



Application Note AN-PAN-1018

Análisis en línea de ácidos, bases y aluminio en baños de anodizado

La anodización es un proceso electroquímico que implica sumergir un metal (generalmente aluminio) en un bano ácido frío y aplicar una corriente eléctrica. El propio metal actúa como electrodo positivo (ánodo) en este proceso. Este tratamiento electroquímico da como resultado una superficie más resistente a la corrosión y al desgaste, al tiempo que mejora la resistencia general del metal.

Antes del paso de anodizado del aluminio, las

superficies de aluminio se limpian en banos de grabado. Para mantener las propiedades de la superficie, se realiza un seguimiento en línea de bases (por ejemplo, NaOH), ácidos (por ejemplo, H_2SO_4 , HNO_3 , HF, H_3PO_4) y aluminio son necesarios en el bano. Esto se logra mejor mediante la titulación en línea con el 2060 TI Process Analyzer o el 2026 HD Titrolyzer, según los requisitos del usuario.

INTRODUCCIÓN

El aluminio es el metal más abundante en la Tierra y es un metal base muy reactivo [1]. Es adecuado para uso industrial gracias a su ligereza, buena conductividad eléctrica y térmica, y resistencia a la corrosión [2].

El aluminio reacciona con el oxígeno, el agua u otros agentes oxidantes para crear una capa protectora de óxido de aluminio (pasivación) [3–5]. Esta capa de óxido natural protege el aluminio subyacente contra la corrosión, aunque presenta algunas limitaciones [5].

El anodizado es un tratamiento electroquímico que aumenta el espesor de la capa de óxido de aluminio sobre la superficie metálica. El proceso de anodizado endurece el aluminio y lo hace más resistente a la oxidación [6]. Incluye pretratamiento, tratamiento del núcleo y acabado para completar el ciclo (Figura 1) [7].

En primer lugar, se limpia la pieza de trabajo para eliminar la suciedad, el aceite y los lubricantes. Luego se trata con una solución especial para eliminar la capa de óxido natural antes de anodizar. Este paso se conoce como grabado alcalino.

Mantener el equilibrio adecuado entre el aluminio disuelto y otros productos químicos en el baño de grabado es crucial en este paso. Este equilibrio a menudo se denomina relación aluminio/sosa libre.

Si esta relación se aleja del rango recomendado, se produce una reacción en la que el aluminato de sodio se descompone en una sustancia trihidróxido de aluminio. Este subproducto indeseable recubre la pieza de trabajo y evita que el proceso de anodizado logre un acabado exitoso. En términos más simples, mantener la proporción ideal de sustancias en el baño garantiza una operación de anodizado suave, mientras que una mezcla inadecuada interrumpe el proceso al formar una capa que bloquea la

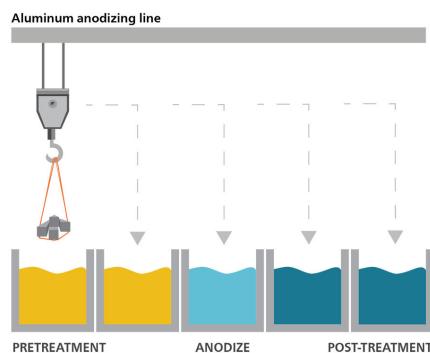


Figure 1. Ilustración de una línea de anodizado típica.

anodización.

Tradicionalmente, los procesos de grabado pueden sufrir inconsistencias a medida que el agente de grabado (como el hidróxido de sodio en este caso) se agota. Este agotamiento conduce a una desaceleración gradual en la velocidad de grabado, lo que da lugar a variaciones en la apariencia del producto final.

Para combatir estas inconsistencias y garantizar resultados de alta calidad, es necesario un monitoreo recurrente mediante un analizador de procesos en línea. Estos analizadores rastrean continuamente dos componentes cruciales: la concentración de la solución básica (a menudo hidróxido de sodio) y el nivel de aluminio disuelto dentro del baño de grabado. Al mantenerlos dentro de un rango designado, se garantiza un grabado consistente durante todo el proceso.

