

# ESTUDIO DE LAS TENSIONES RESIDUALES EN UNIONES SOLDADAS POR FRICCIÓN AGITACIÓN DE ALEACIÓN DE ALUMINIO DE ALTA RESISTENCIA

L. N. Tufaro<sup>1</sup>, H. G. Svoboda<sup>2,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.

ltufaro@inti.gov.ar

## OBJETIVO

Analizar el efecto de la velocidad de avance sobre el nivel de tensiones residuales generados en uniones soldadas por fricción agitación de aleación de aluminio de alta resistencia.

## 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 termoenvejecible, 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.

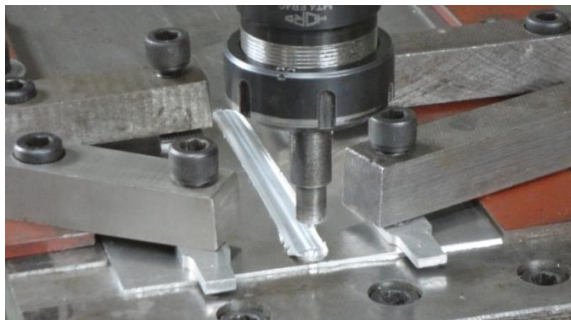


Figura 1: equipamiento utilizado para la FSW.

Los ciclos térmicos generados durante la soldadura se adquirieron con tres termocuplas (TC) 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. Se utilizaron

herramientas de cálculo basadas en métodos analíticos y numéricos para determinar los valores netos de la potencia (Q) y del calor aportado (H) a partir de los ciclos térmicos adquiridos por la termocupla más próxima al cordón de soldadura (TC1) [1].

Las tensiones residuales longitudinales ( $\sigma_R$ ) presentes en las juntas soldadas se midieron mediante el método del seccionamiento. Se instrumentaron cuatro strain gages (SG) lineales, posicionándose el primero sobre el centro del cordón y los otros tres uno a continuación del otro en el lado de avance (AS), y luego se realizaron dos cortes en una fresadora horizontal con una fresa de disco de 1 mm de espesor, como se indica en la Figura 2.

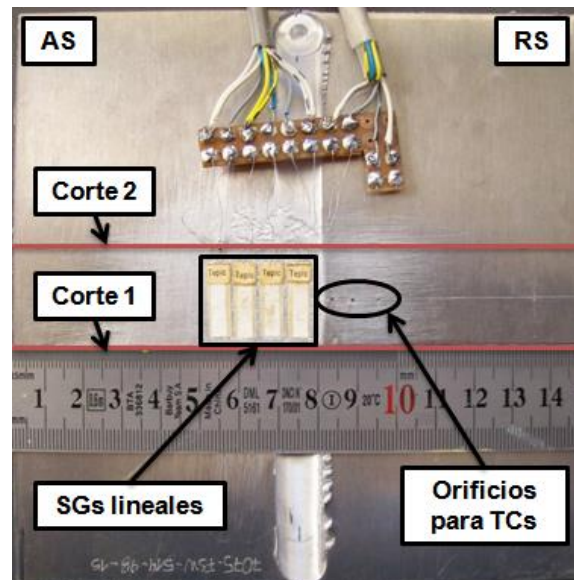


Figura 2: posición de TCs y SGs, y secuencia de cortes.

Para la medición de las deformaciones asociadas al relevamiento de las tensiones residuales se empleó un equipo Vishay P-3500, realizando todas las mediciones 35 días posteriores a la soldadura, con la intención de mantener invariante el tiempo de envejecimiento.

## RESULTADOS

En la Figura 3, se puede apreciar que calor aportado (H) y la temperatura máxima medida con la TC1 disminuyen con la velocidad de avance (U), presentando una tendencia potencial, mientras que la potencia (Q) se mantuvo prácticamente invariante, siendo aproximadamente de 450 W. Las temperaturas máximas fueron menores que las habitualmente reportadas en la literatura, hecho que está asociado a dimensiones de herramienta menores que las utilizadas comúnmente, generando una potencia menor.

