

## CARACTERIZACIÓN DE ALEACIONES DE ACERO Y ALUMINIO DE APLICACIÓN AEROSPAACIAL

**Cicileo, G.<sup>1</sup>, Pérez Pontoriero, F.<sup>1</sup>, Chichizola S.<sup>1</sup>, Gassa, L.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>División Corrosión- Centro de Investigación en Sólidos (CINSO)  
UNIDEF (MINDEF-CONICET) – CITEDEF  
J. B de LaSalle 4380, Villa Martelli, Argentina  
Email: [gcicileo@citedef.gob.ar](mailto:gcicileo@citedef.gob.ar)

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas  
INIFTA (UNLP-CONICET) Diag. 113 y 64, La Plata, Argentina  
Email: [lgassa@inifta.unlp.edu.ar](mailto:lgassa@inifta.unlp.edu.ar)

### RESUMEN

Se caracterizaron aleaciones de aluminio y acero de aplicación aeroespacial, empleando técnicas de análisis como microscopía óptica metalográfica, microscopía electrónica de barrido, análisis por dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX) y espectrometría de emisión óptica en plasma inductivamente acoplado (ICP-OES), determinando su composición, granulometría y características superficiales.

### INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de acero se emplean para motores y mecanismos internos de cohetes, mientras que las aleaciones de aluminio se utilizan para las estructuras en contacto con la atmósfera, y toberas, con el propósito de aliviarlos para tener más alcance. En los últimos años se emplean en particular aleaciones de aluminio de la serie 6000, por ser livianas, resistentes a la corrosión, con gran conductividad térmica y eléctrica. Para alcanzar estas propiedades son sometidas a tratamientos térmicos que conducen a la formación de partículas intermetálicas y precipitados. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que estos cambios pueden afectar la susceptibilidad a la corrosión, incrementando el riesgo de formas de corrosión localizada como picado [1, 2].

Se caracterizaron dos aleaciones de acero y aluminio por diferentes técnicas de análisis de superficie, en el marco de un proyecto en el cual se estudia la susceptibilidad a la corrosión de estos materiales, crucial en la etapa de almacenamiento, a causa de los elementos volátiles que se desprenden del combustible, constituidos principalmente por ácido clorhídrico, lubricantes, grasas y aceites.

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados fueron acero comercial, de grano austenítico, comercializado por Tenaris y aluminio 6082 sometido al tratamiento térmico T6, consistente en un reforzado en solución a 535°C y quenching (enfriamiento rápido), seguido de un envejecimiento final a 175°C durante 8-10 horas. La composición de las aleaciones de acero y aluminio se determinó a través de espectrometría de emisión óptica

en plasma inductivamente acoplado (ICP-OES), utilizando un espectrómetro Perkin Elmer modelo Óptica 2000, disolviendo antes del análisis, las muestras de ambas aleaciones en HCl 30% v/v.

Muestras de ambos materiales se observaron en lupa estereoscópica Leica y microscopio metalográfico Nikon. Se pulieron utilizando papel esmeril hasta grado 1200 y pulidora con pasta de diamante de 6 y  $\frac{1}{4}$   $\mu\text{m}$  y el paño correspondiente a cada material hasta alcanzar el pulido espejo. Además, muestras de acero y aluminio pulidas (con papel esmeril hasta grado 1200 y desengrasadas con acetona) y sin pulir se observaron mediante un microscopio electrónico de barrido, Philips 515, acoplado a una microsonda EDAX Génesis Versión 5.21, que permite la detección de elementos livianos, a partir del boro, con un límite de detección del 1% en peso.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

