



APLICACIÓN DE LA CORRUGACIÓN Y ESTIRAMIENTO REPETITIVO.

MSc. Bárbaro Luis Peña Rodríguez^a, Dr. Orestes González Quintero^a, Ing. Oscar Fernández Fernández^a

^a Universidad de Matanzas

Resumen: Actualmente, el método Deformación Plástica Severa (DPS) ha ganado gran popularidad en la obtención de materiales nanoestructurados o con grano ultrafino para una amplia variedad de aplicaciones. Dentro del método de DPS existen procedimientos utilizados para el procesamiento de láminas y placas metálicas. La Corrugación y Estiramiento Repetitivo (CER) es un procedimiento prometedor para la obtención de material nanoestructurado en láminas y placas metálicas. El método (CER) fue introducido para desarrollar UFG en láminas y hojas metálicas hace casi una década y se ha convertido en un procedimiento de gran interés en el campo de procesamiento de materiales metálicos. El Objetivo del presente trabajo es realizar un resumen de este novedoso procedimiento para la obtención de materiales con estructura ultrafina.

Palabras claves: Deformación Plástica Severa, Corrugación y Estiramiento Repetitivo, material nanoestructurado, láminas metálicas

Abstract: At the moment, Severe Plastic Deformation (SPD) methods have been gaining wide popularity in developing nano/ultrafine grained (UFG) structured materials for a wide variety of applications. Among SPD methods, there are a few procedures that are specially used to process metallic sheets and plates. Repetitive Corrugation and Straightening (RCS) is one such promising procedure, which can produce fine grained structures in metallic sheets or plates in bulk. The method was introduced to develop UFG metallic sheets and plates nearly a decade ago and is now gaining great interest in the material processing field. The aim of the present work is to give a summary of the state-of-the-art of the process in developing fine grained structured sheets.

Keywords: Severe Plastic Deformation, Repetitive Corrugation and Straightening, nanostructured material, metallic sheets.

1. Introducción.

Según Huang et. al. (2004) los materiales procesados por Deformación Plástica Severa (DPS) son de interés considerable en la comunidad científica que estudia la ciencia de los materiales porque este tipo de material no presenta porosidad y alcanzan elevadas propiedades mecánicas y físicas; ellos poseen propiedades mecánicas superiores que incluyen elevada resistencia, buena ductibilidad, alta dureza y superplasticidad a velocidades de deformación altas y bajas temperaturas. Los materiales anteriormente mencionados poseen diferencias considerables en comparación con las propiedades mecánicas de los materiales formados por granos gruesos, en los que la elevación de su resistencia está acompañada casi siempre de baja

ductibilidad. Las propiedades superiores de los materiales nanoestructurados con respecto a los de grano grueso los hacen más atractivos para las aplicaciones estructurales.

La Corrugación y Estiramiento Repetitivo (CER) es una de las variantes existente de Deformación Plástica Severa, este es un procedimiento que no solo puede crear piezas de material nanoestructurado libre de contaminación y porosidad, sino que también posee potencialidades para adaptarse con facilidad a la producción industrial (Huang et. al. 2001). El autor anteriormente citado Plantea que en el proceso de CER, un espécimen es repetidamente corrugado y estirado sin cambiar la geometría de la sección transversal del espécimen al mismo tiempo que se imparte grandes deformaciones plásticas al material que conllevan al refinamiento de la microestructura significativo.

En el presente trabajo se realiza una revisión sobre el procedimiento de Corrugación y Estiramiento Repetitivo. El fin de la revisión es poseer referencias que permitan realizar investigaciones asociadas al mejoramiento del procedimiento y facilitar el empleo en materiales utilizados con fines biomédicos.

2. Materiales nanoestructurados.

Los materiales con granos ultrafinos (UFG) pueden ser producidos mediante la aplicación de la Deformación Plástica Severa a los materiales con tamaños de granos convencionales. Los materiales nanoestructurados poseen tamaños de granos en el orden submicrométrico. Es de destacar que los materiales con granos ultrafino muestran excelente resistencia a temperatura ambiente, poseen una superplasticidad estable a temperaturas elevadas. Estos materiales también poseen un alto potencial de innovación en el campo de la biomedicina, industria automovilística y aeroespacial (Huang y Langdon 2013).

