación de aluminio cuando es sometido a PFA están especialmente enfocadas al refinamiento de grano, introducción de agentes reforzantes y aparición de nuevas texturas cristalográficas.

Como consecuencia de lo anterior, enfocándose en las propiedades mecánicas, pruebas de tracción, se ha logrado un incremento en la deformación en algunos casos, en otros, se ha aumentado la cantidad de esfuerzo que puede soportar el material modificado. También, dependiendo del agente reforzante que se use, se pueden alterar las propiedades tribológicas, disminuyendo el desgaste en algunos casos y aumentando la resistencia a corrosión (Elangovana & Balasubramanian, 2008; Shafiei-Zarghani *et al.*, 2013; Izadi & Gerlich, 2012; Surekha, Murty & Prasad Rao, 2009; Mazaheri, Karimzadeh & Enayati, 2011; Venkateswar Reddy *et al.*, 2019; Chanakyan *et al.*, 2019).

4. Conclusiones

Los resultados de las pruebas esfuerzo vs deformación revelan que el procesamiento por fricción-agitación genera cambios en

la respuesta mecánica de este material. Dicha respuesta dependerá de la orientación de la probeta, del número de pases de la herramienta y de, si el material fue modificado por PFA con o sin los agentes reforzantes. En todos los casos, debido a la recristalización que sufre el material, según la bibliografía, una vez se ejecuta el procesamiento por fricción agitación, la resistencia a la tracción varía de acuerdo a los parámetros usados y puede decaer con respecto al material base pero también, puede aumentar, según sea la aleación y los parámetros de proceso. Algo en lo que varios autores convergen es que la capacidad de deformación aumentó en las muestras obtenidas longitudinalmente a la zona procesada; con esto en mente, si se ejecuta una prueba de tracción transversal a la zona procesada no se alcanzarán los niveles de deformación ni de resistencia a la tracción que posee el material base, pero si dicha prueba de tracción se ejecuta de forma longitudinal a la zona procesada, la resistencia a la tracción no iguala la del material base pero la deformación aumenta.

Ahora bien, si se comparan los efectos de las herramientas usadas, se observa que el pin y el hombro juegan un papel fundamental para que el material manifieste diferentes comportamientos en la prueba.

Referencias

- Aruri, D. Adep, K., Adep, K. Bazavada, K. (2013). Wear and mechanical properties of 6061-T6 aluminum alloy surface hybrid composites [(SiC+Gr) and (SiC+Al₂O₃)] fabricated by friction stir processing. *Journal of Materials Research and Technology*, 2(4), 362-369.
- Bharti, S., Dutta, V., Shar, S. & Kumar, R. (2019). A study on the effect of Friction

- Stir Processing on the hardness of Aluminum 6000 series. *Materials Today: Proceedings*, 18(7), 5185-5188. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319327063>
- Chanakyan, C., Sivasankar, S., Namoorthy, M. M., Ravichandran, M. & Muralidharan, T. (2019). Experimental investigation on influence of process parameter on friction stir processing of AA6082 using response surface methodology. *Materials Today: Proceedings*, 21(1), 231-236. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319313495>
- Dinaharan, I., Titilayo Akinlabi, E. (2018). Low cost metal matrix composites based on aluminum, magnesium and copper reinforced with fly ash prepared using friction stir processing. *Composites Communications*, 9, 22-26. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452213917301377>
- Dixit, M., Newkirk, J. W. & Mishra, R. S. (2017). Properties of friction stir-processed Al 1100–NiTi composite. *Scripta Materialia*, 56(6), 541-544. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359646206008013>
- Elangovana, K. & Balasubramanian, V. (2008). Influences of tool pin profile and welding speed on the formation of friction stir processing zone in AA2219 aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 200(1-3), 163-175. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013607008035>
- Izadi, H. & Gerlich, A. P. (2012). Distribution and stability of carbon nanotubes during multi-pass friction stir processing of carbon nanotube aluminum composites. *Carbon*, 50(12), 4744- 4749. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622312005180>
- Jeon, C. H., Jeong, Y.H., Seo, J.J. *et al.* (2014). Material Properties of Graphene/Aluminum Metal Matrix Composites Fabricated by Friction Stir Processing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15, 1235–1239. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12541-014-0462-2>
- Komogortsev, S.V., Iskhakov, R.S., Denisova, E.A. *et al.* (2005). Magnetic anisotropy in the films of oriented carbon nanotubes filled with iron nanoparticles. *Technical Physics Letters* 31, 454–456 <https://doi.org/10.1134/1.1969761>
- Lim, D.K. Shibayanagi, T. & Gerlich, A.P. (2009). Synthesis of multi-walled CNT reinforced aluminium alloy composite via friction stir processing. *Materials Science and Engineering: A*, 507(1-2), 194-199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509308013579>
- Liu, Q., Ke, L., Liu, F., Huang, C. & Xing, L. (2012). Microstructure and mechanical property of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites fabricated by friction stir processing. *Materials & Design*, 45, 343-348. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261306912005754>
- Liu, Z.Y., Xiao, B.L., Wang, W.G., Ma, Z.Y. (2014). Tensile Strength and Electrical Conductivity of Carbon Nanotube Reinforced Aluminum Matrix Composites Fabricated by Powder Metallurgy Combined with Friction Stir Processing. *Journal of Materials Science & Technology*, 30(7), 649-655. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1005030214000747>

