



ACERO SUPER FERRITICO (UNS #S44660) APLICACIÓN DE ALEACIÓN Y DATOS TÉCNICOS



SEA-CURE® Acero Inoxidable cumple o excede los requerimientos de la norma ASTM A-268 y ASME-SA268.

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

Se evaluó la resistencia a la corrosión a un gran número de ácidos fuertes utilizando los procedimientos del Instituto de Tecnología de Materiales de la Industria de Procesos Químicos (Material Technology Institute of the Chemical Process Industry). Los datos representativos se dan en la siguiente tabla:

COMPOSICIÓN QUÍMICA

ELEMENTO	PORCENTAJE
Cromo	25.0-28.0
Molibdeno	3.0-4.0
Níquel	1.0-3.5
Manganeso	1.00 máx.
Silicón	1.00 máx.
Carbón	0.030 máx.
Nitrógeno	0.040 máx.
Fósforo	0.040 máx.
Azufre	0.030 máx.
Titanio + Niobio	0.020-1.00
Hierro	Porcentaje restante

Solución ácida	Temperatura		Tipo 304	Tipo 316	SEA-CURE®
	°F	°C			
Rango de Corrosión -mm/año*					
0.1% Clorhídrico	212	100 B	17.4	2.08	0.23
1.0% Clorhídrico	210	99 B			0.68
1.0% Clorhídrico + 3% FeCl3	167	75			2.27**
10% Sulfúrico	215	102 B			1.05
60% Sulfúrico	244	118 B			>1000
93% Sulfúrico	171	77		78.0	10.0
50% Fosfórico	228	109 B	2.46	3.87	1.78
10% Nítrico	219	104 B	0.37	0.96	0.46
65% Nítrico	241	116 B	3.34	3.95	1.20***
60% Nítrico + 2% HCL	235	113 B			4.18***
80% Acético	217	103 B	17.0		0.02
100% Acético	243	117 B	0.39	0.54	0.44
50% Acético + 50% Anhídrido	164	73	0.40		1.60
50% Fórmico	221	105 B			0.89
10% Oxálico	216	102 B			1.31
55% NaOH + 8% NaCl + 3% NaClO3	210	99		6.1	<0.1
50% NaOH	289	143		15.0	1.0

DESCRIPCIÓN

La estructura Férrica del Acero Inoxidable SEA-CURE® proporciona un material de alta resistencia y baja dureza de trabajo con buena ductilidad. Estas propiedades le permiten diseños de alto límite de carga con buenas características de fabricación. Debido al níquel añadido, el Acero Inoxidable SEA-CURE® tiene una menor temperatura de transición de dúctil a quebradizo que otros aceros férricos similares sin adición de níquel.

APLICACIONES

Esta aleación está diseñada especialmente para aplicaciones en donde se pueden encontrar picaduras, grietas y cuarteaduras debidas a la corrosión, provocadas por la acción de los cloruros (ion cloro).

El acero inoxidable Plymouth SEA-CURE® se utiliza en condensadores de plantas de generación de energía eléctrica, calentadores alimentados con agua, diversos tipos de intercambiadores de calor para la industria Química, Petroquímica, de Refinación, intercambiadores de calor para la industria de desalinización, en cañones de chimenea para sistemas de manejo de gas tales como los intercambiadores de calor secundarios de hornos de alta eficiencia. La Asociación Americana de Gas (American Gas Association) ha aprobado a SEA-CURE® para aplicaciones en cañones de condensado de gas. El Acero Inoxidable SEA-CURE® presenta una mejor resistencia a la corrosión en general sobre un amplio rango de condiciones que los aceros austeníticos.

* Rango de corrosión en milímetros por año – evaluado en un periodo de prueba superior a 96 horas.

** Picaduras

*** El Acero Inoxidable SEA-CURE® soldado presentó buen desempeño en las pruebas con Ácido Nítrico. Sin embargo, se recomienda tener precaución al utilizar cualquier aleación de Titanio estabilizado en ambientes altamente oxidantes.

