

MEDICIÓN DEL TORQUE DURANTE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN – AGITACIÓN DE ALUMINIO MEDIANTE UN SISTEMA DE DETECCIÓN CON TRANSMISIÓN EN TIEMPO REAL

Saúl Pérez Pérez^{1}, Ismael Morales Insignares², Carlos Orozco Charris², José Posada Aguilar³,
Jimmy Unfried Silgado⁴*

1: Profesor de tiempo completo. Ingeniero electrónico y telecomunicaciones, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia

2: Estudiante de electrónica y telecomunicaciones, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia

3: Profesor de tiempo completo. MSc. Ingeniero Electrónico, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia

4: Docente investigador. Ingeniero mecánico, PhD. Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia

*Contacto: saul.perez@uac.edu.co

RESUMEN

La medición del torque durante el procesamiento de materiales metálicos es de vital importancia para determinar y plantear estrategias que busquen la reducción del consumo energético mediante la variación de parámetros que afecten su valor. La soldadura por fricción agitación es uno de los procesos de unión más exitosos de reciente incorporación en la industria metalmeccánica. Este proceso consiste en la unión de dos piezas en estado sólido usando una herramienta no consumible, la cual, mediante fricción (temperatura) y agitación (deformación plástica) del material produce una junta permanente libre de estructuras y defectos propios de la solidificación. En este trabajo se realiza la medición del torque en tiempo real con un sistema inalámbrico durante la soldadura por fricción - agitación de aleación de aluminio de la serie AA1xxx. Se obtuvieron curvas del ciclo completo de la variación del torque durante todas las etapas del proceso de soldadura mostrando un comportamiento particular desde la penetración de la herramienta hasta la finalización del cordón. Fue posible determinar el torque experimentado durante el tiempo efectivo de soldadura, este último de amplio interés para calcular la potencia consumida durante el proceso. El torque medido fue aproximadamente 6,0 N-m, valor coherente con otros autores.

Palabras Clave: *Soldadura por fricción, Amplificación de instrumentación, Protocolo XBee, Puente de Wheatstone, Torque, Factor de Galga*

ABSTRACT

Torque measurements during the processing of metallic materials are vital to determine and propose strategies aimed at reducing energy consumption by varying the parameters affecting its value. Friction stir welding (FSW) is one of the most successful binding processes that have been recently implemented in metallurgical industries. FSW involves joining two pieces in a solid state by using a non-consumable pin-tool, which by means of friction (temperature) and stir (plastic deformation) of the material produces a permanent joint, which is free of defects and

structures of solidification. Torque measurement was carried out at real time, using a wireless system during friction stir welding of aluminum alloy of the AA1xxx series. There were obtained curves of the complete cycle of the torque variation during all stages of welding process, showing a special behavior from tool penetration until welding beam is finished. It was possible to obtain torque maximum values, which are related to energy consumption and of great interest to calculate the power of the process. The measured torque value was approximately 6.0 N.m, which is in accordance with other authors.

Keywords: *Friction Stir Welding, Instrumentation Amplifier, XBee protocol, Wheatstone bridge, Torque, Gauge Factor*

1 INTRODUCCIÓN

La soldadura por fricción-agitación (Friction-Stir Welding-FSW) es un proceso que fue desarrollado por el Instituto de Soldadura de Cambridge (TWI, por su acrónimo en inglés) por (W. Thomas, 1991). Este proceso con el pasar de los años ha tenido un crecimiento importante en industrias especializadas como la naval, automovilística, aeroespacial, entre otras (Gibson, 2011). FSW es un proceso revolucionario ya que permite la unión de diversos tipos de materiales en fase sólida sin necesidad de usar consumibles para lograrlo (A. Burgos, 2010).

FSW puede unir materiales de alto y bajo punto de fusión, siendo el Aluminio el más soldado en la actualidad (T. J. Lienert, 2003). La junta de soldadura, que requiere poca preparación, se forma al penetrar una herramienta con un pin no consumible en su extremo que se introduce lentamente en la unión con una velocidad de rotación (v_w) hasta que el hombro de la herramienta entra en contacto con la superficie de la pieza de trabajo, ver Figura 1. El calentamiento provocado por la fricción hace que, junto con el desplazamiento de la herramienta (v_s), el material fluya creando una unión permanente entre ambas piezas. En FSW se suministra una fuerza en el sentido axial (F_A), perpendicular al plano de soldadura para mantener el flujo de material encausado en la junta. Se producen fuerzas coplanares al cordón de soldadura como respuesta a la deformación, cuya acción produce variaciones en el par suministrado por el motor. La fuerza F_A depende íntimamente de la profundidad de inmersión (M. Melendez, 2003).

