

CONSIDERACIONES ACERCA DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE ACEROS INOXIDABLES UTILIZADOS EN PLATAFORMAS OFFSHORE

Fecha de Recepción: 14 de Mayo de 2019 • Fecha de Aceptación: 12 de Setiembre de 2019

Lifschitz, Ana Julia y De Cristóforo, Norma*

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Chubut. Avenida del Trabajo 1536 -9120 Puerto Madryn, Chubut.

**Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida
Correo Electrónico: normadecristofaro@yahoo.it*

RESUMEN

Uno de los principales problemas que afronta la extracción de recursos energéticos en plataformas offshore es la durabilidad de los materiales de la construcción de plataformas, las estructuras conexas y demás componentes de los equipos. En el ambiente de ejercicio, los fenómenos biológicos, la corrosión, la cavitación y la corrosión – erosión, constituyen problemas corrientes. La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable depende de la película pasiva que estos materiales desarrollan en contacto con el aire, inmediatamente después del proceso de fabricación, fenómeno denominado pasivación. Estas películas están constituidas por óxidos e hidróxidos de hierro y cromo con diferentes grado de hidratación. Las características protectoras de estas películas dependen de la composición química del material

y especialmente de su contenido en cromo. Otros elementos de aleación como el molibdeno, níquel y el nitrógeno contribuyen a este fenómeno. Sin embargo bajo determinadas circunstancias, por acción química y/o mecánica, esta película pasiva puede perder localmente sus características protectoras y originar procesos de corrosión localizada.

El objetivo del presente trabajo es establecer algunas consideraciones, relativas a los alcances y los límites del empleo de aceros inoxidable, destinados a sistemas off shore.

Palabras claves: Aceros inoxidable, Corrosión, Plataformas Off shore, Técnicas electroquímicas.

ABSTRACT

One of the main problems that the extraction of energy from the movements of seawater must face is the durability of the materials of construction of platforms, related structures and other components of the equipments. In the exercise environment, biological phenomena, corrosion, cavitation and corrosion - erosion, are common problems. The resistance to corrosion of stainless steels depends on the passive film that these materials develop in contact with the air, immediately after the manufacturing process, a phenomenon known as passivation. These films are constituted by oxides and hydroxides of iron and chromium with different degree of hydration. The protective characteristics of these films depend on the chemical composition of the material and especially its

chromium content. Other alloying elements such as molybdenum, nickel and nitrogen contribute to this phenomenon. But under certain circumstances, by chemical and / or mechanical action, this passive film can locally lose its protective characteristics and cause localized corrosion processes.

The objective of this paper is to establish some considerations, related to scope and limits of the use of stainless steels, destined to offshore systems dedicated to the production of marine energy.

Key words: Stainless steels, Corrosion. Off-shore applications, Electrochemical techniques.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de los materiales por procesos de corrosión, en estructuras marinas, constituye un problema tecnológico de notable impacto económico. Por este motivo, una de las principales dificultades que debe afrontar la extracción de energía, por medio de la instalación de plataformas marinas offshore, es la durabilidad de los materiales utilizados en su construcción (Di Prátula, et. al., 2018). Los materiales constituyen un “cuello de botella” para el desarrollo ya que deben estar en contacto directo con uno de los ambientes naturales más agresivos, donde la corrosión, la cavitación, la corrosión-erosión y fenómenos de ensuciamiento biológico constituyen cuestiones corrientes. En general se trata de estructuras, componentes y equipos de considerable valor económico y de mantenimiento escaso, debido a la dificultad de las operaciones.

La problemática reviste un grado sumamente complejo ocasionado por la heterogeneidad ambiental. La parte de las estructuras en contacto con la atmósfera está sujeta a salpicaduras, a la acción del viento, de la lluvia y la irradiación solar. La zona de salpicaduras es rica en oxígeno. En esta área, además, existen efectos abrasivos como consecuencia del movimiento de las olas, partículas u otros objetos flotantes. Es el lugar donde se presentan altas velocidades de corrosión. Las estructuras fijas que se encuentren en la zona intermareal estarán en contacto con agua en constante movimiento determinado por olas y corrientes. La mayor parte de las estructuras se revisten con ensuciamiento biológico. En el límite entre la zona de marea y la zona sumergida se observa un incremento brusco de la velocidad de corrosión debido a la formación de celdas de aireación diferencial. En la zona que permanece permanentemente sumergida la corrosión dependerá fundamentalmente del nivel de oxígeno presente el cual disminuye con la profundidad.

