



ACERO

**I
N
X
I
D
A
B
L
E**

**RESISTENCIA A LA CORROSIÓN
DE LOS ACEROS INOXIDABLES**

El contenido de este manual es parte del programa denominado *Técnico especializado en acero inoxidable*, el cual está basado en la información, recomendaciones y datos que fueron compilados, revisados y aprobados por el Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable (CENDI).

En el CENDI consideramos que el uso de esta guía hará posible que usted esté mejor preparado para continuar con el programa de capacitación en acero inoxidable. En caso de alguna duda o comentario acerca de este manual o del programa completo, puede usted contactarnos y con gusto le atenderemos.

CENTRO NACIONAL PARA EL DESARROLLO DEL ACERO INOXIDABLE, A.C.

Av. Industrias No. 4090 Zona Industrial 1ª. Sección.

C.P. 78395 San Luis Potosí, SLP.

Tel. (01 444) 824 11 82

E-mail: capacitacion@cendi.org.mx

www.cendi.org.mx

Declaración de responsabilidad

El contenido de este manual, incluyendo datos técnicos y metalúrgicos, figuras, tablas, dibujos, procedimientos sugeridos y especificaciones, fue recopilado de diversas fuentes únicamente como información general. Al respecto, destaca el libro *Los aceros inoxidables*, de Gabriele Di Caprio, del cual se seleccionó gran parte de la información.

El autor, el editor, las instituciones patrocinadoras y los miembros del Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable no asumen ningún tipo de responsabilidad sobre la aplicación de este manual, sin la asesoría profesional de tipo específico.

Manual editado por el Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable en marzo de 2003.

Coordinación editorial
Ing. Víctor Pedraza.

Revisión
Dr. Javier Ávila.

Edición
Laura C. Briseño.

Queda prohibida la reproducción total o parcial sin previa autorización por escrito del Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable.

El CENDI se reserva el derecho de difundir por medios magnéticos, fotográficos o por cualquier otro el contenido de este manual.

CARACTERÍSTICAS DE LA CORROSIÓN

1. Fundamentos

Introducción	2
¿Por qué el acero inoxidable es resistente al óxido?	2
La capa pasiva	2

2. Mecanismos de corrosión

Tipos de corrosión	3
Corrosión generalizada	3
Corrosión localizada	4
Corrosión por picaduras	5
Corrosión por cavidades	5
Corrosión intergranular	5
Corrosión de fractura bajo tensión	6
Corrosión galvánica	6

3. Corrosión localizada en aceros inoxidables

Corrosión localizada en aceros inoxidables austeníticos	9
Corrosión localizada en aceros inoxidables ferríticos	9
Corrosión localizada en aceros inoxidables martensíticos	10

RESISTENCIA EN DIVERSOS AMBIENTES

1. Atmósferas, aguas y sales **10**

Atmósfera, atmósfera marina, agua destilada, agua doméstica, agua salina, sales neutras y alcalinas, sales ácidas, sales halógenas

2. Ácidos **11**

Ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfuroso, ácido carbónico

3. Otros ambientes **12**

Corrosión por bases, corrosión por compuestos orgánicos, ácido acético, ácido fórmico, ácido láctico, corrosión por alimentos

Características de la corrosión

Fundamentos

Introducción

La corrosión es el mecanismo espontáneo con el que la naturaleza revierte los procesos de obtención de los materiales, causando la alteración o destrucción de la mayor parte de los bienes fabricados por el hombre. La experiencia nos ha enseñado que los metales comunes poseen diferentes tendencias a corroerse.

El acero inoxidable no es un material indestructible. La corrosión puede revertir a un acero, que es una forma no natural de hierro, en su óxido natural: la hematita (Fe_2O_3), mineral de color rojizo, que no es más que el herrumbre coloquialmente llamado “óxido”.

¿Por qué el acero inoxidable es resistente al óxido?

Todos los aceros inoxidables poseen una alta resistencia a la corrosión debida, principalmente, al contenido de cromo en la aleación. Esta adición de poco más de 10% de cromo permite la formación de una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable.