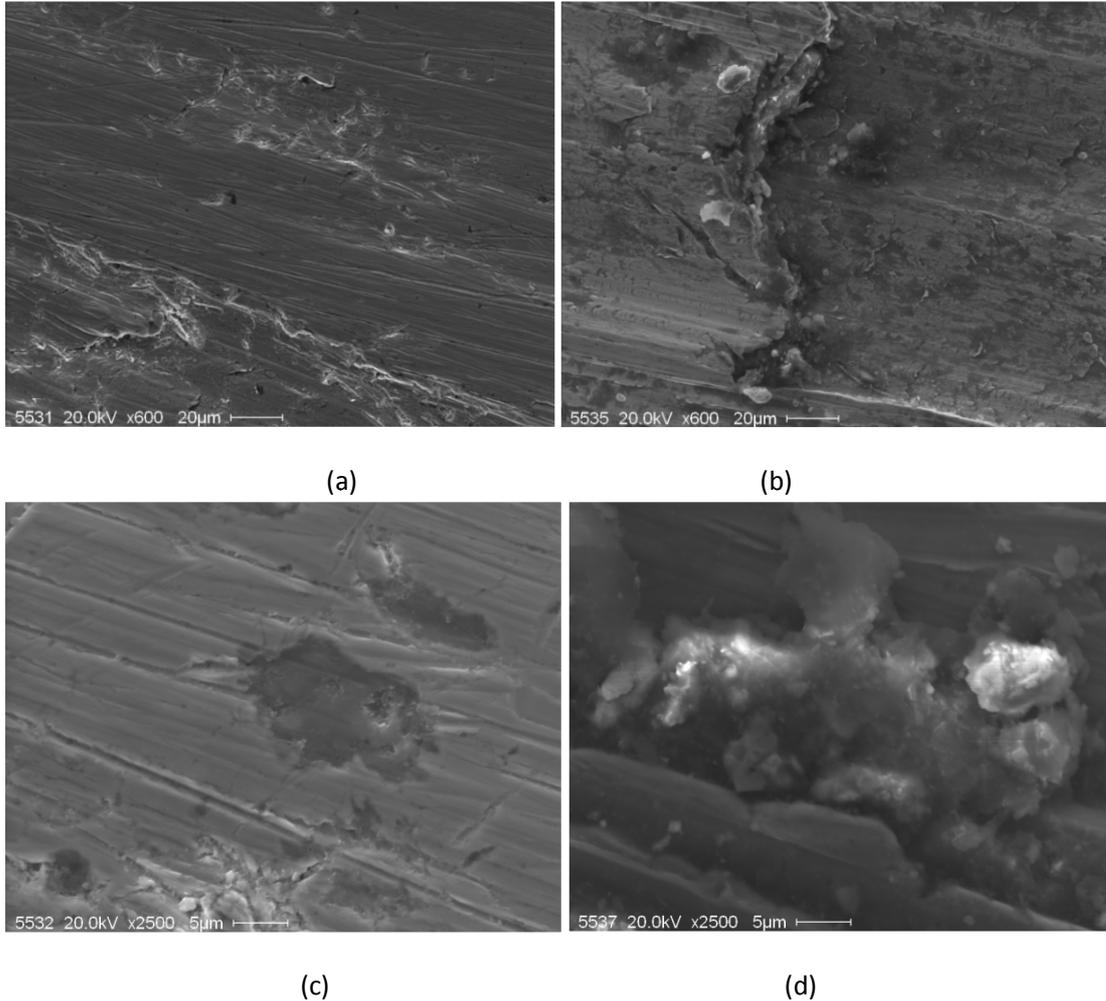
La concentración obtenida mediante ICP-OES, de muestras de acero y aluminio, y el límite de detección de dicha técnica para cada elemento se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Concentración (Wt. %) de acero y aluminio y límite de detección (LD), ICP-OES

Elemento	Acero (Wt. %)	Aluminio (Wt. %)	LD (Wt. %)
Cr	1.08±0.01	< 0.003	0.003
Mn	0.74±0.01	0.43±0.01	0.001
Mg	< 0.002	1.00±0.01	0.002
Cu	0.12±0.01	0.03±0.01	0.004
Zn	< 0.02	< 0.02	0.02
Fe	Balance	0.26±0.01	0.008
Al	-----	Balance	-----

