

ANÁLISIS DEL PROCESO DE NITRURACIÓN POR PLASMA ELECTROLÍTICO A TRAVÉS DE LAS TÉCNICAS QFD Y CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO

Hugo Pérez Durán y Gregorio Vargas Gutiérrez

CINVESTAV, hugo.perez@cinvestav.mx, gregorio.vargas@cinvestav.mx

Introducción

El agua de mar es una mezcla compleja que contiene diferentes sales, gases disueltos, sólidos en suspensión, materia orgánica descompuesta y organismos vivos. Como tal, el agua de mar puede ser un medio agresivo para la mayoría de las aleaciones metálicas. El comportamiento frente al desgaste y la corrosión de los metales en el agua de mar está influido también por el contenido de oxígeno, la velocidad de las corrientes de agua de mar, la temperatura, la contaminación y los organismos marinos. Por estudios previos se ha encontrado que la oxinitruración es un proceso que puede incrementar la resistencia al desgaste y a la corrosión de los aceros inoxidable en agua de mar. En la búsqueda de un proceso que consuma menos energía, que sea más económico y amigable con el medio ambiente en el presente trabajo se analiza el proceso de oxinitruración por plasma electrolítico usando el análisis simplificado de ciclo de vida (ASCV) integrado en las matrices de despliegue de funciones de calidad (QFD).

La integración de los requerimientos y restricciones funcionales, y los criterios económicos y del ASCV se realizó de acuerdo con las sugerencias de Michael Ashby¹. Estas recomendaciones se integraron en las matrices de selección de materiales, procesos, equipos y condiciones de operación.

Resultados y análisis

En la Figura 1, es posible observar la matriz correspondiente al análisis de materiales. Los impactos evaluados en el ASCV, son considerados como los requisitos funcionales y estos se dividen en:

- Eficiencia del material (comprende los primeros 6 requisitos).
- Eficiencia energética. asociada con la energía necesaria para obtener cada material.

- Eficiencia de carbono. Huella de carbono asociada con la producción de cada material.
- La generación de residuos. Evalúa la posibilidad de cada material para ser reciclado o reutilizado.

Ponderación	Jerarquía	Requerimientos funcionales	Alternativas de materiales																				
			Aceros AISI 1045	Aceros AISI 304	Inoxidables 316	Aleaciones de Aluminio	Aluminio (A.D.)	Donor de Nitrogeno	Urea	Carbonato de Amonio	Urea	Nitrato de amonio	Nitrato de amonio										
14.7	5	Maximizar resistencia a corrosión por picadura (Vel cor. < 0.9 mm/año)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
8.8	3	Maximizar la resistencia al desgaste	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8.8	4	Maximizar propiedades mecánicas	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8.8	3	Maximizar conformado de pieza	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5.9	2	Maximizar disponibilidad de materiales	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8.8	3	Minimizar precio de materiales	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.9	1	Minimizar consumo de material	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14.7	5	Minimizar energía incorporada en su obtención	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14.7	5	Minimizar huella de carbono de su obtención	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
8.8	3	Maximizar reciclabilidad y/o reutilización	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
100.0	34																						
Importancia / peso Absoluto:			492.4	192.1	419.3	516.2	164.8	104.2	191.9	104.9	145.0	105.3	144.2	141.2									
Peso relativo:			27.6%	24.5%	21.2%	22.6%	24.5%	11.3%	12.4%	6.4%	13.3%	10.6%	25.4%										
			Sustratos			Preparación de superficies			Electrolito														

Figura 1. Matriz QFD asociada al análisis de materiales con base al análisis simplificado de ciclo de vida.

Como es posible observar, la evaluación de las opciones (colocadas como características de calidad), se realiza de una forma práctica y sencilla al asignar un valor dentro de la matriz de relaciones, los cuales van del 1 a la menor relación encontrada, hasta el 9 a la mayor relación encontrada.

Para el caso de la selección de materiales, la evaluación QFD-ASCV arroja que el sustrato elegido para nitrurar es el acero inoxidable, así como también sugiere a la arena como material para preparar las superficies de este metal y a la urea y el carbonato de amonio como las especies donadoras de nitrógeno mejor evaluadas para llevar a cabo el proceso SSNPE.

Este mismo procedimiento es llevado a cabo para la selección de los mejores procesos involucrados en SSNPE, la selección de equipo y de los parámetros de operación. En las Figuras 2, 3 y 4 se pueden observar las matrices para dichos procedimientos.

Estos valores están soportados por rangos de valores encontradas en bibliografía o experimentales para cada requisito funcional.