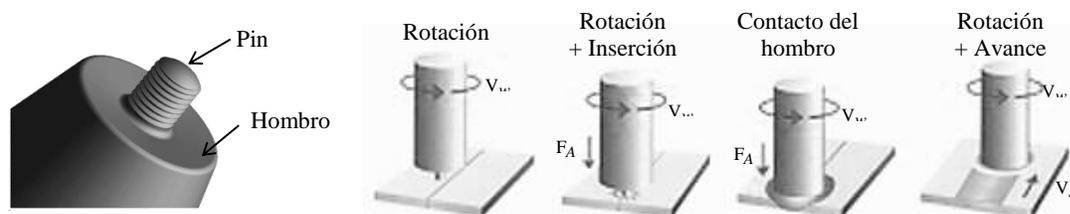


Figura 1. Herramienta y proceso de FSW mostrando sus partes. (Fuente: <http://www.ajt-inc.com/theprocess.html>)

La importancia de esta medición radica en que permite predecir el comportamiento del consumo energético del proceso. Si la máquina no está preparada para ello, la medida del torque en FSW puede realizarse usando galgas extensiométricas, acondicionamiento de señal y transmisión de datos, sujetando los elementos de medición de torque adecuadamente en una parte de la

herramienta (Mitchell, 2002). Para medir la fuerza axial se han usado galgas extensiométricas de propósito general, colocadas para medir la desviación de la cabeza vertical de una fresadora y un sistema de acondicionamiento de señal, transmisión y recepción inalámbrica vía XBEE® y un programa realizado en Payton® para su visualización (Gibson, 2011).

Con la medida del torque en tiempo real, se puede desarrollar un lazo de control proporcional, integral y derivativo que a su vez controle la fuerza axial, para evitar los defectos que surgen en un proceso robotizado de soldadura continua, proporcionando un método para controlar la potencia consumida durante la soldadura (W. R. Longhurst, 2010). El objetivo de este trabajo es medir el torque en tiempo real con un sistema inalámbrico de bajo costo con tecnología local durante la soldadura FSW de placas de aluminio de la serie AA1xxx.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Materiales y métodos

La soldadura fue desarrollada en una máquina fresadora convencional Kondor® de 3,2 Hp de potencia nominal. Se usó una herramienta fabricada de acero H13 templada y revenida, con pin cónico roscado y hombro plano en un montaje, como mostrado en la Figura 2. Se soldaron placas de aluminio comercial AA1100-H114 con dimensiones $240 \times 75 \times 6 \text{ mm}^3$ formando una junta cuadrada a tope sin preparación con 0,5mm de separación y 150mm de ancho. Las láminas se usaron limpias libres de grasas y contaminantes. La herramienta se usó con una inclinación de 1° y los parámetros aplicados fueron V_w : 950 rpm y V_s : $90 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, los cuales previamente fueron probados como parámetros que resultan en soldaduras aceptablemente sanas.

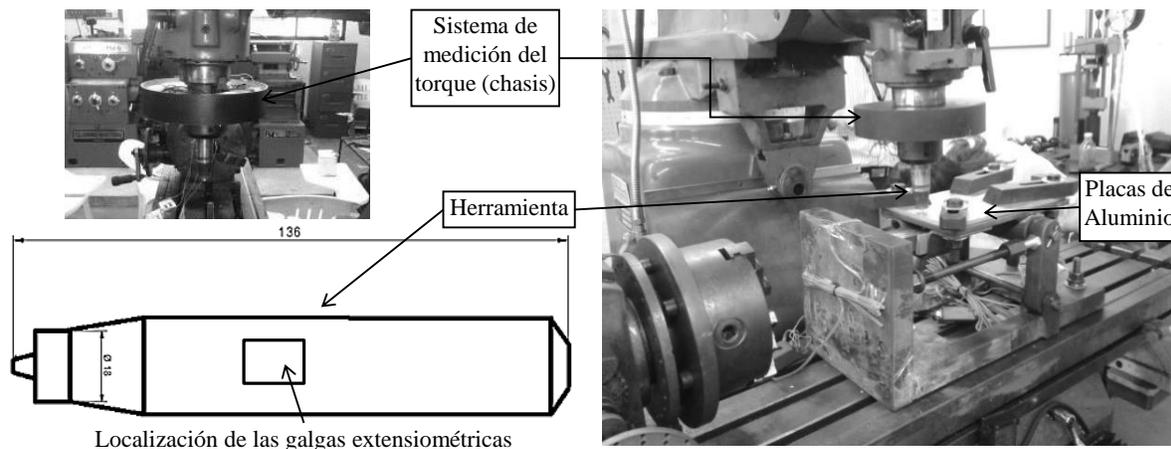


Figura 2. Diseño de herramienta y montaje para el proceso FSW en la fresadora.