3. Técnicas utilizadas para la producción de material nanoestructurado.

Según plantea Rajinikanth et. al. (2008) y Thangapandian y Balasivanandha (2015) existen dos grupos de técnicas utilizadas para producir materiales con granos ultrafinos o nanoestructurado, las denominadas *top-down* y las *bottom-up*. En las *bottom-up* el material es obtenido mediante la compactación. En estas técnicas las nanopartículas tienden a crecer debido a que las temperaturas y la presión usadas son altas. Las *bottom-up* son infructuosas debido a que el grano crece. En las técnicas *top-down* los materiales experimentan una disminución del tamaño del grano y la estructura de grano grueso se transforma en estructura de grano nanométrico a partir de la aplicación de una deformación severa. Los procedimientos de la Deformación Plástica Severa forman parte de las técnicas de obtención *top-down*.

4. Deformación Plástica Severa.

La CER es un procedimiento de Deformación Plástica Severa (DPS) que es definida por OTEA AIMME (2009) como un método de endurecimiento por deformación de los metales mediante la aplicación de presión hidrostática, que genera transformaciones en la estructura cristalina a partir del redireccionamiento del flujo material sin que varíen las dimensiones ni la geometría de la pieza.

La DPS puede usarse con éxito para procesar material macizo y obtener granos ultrafinos. El principio de la Deformación Plástica Severa incluye el incremento de la densidad de las dislocaciones mediante la aplicación con uniformidad de grandes deformaciones al material, la formación de paredes con densidad de dislocaciones y transformación de las paredes de dislocaciones en fronteras de grano de alto ángulo (Rajinikanth et. al. 2008).

5. Corrugación y Estiramiento Repetitivo.

La Corrugación y Estiramiento Repetitivos (RSC), por su nombre en inglés Repetitive Corrugation and Straightening, es un procedimiento repetitivo de dos pasos, la pieza de trabajo es inicialmente deformada en una forma corrugada y después enderezada, utilizando un ciclo de procesado que puede ser repetido muchas veces (Stobrawa et. al. 2009).

La ventaja de RSC es que puede ser fácilmente implementado a una prensa a la que se acoplan dados corrugadores y planos paralelos o a una unidad de rolado industrial corriente, utilizando rodillos dentados o acanalados y rodillos lizos (Thangapandian y Balasivanandha, 2015).

La RCS es considerada, por los autores que investigan los procedimientos de la Deformación Plástica Severa Mirsepasi et. al. (2012) y Sheikh et. al. (2010), como una técnica en sus primeras etapas, estos autores afirman que se necesita mayor investigación en el desarrollo del proceso para producir materiales nanoestructurados, sobre todo para mejorar el tema de la homogeneidad microestructural.

6. Variantes de aplicación de la Corrugación y Estiramiento Repetitivo

En la figura 1.a) se muestra un modelo tridimensional de la configuración geométrica de dados semiacanalados utilizados por Thangapandian y Balasivanandha (2015) en un proceso de Corrugación y Estiramiento Repetitivo Discontinuo. La figura 1. b) muestra herramienta corrugadora con rodillo dentado presentada por Huang et. al. (2004) y la 1. c) muestra rodillos ondulados utilizados por Mirsepasi et. al. (2012) para aplicar la corrugación a láminas metálicas. Las dos últimas figuras están asociadas a herramientas utilizadas en procesos continuos.

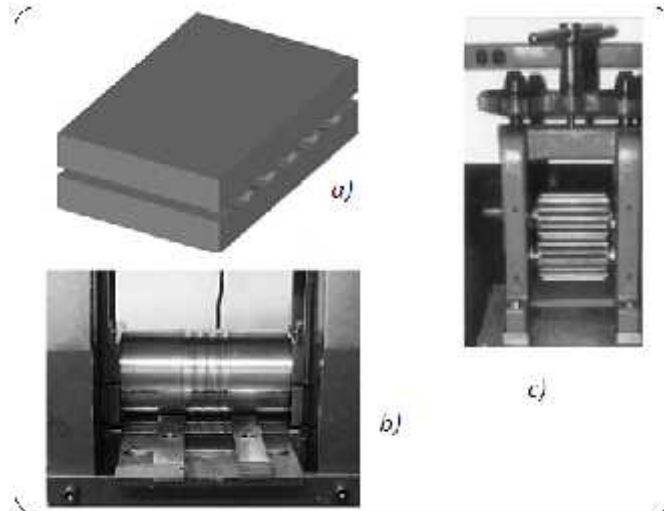


Figura 1. a) Modelo tridimensional de dados semiacanalados, b) rodillos dentados, c) rodillos ondulados.

