

Aceros especiales

n°3

Introducción

Los aceros inoxidables corrientes como 304 y 316 no son adecuados para ambientes excesivamente corrosivos en donde la corrosión por picaduras (pitting) y por grietas (crevice) constituyen el problema. Un ejemplo de este tipo de ambientes lo constituye el agua de mar en donde la concentración de cloruros es de 35 partes por mil (35000 ppm). Recordemos que los límites prácticos, de concentración de cloruro, para el uso de los aceros inoxidables corrientes, a temperatura ambiente, son 100 ppm para el 304, 2000 ppm para el 316 y 5000 ppm para el 317.

El uso de agua de mar, tanto en plantas desalinizadoras como en otras instalaciones que la usan para enfriamiento, requiere de materiales especiales para minimizar las fallas y detenciones por mantenimiento.



Un grupo especial de aceros y aleaciones muy resistentes a la corrosión por picaduras y grietas, características del cloruro, son aquellos con una cantidad adicional de molibdeno (6% o más).

Dentro de esta categoría están el acero austenítico (o superaustenítico) 254SMO y los alloys AL-6XN y Hastelloy C-276.

Composición

	254SMO (S31254)	AL-6XN (N08367)	C-276 (N10276)
%C	0.02max	0.03max	0.01max
%Cr	20	20	16
%Ni	18	23.5	57
%Mo	6.1	6	16
%Cu	0.7	0.75max	---
%N	0.20	0.18	---
%Mn	---	2.00	1.0
%Si	---	1.00	0.08
%P	---	0.04	0.025
%S	---	0.03	0.010
%Co	---	---	2.5
%W	---	---	4.0
%Fe	---	---	5
PREN	46	47.9	68

PREN: Pitting resistance equivalent number

ACEROS INOXIDABLES - ACEROS AL CARBONO - VÁLVULAS

Santa Isabel 850, Parque Industrial Valle Grande, Lampa, Santiago
Fono: +56 2 499 4000 / Fax: +56 2 499 4040

ventas@fastpack.cl www.fastpack.cl proyectos@fastpack.cl

Acero Inoxidable 254 SMO

El alto nivel de molibdeno como también de cromo y nitrógeno confieren al acero 254SMO una alta resistencia a la corrosión por grietas y picaduras (PREN = 46). El contenido de cobre mejora su resistencia a la corrosión en ciertos ácidos y su alto contenido de níquel en combinación con los niveles de cromo y molibdeno le dan una resistencia a la corrosión bajo tensión o cracking(SCC).

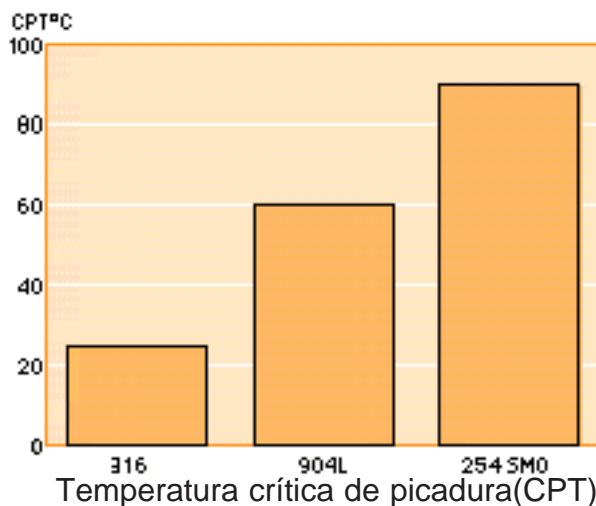
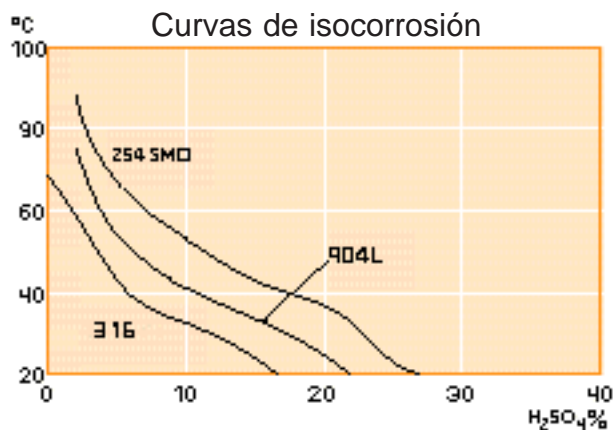
Los altos niveles de cloruro, bromuro o fluoruro de ciertas disoluciones requerían del uso de materiales de alto valor, como ciertas aleaciones de níquel y titanio. El 254SMO surgió como una alternativa más económica para manejar agua de mar a temperaturas ambiente y ligeramente superior.