Para realizar la medida del torque se diseñó e implementó un sistema de medición de torque. El sistema de medición de torque está compuesto por galgas extensiométricas montadas en la superficie de la herramienta, las cuales forman un puente completo de Wheatstone cuya señal fue acondicionada por un amplificador de instrumentación. La señal fue transmitida por un XBEE®

usándolo como cable virtual desde el transmisor, enviando el mismo voltaje en tiempo real en formato PWM, para procesarlo posteriormente en Labview® a través de un Arduino® por pin análogo. En la Figura 2 se muestra la localización de las galgas, así como el chasis que contiene y protege la instrumentación.

2.2 Dispositivo de Medición

La medición de torque en el dispositivo se realizó con un tratamiento especial de la señal para que los niveles de salida de tensión eléctrica, los cuales son usualmente bajos, no se enmascaren con el ruido; para ello se usó un filtro de promediado móvil. El procedimiento para la medición del torque se realizó en dos etapas: transmisión y recepción.

2.1.1 Etapa de transmisión

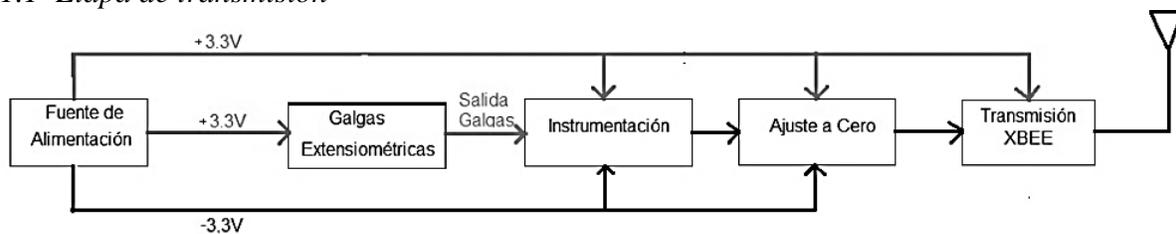


Figura 3. Diagrama de bloques del medidor de Torque.

La etapa de transmisión se esquematiza en la Figura 3. Los datos de deformación a torsión se captan por medio de galgas extensiométricas, las cuales tienen las siguientes características: temperatura de trabajo hasta 200 °C, 350Ω de resistencia y cableado de 3 m. Estas galgas son alimentadas con dos baterías recargables de 9V reguladas hasta $\pm 3,3V$. El voltaje positivo alimenta solo a las galgas extensiométricas que se conectan en forma de puente de Wheatstone sobre la superficie de la herramienta, los otros dos terminales libres se toman como salida hacia la etapa de instrumentación donde amplifica se ajusta a cero y se transmite vía XBEE®.

2.1.2 Etapa de recepción

Con el uso del cable virtual termina la etapa de transmisión y comienza la de recepción que se realiza según el esquema de la Figura 4.

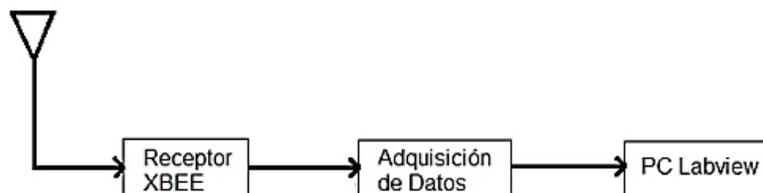


Figura 4. Etapa de recepción, adquisición y visualización.

Una vez se comienza a recibir la señal se envían los datos a un PC para su pos procesamiento en ambiente Labview®. Esta etapa se hace por medio de un arduino montado en una tarjeta de adquisición de datos usando el kit de herramientas en ambiente Labview®. El arduino recibe en

la salida una modulación por ancho de pulso (PWM), la cual se linealiza por medio de un filtro de promediado y un estadístico que realiza la media aritmética para luego realizar la visualización del torque. La ecuación 1 se usa para transformar el voltaje que llega en torque. Esta ecuación es:

$$T = \frac{\left(\frac{\Delta e}{K_s \cdot V}\right) \left(\frac{E \cdot Z_p}{1 + \nu}\right)}{g} \quad (1)$$

En la ecuación (1) T, es el torque; Δe , es el voltaje de salida de las galgas; E, es Modulo de Young; K_s , es el factor de galga; V, es el voltaje de alimentación; g, es la ganancia; y Z_p , es el módulo de sección polar.

2.3 Resultados experimentales de la medida del torque

En la Figura 5 se muestra una curva típica del comportamiento del torque durante la soldadura obtenida con el dispositivo de medición. La curva muestra un comportamiento típico de las medidas de torque durante la soldadura por fricción agitación en aluminio obtenidas en otros trabajos aunque con distintos valores debido al material utilizado (T. J. Lienert, 2003; W. R. Longhurst, 2010; Gibson, 2011; M. ST. Weglowski 2011); Siendo el valor más aproximado de torque el de A. Gerlich en 2005. Se observan tres períodos importantes en la curva denotados como t_1 , t_2 y t_3 . El primer período coincide con la penetración de la herramienta hasta que el hombro hace contacto con la superficie de las placas; el segundo con el inicio del avance y tiempo de soldadura de las placas; mientras el tercero y último con la extracción de la herramienta. El torque máximo experimentado se encuentra al inicio del avance de la herramienta en la junta y es denotado con τ_{MAX} , con un valor de aproximadamente 6,5 N.m. Con este torque el valor de la potencia consumida durante el proceso es, aproximadamente, 1300W, la cual puede deducirse como el área bajo la curva en el período t_2 .