B – en ebullición (boiling)

RESISTENCIA A LA CONDENSACIÓN DE ÁCIDOS

Los sistemas de recuperación de calor son especialmente susceptibles a corrosiones severas causadas por la condensación de ácidos en el ambiente. Los procesos de condensación y evaporación de ácidos concentrados y cloruros, incrementa el ataque corrosivo en el punto de rocío de los condensados o en el punto de ebullición del agua. El Acero Inoxidable **SEA-CURE®** tiene la capacidad de resistir a la mayoría de estos corrosivos.

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN POR AGUA DE MAR

El Acero Inoxidable **SEA-CURE®** ha sido desarrollado específicamente para resistir las picaduras localizadas y el agrietamiento corrosivo en soluciones clorhídricas tales como el agua de mar. En pruebas comparativas de laboratorio y de agrietamiento por corrosión, **SEA-CURE®** se ubica muy por encima a los aceros austeníticos comunes tales como los Tipos 304 y 316.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

En agua marina natural a temperatura ambiente, **SEA-CURE®** no presenta ataque antes de 33 meses. Bajo las mismas condiciones, el acero Tipo 316 experimentó un agrietamiento por ataque corrosivo de 0.039 pulgadas (0.1 mm).

RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO POR CORROSIÓN DE CLORUROS

Igual que la mayoría de los aceros totalmente ferrosos, el Acero Inoxidable **SEA-CURE®** tiene excelente resistencia al agrietamiento corrosivo causado por la acción de los cloruros. Cuando se lleva al 90% de su límite de Cedencia y se coloca en una solución al 40% de CaCl₂ a una temperatura de 212°F (100°C), el Acero Inoxidable **SEA-CURE®** no se agrieta aún después de 5000 horas de exposición. El acero Tipo 316L se agrieta dentro de las primeras 400 horas bajo las mismas condiciones. Los especímenes de **SEA-CURE®** de doblado en U expuestos a 1500 ppm de cloruro de sodio (NaCl) a 212°F (100°C) tampoco se agrietaron. Igual que otros aceros, **SEA-CURE®** no es resistente al esfuerzo de corrosión en una solución al 40% de Cloruro de Magnesio (en ebullición) a 284°F (140°C).

RESISTENCIA A LA EROSIÓN-CORROSIÓN

SEA-CURE® presenta excelente resistencia a todo tipo de erosión. No se ve afectado por altas velocidades del agua, las cuales pueden resultar de bloqueos de tuberías o diseños mecánicos, tampoco por vapor o erosión impulsada. En una prueba de erosión por uso, utilizando arena sílica y agua impulsada en varios tipos de aceros, **SEA-CURE®** muestra solo un 25% de la pérdida de peso del acero Tipo 316.

CORROSIÓN GALVÁNICA

Siempre que los tubos y las corazas de un intercambiador de calor sean de materiales diferentes, en contacto con agua conductora (usualmente más de 1000 ppm de sólidos disueltos) existe la posibilidad de corrosión galvánica. **SEA-CURE®** tiene un potencial de electrodo alto en agua de mar, haciéndolo muy noble o catódico. Está ligeramente por debajo del Titanio, del oro y del platino, y es más noble que las aleaciones de Cobre, Cupro-Níquel o acero al Carbón en las series galvánicas. Por lo tanto, existe la posibilidad de ataque galvánico a los materiales que están abajo en la serie galvánica. Por consiguiente, si se usan tubos **SEA-CURE®** en intercambiadores con coraza de metal Muntz en agua de mar, la coraza de este metal puede picarse en los puntos de unión con los tubos. Cubriendo la coraza con un recubrimiento de tipo epóxico o empleando un sistema de protección de voltaje galvánico impreso, usualmente queda bien protegida. Si se utiliza protección catódica, el voltaje se debe mantener más positivo que -0.800 volts medidos contra un electrodo estándar de calomel para evitar la generación de Hidrógeno, el cual puede causar que el material se haga quebradizo.