Esta diferencia unida a un ambiente altamente conductor, con diversas situaciones de turbulencia y variaciones térmicas, determinan que este sea uno de los ambientes naturales más corrosivos (Galvele, Duffó, 2006).

El material de construcción de una estructura metálica que opere en el mar debe poseer alta resistencia a la corrosión o debe ser, preventivamente, protegido con algún tipo de tratamiento superficial, realizado mediante pinturas anticorrosivas y anti vegetativas o revestimientos plásticos, metálicos o cerámicos. Frecuentemente se recurre también a la protección eléctrica, la que necesita mantenimiento y gestión (Lazzari, Pedferri, 2000). Los aceros inoxidable de alto PREN (Pitting Resistance equivalent number) (International Molybdenum Association – IMOA, 2019) son soluciones confiables pero de alto valor económico. Por lo precedentemente mencionado, la búsqueda de soluciones más confiables y, sobretodo, más económicas, es aún hoy, un problema abierto.

Es frecuente asignar a los aceros inoxidable convencionales tipo EN 1.4301 (AISI 304), EN 1.4401 (AISI 316) y EN 1.4406 (AISI 430), bajo muchas circunstancias, inmunidad a la corrosión en el ambiente marino. Condición ésta que no siempre logran cumplir. La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable depende de la película pasiva que estos materiales desarrollan en contacto con el aire, después del proceso de fabricación industrial (De Cristofaro, Menegali, 2000). Estas películas están constituidas por óxidos e hidróxidos de hierro y cromo con diferentes grados de hidratación (De Cristofaro, et al., 1999). Las características protectoras de estas películas dependen de la composición química del material y, especialmente de su contenido en cromo (De Cristofaro, et al., 1997). Otros elementos de aleación como el molibdeno, el níquel y el nitrógeno contribuyen al fenómeno de la pasivación (Baulange.Peterman, et al., 2002), pero bajo determinadas circunstancias, por acción química y / o mecánica, esta película pasiva pierde sus características protectoras y se originan procesos de corrosión localizada (Baulange - Peterman et al., 2002; Szlarska–Smialoska, 1976; Sedriks, 1979).

El objetivo del presente trabajo es establecer algunas consideraciones, relativas a alcances y límites del empleo de los aceros inoxidable, destinados a sistemas off shore. En este marco se analiza el comportamiento a la corrosión localizada por picado e intersticial de aceros inoxidable de alta resistencia a la corrosión en comparación con los aceros inoxidable convencionales en el ambiente marino en la zona sumergida. El objetivo final es poner en evidencia el comportamiento de aceros inoxidable convencionales utilizados con frecuencia en condiciones de trabajo donde el material sufre corrosión localizada.

DESARROLLO

Materiales – El estudio se realizó utilizando aceros inoxidable comerciales, empleados habitualmente en numerosas aplicaciones industriales y un grupo de aceros inoxidable de alta resistencia a la corrosión. Se seleccionaron tres aceros de alta aleación (EN 1.4462, EN 1.4501 y EN 1.4507) y tres de tipo convencional (EN 1.4016, EN 1.4301 y EN 1.4401). La composición química, obtenida mediante fluorescencia de rayos X, junto a la estructura de los aceros examinados, y el Pitting Resistance equivalent number, PREN, se presenta en la Tabla 1. El índice PREN es una medida de la resistencia a la corrosión por picado en ambientes conteniendo iones cloruros. Valores altos de PREN indican mayor resistencia a la corrosión.

Tabla 1: Composición química (% peso) y estructura de los materiales examinados.

Estructura	Designación del acero	PREN	Cr	Mo	Ni	C	Cu	N	S	Mn
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
			Aceros inoxidables de alta resistencia							
Dúplex	EN1.4501	37,46	24.00	3.4	7.5	0.003	0.800	0.140	0.010	0.800
Dúplex	EN1.4462	35.44	22.15	3.30	5.80	≤0.07	0.15	0.15	0.03	≤2.00
Austenítico	EN1.4507	34,30	22.00	3.10	20.00	0.01		0.13	0.03	≤2.00
			Aceros inoxidables convencionales							
Ferrítico	EN1.4016 (AISI 430)		16.25	0.25	0.175	0.045		0.009	0.001	0.284
Austenítico	EN1.4301 (AISI 304)		18.32	0.290	8.100	0.060		0.013	0.005	1.300
Austenítico	EN1.4401 (AISI 316)		17.20	2.040	11.040	0.020	0.034	0.043	0.0043	1.370

PREN = *Pitting Resistance equivalent number*: % Cr + 3.3 (%Mo +0.5% W) + 16% N (International Molybdenum Association – IMO, 2019).