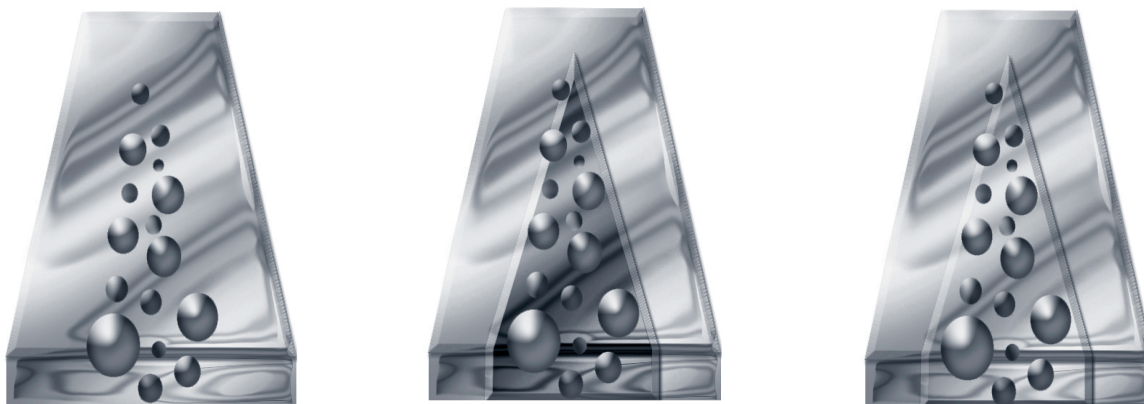
ble. En caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto-reparable en presencia de oxígeno (ver figura 1). Se dice entonces que el acero inoxidable tiene una propiedad denominada *pasividad*, y a la película protectora se le conoce como la *capa pasiva*.

La capa pasiva

La pasividad es la resistencia natural que poseen los aceros inoxidables para combatir la corrosión, y se define como el estado en el que un metal o una aleación pierde su reactividad química y se transforman en inerte.

El contenido de poco más de 10% de cromo da al acero inoxidable su pasividad, lo cual se debe a la formación en su superficie de una película extremadamente delgada, uniforme, continua, resistente y estable de óxido de cromo. La capa pasiva se puede mejorar adicionando elementos de aleación que permiten ampliar la gama de aceros inoxidables que, junto con una selección cuidadosa y la adecuada fabricación, pueden satisfacer una amplia variedad de necesidades en diversos sectores industriales.

Figura 1. Película de óxido de cromo.



El oxígeno del medio forma una película protectora de óxido de cromo sobre la superficie del acero inoxidable.



Mecanismos de corrosión

Tipos de corrosión

La estabilidad de la capa pasiva y por consiguiente la capacidad de resistir la corrosión, está ligada a las características de la aplicación —composición, estructura y modalidad—, así como al ambiente agresivo al que se somete el acero inoxidable.

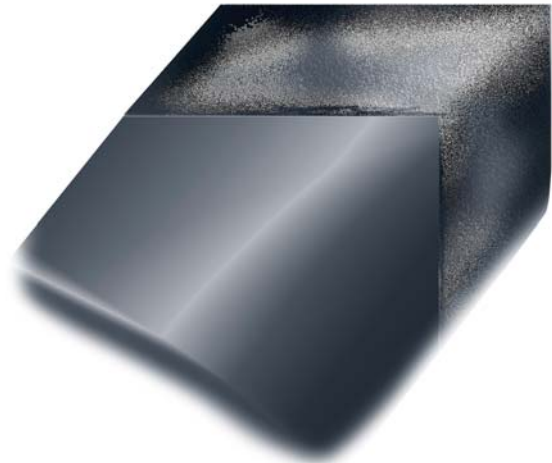
Los fenómenos corrosivos que cuantitativamente son más frecuentes en la práctica son los que se denominan de corrosión húmeda, es decir, en presencia de agua en estado de condensación, aunque sea en forma de simple humedad atmosférica. La corrosión húmeda puede ser de tipo generalizada o localizada.

También existe la corrosión a altas temperaturas, misma que se caracteriza por la formación de una cascarilla superficial que no es más que una mezcla de óxidos que forman los metales presentes en la aleación cuando se someten a temperaturas mayores a 500°C (ver figura 2).