El acero 254SMO resiste el ataque en disoluciones de cloruro ácidas y oxidantes como las existentes en las plantas blanqueadoras de pulpa en la industria de celulosa.

Debido a su alto contenido de nitrógeno, el acero 254SMO tiene una resistencia mecánica superior (S= 94.3 ksi) que la mayoría de los otros aceros inoxidable austeníticos(304, S= 75 ksi) y posee una soldabilidad, ductilidad y resistencia al impacto comparables.

Su bajo contenido de carbono evita la precipitación de carburos durante la soldadura y la correspondiente corrosión intergranular. Sólo el ácido nítrico concentrado y caliente podría producir problemas de corrosión, en las soldaduras.

(PREN : $\%Cr + 3.3x\%Mo + 30x\%N$; S : tensión de ruptura)



Corrosión uniforme

La resistencia a la corrosión uniforme, descrita habitualmente por las curvas de isocorrosión a 0.1 mm/año, en ácido sulfúrico que contiene 2000ppm de cloruro, es para el acero 254SMO superior al acero 316 y al alloy 904L, tal como se indica en la figura.

En ácido clorhídrico, el acero 316 no puede ser utilizado por el riesgo de corrosión uniforme y localizada. El acero 254SMO puede ser usado en concentraciones bajas (<3%) de ácido clorhídrico y a temperaturas moderadas.

Corrosión por picadura

La resistencia a la corrosión por picadura se expresa por la temperatura crítica(CPT) a la cual y sobre la cual se producen picaduras. La figura adjunta muestra el comportamiento de tres materiales en una disolución de 58.5 g/L de cloruro de sodio lo que equivale a 35500 ppm de cloruro. ...



254 SMO 254 SMO 254 SMO

... El acero 254SMO puede llegar hasta 90°C, superior a los 60°C del 904L y 24°C del 316, antes de observarse picaduras en este medio.

Algo similar puede observarse para la corrosión por grietas en que las temperaturas críticas (CCT) son 45°C, 15°C y 3°C, respectivamente, en una disolución 6% de cloruro férrico.

El agua de mar es más corrosiva que una disolución estéril de cloruro de sodio, de igual concentración, en lo que a corrosión por grietas se refiere. La presencia de micro-organismos forma una película biológica mucosa (entre 25-30°C) que aumenta el riesgo de corrosión. Por esta razón y para evitar el bloqueo de los sistemas, se acostumbra "clorarla" con hipocloritos o cloro gaseoso. Un contenido de cloro residual de hasta 1ppm a 30°C puede ser soportado sin problema por el acero 254SMO.

Corrosión bajo tensión

En pruebas de laboratorio con una disolución de cloruro de sodio 5,85 g/L (35500 ppm de cloruro) el acero 254SMO supera con creces al 904L y al 316, soportando cargas de 90%, 75% y 5% de la tensión de deformación respectivamente, antes de presentar fallas.

Aplicaciones

Intercambiadores de calor, cañerías para agua de mar. Equipos para plantas blanqueadoras de pulpa de celulosa. Equipos para el lavado de gases. Contenedores de disoluciones con alto contenido de cloruro. Equipos para la destilación de petróleos con alto contenido de azufre.

AL-6XN AL-6XN AL-6XN

Alloy AL-6XN

Por los años 70 apareció el AL-6X, una aleación diseñada para resistir agua de mar estacionaria a temperatura ambiente, condiciones que favorecen la corrosión por grieta y las picaduras. Por razones metalúrgicas no se podía fabricar láminas más gruesas que 2,5 mm. Fue la introducción de 0,18 - 0,25 % de nitrógeno lo que permitió resolver el problema, surgiendo así el AL-6XN.

Con un contenido de hierro ligeramente inferior al 50% ha sido considerado un alloy, como también un acero inoxidable superaustenítico. Este alloy o acero fue diseñado para soportar disoluciones ácidas y oxidantes de cloruro y agua de mar.

El alto contenido de cromo, molibdeno y nitrógeno, le confieren una resistencia a la corrosión por picadura (PREN = 47.9) y por grieta, sólo alcanzable previamente por algunas aleaciones de níquel y por el titanio. La combinación de níquel y molibdeno le dan

una excelente resistencia a la corrosión bajo tensión (SCC) por cloruro.

Debido al nitrógeno, su tensión de ruptura (S = 100 ksi) es superior a la de los aceros inoxidables austeníticos (S = 75 ksi) pero manteniendo una alta ductilidad y resistencia al impacto.

Los niveles de cobre se mantienen bajos para mejorar su desempeño en agua de mar.

El bajo contenido de carbono y el alto contenido de nitrógeno (para compensar la pérdida de resistencia mecánica al bajar el nivel de carbono) aseguran la ausencia de precipitación de carburos durante la soldadura, eliminando el riesgo de corrosión intergranular. Por esto puede ser usada, después de soldar, sin tratamiento térmico.

