

# CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE SOLDADURAS POR FRICCIÓN-AGITACIÓN DE ALEACIÓN DE ALUMINIO AA 7075-T651

Pérez, H.<sup>(1)</sup>; Berardo, L.<sup>(1)</sup>; Svoboda, H.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>INTI Procesos Superficiales <sup>(2)</sup>Grupo de Tecnología de la Soldadura y Comportamiento Mecánico de Materiales Metálicos INTECIN-FIUBA

hiperez@inti.gov.ar

## OBJETIVO

Caracterizar la resistencia a la corrosión de las diferentes zonas de uniones soldadas por medio del proceso FSW (Friction Stir Welding, soldadura por fricción agitación), y correlacionar los resultados con los parámetros del proceso de soldado.

## DESCRIPCIÓN

La FSW es una técnica de unión en estado sólido. Una herramienta no-consumible, que rota sobre su eje, avanza sobre la superficie de contacto de las dos piezas a unir, generando el calor y flujo de material necesario para producir la unión. El esquema del proceso se ilustra en la Figura 1.

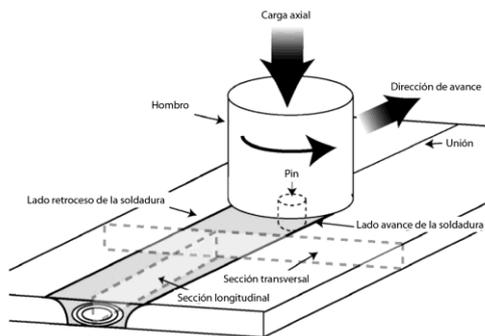


Figura 1: Esquema del proceso de soldadura por fricción agitación

Los parámetros más relevantes del proceso son la velocidad de rotación y la velocidad de avance a lo largo de la línea de unión.

En la unión soldada por este proceso se pueden distinguir tres zonas diferenciadas según las características microestructurales: zona agitada (“nugget”), zona termomecánicamente afectada (TMAZ) y zona térmicamente afectada (HAZ). Dichas zonas se muestran en la Figura 2.

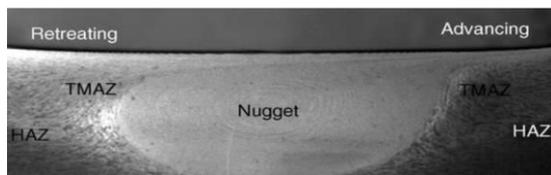


Figura 2: Macrografía de una sección soldada por fricción agitación

Manteniendo constante la velocidad de rotación a 680 rpm, se definió evaluar dos velocidades

de avance: 51 mm/min (680-51) y 206 mm/min (680-206).

En el estudio electroquímico se midió el potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) durante 200 s, seguido por una polarización cíclica con una velocidad de barrido de 1 mV/s. El potencial de partida fue -100 mV vs  $E_{corr}$ , hasta alcanzar una densidad de corriente de  $1 \cdot 10^{-4}$  A/cm<sup>2</sup>, valor denominado  $i_{lim}$ . A partir del potencial correspondiente a esta corriente se invirtió el sentido de avance, polarizando catódicamente hasta el potencial de partida. Ambas medidas se realizaron en condiciones de aereación natural, sin eliminación del oxígeno.

Con esta última técnica se obtiene el potencial de picado ( $E_p$ ), la densidad de corriente máxima ( $i_{max}$ ) y el potencial crítico de picado o de repasivación ( $E_{rp}$ ).

Dichas medidas se realizaron utilizando una celda electroquímica de apoyo de 2 mm de diámetro, de manera de aislar las diferentes microestructuras de la soldadura y evaluar su comportamiento individual. Como contra-electrodo se usó un alambre de Pt y como electrodo de referencia un electrodo de Ag/AgCl.

Se realizó un mapeo de la superficie de las probetas, apoyando la celda en los diferentes puntos de medición.

## RESULTADOS

En las Figuras 4 y 5 se muestran los resultados del conjunto de medidas realizadas sobre las probetas 680-51 y 680-206, respectivamente. En la Tabla 1 se resumen los valores obtenidos.

Las curvas de polarización obtenidas no muestran zona de pasividad, debido a la presencia de oxígeno y la susceptibilidad de la aleación al ataque localizado. En las condiciones de medición, el potencial de corrosión es una indicación indirecta del potencial de picado.

En la zona del “nugget” (-5 a +5 mm de la línea de soldadura) se puede observar una disminución de los potenciales analizados ( $E_{corr}$ ,  $E_p$  y  $E_{rp}$ ), extendiéndose 1 - 2,5 mm por fuera de esta zona, llegando a la interfase TMAZ-HAZ. Luego, en la HAZ, los potenciales aumentan hasta llegar a los del material base.

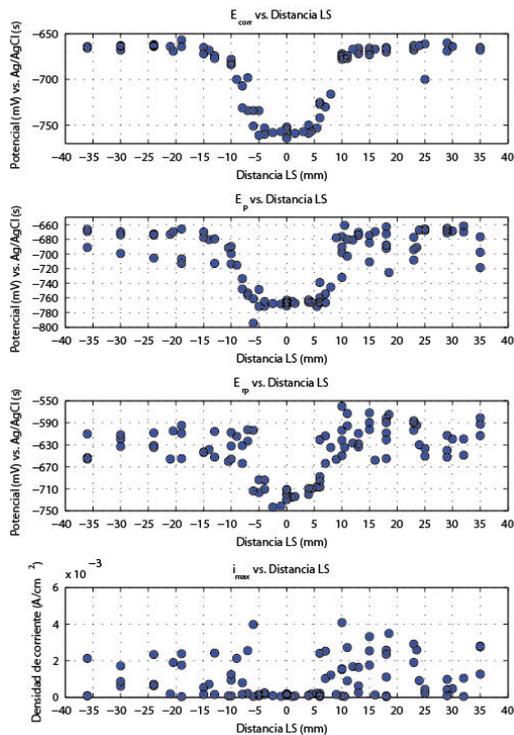


Figura 4: Gráficos de  $E_{corr}$ ,  $E_{pit}$ ,  $E_{rp}$  y  $i_{max}$  vs distancia a la línea de unión para la probeta 680-51