Corrosión generalizada

Es la forma más común de corrosión y se presenta en la totalidad de la superficie expuesta del metal

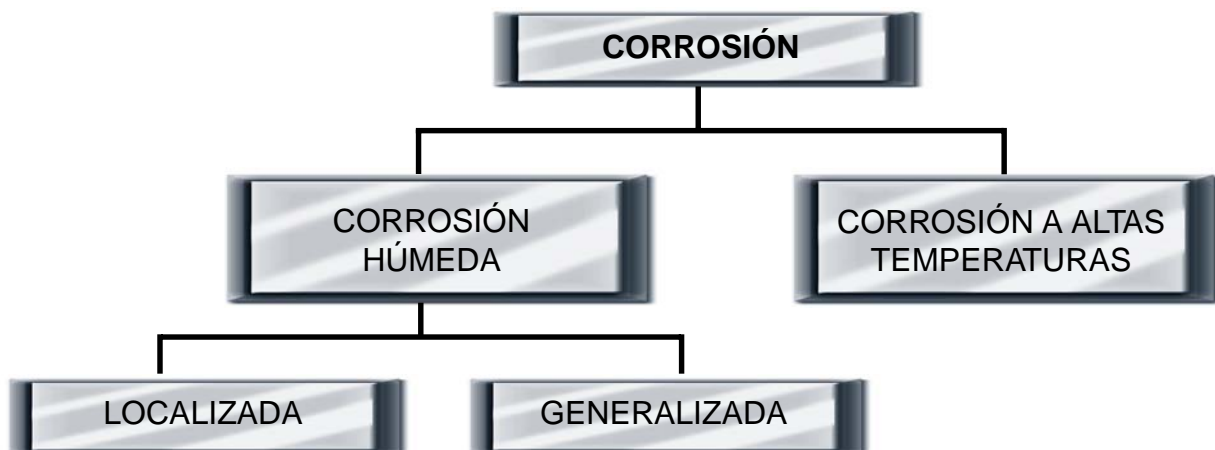
Figura 3. Corrosión generalizada.



en forma de agresión progresiva y a velocidad constante. De entre todos los tipos de corrosión es el menos peligroso porque la velocidad de corrosión es medible y por lo tanto puede calcularse, con bastante aproximación, la duración del metal (ver figura 3).

La corrosión generalizada del acero inoxidable frecuentemente es más observada en ácidos no-oxidantes como el ácido sulfúrico, ya que se provoca un rompimiento en el estado pasivo. Esto se caracteriza por la reducción uniforme del espesor, lo que puede ser medido con relación al tiempo en milímetros por año (mmy) o

Figura 2. Clasificación de los tipos de corrosión.



en milésimas de pulgada por año (mpy), siendo éstas las unidades más comunes para expresar las velocidades de corrosión.

La corrosión generalizada del acero inoxidable en los equipos de proceso puede ser tolerada si la velocidad de corrosión es suficientemente baja —del orden de 4 mpy (0.13mmy)— para proveer una vida de servicio económicamente viable, y si los productos de la corrosión que se generan pueden ser tolerados en el proceso o removidos del producto terminado.

Los aceros inoxidables presentan muy bajas velocidades de corrosión generalizada en muchos ambientes altamente agresivos. Esto no significa que sean inmunes, sino que son materiales que ofrecen viables y atractivos costos de ciclo de vida.

Bajo ciertas condiciones, la superficie metálica pue-

de mostrar señales de manchas, por ejemplo herrumbre visible. Rara vez estas manchas indican velocidades de corrosión equivalentes a las del acero al carbón, pero si se dejan ocasionan una pérdida mínima de metal. Un sencillo proceso de limpieza eliminará las manchas restaurando la apariencia de la superficie; sin embargo debe determinarse la causa, especialmente si la mancha es evidente, lo que indica que ha sido rota la película pasiva.

Corrosión localizada

Existen varias causas posibles para este tipo de ataque, en general se trata de variaciones en las condiciones locales de la superficie (ver figura 4).

Figura 4. Corrosión localizada.



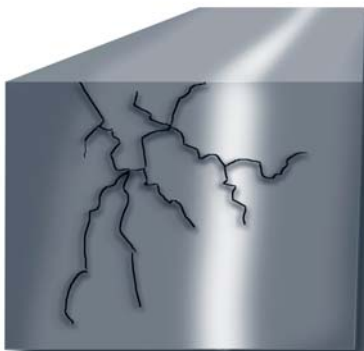
Corrosión por picaduras.