Estudios de corrosión localizada – Todos los materiales se emplearon con su acabado superficial industrial, 2 Bright (2B). Para determinar la susceptibilidad a la corrosión por picado e intersticial se realizaron los ensayos y las medidas electroquímicas siguientes:

Temperatura crítica de picado (TCP) - La determinación de la TCP se efectuó siguiendo los lineamientos de la norma ASTM G.48 modificada, método A (Norma ASTM G-48, 1992). Se utilizaron probetas de 25 mm por 50 mm y como electrolito, en lugar del $Fe_2Cl_6 \cdot 6H_2O$, recomendado por la normativa, se empleó una solución de NaCl 0.5 M. El objetivo de esta modificación fue emplear un electrolito de menor agresividad, que permita discernir entre potenciales de picados de aceros de composición química cercana. Se evaluó, además, la posibilidad de utilizar la norma ASTM G.150 (Norma ASTM G-150, 2004), que consiste en realizar una polarización potenciodinámica a diferentes temperaturas, utilizando un medio diferente al estándar, el método fue descartado debido al alto número de electrodos que presentaron corrosión intersticial en la interface portaelectrodo - acero, principalmente en el caso del acero ferrítico 1.4016 (AISI 430). Los materiales se emplearon conservando el acabado superficial comercial, en este caso todos los aceros inoxidables examinados presentaron terminación 2 Bright (2B). Antes de introducir en el electrolito, las probetas se desgrasaron con acetona y se lavaron con agua destilada. Todas las pruebas fueron realizadas en duplicado. Cada probeta fue expuesta a la solución agresiva por un periodo de 24 h, retirada del electrolito, enjuagada con agua destilada y observada al microscopio óptico (20X). Si no se observaba picado, la temperatura se aumentaba en 2°C y se repetía el procedimiento hasta la aparición de picaduras sobre la superficie metálica. La TCP se definió como la temperatura límite debajo de la cual no es posible la formación de picaduras.

Temperatura crítica intersticial (TCI) – La determinación de la TCI se realizó siguiendo los casos de determinación de la TCP. La geometría de intersticio se obtuvo mediante el empleo

de formadores de intersticios tipo Anderson (Ver Figura 1) construidos en un material hidrófugo (teflón), (Luperi, De Cristofaro, 2000). Lineamientos de la norma ASTM G.48 modificada, método B (Norma ASTM G-48, 1992) como en el caso de la TCP, cada probeta fue expuesta a la solución agresiva por un periodo de 24 h, retirada del electrolito, enjuagada con agua destilada y observada al microscopio óptico (20X). Si no se observaba corrosión de tipo intersticial, debajo de los formadores de intersticio, la temperatura se aumentaba en 2°C y se repetía el procedimiento hasta la aparición de corrosión. La TCP se definió como la temperatura límite debajo de la cual no es posible la formación de corrosión intersticial.

Técnicas electroquímicas – Estas técnicas se utilizaron para determinar la resistencia de la película pasiva, de los aceros inoxidable, en un ambiente ácido como el creado en los intersticios durante un proceso de corrosión localizada (Sedriks, 1986). Se emplearon técnicas galvanostáticas y potencioestáticas en ambiente ácido, H_2SO_4 0,25 M, utilizando una celda electroquímica convencional, un contraelectrodo de platino y un electrodo de referencia de calomel saturado (ECS) (ECS = EENH + 0,244 V). La celda se mantuvo a una temperatura constante de $23 \pm 0,5^\circ C$. Se realizaron 10 pruebas para cada tipo de acero inoxidable.

Los parámetros utilizados en ambas técnicas fueron seleccionados del estudio del comportamiento activo –pasivo visualizado a través de curvas de polarización anódicas potenciodinámicas en ácido, H_2SO_4 , 0,25 M. (N. De Cristofaro, et al., 2000). Para realizar la curva de polarización se utilizó una barrida de potencial de 1 mV/s a partir de 0.1 V debajo del potencial de corrosión hacia valores positivos mediante un potencioestado Solartron Modelo 1286.