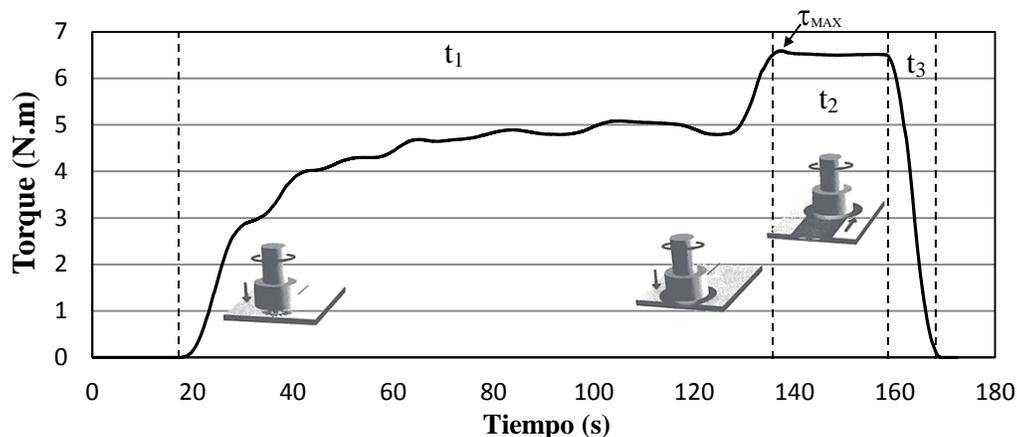


Figura 5. Curva de comportamiento del Torque en el tiempo. Las diferentes etapas de soldadura, t_1 , es el tiempo de penetración. t_2 , el tiempo de soldadura. t_3 , es el tiempo de extracción de la herramienta.

3 CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este trabajo se puede concluir que fue posible medir el torque en tiempo real para soldadura por fricción agitación (SFA) usando un dispositivo de bajo costo con tecnología disponible en el mercado. El comportamiento observado de la curva de torque en el tiempo de procesamiento es consistente con resultados de otros sistemas de torque desarrollados de manera similar. Fue posible observar las etapas del proceso de soldadura, incluyendo las etapas de penetración de la herramienta en la junta, el pico máximo de torque al inicio del desplazamiento horizontal de la herramienta y finalmente el decaimiento del torque por el final del proceso. Con estos valores fue posible calcular la potencia consumida durante la soldadura.

4 AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen el apoyo financiero de la Universidad Autónoma del Caribe a través de proyecto interno CONV-I-004- P012. Así mismo agradecemos la colaboración del ing. Jorge Luis Pacheco Yépez por su apoyo con el uso del ADQ, la ing. Jennifer Villa y los estudiantes de ingeniería Isaith Berdugo y Alexander Torres por su dedicación en la elaboración de las soldaduras.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Thomas, W. M., et al. 1991. International Patent Application No. PCT/GB92/02203 and GB Application No. 9125978.8.
2. A. Burgos, H. S. "Soldadura Por Friccion Agitación (FSW) De Aluminio". [Online] II CAIM Segundo Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica. 2010, <http://www.ingenieria.unlz.edu.ar/proyecto/archivos-cms/papers/34.pdf>.
3. Gibson, B. T. "Custom low-cost force measurement methods". [Online], Nashville, Tennessee: Vanderbilt University. 2011, http://research.vuse.vanderbilt.edu/vuwal/Publications/Custom_Low_Cost_Force_Measurement_Methods_In_Friction_Stir_Welding.pdf.
4. M. Melendez, W. T. "Tool Forces Developed During Friction Stir". Nasa , 1 - 34. 2003
5. M. ST. Weglowski, A. P. "Friction stir processing – analysis of the process. Archives of metallurgy and materials" , volumen 56, 779 - 788, 2011.
6. T. J. Lienert, W. L.. "Friction Stir Welding Studies on Mild Steel". WELDING RESEARCH , 1s -9s. 2003.
7. W. R. Longhurst, A. M. "Torque control of friction stir welding for manufacturing and automation". Int J Adv Manuf Technol , 905 - 913. 2010.
8. A. Gerlich, P. S. "Tool penetration during friction stir spot welding of Al and Mg alloys". Journal of Materials Science, 6473 - 6481, 2005.