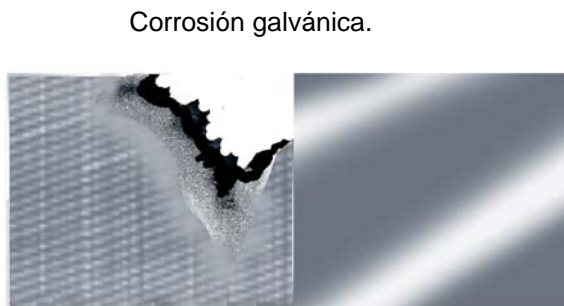
Corrosión por cavidades.



Corrosión intergranular.



Corrosión de fractura bajo tensión.



Corrosión galvánica.





Corrosión por picaduras

El picado es un tipo de corrosión que frecuentemente se observa en los aceros inoxidable; es una forma de corrosión localizada muy peligrosa, ya que en ocasiones el avance del debilitamiento en el material puede no ser observable. Este tipo de corrosión se caracteriza por la presencia de pequeñas perforaciones localizadas en una superficie que por otro lado presenta áreas no afectadas. La perforación avanza en el sentido de la gravedad; tanto, que para cambiar la dirección de propagación del picado en el interior de una pared, a veces es suficiente cambiar su inclinación con respecto a la vertical.

Los ambientes típicos capaces de desarrollar la corrosión por picaduras son el agua marina y en general las aguas que contienen iones cloro, sobre todo si están estancadas.

En lo concerniente a la puesta en servicio de aceros inoxidable, es necesario tomar las precauciones adecuadas para que el estrato pasivo sea uniformemente resistente en todos los puntos de la superficie. Por ello conviene tener en cuenta lo siguiente:

- Asegurar que las superficies se encuentren descontaminadas, eliminando toda traza de hierro.
- Eliminar mecánicamente o mediante pastas decapantes la capa de óxidos metálicos que se forma sobre los cordones de soldadura y en las zonas térmicamente alteradas adyacentes a los mismos. Después del tratamiento con pastas decapantes siempre es necesario un tratamiento con pastas pasivantes para recuperar la capa pasiva de modo uniforme y estable.
- Evitar la sensibilización del material tanto en procesos de soldadura como por calentamiento en el intervalo crítico de precipitación de los carburos de cromo en el contorno de los granos, adoptando en la medida de lo necesario, inoxidable de bajo contenido en carbono (inferior a 0.03%).

Cuando se ha presentado el fenómeno de corrosión por picaduras conviene proceder en primer lugar, si es posible, al arranque de la zona picada, actuando con medios mecánicos abrasivos o utilizando, si es preciso, suspensiones abrasivas que

se hacen circular en la instalación para hacer desaparecer la zona de superficie picada; después será necesario proceder a la pasivación, que puede realizarse con aireación forzada, de toda la superficie.

La acción de pasivación sobre una superficie que presente abundantes picaduras y sin el arranque previo de la zona picada, no resulta ventajosa porque el efecto pasivante no llega al fondo de las picaduras; por el contrario, empeora la situación porque al pasivar los bordes de la picadura se crean zonas anódicas todavía más localizadas que las originales.

Corrosión por cavidades

Esta corrosión puede surgir cuando se presenten intersticios entre dos superficies acopladas de piezas metálicas del mismo o diferente tipo, o bien entre piezas metálicas y depósitos de cuerpos extraños, incluso no metálicos (microorganismos u otros depósitos de materiales).

Este tipo de corrosión ataca la superficie metálica, debajo de la cual se encuentra oculta, por ejemplo bajo arandelas o cabezas de tornillo, en las roscas de los tornillos o en accesorios de tubería en contacto con juntas, bajo sedimentos o sólidos asentados, o bajo la flora marina.

Los medios para combatir este fenómeno son esencialmente tres:

- Evitar en la fase de proyecto y de diseño la formación de intersticios abiertos hacia el ambiente corrosivo.
- Durante el montaje, procurar que por debajo de las juntas, especialmente en los bordes, no queden aprisionados depósitos de suciedad, arena o polvo.
- Evitar la formación de depósitos, incluso de materiales inertes, en la superficie del acero inoxidable, con un correcto diseño de las piezas y una cuidadosa limpieza de las mismas.

Corrosión intergranular

Es una corrosión localizada a escala microscópica en los límites de grano de la aleación. En el acero inoxidable usualmente es resultado del agotamiento del cromo sobre los límites de grano en zonas sensibilizadas por procesos térmicos.

Un acero inoxidable se sensibiliza cuando permanece durante cierto tiempo —incluso sólo unos minutos— a una temperatura comprendida en el intervalo denominado precisamente de sensibilización.