Determinación de la calidad de la película pasiva, técnica galvanostática, programa 1 – El método se utilizó para determinar la calidad de la película pasiva, presente sobre la superficie del material, formada inmediatamente después de finalizado el proceso de fabricación industrial (N. De Cristofaro, et al., 1999). Por este motivo el material fue evaluado con su superficie comercial, sin pulir. El tiempo necesario para disolver la película pasiva indica su estabilidad en el electrolito (N. De Cristofaro, et al., 2000). Un esquema de la técnica aplicada se presenta en la Figura 2. El proceso de estudio se realizó a través de los siguientes dos pasos: 1) Registro del potencial a circuito abierto, OCP, durante 30 minutos. Disolución de la película pasiva mediante la aplicación de una corriente catódica de $-3.0E^{-5} A/cm^2$. La película pasiva se consideró disuelta cuando el potencial se situó a un valor de -0.9 V vs OCP.

Evaluación de la capacidad de pasivación, técnica potencioestática, programa 2 – Con este método se evalúa la calidad del sustrato a través de su capacidad para recrear la película pasiva, en el ambiente de ensayo (H_2SO_4 , 0,25 M). Por este motivo, en este programa el material fue evaluado eliminando la película pasiva formada inmediatamente después del proceso de fabricación de los materiales. La eliminación la película pasiva fue eliminada mediante pulido mecánico utilizado papel esmeril grado 400, 600, 800 y 1000.



Figura 1: Probeta y sistema formador de intersticios empleado en la determinación de la temperatura crítica intersticial (TCI).

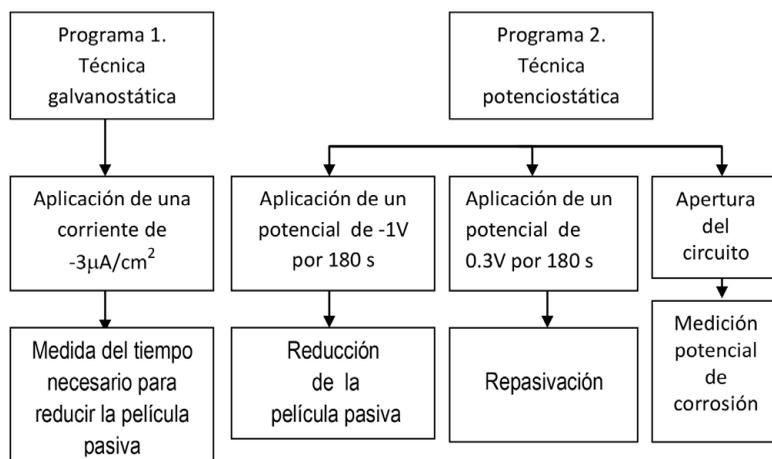


Figura 2: Esquema del programa corriente – potencial aplicado para estudiar las películas pasivas de los aceros inoxidable examinados.

El programa de medición se realizó a través de los siguientes tres pasos (Figura 2):

1) Inmediatamente después del proceso de pulido, el electrodo fue lavado con agua destilada, introducido en el electrolito y sometido a la aplicación de un potencial catódico de -1 V (vs OCP) por 180 s para eliminar eventuales restos de la película pasiva.

2) A continuación, la superficie de los electrodos se pasivó en ácido sulfúrico, mediante la aplicación de un potencial, elegido dentro del campo pasivo (0.3 V vs OCP) por 90 s.

3) Por último se realizó la apertura del circuito eléctrico y la sucesiva registración del tiempo empleado para la disolución de la película pasiva formada en el electrolito de estudio, la película pasiva se consideró disuelta cuando el potencial se situó a un valor de -0.9 V vs OCP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de establecer consideraciones, relativas a alcances y límites del empleo de aceros inoxidable, para sistemas off shore se realizaron pruebas de corrosión localizada por picado y corrosión intersticial sobre los dos grupos de materiales seleccionados. La Figura 3 muestra la Temperatura Crítica de Picado (TCP/ °C) de los aceros examinados obtenida aplicando la normativa ASTM G48 modificada, método A. Si bien el procedimiento se realizó siguiendo la normativa, en lugar de utilizar una solución de tricloruro férrico se empleó una solución de cloruro de sodio 0.5M. El motivo de esta elección radicó en el hecho del alto poder oxidante del F_62Cl_3 que originaría un proceso de picado muy veloz que no permitiría diferenciar comportamientos cercanos.