7. Materiales procesado mediante la Corrugación y Estiramiento Repetitivo.

Se han procesado mediante la Corrugación y Estiramiento Repetitivo metales y aleaciones metálicas utilizadas en aplicaciones industriales. El procedimiento ha sido muy empleado en el aluminio y el cobre y sus aleaciones generalmente. Sobre la aplicación del procedimiento en el cobre han investigado Huang et. al. (2001) Stobrawa et. al. (2009). En el aluminio y sus aleaciones han investigado Rajinikanth et. al. (2008), Pandey et. al. (2012) y Kwasny et. al. (2013). Los materiales procesados se encuentran el Cu, aluminio (AA 5083), CuSn6, AlCu y AlCuSc, CuNi2Si1, Al-0,2Sc. Algunas de los materiales mencionados anteriormente tienen propiedades próximas a las del Titanio Comercialmente Puro Grado 2.

8. Material obtenido por CER.

Pandey et. al. (2012) plantea que en las investigaciones realizadas, hasta la fecha en que se publica su trabajo, no existe información sobre el nivel de homogeneidad que se logra en el proceso de deformación por CER. El mismo autor afirma en otro momento que la homogeneidad del material es un factor de gran importancia; debido a que la existencia de microestructura homogénea representa también homogeneidad en las propiedades del material.

Otros autores hacen énfasis en que las propiedades mecánicas pueden elevarse hasta tres veces más que las logradas en materiales con estructura micrométrica cuando se obtiene materiales con estructura manométrica (Thangapandian y Balasivanandha, 2015) y (Elias et. al. 2013).

9. Aplicación de la Deformación Plástica Severa en láminas de titanio.

Hasta el momento se ha registrado en la bibliografía consultada la aplicación de la Laminación Acumulativa en el procesamiento de láminas de titanio. Los trabajos Karimi et. al. (2015) y Kitahara et. al. (2016) abordan esta temática. La Laminación Acumulativa posee deficiencias que pueden ser desfavorables en los biomateriales; debido a que el material está compuesto por capas y en los espacio entre las capas pueden encontrarse componentes causantes de infección, lo que impone condiciones higiénicas extremas durante el procesamiento utilizando este procedimiento.

Dentro de los procedimientos que más se han utilizado se encuentra la Extrusión Por Canal Angular de sección constante y la Torsión a Alta Presión. El procesamiento por Deformación Plástica Severa esta asociados con el empleo del titanio como biomaterial y el principal objetivo es elevar su resistencia mecánica.

10. Perspectivas de la aplicación de la Corrugación y estiramiento Repetitivo en láminas de titanio.

No se ha encontrado, en la búsqueda bibliográfica realizada, aplicación de la Corrugación y Estiramiento Repetitivo en láminas de Titanio Comercialmente Puro y esto constituye un aspecto a tratar en investigaciones asociadas a la utilización de la Corrugación y Estiramiento Repetitivo al titanio en forma de lámina para elevar sus propiedades mecánicas y ampliar el campo de utilización de este material.

Hasta el momento el titanio comercialmente puro es utilizado en la construcción de implantes dentales, pero podría utilizarse en otros dispositivos como son las miniplacas para osteosíntesis. Esto podría lograrse con la elevación de sus propiedades mecánica mediante la obtención de material nanoestructurado. La Corrugación y Estiramiento Repetitivo pudiera ser un procedimiento prometedor en este sentido. En la figura 2. b) se muestra implantes dentales de titanio nanoestructurado obtenido por Deformación Plástica Severa en Canal Angular de Sección Constante y en la figura 2. a) miniplacas de osteosíntesis de Ti6Al4V.

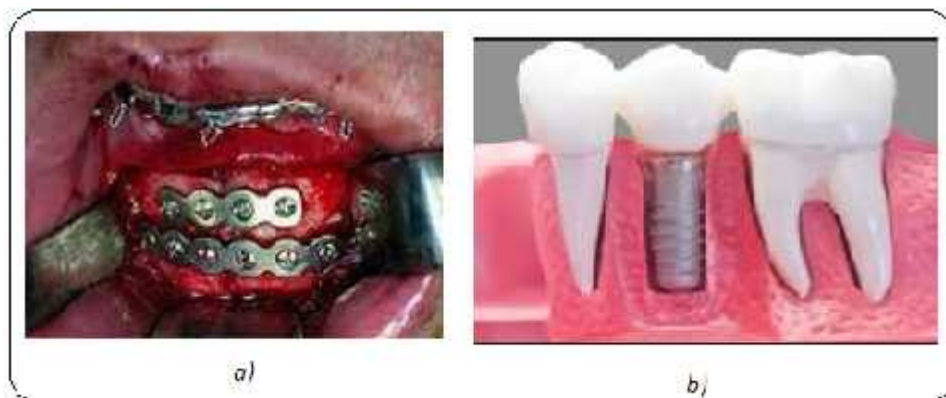


Figura2. Aplicaciones biomédicas del titanio. a) Miniplaca maxilofacial de Ti6Al4V. b) Implantes dentales de titanio nanoestructurado.

