

ESTUDIO DE LOS CICLOS TÉRMICOS ADQUIRIDOS DURANTE EL PROCESO DE SOLDADURA POR FRICCIÓN-AGITACIÓN MEDIANTE MODELOS ANALÍTICOS Y NUMÉRICOS

L. N. Tufaro¹, H. G. Svoboda^{2,3}

¹ Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, San Martín, Buenos Aires, Argentina.

² Universidad de Buenos Aires, Laboratorio de Materiales y Estructuras, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

ltufaro@inti.gov.ar

OBJETIVO

- ✓ Estudiar la aplicación de la solución analítica de Rosenthal al proceso de soldadura por Fricción-Agitación.
- ✓ Desarrollar herramientas de cálculo utilizando modelos analíticos y numéricos para determinar los valores netos de la potencia y del calor aportado durante dicho proceso.

DESCRIPCIÓN

Se realizaron uniones soldadas por fricción-agitación (FSW) a tope de 150x150x4 mm utilizando una fresadora convencional adaptada, Figura 1. El material utilizado fue AA 7075-T651, el cual es una aleación de aluminio termoensensible, de alta resistencia, de uso aeronáutico y considerada no-soldable por procesos convencionales de fusión. Sin embargo, con el desarrollo de la FSW, actualmente puede ser soldada mediante esta técnica. La herramienta utilizada presentó un "pin" de geometría cónica, tuvo un hombro cóncavo de 12 mm de diámetro y fue construida en acero H13. Todas las probetas se soldaron con una velocidad de rotación de 514 rpm y las velocidades de avance (U) empleadas fueron 51, 73, 98, 146 y 206 mm/min, designando a las probetas según estos valores.

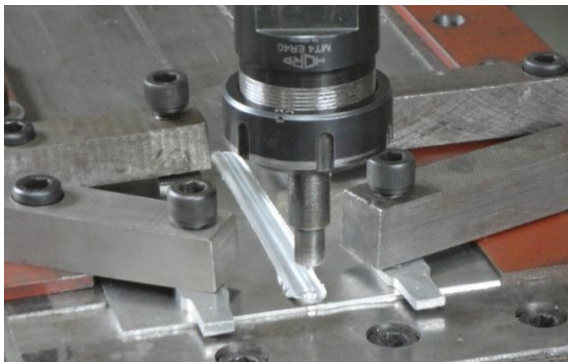


Figura 1: equipamiento utilizado para la FSW.

Los ciclos térmicos generados durante la soldadura se adquirieron con tres termocuplas (TCs) tipo K, que se ubicaron en la mitad de la

longitud de la probeta, en el lado de retroceso (RS), aproximadamente a 7, 13,5 y 20 mm de la línea de soldadura, colocándose en orificios de 1 mm de diámetro y 2 mm de profundidad.

En la siguiente ecuación se presenta la solución de Rosenthal para flujo de calor cuasi-estacionario bidimensional que considera las pérdidas de calor hacia el medio ambiente. Si el valor del coeficiente de transferencia (h) es nulo, se tiene la solución para superficies adiabáticas, que es la más difundida.

$$T(x, y, t) = \frac{Q}{2\pi kb} e^{-\frac{U(x-Ut)}{2\alpha}} k_0 \left(\sqrt{(x-Ut)^2 + y^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{U}{2\alpha}\right)^2 + \frac{2h}{kb}} \right) + T_0$$

Para obtener los valores de la potencia (Q) y el calor aportado (H), siendo $H=Q/U$, se ajustaron por cuadrados mínimos los ciclos térmicos adquiridos con la solución de Rosenthal. Si se consideran superficies adiabáticas, el único parámetro de ajuste es Q, que es un parámetro lineal, por lo que se realiza un único ajuste en forma directa. En cambio, si se consideran las pérdidas de calor, se tiene un parámetro de ajuste adicional, el coeficiente de transferencia de calor (h). Como este parámetro es no lineal el ajuste se realiza en forma iterativa para distintos valores del mismo [1].

Por otra parte, se modeló por elementos finitos (FEM) la transferencia de calor durante el proceso de soldadura para encontrar una solución aplicando menos hipótesis simplificadoras que la solución de Rosenthal, ya que esta considera un estado cuasi-estacionario, una fuente de calor puntual y dimensiones infinitas de las chapas a soldar. Para lograr esto, se resolvió en forma numérica la transferencia de calor en forma transitoria, considerando una distribución espacial de la fuente de calor y dimensiones finitas de las chapas a soldar [1].

RESULTADOS

En la Figura 2 se grafican los ciclos térmicos de las cinco condiciones de soldadura,

correspondientes a la termocupla más cercana al borde del cordón (TC1), a partir de los cuales se calcularon Q y H.