Los resultados muestran claramente la existencia de dos grupos de materiales, el primer grupo integrado por los aceros inoxidable EN 1.4462, EN 1.4501 y EN 1.4507 que presentan altos valores de TCP (superiores a 68°C) y un segundo grupo integrado por los aceros convencionales, EN 1.4016, EN 1.4301 y EN 1.4401 que han mostrado valores menores (inferiores a 16°C). Los resultados obtenidos muestran una excelente resistencia a la corrosión por picado del primer grupo de materiales, indicando claramente que no sufrirán este tipo de corrosión, si son utilizados sumergidos en agua de mar. El acero inoxidable EN 1.4501 presentó el mayor valor de TCP en acuerdo con el mayor índice PREN, seguido por el acero EN 1.4462 y el EN 1.4507. En cuanto al segundo grupo de aceros inoxidable, observamos que las TCP obtenidas son significativamente inferiores a la TCP de todos los aceros del primer grupo de materiales. El acero inoxidable EN 1.4401 en acuerdo con la presencia de molibdeno en la aleación, presentó el mayor valor de TCP. En el caso del acero EN 1.4016 (AISI 430) y del EN 1.4301 (AISI 304) se infiere que estos materiales podrían sufrir corrosión por picado, aún a temperaturas inferiores a los 12°C.

La Figura 4 presenta la Temperatura Crítica Intersticial (TCI/ °C) de los aceros examinados utilizando la normativa ASTM modificada, método B. Los resultados de estas mediciones muestran, también en este caso, la existencia de dos grupos de materiales: el primer grupo integrado por los aceros inoxidable (EN 1.4462, EN 1.4501, EN 1.4507) y un segundo grupo integrado por los aceros convencionales (EN 1.4016 y EN 1.4301 y EN 1.4401).

Se observa que todos los valores obtenidos son significativamente inferiores a los valores obtenidos de las pruebas de temperatura crítica de picado. Los resultados muestran que a pesar de obtenerse temperaturas inferiores, el primer grupo de materiales sigue conservando una excelente resistencia. Un desempeño inferior presentaron los aceros del segundo grupo. Todos los materiales susceptibles a la corrosión por picado son también susceptibles a la corrosión intersticial. Como en el caso de los ensayos de corrosión por picado, el acero inoxidable EN 1.4401 presentó el mayor valor de TCI. Los aceros EN 1.4016 (AISI 430) y del EN 1.4301 (AISI 304) presentaron la menor resistencia a la corrosión intersticial.

La resistencia a la corrosión localizada de los aceros inoxidable depende de la calidad de su película pasiva (De Cristofaro, et al., 1997), por este motivo es necesario evaluar la calidad de esta película y su capacidad de repasivación, en el caso que esta sea dañada localmente en forma mecánica o por el inicio de un proceso de corrosión. En este trabajo se evalúa la resistencia de las películas pasivas, de los materiales considerados para el estudio, a la corrosión localizada: por picado e intersticial. Estas son las dos formas de corrosión localizada presentes frecuentemente en aceros inoxidable expuestos a ambientes conteniendo iones considerados promotores de

ataque localizado, como es el caso de los iones cloruros, presentes en abundancia en el agua de mar (30-35 g/l).

El mecanismo de la corrosión intersticial es idéntico al mecanismo de desarrollo de la corrosión por picado pero no al mecanismo de inicio. La corrosión por picado se inicia en puntos de alteración de la pasividad donde el ambiente agresivo posee acceso libre. La corrosión intersticial concentra su ataque solo en intersticios, donde la corrosión consume el oxígeno disuelto modificando la película pasiva y aumentando la concentración de cargas positivas, las cuales atraen los iones negativos presentes en el agua de mar como los cloruros. La hidrólisis de estos iones produce una solución ácida concentrada dentro de la rendija (Galvele, Duffó, 2006; Sedriks, 1979, Luperi, De Cristofaro, 2000).