CONTAMINACION MARINA

Todos los metales se ensucian en agua marina con el tiempo. Debido a que la mayoría de los aceros no contienen Cobre, el cual se disuelve formando Iones Cúpricos –nocivos para el crecimiento marino–, el ensuciamiento puede ocurrir de manera temprana. La tendencia al ensuciamiento marino de todos los materiales se puede minimizar

mediante limpieza mecánica con cloro, o utilizando agua a gran velocidad. **SEA-CURE®**, en virtud de su alta resistencia a la erosión, es ideal para usos ya sea de limpieza con Cloro o con agua a alta velocidad. Con las aleaciones de Cobre –que son más blandas– estos métodos pueden causar erosión severa.

PICADURA POR ATAQUE DE SULFATOS

Las picaduras por corrosión en presencia de compuestos de Azufre y ciertas bacterias en agua de mar contaminada se pueden presentar aleaciones de Cupro-Níquel, Aluminio-Bronce y en otras aleaciones altas en cobre. **SEA-CURE®** no es atacado por estos compuestos de Azufre ni por la bacteria asociada a éstos.

ATAQUE BACTERIAL POR MANGANESO

El Manganeseo puede ser extraído de algunos tipos de agua por cierta bacteria y depositados en la superficie de los intercambiadores de calor como Óxidos de Manganeseo Hidratados. En la presencia de Cloro, estos compuestos pueden ser oxidados a Permanganatos y el Cloro reducido a Ion Cloruro. Esta reacción puede causar picaduras en el acero inoxidable común y en el bronce Admiralty. **SEA-CURE®** es esencialmente inmune a ésta reacción debido a su alta resistencia a la picadura.

ATAQUE POR AMONIACO (AMMONIA)

Las aleaciones de Cobre son muy susceptibles al ataque de Amoniaco dando como resultado una corrosión general acelerada, picaduras o agrietamiento por esfuerzo de corrosión inducido por el Amoniaco. **SEA-CURE®**, como otros aceros inoxidables, es esencialmente inmune al ataque por Amoniaco.

FABRICACIÓN

SOLDADURA

Procesos tales como el Arco de Gas-Tungsteno (GTA) con o sin material de relleno, Arco de Gas-Metal (GMA), y arco de escudo-metal (SMA) se usan comúnmente para soldar acero inoxidable y se pueden aplicar al **SEA-CURE®**. Condiciones más cuidadosas de soldado que las utilizadas con aceros inoxidables austeníticos son necesarias para alcanzar buena resistencia de soldadura a la corrosión y fuerza en la misma. Por tal motivo, es preferible utilizar los procesos GTA para minimizar la aplicación de calor.

El proceso general a seguir incluye el uso de baja energía y de electrodos pequeños, utilizando pasos múltiples a medida que se incrementa el tamaño de sección, enfriando a temperatura ambiente entre cada paso. Es absolutamente importante minimizar la contaminación por Oxígeno, Nitrógeno o Carbón, así como evitar la pérdida de elementos estabilizadores del metal soldado. Esto puede lograrse mediante la minuciosa limpieza de las superficies de unión previa al soldado, el uso de electrodos secos y el uso riguroso de técnicas de protección del gas.

Se pueden hacer juntas de soldadura fuertes mediante el uso de varios materiales de relleno. Sin embargo, la elección del material de relleno requiere de un cuidadoso estudio de las propiedades de corrosión y resistencia mecánica requeridas para la aplicación. Las aleaciones de base Hierro Austenítico, tales como Incoloy 825®, Incoloy 135®, y el Tipo 310 Mo, producen soldaduras con buena resistencia y micro estructura duplex. Los rellenos que producen una estructura ferrítica como las aleaciones Ferralium 255®, tienen el mejor potencial para una óptima resistencia a la corrosión, pero tiene rugosidad limitada. Los metales de relleno basados en aleaciones de alto contenido de Níquel, tales como el Incoloy 625®, son atractivos por su resistencia a la corrosión y facilidad para soldar, sin embargo sus propiedades de resistencia son algo menores que aquellas de las aleaciones basadas en Hierro austeníticos. Los Óxidos de las soldaduras deben ser removidos siempre mediante el decapado o el pulido para retener la alta resistencia a la corrosión en la región de soldadura.