Tabla 1: Resumen de resultados

|                                |               | 680-51              | 680-206             |
|--------------------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| $E_{corr}$ (mV)                | Nugget        | $-755,5 \pm 7$      | $-738,8 \pm 10,4$   |
|                                | Material base | $-666 \pm 4$        | $-666 \pm 4$        |
|                                | Diferencia    | 89,5                | 72,8                |
| $E_{pit}$ (mV)                 | Nugget        | $-717,6 \pm 14,5$   | $-703,4 \pm 11$     |
|                                | Material base | $-621 \pm 21$       | $-621 \pm 21$       |
|                                | Diferencia    | 96,6                | 82,4                |
| $E_{rp}$ (mV)                  | Nugget        | $-766 \pm 5,4$      | $-751,7 \pm 7,2$    |
|                                | Material base | $-683 \pm 19$       | $-683 \pm 19$       |
|                                | Diferencia    | 83                  | 68,7                |
| $i_{max}$ (A/cm <sup>2</sup> ) | Nugget        | $1,4E-4 \pm 6,2E-5$ | $1,7E-4 \pm 8,5E-5$ |
|                                | Material base | $1,2E-3 \pm 1,1E-3$ | $1,2E-3 \pm 1,1E-3$ |
|                                | Inug/Imb      | 0,12                | 0,15                |

Esta disminución del potencial en las condiciones de ensayo implica una mayor susceptibilidad a la corrosión.

Las  $i_{max}$  son menores en el "nugget" de ambas probetas, tanto en promedio como en desvío estándar, en comparación con el metal base. No se observa una diferencia clara de los valores de  $i_{max}$  entre la zona del HAZ y el material base. Las menores corrientes del "nugget" indican que la cantidad de material disuelto es menor, por lo que el picado es menos profundo o hay una menor densidad de ataques en comparación con el material base.

Las densidades de corriente máximas medidas en el "nugget" de la probeta 680-51 resultaron ser ligeramente menores que las de la probeta 680-206, pero la diferencia no es significativa ya que se encuentra dentro de la dispersión de los resultados.

Analizando de forma aislada los datos obtenidos, podría decirse que la zona del "nugget" es más susceptible a la corrosión localizada; sin embargo, tal como se mencionó, el daño resulta ser menor que el que se

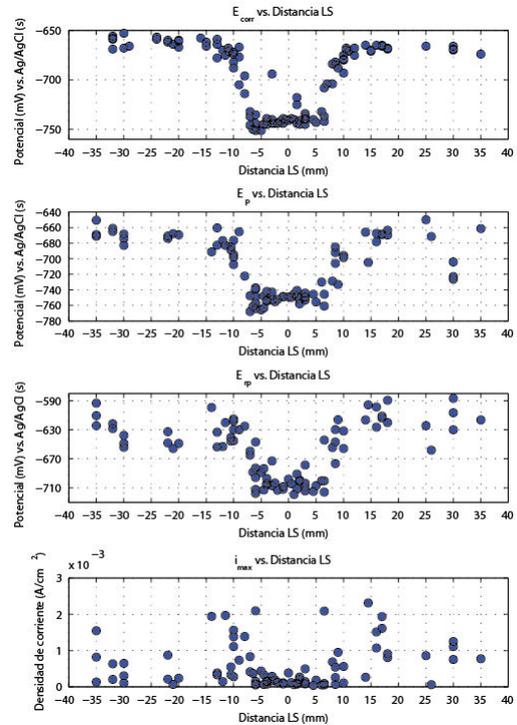


Figura 5: Gráficos de  $E_{corr}$ ,  $E_{pit}$ ,  $E_{rp}$  y  $i_{max}$  vs distancia a la línea de unión para la probeta 680-206

produce en el material base. Esto se puede deber a que existe un cambio en la morfología del ataque debido a las diferencias microestructurales de cada zona.

Hay que tener en cuenta que, al realizar medidas puntuales, no se evaluó la contribución galvánica al proceso de corrosión localizada, que puede favorecer el daño en las zonas de alto gradiente de potencial (TMAZ-HAZ).

## CONCLUSIONES

En ambas uniones soldadas se observó una mayor susceptibilidad al picado en la zona del "nugget", con una menor cantidad de material disuelto, en comparación con el material base.

De las condiciones de soldadura evaluadas, la 680-51 es la que presenta mayor susceptibilidad a la corrosión en la zona del "nugget".

A fin de evaluar la contribución de los diferentes potenciales de cada zona a la corrosión total de la unión soldada por efecto galvánico, este estudio debe complementarse con un análisis de la microestructura y ensayos de corrosión globales.

## BIBLIOGRAFIA

- M. K. Cavanaugh, J.-C. Li, N. Birbilis, y R. G. Buchheit, Journal of The Electrochemical Society 161, C535 (2014).
- R. Mishra y M. Mahoney, Friction Stir Welding and Processing, ASM International, 2007.
- Tufaro L., Tensiones residuales y propiedades mecánicas de uniones soldadas por fricción agitación (FSW) de AA 7075-T651, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires, 2012.