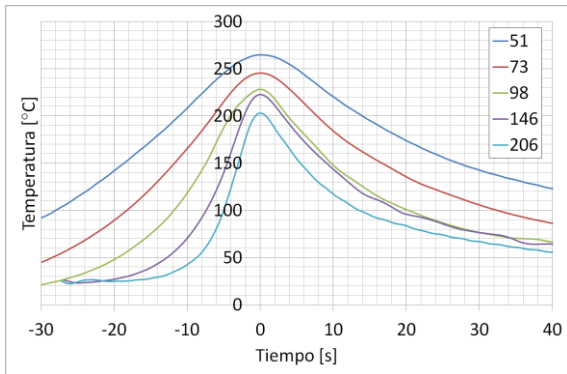
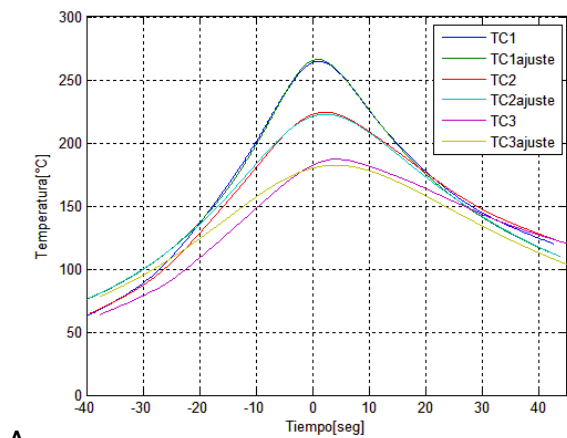
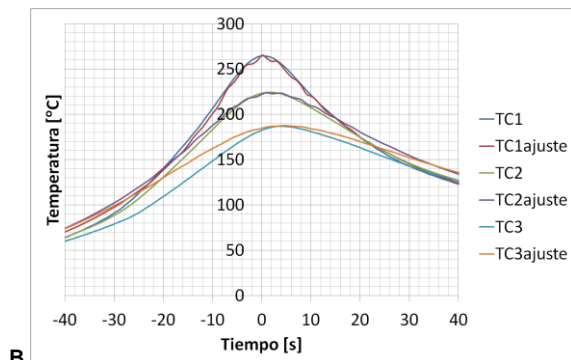


Figura 2: ciclos térmicos correspondientes a la TC1.

En la Figura 3.A, se muestran los tres ciclos térmicos adquiridos para la probeta 51 y los obtenidos del ajuste con la solución de Rosenthal que considera las pérdidas de calor, apreciándose un buen ajuste. Esta variante de la solución de Rosenthal resultó ser adecuada para los ciclos térmicos adquiridos en este trabajo, mientras que la variante que considera superficies adiabáticas presentó un grado de ajuste relativamente bajo.



A.



B.

Figura 3: ajuste de los ciclos térmicos de la probeta 51, A. ajuste con solución de Rosenthal considerando pérdidas de calor, B. ajuste con solución por FEM.

En la Figura 3.B, se muestran los resultados del ajuste con la solución obtenida por FEM de los ciclos térmicos de la probeta 51. Al igual que en el caso anterior, se obtiene un buen grado de ajuste, lo que implica que mediante ambos métodos se obtienen resultados satisfactorios.

En las Figuras 2 y 3, el tiempo cero se corresponde a la temperatura máxima del ciclo térmico de la TC1.

Por último, en la Figura 4 se grafican los valores netos del calor aportado (H) obtenidos mediante ambos ajustes, pudiéndose apreciar que son similares entre sí para cada una de las cinco condiciones de soldadura analizadas. Lo mismo puede decirse para los valores de netos de la potencia (Q), ya que $H=Q/U$.

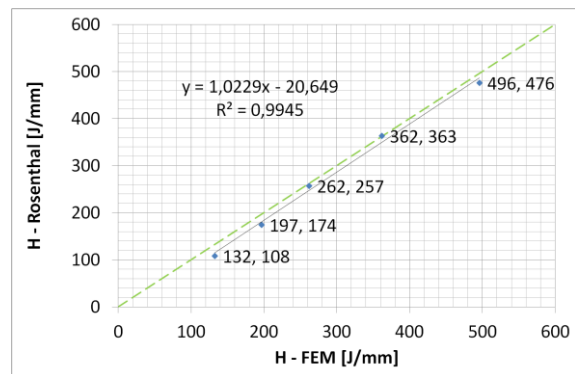


Figura 4: valores netos de H según la solución de Rosenthal y la obtenida por FEM.

CONCLUSIONES

Las herramientas de cálculo desarrolladas para determinar los valores netos de potencia (Q) y calor aportado (H) a partir de los ciclos térmicos adquiridos durante la soldadura por fricción-agitación (FSW) presentaron resultados satisfactorios.

A pesar de las limitaciones de la solución de Rosenthal, la misma se puede aplicar a FSW si se consideran las pérdidas de calor a través de las superficies.

Si bien la solución obtenida por elementos finitos (FEM) resuelve la transferencia de calor durante la soldadura aplicando menos hipótesis simplificadoras que la solución de Rosenthal, los resultados obtenidos mediante ambos modelos son similares.

REFERENCIAS

[1] TUFARO, L. N. y SVOBODA H. G., "Estudio de los ciclos térmicos adquiridos durante FSW mediante modelos analíticos y numéricos", 38º CONSOLDA, 2012.