RECOCIDO

Cuando se realiza el Recocido en el acero inoxidable **SEA-CURE®**, Plymouth calienta en un rango de 1700 a 1750°F (930 a 970°C), seguido de un rápido enfriamiento por agua. Debido a que **SEA-CURE®** está disponible solo en secciones delgadas, las temperaturas se mantienen por tiempo suficiente para reducir la dureza y proporcionar Cedencia en los niveles típicos.

FORMADO

El acero inoxidable **SEA-CURE®** tiene buena formabilidad. Gracias a su alta resistencia, al inicio de la formación es necesaria una mayor fuerza; sin embargo, la menor resistencia tensional hace que el material sea más fácil de formar en una segunda ocasión sin requerir un Recocido intermedio. Es menos recomendable para formaciones de estiramiento que los grados austeníticos.

INSTALACION Y ROLADO EN ESPEJOS

La combinación de propiedades de alto módulo elástico, fuerza y ductilidad le dan ventaja para lograr uniones resistentes a fugas. La adición de Níquel produce una base metálica de gran resistencia al rompimiento y la soldadura se puede reducir más del 15% de reducción de pared, sin embargo se recomienda una reducción de 5 a 8% en instalaciones normales, para evitar distorsiones en los Espejos. Algunas instalaciones han usado reducciones del 11% sin presentar problemas significativos de rompimiento asociados con el rolado del tubo.

Para una máxima eficiencia de instalación, son preferibles expansores de 5 rodillos, aunque se pueden utilizar expansores de 3 rodillos. Se sugiere lubricación y las herramientas deben ajustarse para evitar bordes en los extremos del tubo. El extremo abocinado no es necesario para la entrada de erosión, pero se puede emplear para mejorar el flujo o para ajustarse al espejo previamente diseñado para extremo abocinado. **SEA-CURE®** producirá una unión más fuerte que otras aleaciones de tubos de intercambiadores de calor en determinadas condiciones del tubo/espejo. Este es el resultado de un alto módulo elástico y la máxima resistencia que lo hacen particularmente atractivo para usos con materiales de Espejo de alta resistencia.

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE 70 A 600°F			
Temperatura		Conductividad	
°F	°C	Btu/hr./ft.°F	W/m·°C
70	20	9.2	15.9
100	40	9.3	16.1
200	95	10.5	18.1
300	150	11.3	19.5
400	200	11.9	20.6
500	260	12.5	21.6
600	315	13.8	23.8

EXPANSION TERMICA SOBRE EL RANGO DE 70 A 700°F			
Temperatura		Coeficiente de expansibilidad térmica	
°F	°C	in/in °F	mm/mm °C
70-200	20-100	5.38x10 ⁻⁶	9.68x10 ⁻⁶
70-300	20-150	5.43x10 ⁻⁶	9.77x10 ⁻⁶
70-500	20-250	5.81x10 ⁻⁶	10.46x10 ⁻⁶
70-700	20-375	5.95x10 ⁻⁶	10.71x10 ⁻⁶

COMPARACION DE PROPIEDADES DE VARIAS ALEACIONES			
	ACERO AL CARBON	TIPO 304	SEA-CURE®
Cedencia Máxima (ksi)	40	35	75
Resistencia a la tensión (ksi)	65	90	90
Elasticidad (%)	30	50	30
Elastic Modulus (ksi x 10 ⁻³)	30	28	31
Densidad (lb./in. ³)	0.28	0.29	0.28
Coeficiente de Expansión (in./in.°F)	6.7	8.9	5.3
Conductividad (Btu/hr./ft.°F)	30	9.4	9.9
Resistividad Eléctrica	6.7 micro /in.	28.3 micro /in.	21.1 micro /in.
Calor Específico	0.12 Btu/lb.°F	0.12 Btu/lb.°F	0.12 Btu/lb.°F

PROPIEDADES FÍSICAS

El acero inoxidable **SEA-CURE®** de Plymouth tiene un gran número de propiedades físicas que resultan atractivas, incluyendo baja expansión térmica, buena conductividad térmica y un alto módulo elástico que le proporciona alto estiramiento. Éste alto estiramiento le permite tener menor vibración que con otros materiales de ingeniería. Los coeficientes de expansión térmica son similares a aquellos del acero al Carbón y menores que los de aceros inoxidable austeníticos o aleaciones de Cobre.