Cuando los aceros inoxidables austeníticos son expuestos a temperaturas de un rango de 500 a 850°C y los ferríticos a un rango de 500 a 650°C, el cromo en la aleación tiende a combinarse con el carbono formando carburos de cromo. Los carburos formados se precipitan principalmente en los bordes de grano, reduciendo el cromo de las áreas adyacentes. Esto reduce la resistencia a la corrosión de las áreas con menor cantidad de cromo sensibilizando el material. La corrosión intergranular se caracteriza por la desintegración del material debida a la pérdida de los granos microscópicos.

Es necesario señalar que un acero inoxidable en estado sensibilizado es atacado sólo por algunos agentes agresivos y no sufre la corrosión intergranular por el solo hecho de estar sensibilizado.

Para evitar que suceda la precipitación de carburos, se disminuye el tiempo de permanencia en el rango de temperaturas de sensibilización. En el caso de las estructuras soldadas, en donde el enfriamiento de la unión sea muy lento, se utilizan los aceros de bajo contenido de carbono, la serie L (low carbon), debido a que el tiempo necesario para que suceda la precipitación de carburos es mayor. Existen también los aceros estabilizados con elementos como el titanio o el niobio que provocan preventivamente la precipitación de carburos que no empobrecen de cromo la aleación.

Puesto que el fenómeno de corrosión intergranular interesa particularmente a las estructuras soldadas, en la figura 5 se indica la localización de las áreas de probable sensibilización en una junta soldada referidas a diferentes tipos de aceros inoxidables. A la vez se observan las zonas de ataque si la junta fuese agredida por un agente capaz de desarrollar corrosión intergranular.

Corrosión de fractura bajo tensión

Toma la forma de una fractura ramificada en un material aparentemente dúctil. Para que la corrosión de fractura bajo tensión ocurra, se requiere de la

interrelación de dos factores esenciales: en primer lugar, la superficie del material expuesto al medio corrosivo debe estar bajo esfuerzo de tensión; en segundo lugar, el medio corrosivo debe específicamente ser causa de la corrosión bajo tensión.

El esfuerzo de tensión puede ser el resultado de cargas aplicadas, presión interna en el sistema, o esfuerzos residuales provenientes de soldaduras anteriores o combadura. El medio corrosivo que puede provocar la corrosión de fractura bajo tensión es aquel que tiene presencia de cloruros, sosa cáustica y sulfuros bajo condiciones de alta temperatura. La corrosión de fractura bajo tensión rara vez tiene lugar si la temperatura es menor a 50°C.

Para evitar la aparición de la corrosión bajo tensiones, el mejor sistema es actuar preventivamente. Por ello, cuando este fenómeno es previsible conviene actuar como sigue:

- Ensamblar cuidadosamente las piezas para evitar cuerpos en tensión.
- Formar zonas superficiales de compresión en aquellas partes sometidas a estado de tensión para “aliviar” superficialmente las partes tensas; estas zonas de compresión pueden obtenerse mediante martillado, granallado y laminado superficiales.
- Eliminar las tensiones generadas en el proceso de fabricación, sobre todo las de deformación plástica en frío, realizando tratamientos térmicos de distensión.
- Estudiar el diseño del producto para evitar estados de tensión tanto en su fabricación como en su empleo.
- Realizar las soldaduras con la secuencia apropiada para evitar que surjan en el cordón de soldadura o en las piezas soldadas, estados de tensión.