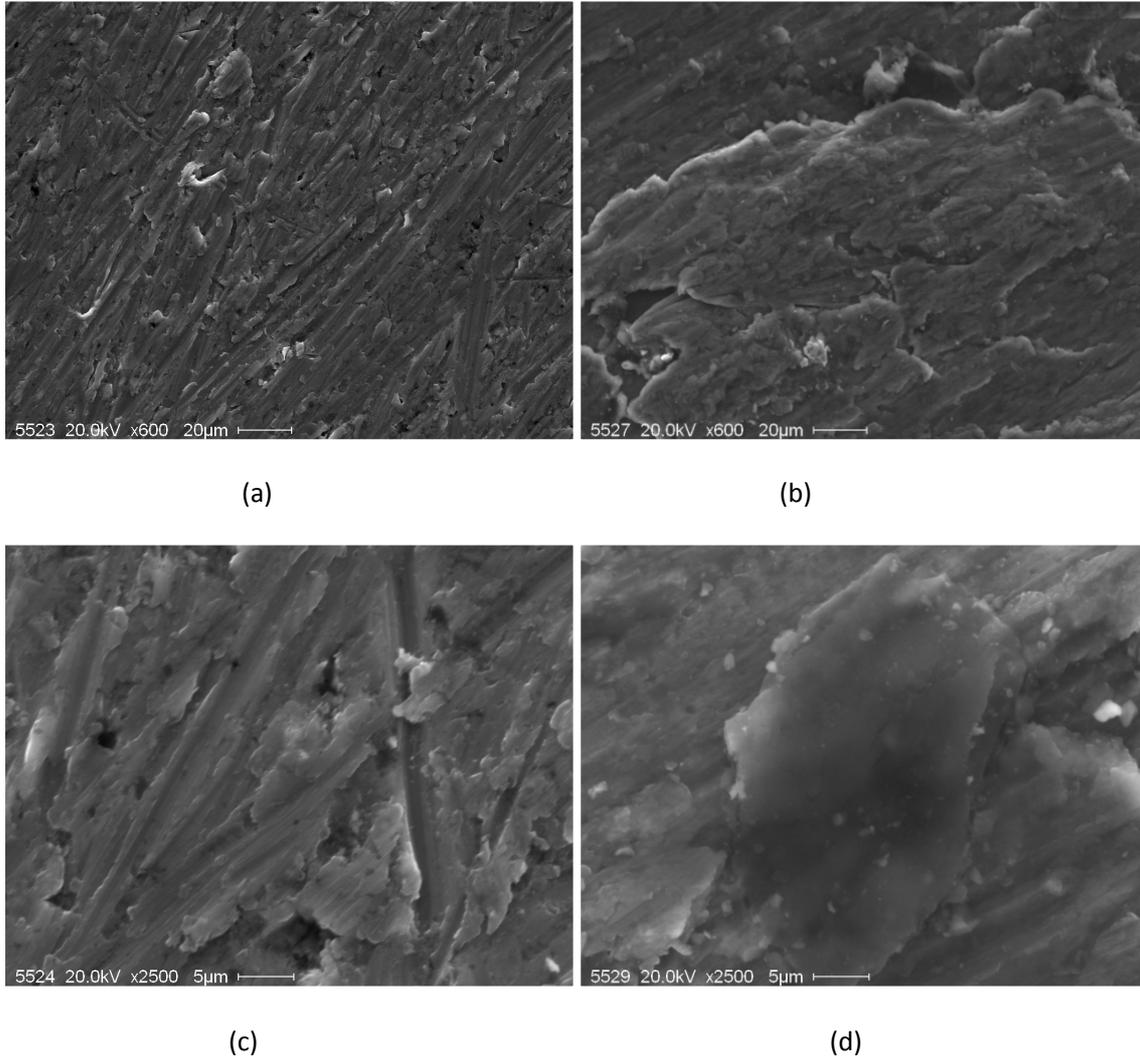
La observación al microscopio metalográfico permitió apreciar líneas de pulido e imperfecciones en superficie no observables a simple vista y en lupa estereoscópica. El pulido espejo fue difícil de alcanzar, especialmente en el aluminio, el material más liviano. Se observó la granulometría sobre las muestras pulidas, colocando un decapante ácido, correspondiente a cada material, sin permitir que actúe prolongadamente. Se pudo apreciar la acción del decapante, comenzando por lugares específicos. En el acero la corrosión comenzó en los bordes de grano y se hizo generalizada al aumentar la concentración del decapante, mientras que en el aluminio el ataque fue localizado, con formación de picaduras. Como fuera informado en trabajos previos, la corrosión comienza preferencialmente en las partículas de intermetálicos, conteniendo Mg y Si [3-5].