Además, los baños de anodizado normalmente están compuestos de un electrolito de ácido sulfúrico. Durante el proceso de anodizado, la pieza de trabajo se vuelve anódica para que el metal reaccione con el oxígeno del anión y se forme una capa de óxido en la superficie.

Para un acabado anodizado impecable, es esencial un control meticuloso de la concentración de aluminio y ácido sulfúrico dentro de este baño. Si la concentración de aluminio es demasiado alta, puede afectar negativamente la apariencia final de la superficie y provocar una mayor resistencia eléctrica durante el proceso. El ácido sulfúrico se consume debido a un cierto grado de arrastre del producto y debe reponerse periódicamente para reducir los costos de funcionamiento y, al mismo tiempo, generar un acabado de alta calidad.

Si bien tradicionalmente se ha utilizado el análisis de laboratorio para monitorear la química del baño de anodizado, este tiene limitaciones. Este método generalmente implica recolectar manualmente una muestra del baño, enviarla a un laboratorio para su análisis y luego esperar los resultados. Este retraso de tiempo puede generar inconsistencias en el proceso de anodizado, ya que la química del baño puede

fluctuar entre los tiempos de muestreo. Además, el análisis de laboratorio puede requerir mucho trabajo y ser costoso.

Por el contrario, los analizadores de procesos en línea ofrecen una solución más eficiente y confiable para mantener la química óptima del baño. Estos instrumentos monitorean continuamente la concentración de parámetros críticos dentro del baño, como aluminio disuelto, hidróxido de sodio y ácido sulfúrico (ácido libre). Estos datos casi en tiempo real permiten realizar ajustes inmediatos, garantizando que la química del baño permanezca dentro del rango designado las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

La eliminación del muestreo manual combinada con el monitoreo continuo que ofrecen los analizadores en línea reduce significativamente el riesgo de fluctuaciones en la química del baño, lo que en última instancia conduce a menos defectos y a la necesidad de volver a realizar trabajos. Al proporcionar un flujo constante de datos precisos, los analizadores de procesos en línea permiten a los fabricantes lograr resultados de anodizado consistentes y de alta calidad.

APLICACIÓN

El control en línea de los componentes alcalinos y ácidos, así como del aluminio mediante titulación, es posible con el analizador de procesos 2060 TI (**Figura 3**) o el Titrolyzer HD 2026 (Figura 4) de Metrohm Process Analytics. La selección del analizador de procesos óptimo depende de los requisitos de monitoreo específicos (multiparámetro o parámetro único, respectivamente).



Figura 3. El analizador de procesos 2060 TI de Metrohm Process Analytics puede monitorizar varios parámetros críticos en línea en el proceso de anodizado.

Tabla 1. Parámetros a monitorear en una línea de anodizado y sus rangos de concentración esperados.

Parte del proceso	Parámetro	Rango [g/L]
Bano de grabado	Alcalinidad	50–120
	Aluminio	70–150
Bano de anodizado	Ácido libre	0,1–300
	Aluminio	1–10

COMENTARIOS

El aluminio también es un material ideal para otras aplicaciones de tratamiento de superficies. Se puede limpiar mediante procesos de decapado ácido para garantizar una pasivación completa. También se utiliza un proceso de decapado para preparar el aluminio para la aplicación de un recubrimiento de conversión como capa protectora de superficie.



Figure 4. El titulador HD 2026 de Metrohm Process Analytics puede monitorizar en línea hasta dos parámetros críticos durante el proceso de anodizado.

CONCLUSIÓN

Para garantizar que se obtengan propiedades superficiales óptimas durante el anodizado de aluminio, es crucial realizar un monitoreo continuo tanto de los productos químicos de limpieza (soluciones básicas y ácidas) como del aluminio

mismo. Esto se puede lograr de manera efectiva a través del análisis de procesos en línea utilizando el analizador de procesos TI 2060 para análisis de múltiples parámetros o el titulador HD 2026 para monitoreo de un solo parámetro.