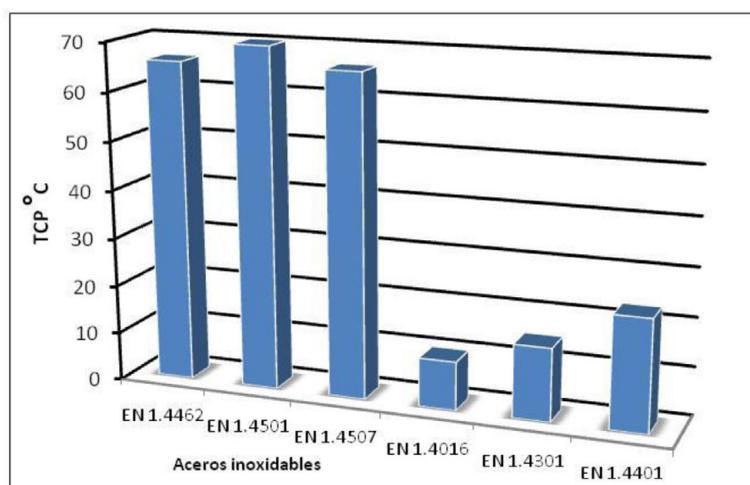


Figura 3: Valores de temperatura crítica de picado (TCP) obtenidos utilizando la metodología de la norma ASTM G48, método A, en agua de mar.

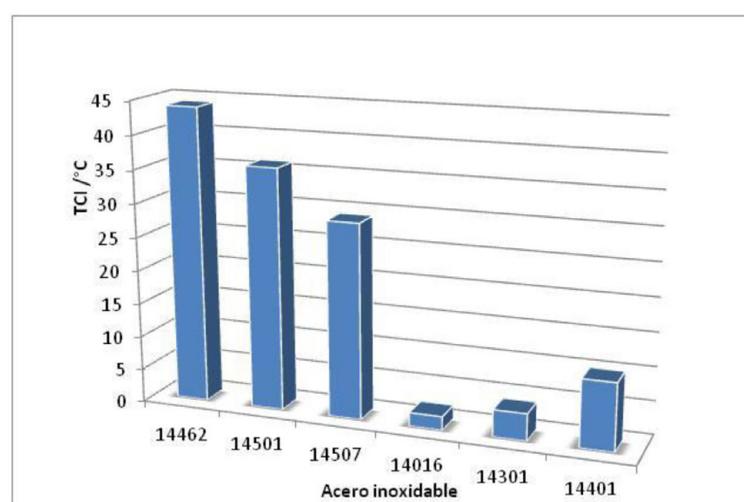


Figura 4: Valores de Temperatura Crítica Intersticial (TCI) obtenidos utilizando la metodología de la norma ASTM G48, método B, en agua de mar.

Para evaluar la resistencia de las películas pasivas presentes en la superficie comercial de los materiales examinados (acabado 2B), en un ambiente ácido, como el formado en los intersticios durante el proceso de corrosión intersticial, se utilizó la técnica electroquímica de determinación de la calidad de la película pasiva, previamente descrita (técnica galvanostática, programa 1, Figura 2). Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 5. El tiempo transcurrido entre la aplicación de la corriente catódica de disolución y la estabilización del potencial, en la zona activa (-0.9 V vs. OCP), fue considerado el tiempo empleado para la pérdida de la pasivación metálica, tiempo de depasivación. Cuanto mayor es el tiempo transcurrido, mayor es la resistencia del material a perder su estado pasivo. La disolución de la película (tiempo de depasivación), presente sobre la superficie del acero inoxidable EN 1.4016, ocurrió después de 14 s de la aplicación de $-3.0E^{-5}$ A/cm². Una mayor estabilidad en el electrolito presentó el acero EN 1.4301 que mostró un tiempo de depasivación de 28 s, mientras que el acero EN 1.4401 presentó la mejor calidad de película pasiva mostrando un tiempo superior a los 36 s. Los tres aceros de alta aleación examinados se mantuvieron pasivos por todo el período de prueba (180 s).

La capacidad de regenerar la película pasiva de un acero inoxidable, dañada localmente en forma mecánica o por el inicio de un proceso de corrosión, reviste una gran importancia en condiciones de ejercicio, ya que esta capacidad incidirá en la vida útil de equipos y accesorios. Mediante la aplicación de la técnica de evaluación de la capacidad de pasivación, (técnica potenciostática, programa 2) se ha evaluado la calidad del acero inoxidable a través de su capacidad para recrear la película pasiva, en el ambiente del ensayo. Para realizar esta evaluación los aceros inoxidables fueron evaluados con una superficie libre de su película pasiva. La eliminación de dicha película se realizó con un doble procedimiento de eliminación: mecánica (proceso de pulido previamente descrito) seguido de un proceso de disolución sometiendo al electrodo de trabajo a una disolución catódica (aplicación de un potencial de -1V Vs.OCP por 180 s).