La conductividad térmica es similar a la del Titanio y mayor que la de los aceros inoxidables austenizados o aleaciones de alto contenido de Níquel. La película de resistencia pasiva a la corrosión es extremadamente delgada, lo que permite un buen desempeño en la transferencia de calor.

RESISTENCIA A LA VIBRACIÓN

Debido a su alto módulo de elasticidad, el acero inoxidable **SEA-CURE®** de Plymouth es muy resistente al daño por fatiga vibratoria. Para propósitos de comparación, el siguiente mínimo de pared de tubo podría requerirse para prevenir daños por fatiga vibratoria bajo las mismas condiciones de velocidad de salida de vapor en turbinas, densidad de vapor, soportes de tubos y para diámetro de tubo:

ALEACION	ESPESOR MINIMO DE PARED	
	pulgadas	milímetros
SEA-CURE® Acero Inoxidable	0.019	0.48
Tipos 304/316	0.022	0.56
90-10-Cu-Ni	0.034	0.86
Titanio	0.038	0.97
Bronce Admiralty	0.041	1.04
Zirconio	0.046	1.17

PROPIEDADES MECÁNICAS

La resistencia a temperatura ambiente del acero inoxidable **SEA-CURE®** se mantiene en el rango de temperaturas utilizadas en la mayoría de las aplicaciones de intercambio de calor. El acero Plymouth **SEA-CURE®** está aprobado por la Norma ASME en su código de construcción de Calderas y Recipientes Presurizados sección VIII, División I. Los esfuerzos permitidos tanto para láminas como para los tubos son sustancialmente superiores que aquellos para aleaciones férricas menores y para aceros inoxidable austeníticos. Este factor puede producir ahorros sustanciales a través de reducciones de Espesor de pared o mayores presiones de operación. Una temperatura límite superior de 500°F es impuesta para evitar daños por resquebrajamiento a 885°F, lo cual es característico en los aceros férricos que contienen mas del 12% de Cromo.

La información y datos presentados aquí son típicos de valores promedio y no son garantía de valores máximos o mínimos. Las aplicaciones específicamente sugeridas aquí son solamente con propósitos ilustrativos para permitir al lector hacer sus propias evaluaciones y no tienen la intención de ser garantía explícita o implícita o como forma de éste u otro propósito.

PROPIEDADES MECANICAS A TEMPERATURA ELEVADA

Temperatura		0.2% de Resistencia Máxima		Resistencia a la Tensión		Elasticidad en 2 pulgadas
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	
74	23	75	517	90	620	25
200	93	66	455	83	572	24
300	149	57	392	78	538	23
400	204	53	365	75	517	21
500	260	50	345	75	517	21

ASME SECCION VIII DIVISION 1 ESFUERZOS PERMITIDOS

Temperatura		Esfuerzo Permitido	
°F	°C	ksi	MPa
100	38	18.0	124.1
200	93	18.0	124.1
300	149	18.0	124.1
400	204	17.8	122.7
500	260	17.7	122.0

FORMAS DISPONIBLES

- Productos tubulares soldados
- Lamina y Placa Rolada en frio y Recocida (Espesor máximo 0.094" promedio [2.4 mm])



2061 Young Street, East Troy, WI 53120 U.S.A.
Phone 262-642-8201 • Fax 262-642-8486

DSSFSSTP-SEA-CURE © 2006, Plymouth Tube Co.
Visite nuestra página: www.plymouth.com
E-Mail: sales@plymouth.com