REFERENCIAS

1. Atwood, D. A.; Yearwood, B. C. The Future of Aluminum Chemistry. *Journal of Organometallic Chemistry* 2000, 600 (1–2), 186–197. DOI:10.1016/S0022-328X(00)00147-9
2. Paz Martínez-Viademonte, M.; Abrahami, S. T.; Hack, T.; et al. A Review on Anodizing of Aerospace Aluminum Alloys for Corrosion Protection. *Coatings* 2020, 10 (11), 1106. DOI:10.3390/coatings10111106
3. Zumdahl, S. S. *Introductory Chemistry*, 5th edition.
4. Spira, N. *Aluminum Oxidation: Does Aluminum Rust?* Kloeckner Metals Corporation. <https://www.kloecknermetals.com/blog/aluminum-oxidation-is-aluminum-corrosion-resistant/> (accessed 2024-06-03).
5. Keijzer, M. *PICKLING, AN EXCELLENT SURFACE TREATMENT FOR ALUMINIUM*; Technical bulletin TB 2004/17; Vecom, 2004.
6. *How does Anodizing Increase Corrosion Resistance?* <https://www.anoplate.com/news-and-events/how-does-anodizing-increase-corrosion-resistance/> (accessed 2024-06-03).
7. Dorigotti, D. *Anodising Aluminium: Everything You Need to Know*. Dragon Metal Manufacturing, 2023.

NOTAS DE APLICACIÓN RELACIONADAS

[AN-PAN-1012](#) Análisis en línea del contenido de iones de níquel e hipofosfato en banos de niquelado químico

[AN-PAN-1019](#) Análisis en línea de ácidos y hierro en

banos de decapado

[AN-PAN-1064](#) Monitorización de agentes complejantes en banos galvánicos en línea con espectroscopía Raman

BENEFICIOS DEL ANÁLISIS DE PROCESOS EN LÍNEA

- Producto final de mayor calidad y mayor recambio de metal (MTO) debido a la determinación en línea de los parámetros del baño.
- **Mejorado** reproducibilidad, tasas de producción y rentabilidad (menos desperdicio).

- Diagnóstico totalmente automatizado – alarmas automáticas cuando las muestras están fuera de los parámetros de especificación.



CONTACT

Metrohm Argentina S.A.
Avda. Regimiento de
Patricios 1456
1266 Buenos Aires

info@metrohm.com.ar

CONFIGURACIÓN



2060 Process Analyzer

El 2060 Process Analyzer es un instrumento de análisis de química húmeda online que sirve para innumerables aplicaciones. Este instrumento de análisis de procesos ofrece un nuevo concepto de modularidad que consiste en una plataforma central, denominada "armario básico".

El armario básico consta de dos secciones. La sección superior contiene una pantalla táctil y un ordenador industrial. La sección inferior contiene la parte húmeda flexible donde se aloja el hardware para el análisis propiamente dicho. Si la capacidad básica de la parte húmeda no es suficiente para resolver un desafío analítico, entonces el armario básico puede ampliarse a hasta cuatro armarios más de parte húmeda para asegurar el espacio suficiente para resolver incluso las aplicaciones más difíciles. Los armarios adicionales pueden configurarse de tal manera que cada armario de parte húmeda puede combinarse con un armario de reactivos con detección de nivel integrada (sin contacto) para aumentar el tiempo de funcionamiento del instrumento de análisis.

El 2060 Process Analyzer ofrece diferentes técnicas de química húmeda: titulación, titulación Karl Fischer, fotometría, medida directa y métodos de adición de patrón.

Para cumplir con todos los requisitos del proyecto (o para satisfacer todas sus necesidades) se pueden proporcionar sistemas de preacondicionamiento de muestras para garantizar una solución analítica robusta. Suministramos prácticamente cualquier sistema de preacondicionamiento de muestras, como sistemas de refrigeración o calentamiento, reducción de presión y desgasificación, filtración, etc.