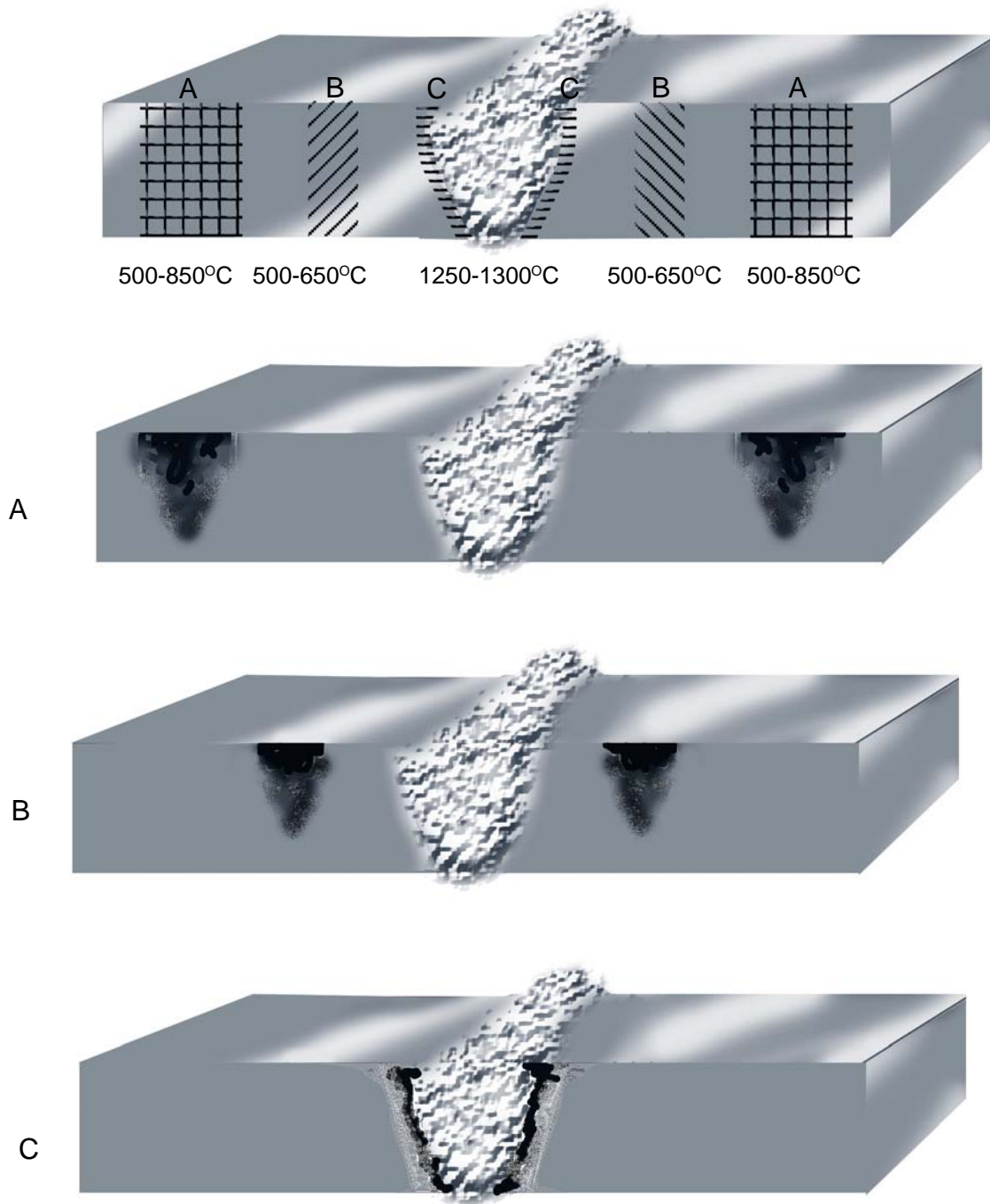
Corrosión galvánica

Este tipo de corrosión ocurre cuando dos metales distintos están en contacto eléctrico y sumergidos en el mismo electrolito (incluyendo la humedad atmosférica). El material más activo de los dos, denominado ánodo, se corroe a una velocidad



Figura 5. Localización de las zonas sensibilizadas y zonas de ataque en aceros inoxidables.

- A) aceros inoxidables austeníticos (intervalo de sensibilización de 500-850°C).
- B) aceros inoxidables ferríticos (temperaturas de sensibilización de 500 a 650°C).
- C) aceros inoxidables austeníticos estabilizados (intervalo de sensibilización 1250-1300°C).



mayor. El metal más pasivo, denominado cátodo, queda protegido y su velocidad de corrosión será menor a la normal. Al utilizar el mismo tipo de metal o al evitar el contacto eléctrico entre los dos metales diferentes a unir, se evita este tipo de corrosión.

Con frecuencia la aparición de manchas de herrumbre en ciertos productos de acero inoxidable se debe a la contaminación con material extraño que durante un inadecuado manejo del acero inoxidable se deposita en la superficie de moldes, cizallas, dobladoras, usados anteriormente sobre materiales galvánicamente más anódicos.

Se advierte que cuando el elemento de acero in-

oxidable es pequeño con respecto a un metal diferente (por ejemplo tornillos de acero inoxidable en perfiles de aluminio) no existe el peligro de este tipo de corrosión, dado que la superficie del elemento catódico inoxidable (el tornillo) es pequeña con relación a la anódica estructural (el perfil).