En las Figs. 1 y 2 se presentan las micrografías, tomadas con el microscopio electrónico de barrido a dos aumentos diferentes, para muestras de acero y aluminio, respectivamente.



**Fig. 1.** Micrografías de muestras de acero: a) pulida x600, b) sin pulir x600, c) pulida x2500, d) pulida x2500.

En la Fig. 1 se observa que la muestra pulida (a) presenta características regulares, a diferencia de la muestra sin pulir, en que se aprecian zonas heterogéneas, con partículas adheridas (b). La Fig. 1 (d) muestra, con mayor aumento, una partícula adherida (no metálica) que provoca carga eléctrica y cuyo análisis EDX puntual evidenció la presencia de muchos contaminantes en pequeña concentración. La composición promedio detectada en las muestras de acero pulidas fue ente 1 y 2% Wt. de Cr y Mn y el resto Fe. En las muestras sin pulir, por el contrario, se detectó la presencia de C y O, atribuible a la presencia de óxidos y otros productos de corrosión.



**Fig. 2.** Micrografías de muestras de aluminio: a) pulida x600, b) sin pulir x600, c) pulida x2500, d) sin pulir x2500 (partícula adherida).

Se puede apreciar la textura heterogénea de la muestra de aluminio sin pulir (Fig. 2b), a diferencia de la muestra pulida (Fig. 2a). Se observó, x 2500, un área heterogénea, más oscura (Fig. 2d) y se realizó un análisis EDX puntual en el interior de dicha zona, que evidenció la presencia de un alto porcentaje de carbono y trazas de contaminantes como Mg, Na y Si. En otras muestras de aluminio pulidas se observaron imperfecciones en superficie, como zonas en menor relieve en la dirección de las líneas de corte, posiblemente por arranque del material al cortar, al lado de zonas más oscuras. Se hicieron análisis EDX puntuales, sobre los tres tipos de zonas observadas: zonas en menor relieve, zonas lisas con líneas de pulido y zonas más oscuras, observando que la composición del material no presenta grandes cambios, a pesar de las características morfológicas diferentes, presentando todas ellas valores mayores de 20 % Wt. O, cercanos a 5 % Wt. Mg y menores a 1 % Wt. Si.

## CONCLUSIONES

Se caracterizaron, a través de diferentes técnicas de análisis de superficie, dos tipos de materiales de aplicación aeroespacial. Se observó corrosión generalizada en el acero, en presencia de decapante ácido concentrado, que comenzó por lugares específicos en los bordes de grano. En el aluminio, en cambio, la corrosión comenzó preferencialmente en los clusters de Si-Mg, con tendencia al picado. El aluminio presentó más imperfecciones en superficie, por lo cual resultó más difícil alcanzar el pulido espejo en este material. La observación al microscopio electrónico de barrido y análisis EDX mostró una composición homogénea y textura regular para las muestras pulidas, mientras que aquellas sin pulir estaban cubiertas por películas de óxidos y contaminantes adheridos en superficie.

## REFERENCIAS

1. Svenningsen, G., Larsen, M. H., Nordlien, J. H., Nisancioglu, K. Corrosion Science 48 (2006) 258–272.
2. Cuniberti A., Tolley A., Castro Riglos M. V., Giovachini R., Materials Science and Engineering A 527 (2010) 5307-5311.
3. Gassa, L. M., Castro, M. L., Barbosa, M. R. Proceedings SAM/CONAMET 2011.
4. Ares, A. E., Gassa, L. M., Méndez C. M., Schvezov C. E., Proceedings SAM/CONAMET 2011.
5. Eckermann, F., Suter, T, Uggowitzer, P. J., Afseth, A., Schmutz, P., Electrochimica Acta 54 (2008) 844-855.