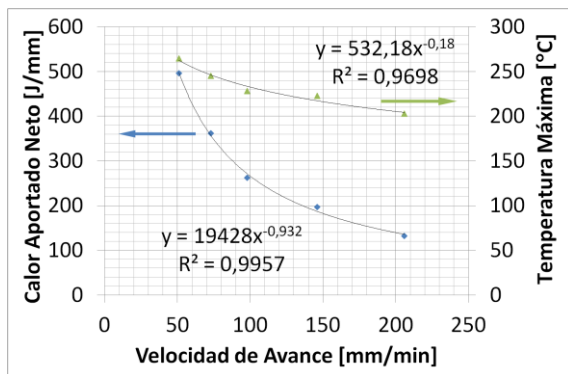


Figura 3: calor aportado neto y temperatura máxima en función de la velocidad de avance.

En la Figura 4 se grafican los perfiles de tensiones residuales longitudinales, pudiéndose apreciar que todos presentaron una distribución y gradientes similares, con la tensión de tracción máxima en el centro del cordón.

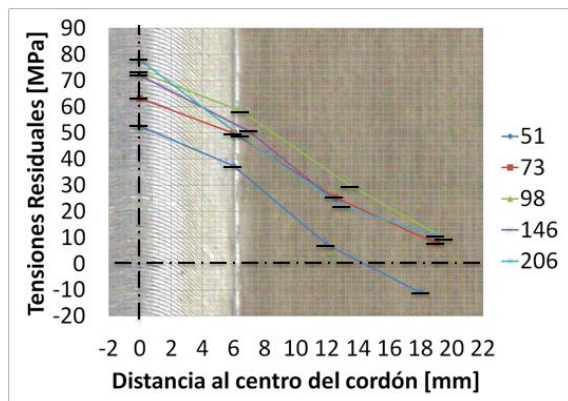


Figura 4: perfiles de tensiones residuales longitudinales.

Las tensiones residuales máximas se encontraron entre 53 y 78 MPa, correspondiéndose con un 10 a 15 % del límite de fluencia del material base (526 MPa). Como se observa en la Figura 5, estas aumentaron con la velocidad de avance, pero con pendiente decreciente, pudiéndose considerar marginal su aumento a partir de los 100 mm/min. Al igual

que las temperaturas máximas, las tensiones residuales fueron menores a las reportadas en la literatura, hecho que también está asociado a una menor potencia generada debida a las menores dimensiones de herramienta.

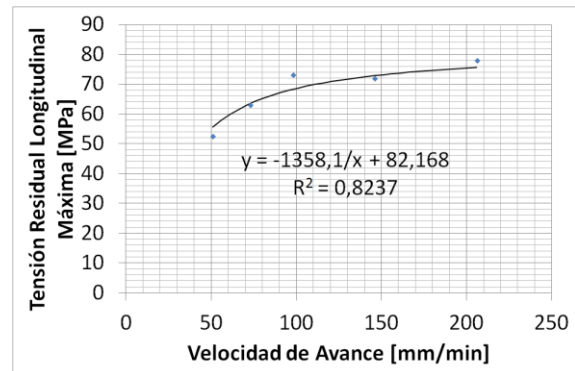


Figura 5: tensión residual longitudinal máxima en función de la velocidad de avance.

El comportamiento mostrado en la Figura 5 puede analizarse teniendo en cuenta que el nivel de tensiones residuales aumenta con la magnitud y la no uniformidad del campo de temperaturas. Como la potencia fue invariante, al aumentar la velocidad de avance disminuyó el calor aportado neto, la uniformidad del campo de temperaturas, y además su magnitud. De esta manera, ambos efectos del campo de temperaturas compiten entre sí para determinar el nivel de tensiones residuales generado, compensándose a medida que aumentaba la velocidad de avance.

## CONCLUSIONES

Las temperaturas máximas y el calor aportado neto disminuyeron con la velocidad de avance, mientras que la potencia neta se mantuvo prácticamente invariante.

Las tensiones residuales longitudinales máximas aumentaron con la velocidad de avance, con pendiente decreciente. Esto estaría asociado a que el efecto de la disminución de la magnitud del campo térmico compensó el efecto de la disminución de la uniformidad del mismo.

Al utilizar una herramienta con dimensiones menores a las comúnmente utilizadas, resultó en una menor potencia generada, obteniéndose menores temperaturas y tensiones residuales.

## 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.