Los metales y aleaciones pueden ser ordenados de acuerdo con su comportamiento activo (anódico) o noble (catódico) cuando se encuentran en un determinado electrolito. A esta clasificación se le conoce como serie galvánica. La tabla 1 muestra un ejemplo para agua de mar.

Tabla 1. Serie galvánica para ciertos metales y aleaciones en agua de mar a 20°C.

	Metal o aleación
<p>Noble o catódico</p> <p>Activo o anódico</p>	Grafito, platino, oro.
	Hastelloy C (62% Ni-18% Cr-18% Mo).
	Incoloy 825 (42% Ni-20% Cr-3% Mo).
	AISI 316 (pasivo).
	AISI 304 (pasivo).
	Inconel 600 (76% Ni, 15% Cr) (pasivo).
	Aleaciones cobre-níquel (60-90% Cu/40-10% Ni).
	Bronces (Cu-Sn).
	Cobre.
	Estaño.
	Plomo.
	AISI 316 (activo).
	AISI 304 (activo).
	AISI 410 (activo).
Acero al carbono.	
Aluminio y sus aleaciones.	
Zinc.	
Magnesio.	





Corrosión localizada en aceros inoxidable

Corrosión localizada en aceros inoxidable austeníticos

Corrosión Intergranular

Los aceros inoxidable austeníticos llegan a sensibilizarse o a ser susceptibles a la corrosión intergranular cuando son calentados en el rango de temperatura de 500 a 850°C. El grado de sensibilización está en función del tiempo, temperatura y composición.

El tipo 304 es fácilmente susceptible después de una hora a 675°C, pero probablemente no muy afectado después de una hora a 500 u 850°C. Bajando el contenido de carbono, como en el tipo 304L con 0.03% de carbono máximo, se evita en gran parte la sensibilización.

Corrosión galvánica

Los aceros inoxidable austeníticos pueden ser pasivos o activos. Cuando son pasivos, los aceros inoxidable son relativamente nobles; por lo tanto todos los metales más activos en ese ambiente se comportarán como ánodo cuando se efectúa el contacto galvánico. Cuando son activos serán el ánodo en una celda galvánica si el otro metal es más noble.

El tipo 316 incrementa fuertemente la corrosión sobre el acero al carbón y en algunos casos puede aumentar la velocidad de corrosión de algunos bronce y latones. Únicamente el grafito y el titanio son capaces de promover la corrosión galvánica sobre el acero inoxidable tipo 316.

Corrosión de fractura bajo tensión

El alivio de esfuerzos debido a los tratamientos térmicos de los aceros inoxidable austeníticos, ha sido utilizado para controlar la fractura bajo tensión; sin embargo el alivio de esfuerzos generalmente sensibiliza los grados austeníticos comunes, razón por la cual los grados ba-

jos en carbono o estabilizados son más adecuados para tratamiento térmico de alivio de esfuerzos.

Corrosión localizada en aceros inoxidable ferríticos

Corrosión por picaduras

La resistencia al picado de las aleaciones ferríticas mejora si el contenido de cromo aumenta, sin embargo la adición de molibdeno es mucho más efectiva. Para proporcionar resistencia al picado, la aleación debe contener de 23 a 24% de cromo y arriba de 2% de molibdeno. La precipitación de carburos complejos como resultado de la soldadura o tratamiento térmico disminuye la resistencia a la picadura. Para evitar esto, las aleaciones están disponibles con niveles controlados de bajo carbono y nitrógeno (menos del 0.015% de carbón y nitrógeno).

Corrosión intergranular

Las aleaciones ferríticas pueden ser sensibilizadas de 500 a 650°C y son susceptibles al ataque intergranular. Los carburos y nitruros complejos se precipitan en los límites de grano, y en esta condición los ácidos fuertemente oxidantes causan ataque intergranular.

Las medidas preventivas son: un recocido después de soldar a aproximadamente 760°C, estabilización con titanio y columbio, o bajando los contenidos de carbono y/o nitrógeno.

La mayoría de las mejores aleaciones ferríticas resistentes a la corrosión contiene arriba de 23% de cromo. Algunas de ellas están estabilizadas o contienen niveles muy bajos de carbono y nitrógeno. Estas aleaciones deben considerarse cuando se requiere una buena resistencia a la corrosión, sin tomar en cuenta la condición de tratamiento térmico.