Los resultados obtenidos han mostrado que, en las condiciones del ensayo, solamente el acero inoxidable EN 1.4016 pierde las características pasivas mostrando un tiempo de depasivación medio de 65,1 s. Los otros aceros inoxidables estudiados se mantuvieron pasivos por todo el período de prueba (180s).

La mayor resistencia de la película pasiva mostrada por el acero EN 1.4401 (11,04% de Ni; 2,04% de Mo; 17,20% de Cr), comparada con la del acero EN 1.4301 (8,10 % de Ni; 0,29% de Mo; 18.32% de Cr), en ambiente ácido, está justificada por su mayor contenido en níquel, y molibdeno en la aleación.

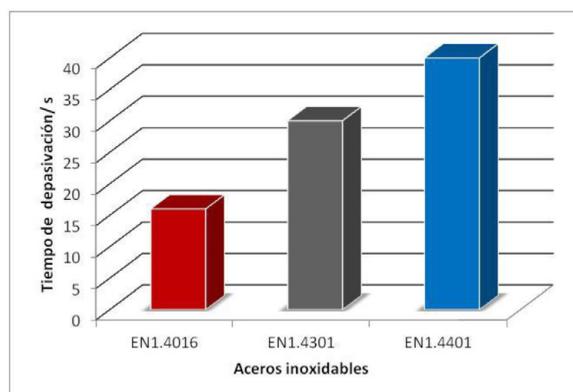


Figura 5: Tiempo de depasivación medio obtenido para los aceros inoxidables EN 1.4016, EN 1.4301 y EN 1.4401 en NaCl 0,5 M.

Es conocido que el níquel, si bien no influye en la capacidad de pasivación de los aceros inoxidables, contribuye fundamentalmente a aumentar la resistencia de las películas pasivas en ambiente ácido reductor como consecuencia de un enriquecimiento de este elemento en la película protectora (De Cristofaro, Torella, 1995). La fórmula de cálculo del PREN sugiere que el molibdeno es 3.3 veces más efectivo que el cromo para mejorar la resistencia a las picaduras. El cromo en cambio proporciona la característica de pasividad del material. El molibdeno no puede proporcionar esta cualidad, pero mejora significativamente la resistencia a la corrosión localizada por picado del acero inoxidable. El agregado de molibdeno, disminuye la velocidad de disolución de la película a través de un óxido-hidróxido de molibdeno formado en las zonas de disolución localizada (Pallotta, et al., 1986; De Cristofaro, 1999).

La baja resistencia del acero EN 1.4016 (0,175% de Ni; 0,25% de Mo; 16,25% de Cr), se justifica fundamentalmente por su menor contenido de cromo, níquel y molibdeno.

CONCLUSIONES

La necesidad de utilizar materiales de alta fiabilidad, libres de mantenimiento por tiempo prolongado, hace que pensemos en usar materiales de alta resistencia a la corrosión. Las consideraciones que limitan su uso son un alto costo y el hecho de ser materiales de importación. Estos factores limitan su empleo, fundamentalmente, a componentes críticos. Por este motivo los tres aceros inoxidables de alta aleación examinados (EN 1.4501, EN 1.4507 y EN 1.4462) presentan excelente resistencia a la corrosión por picado e intersticial, y podrán utilizarse solamente en aquellos componentes críticos donde se requieran condiciones de alta seguridad.

El acero inoxidable EN 1.4401 (AISI 316) puede emplearse en el agua de mar donde la probabilidad de formación de depósitos superficiales sea baja, debido a que podría presentar corrosión intersticial si la geometría de intersticio es idónea a desarrollar este tipo de corrosión.

Los aceros inoxidables EN 1.4016 (AISI 430) y EN 1.4301 (AISI 304) pueden presentar corrosión localizada en agua de mar aún en ausencia de depósitos superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la revisión de texto a la profesora A. M. De Cristóforo.