El AL-6XN es estable metalúrgicamente hasta los 510°C debido a su alto contenido de níquel.



AL-6XN AL-6XN AL-6XN

Disolución de prueba a ebullición	Velocidad de corrosión mm/año			
	316		AL-6XN	
	Metal	Costura	Metal	Costura
Ac.Acético 20%	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ac.Fórmico 45%	0.28	0.26	0.06	0.07
Ac.Oxálico 10%	1.02	0.99	0.19	0.23
Ac.Fosfórico 20%	0.18	0.16	< 0.01	< 0.01
Ac.Sulfámico 10%	1.62	1.58	0.24	0.27
Ac.Sulfúrico 10%	9.44	9.44	1.83	1.94
Bisulfato de sodio 10%	1.06	1.06	0.12	0.17
Hidróxido de sodio 50%	3.12	3.45	0.29	0.28
Ac.Nítrico 65%	0.87	0.74	0.66	0.66
Ac.Clorhídrico 1%	5.33	5.49	5.16	5.16

Corrosión por picadura

El número PREN (pitting resistance equivalent number) es una manera de comparar la resistencia a las picaduras de diversas aleaciones austeníticas. A mayor PREN mayor resistencia. Otra forma es determinar la máxima temperatura (CPT) a que puede ser expuesto el material, antes de observarse picaduras en una disolución de prueba. Una tercera manera de comparar materiales metálicos, es la medición del "pitting potential" (PP) en una celda electroquímica con una disolución de cloruro (mientras más positivo el poten-

Material	PREN	CPT (°C)	PP(V) a 25°C	CCT °C
304	19.8	---	---	< -2.5
316	24.9	15	0.35	< - 2.5
904L	36.9	40	0.85	20
AL-6XN	47.9	80	0.95	43

Corrosión uniforme

Para la elección de un material resistente a la corrosión uniforme se considera que una velocidad de corrosión < 0.127 mm/año es excelente, 0.127-0.508 mm/año es satisfactoria, 0.508-1.27 mm/año es útil y >1.27 mm/año es deficiente.

La tabla adjunta indica los resultados de pruebas de laboratorio que permiten comparar el AL-6XN con el acero 316. La resistencia al ácido sulfúrico diluido (< 15%) a toda temperatura hasta la de ebullición y al ácido sulfúrico concentrado (> 85%) a baja temperatura, es buena debido a su contenido de níquel y molibdeno. La presencia de iones de hierro, cobre y cromo en las disoluciones de ácido, baja más aún la velocidad de corrosión. El desempeño del AL-6XN en ácido sulfúrico es comparable al de otras aleaciones de mayor precio como Alloy20 y Alloy825. También es resistente a ácido fosfórico sobre 45% y superior al 904L en ácido clorhídrico diluido (< 5%).

cial medido, más resistente al pitting es el material). En todas estas pruebas el AL-6XN supera al 904L y al 316 como se ve en la tabla de abajo.

Corrosión por grieta

El riesgo de corrosión por grietas o juntas entre dos metales o bajo una empaquetadura, puede ser mayor que el de una picadura en una superficie descubierta. El contenido de nitrógeno, junto al de molibdeno, contribuyen a aumentar la resistencia a la corrosión por grietas. La determinación de la temperatura crítica (CCT), a la cual comienza a observarse corrosión por grieta, en una disolución de cloruro férrico, permite comparar diversos materiales. Tal como se indica en la tabla, el AL-6XN con un valor de CCT de 43°C, es superior a las otras aleaciones austeníticas y algunas aleaciones de níquel.

Corrosión bajo tensión

El AL-6XN resiste este tipo de corrosión hasta 2200 horas a ebullición en cloruro de sodio 26%, agua de mar, salmuera saturada e hidróxido de sodio 50%, siendo superior a los aceros austeníticos estándar de la serie 300.



AL-6XN AL-6XN AL-6XN

Aplicaciones

El AL-6XN llena el espacio entre los aceros inoxidable convencionales como 316 y las aleaciones de níquel como Alloy625 y Alloy276. Su campo de aplicación ideal está donde aceros como 317 y Alloy 904L fallan pero no se justifica el mayor gasto en una aleación de alto níquel como Alloy 276.

En la industria de pulpa de celulosa es especialmente adecuado para resistir las disoluciones blanqueadoras altamente corrosivas que contienen cloro o dióxido de cloro. Tiene gran resistencia a disoluciones de tiosulfato, cloruros, compuestos azufrados y disoluciones cáusticas presentes en los licores blanco y negro del proceso Kraft.