El Titanio con tamaño de grano ultrafino obtenido por la Deformación Plástica Severa presenta grandes potencialidades para las aplicaciones que proporciona resistencia al titanio sin que posea los elementos de aleación tóxicos como el aluminio Al y el vanadio V que disueltos fuera del implante resultan dañinos para el cuerpo humano (Elias et. al. 2013).

Los autores, anteriormente citados, afirman que el Titanio Comercialmente Puro no es usado para aplicaciones ortopédicas debido a que sus propiedades mecánicas son bajas. Este enfoque de la revisión en implantes dentales y en la introducción de del titanio con grano ultrafino (UFG Ti), obtenido por el proceso de Deformación Plástica Severa permite evaluar las resientes propiedades del titanio nanoestructurado. En particular, la resistencia del Titanio Comercialmente Puro (grado del 1 al 4) puede aproximarse a la de la aleación Ti6Al4V, normalmente utilizada para implantes de alta resistencia estructural.

11. Conclusiones.

1. No Existe referencia de que se haya aplicado la Corrugación y Estiramiento Repetitivo para obtener láminas de titanio nanoestructurado.
2. La utilización del procedimiento de laminación acumulativa en el procesamiento de láminas de titanio para obtener materiales nanoestructurados con fines biomédicos implica riesgos biológicos.
- 3- Elevar la resistencia de las láminas de Titanio Comercialmente Puro, mediante la nanoestructuración, puede ampliar el empleo biomédico de este material.

Referencias.

Elias, C. N.; Meyers, M. A. ; Valiev, R. Z.; Monteiro, S. N. , 2013, " Ultrafine grained titanium for biomedical applications: An overview of performance". *Journal of Material Research and Technology*, [online], 4.

Huang, Y.; Langdon, T. G., 2013, "Advances in ultrafine-grained materials". *Materials Today*, [online], 16.

Huang, J.; Zhu, Y. T.; Alexander, D. J.; Liao, X.; Lowe, T. C.; Asaro R. J., 2004, "Development of repetitive corrugation and straightening ". *Materials Science and Engineering*, [online], A 371.

Huang, J. Y.; Zhu, Y. T.; Jiang , H.; Lowe, T. C.,_2001, " Microstructures and dislocation configurations in nanostructured Cu processed by Repetitive Corrugation and Straightening". *Acta Materialia*, [online], 49.

Karimi, M.; Toroghinejad, M. R.; Farmanesh, K., 2015, " Multi-response optimization on the annealing of accumulative roll bonded monolithic Ti and Ti–SiCp composites". *Materials and Design*, [online], 65.

Kitahara, H.; Matsushita, S.; Tsushida, M.; Ando, S.; Tsuji, N., 2016, " Fatigue properties of ARB-processed Ti sheets with crystallographic texture ". *International Journal of Fatigue*, [online], 92.

Mirsepasi, A.; Nili-Ahmadabadi, M.; Habibi-Parsa, M.; Ghasemi-Nanesa, H.; Dizaji, A. F., 2012, " Microstructure and mechanical behavior of martensitic steel severely deformed by the novel technique of repetitive corrugation and straightening by rolling". *Materials Science and Engineering A*, [online], A 551.

OTEA AIMME. (2009). "Introducción a la deformación plástica severa.". Sur América: Elsevier Ltd.

Pandey, S.C.; Joseph, M.A.; Pradeep, M.S.; Raghavendra, K.; Ranganath, V.R.; Venkateswarlu, K.; Langdon, T.G., 2012, " A theoretical and experimental evaluation of repetitive corrugation and straightening: Application to Al–Cu and Al–Cu–Sc alloys". *Materials Science and Engineering*, [online], A 534.

Rajinikanth, V.; Arora, G.; Narasaiah, N.; Venkateswarlu, K., 2008, " Effect of repetitive corrugation and straightening on Al and Al–0.25Sc alloy ". *Materials Letters*, [online], 62.

Stobrawa, J.; Rdzawski, Z.; Głuchowski, W.; Malec, W., 2009, " Microstructure and properties of CuNi2Si1 alloy processed by continuous RCS method". *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, [online], 37.

Sheikh, H.; Paimozd, E.; Hashemi, S. M., 2010, " Work Hardening of Duratherm 600 Cobalt Superalloy Using Repetitive Corrugation and Straightening Process ". *Russian Journal of Non_Ferrous Metals*, [online], 51.

Thangapandian, N.; Balasivanandha, S., 2015, " The Role of Corrugation Die Parameters on the Mechanical Properties of Aluminum Alloy (AA 5083) Processed by Repetitive Corrugation and Straightening". *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, [online], 3.