REFERENCIAS

DI PRÁTULA H. et al., (2018). "Desarrollo de turbinas hidrocinéticas y estudio de la resistencia de materiales, en aguas dulces y marinas, en diferentes condiciones fluidodinámicas". II Congreso de Energías Sustentables, Buenos Aires, Bahía Blanca, 8-10 octubre 2018.

GALVELE, J.R., DUFFO, G.S., (2006). "Degradación de Materiales–Corrosión". Monografía Tecnológica No. 3. Instituto Sábató. Universidad Nacional de San Martín. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires (2006).

INTERNATIONAL MOLYBDENUM ASSOCIATION – IMO. Practical guidelines for the Fabrica-

tion of High Performance Austenitic Stainless Steels. https://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf, (2019).

LAZZARI, L., PEDEFERRI, P., (2000). "Protezione Catodica", McGraw Hill, Milano (2000).

DE CRISTOFARO, N., MENEGALI, D., (2000). "Effetto del trattamento di finitura superficiale sul comportamento attivo-passivo dell'acciaio inossidabile AISI 304" (2000). AIMAT, Spoleto, 17-21 Julio (2000).

Stability of Passive Films on Stainless Steels with different Surface Finishes, International Society of Electrochemical, N. De Cristofaro, S. Luperi and V. Ferrari, 51st International Society of Electrochemical Meeting, Warsaw, Poland, August (2000).

DE CRISTOFARO, N., PIANTINI, M., ZACCHETTI, N., (1999), "Effect of surface finish on the passivity and passivity breakdown of austenitic AISI 304 stainless steel". Proceedings of the International Stainless Steels '99-Chia Laguna, Sardinia, 6-9 Junio (1999).

DE CRISTOFARO, N., PIANTINI, M., ZACCHETTI, N., (1997). "The influence of temperature on the passivation behaviour of a super duplex stainless steel in a boric -borate buffer solution". Corrosion Science. 12, (1997).

BAULANGE-PETERMANN, L., et al., (2002). "Improvement of the cleanability and disinfection of stainless steel surfaces for the food industry (dairy and meat)". Technical Steels Research Series. EUR 20476 EN (2002).

BAULANGE-PETERMANN, L., et al., (2006). "Improvement of the surface performance of stainless steel regarding health and food industry applications". Technical Steels Research Series. EUR 22381 EN (2006).

SZLARSKA-SMIALOWSKA, Z., (1976). "Pitting Corrosion of Metals", NACE, Houston (1976).

GUNN, R.N. Duplex stainless steels. Microstructure, properties and applications. Cambridge - England: Abington Publishing, 2003. 204 p.

INTERNATIONAL MOLYBDENUM ASSOCIATION – IMOA. Directrices Prácticas para la Fabricación de Aceros Inoxidables Dúplex. https://www.imoa.info/download_files/stainlesssteel/Duplex_Stainless_Steel, (2019).

Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution, ASTM G48-1992.

Standard test method for Electrochemical Critical Pitting Temperature Testing of Stainless Steels and Related Alloys, ASTM G150-2004.

SEDRIKS, J., (1979). "Corrosion of Stainless Steels" Wiley and Sons, New York (1979).

LUPERI, S., DE CRISTOFARO, N., (2000). "Stability of passive films on stainless steels with different surface finishes". 51 st International Society of Electrochemical, ISE, Varsovia, Polonia 08 Agosto (2000).

SEDRIKS, J. (1986). Effects of alloy composition and microstructures on the passivity of stainless steels. Vol. 42, 7 (1986).

DE CRISTOFARO, N., TORELLA, R. (1995). Corrosion behaviour of 18% stainless steel with and without molybdenum and copper additions. International Conference, Corrosion in Natural and Industrial Environments; Problems and Solutions, NACE International Italia section, Grado, 23-25 Mayo (1995).

PALLOTTA, C. et al., (1986). "The Influence of Temperature of the Role of Chromium in the Passive Layer in Relation to Pitting Corrosion of AISI 316 Stainless Steel in NaCl Solutions". Electrochimica Acta, 10, 1265 (1986).

DE CRISTOFARO, N. (1999). "Passivity and Passivity Breakdown of 13% Cr, 15 % Cr and 13Cr-5Ni2MoN Stainless Steels in Chloride Containing Solutions". in "Advances in corrosion control and materials in oil and gas production" Ed. Jackman and L. M. Smith, The European Federation of Corrosion, London, 322-331 (1999).