- Liu, Z.Y., Xiao, B. L. Wang, W. G., & Ma, Z. Y. (2012). Elevated temperature tensile properties and thermal expansion of CNT/2009Al composites. *Composites Science and Technology*, 72(15), 1826-1833.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266353812002904>
- Ma, Z., Mishra, R. S. (2014). *Friction Stir Superplasticity for Unitized Structures*. Oxford: Elsevier.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780124200067/friction-stir-superplasticity-for-unitized-structures>
- Mazaheri, Y. Karimzadeh, F. Enayati, M.H. (2011). Novel technique for development of A356/Al₂O₃ surface nanocomposite by friction stir processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(10), 1614-1619.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013611001245>
- Mishra, R. S. & Ma, Z.Y. (2005). Friction stir welding and processing. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 50(1-2), 1-78.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X05000768>
- Morisada, Y., Fujii, H., Nagaoka, T. & Fukusumi, M. (2006). MWCNTs/AZ31 surface composites fabricated by friction stir processing. *Materials Science and Engineering: A*, 419(1-2), 344-348.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509306000323>
- Morisada, Y., Fujii, H., Nagaoka, T. & Fukusumi, M. (2006). Effect of friction stir processing with SiC particles on microstructure and hardness of AZ31. *Materials Science and Engineering: A*, 433(1-2), 50-54.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509306012135>
- Qu, J., Xu, H., Feng, Z., Frederick, D. A. An, L. & Heinrich, H. (2011). Improving the tribological characteristics of aluminum 6061 alloy by surface compositing with sub-micro-size ceramic particles via friction stir processing. *Wear*, 271(9-10), 1940-1945.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164811002390>
- Ramírez H., J. C., López Ochoa, D. M. & Bohórquez Santiago, L. (2018). Analysis of mechanical properties of an Aluminum + MWCNT compound manufactured by FSP. *Scientia et Technica*, 23(4), 443-452.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/849/84959055003/index.html>
- Sarmadi, H., Kokabi, A.H., Seyed Reihani, S.M. (2013). Friction and wear performance of copper-graphite surface composites fabricated by friction stir processing (FSP). *Wear*, 304(1-2), 1-12.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164813002652>
- Shafiei-Zarghani A., Liu, Q., Ke, L., Liu, F., Huang, C. & Xing, L. (2013). Microstructure and mechanical property of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites fabricated by friction stir processing. *Materials & Design*, 45, 343-348.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261306912005754>
- Sharma, H., Kumar, K, Kumar R. & Gulati, P. (2018). A Study of Vibration and Wear Resistance of Friction Stir Processed Metal Matrix Composite. *Materials Today: Proceedings*, 5(14-2), 28354-28363.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318324155>
- Surekha, K., Murty, B.S., Prasad Rao, K. (2009). Effect of processing parameters on the corrosion behaviour of friction stir

processed AA 2219 aluminum alloy. *Solid State Sciences*, 11(4), 907-917. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1293255808003609>

Venkateswar Reddy, K., Bheekya, R., Madhusudhan, N. G., Arockia, R.R. (2019). Damping capacity of friction stir processed commercial pure aluminium metal. *Materials Today: Proceedings*, 27(3), 2061-2065. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785319333024>

Zhang, S. *et al.* (2019). Effects of energy input during friction stir processing on microstructures and mechanical properties of aluminum/carbon nanotubes nanocomposites. *Journal of Alloys and Compounds*, 798, 523-530. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838819319516>