En las plataformas de perforación, mar adentro, el AL-6XN es especialmente adecuado para las cañerías que conducen agua de mar, para intercambiadores de calor que usan agua de mar, para soportes y estructuras.

Presenta una excelente resistencia a la corrosión por grietas en agua de mar, incluso a altas temperaturas, por prolongados períodos de estancamiento o bajo condiciones de cloración del agua. También es útil en plantas desalinizadoras.

Es apropiado, además, para resistir el ataque de disoluciones ácidas y oxidantes de haluros que a menudo existen en los sistemas de limpieza de gases de combustión.

Otro campo de aplicación está en las plantas generadoras de energía, en los tubos de condensación y sistemas de recirculación de agua, calentadores de agua de alimentación y recalentadores.

También encuentra aplicación en la industria de alimentos (cervecera, carnes, cereales, jarabe de maíz, alimentos para guaguas) desde temperaturas de vapor hasta circuitos de enfriamiento con salmueras

Especificaciones ASTM

	254SMO	AL-6XN	C-276
Placas, láminas y flejes	A167	B688	B575
Varillas, barras y alambre	A276/A479	B691	B574
Cañería c/costura	A312	B675	B619
Tubo c/costura	A269	B676	B626
Cañerías, tubos s/costura	A269/A312	B690	B622
Flanges, fitting, válvulas forjadas	A182	B462	B366
Forjados	A473	B564	B564



C-276 C-276 C-276 C-276 C-276

Hastelloy C-276

Es una aleación de níquel-molibdeno-cromo de gran y versátil resistencia a la corrosión. Corresponde a una versión mejorada del original Hastelloy C, que requería el tratamiento térmico de las partes soldadas, para restituir su resistencia a la corrosión intergranular, en las zonas afectadas por el calor durante la soldadura. Un adecuado procedimiento de fabricación, permite mantener muy bajos los niveles de carbono y silicio y así evitar la precipitación de carburos durante la soldadura.

El Hastelloy C-276 es apropiado para un gran número de procesos pudiendo usarse sin tratamiento térmico después de una soldadura. Sólo piezas que han sido forjadas en caliente requieren de un tratamiento a 1121°C.

El Hastelloy C-276 tiene una excelente resistencia a la corrosión localizada (picaduras y grietas) tanto en medios oxidantes como en medios reductores. Por esto se presta para plantas "multipropósito" en donde las composiciones de las disoluciones pueden cambiar marcadamente.

Resiste cloruros férrico y cúprico, cloro húmedo, hipoclorito, dióxido de cloro, anhídrido y ácido acético, ácido fórmico, salmuera, agua de mar y compuestos sulfurados.

Corrosión uniforme

Buena resistencia a la corrosión uniforme en ambientes moderadamente oxidantes hasta fuertemente reductores. No tiene suficiente cromo para soportar ácido nítrico concentrado. En pruebas de laboratorio se puede comparar su resistencia a diferentes disoluciones de prueba, con respecto al acero 316 y al Alloy AL-6XN, quedando demostrada su superioridad.

Disolución de prueba a ebullición	Velocidad de corrosión mm/año					
	316		AL-6XN		C-276	
	Metal	Costura	Metal	Costura	Metal	Costura
Ac.Acético 20%	0.003	0.003	0.0036	0.0018	0.013	0.006
Ac.Fórmico 45%	0.277	0.262	0.116	0.142	0.07	0.049
Ac.Oxálico 10%	1.02	0.991	0.277	0.274	0.29	0.259
Ac.Fosfórico 20%	0.177	0.155	0.007	0.006	0.01	0.006
Ac.Sulfámico 10%	1.62	1.58	0.751	0.381	0.07	0.061
Ac.Sulfúrico 10%	9.44	9.44	2.14	2.34	0.35	0.503
Bisulfato de sodio 10%	1.06	1.06	0.609	0.344	0.07	0.055

Corrosión por picadura y grieta

Los contenidos de cromo, molibdeno y tungsteno del C-276 le confieren tal grado de resistencia a la corrosión por picadura, que se le considera inmune al agua de mar. La temperatura crítica de picadura(CPT) es de 110°C en una disolución oxidante de ácido sulfúrico+ácido clorhídrico.

La temperatura crítica de corrosión por grieta(CCT) en una disolución de cloruro férrico 10% es de 60°C, superior a los 45°C del AL-6XN y los 2.5°C del 316.

Aplicaciones

Aplicaciones típicas son: equipos y partes para la industria química y petroquímica, procesos con cloruros orgánicos o que utilizan haluros ácidos como catalizadores. También se usa en la industria de pulpa de celulosa y papel, en digestores y blanqueadores. En ductos y lavadores para la desulfuración de gases de combustión. En equipos para la industria farmacéutica y para el procesamiento de alimentos.