Ponderación	Jerarquía	Requerimientos funcionales	Alternativas de procesos						
			Preparación de superficies	Formación de soluciones	SSNPE				
			Destañe y pulido mecánico	Proyección de arena	Electroquímico	Manual	Aplicación magnética	Catódico	Ánódico
15.6	5	Eficiencia de los procesos	Maximizar limpieza y eliminación de capa pasiva e impurezas	1	1	1			
12.5	4		Minimizar precio de procesamiento (Equipo + E. eléctrica)	1	1	1	1	1	1
3.4	3		Minimizar riesgo de procesamiento	1	1	1	1	1	1
15.6	5	Eficiencia energética	Maximizar facilidad de procesamiento	1	1	1	1	1	1
15.6	5		Minimizar energía de procesamiento	1	1	1	1	1	1
15.6	5	Eficiencia de carbono	Minimizar huella de carbono de procesamiento	1	1	1	1	1	1
15.6	5	Generación de residuos	Minimizar cantidad de residuos generados (sólidos y líquidos)	1	1	1	1	1	1
100	32								
Importancia / peso Absoluto:			900.0	716.5	425.0	759.0	399.4	446.5	421.9
Peso relativo:			27.2%	39.8%	24.8%	71.1%	28.9%	42.3%	37.7%
			Preparación de superficies	Formación de soluciones		SSNPE			

Figura 2. Matriz de selección del proceso.

Ponderación	Jerarquía	Requerimientos funcionales	Alternativas de equipos				
			Preparación de superficies	Fuentes de poder			
			Pulidora	Cámara de proyección de arena	Fuentes de poder alto voltaje y alta corriente	Fuentes de poder de bajo voltaje y alta corriente	Fuentes de poder de altos voltajes y corrientes
14.7	5	Eficiencia de los equipos	Maximizar capacidad para alcanzar el estado plasma	1	1	1	1
8.8	3		Maximizar operación autónoma	1	1	1	1
6.9	2		Maximizar operación sobre todas las caras de la pieza	1	1	1	1
14.7	5		Minimizar tiempo de operación	1	1	1	1
11.8	4		Maximizar facilidad de uso (Uso + versatilidad para procesar todo tipo de piezas)	1	1	1	1
14.7	5	Eficiencia energética	Minimizar consumo de energía eléctrica	1	1	1	1
14.7	5	Eficiencia de carbono	Minimizar huella de carbono asociada al uso de energía eléctrica	1	1	1	1
14.7	5	Economía	Maximizar costo de los equipos	1	1	1	1
8.8	3		Maximizar disponibilidad de los equipos (3 proveedores nacionales)	1	1	1	1
100.0	34						
Importancia / peso Absoluto:			276.5	841.2	676.5	441.2	688.2
Peso relativo:			24.7%	75.3%	37.5%	24.4%	38.1%
			Preparación de superficies	Fuentes de poder			

Figura 3. Matriz de selección de equipo.

Ponderación	Jerarquía	Requerimientos funcionales	Alternativas de operación											
			Concentración de la Especie donadora de nitrógeno	Concentración de la Especie modificadora de conductividad	Tiempo de tratamiento en condiciones de plasma	Potencial de plasma electrolítico								
			Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Bajo	Medio	Alto	Atención de plasma (0 P)	0 P + 10 V	0 P + 20 V
15.6	5	Eficiencia de operación	Maximizar espesor de capa logrado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9.4	3		Minimizar temperatura de operación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3.4	3		Maximizar temperatura de operación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12.5	4	Eficiencia energética	Maximizar cantidad de nitrógeno en el plasma	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6.3	2		Minimizar consumo de sales	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15.6	5	Eficiencia de carbono	Minimizar consumo energético (Energía eléctrica para operar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15.6	5		Minimizar huella de carbono (asociado al consumo eléctrico necesario para operar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15.6	5	Economía	Minimizar costo de operación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
100.0	32													
Importancia / peso Absoluto:			414.5	212.5	229.0	277.5	479.0	223.0	417.5	359.0	596.0	417.5	212.5	173.5
Peso relativo:			46.3%	24.3%	25.8%	31.3%	53.7%	24.8%	47.0%	39.8%	67.3%	46.6%	24.3%	19.7%
			Concentración de la Especie donadora de nitrógeno	Concentración de la Especie modificadora de conductividad			Tiempo			Voltaje				

Figura 4. Matriz de parámetros de operación.

Conclusión

El análisis sugiere que el tratamiento SSNPE ideal tiene las siguientes características:

- **Materiales:** Sustrato-Acero inoxidable 304, Preparación superficial-Arena, Especie donadora de nitrógeno: Urea y Carbonato de amonio;
- **Procesos:** Preparación superficial-Proyección de arena (sandblast), formación de soluciones de forma manual y proceso SSNPE en modo catódico.
- **Equipos:** Cámara de proyección, fuente de poder de altos voltajes y corrientes y emplear pinzas caimán como forma para transferir la energía eléctrica.
- **Operación:** Concentración baja de la especie donadora de nitrógeno, concentración media de la especie modificadora de conductividad, tiempos bajos de procesamiento y el voltaje al cual fue logrado el estado plasma, como voltaje de trabajo.

Con estas características, es posible inferir que el proceso SSNPE, tendrá los menores impactos ambientales, así como también la maximización de la eficiencia del proceso, del consumo de energía y la reducción de la huella de carbono.

Referencias

Ashby M. F. (2012). Materials and Environment. Eco-informed Material Choice, Second Edition, Ed. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, England.



1er Congreso Internacional
CEMIE-Océano