Corrosión de fractura bajo tensión

En general, los aceros inoxidable ferríticos son mucho más resistentes a la fractura bajo tensión en

soluciones de cloruros que los austeníticos; los aceros inoxidable ferríticos también están sujetos a la fractura bajo tensión en otros ambientes, tales como el hidróxido de sodio y ciertos ambientes acuosos a alta presión y temperatura.

Corrosión localizada en aceros inoxidables martensíticos

El bajo contenido de cromo y níquel en los aceros inoxidables martensíticos tiene como resultado una menor resistencia a la corrosión. Además, el alto contenido de carbono que proporciona una dureza extrema también disminuye la resistencia a la corrosión. La

composición de los aceros inoxidables martensíticos permiten obtener resistencia y dureza, pero estas aleaciones no deben ser seleccionadas para usarse en medios muy corrosivos.

Si un acero inoxidable martensítico, como es el tipo 410, es acoplado galvánicamente a un acero inoxidable austenítico en un ácido débil o vapor húmedo, la polarización entre los metales diferentes puede actuar perjudicialmente contra el acero 410.

Los aceros inoxidables martensíticos pueden sufrir la precipitación de carburos en el rango de 300 a 550°C. Un tratamiento térmico por arriba de 700°C restablece la resistencia a la corrosión intergranular.

Resistencia en diversos ambientes

Atmósferas, aguas y sales

Atmósfera

Los aceros inoxidables mantienen una apariencia sin cambio sustancial después de una exposición prolongada a la atmósfera. El daño que sufren los aceros inoxidables austeníticos en la atmósfera es tan ligero que es impráctico medirlo; las determinaciones de cambios de resistencia a la tensión y ductilidad generalmente no revelan un daño estructural después de exponer las muestras a largos periodos de exposición.

Atmósfera marina

En atmósferas marinas, los tipos 301, 302, 303, 304, 321 y 347 pueden desarrollar un manchado superficial disperso de color café amarillento. La decoloración se desarrolla durante los primeros meses de exposición, después de los cuales por lo general no progresa. Esta afectación es reducida en el caso del tipo 309 y es prácticamente eliminada en las aleaciones de

tipo 310 y 316 (este último presenta la mejor resistencia).

Agua destilada

Los aceros inoxidables austeníticos ordinarios no son prácticamente atacados por el agua destilada. Por ejemplo, muestras del tipo 304 expuesto durante más de 1 400 horas al agua destilada de un condensador fueron corroídas únicamente a razón de 0.02 mpy (milésimas de pulgada por año). Las pruebas a corto tiempo comúnmente no muestran pérdida de peso de muestras del tipo 304 en agua destilada caliente o fría.

Agua doméstica

La exposición de muestras a periodos prolongados en agua doméstica caliente (alrededor de 60°C) en diversos lugares, ha mostrado que el acero inoxidable tipo 304 es altamente resistente a la corrosión. Aunque los tipos austeníticos comunes deben bastar en la mayoría de los casos, el tipo 316 muestra





una ventaja en aguas de contenido de cloro anormalmente elevado.

Agua salina

El comportamiento del acero inoxidable en contacto con sal está determinado por las condiciones de exposición; donde la velocidad del agua es baja y hay probabilidad de que organismos marinos o materia sólida se adhieran a la aleación, puede esperarse un ataque considerable localizado alrededor o debajo de esta materia adherida. Cuando la exposición se realiza bajo condiciones donde los organismos u otros materiales sólidos no permanecen adheridos a la superficie de la aleación, el ataque a los aceros inoxidables austeníticos es despreciable, como en el caso de impulsores en bombas de operación continua. Para las condiciones entre estos extremos, el desempeño de los aceros inoxidables será variable.

Bajo las condiciones más adversas de exposición, las aleaciones que contienen molibdeno (tipo 316 y 317) son superiores a las otras composiciones y son preferidas donde las condiciones de exposición puedan variar entre las consideradas favorables y aquellas conocidas como desfavorables para los aceros inoxidables.

Sales neutras y alcalinas

Los aceros inoxidables austeníticos están prácticamente libres de la corrosión por sales neutras y alcalinas, incluyendo aquellas de naturaleza fuertemente oxidantes.

Sales ácidas

El comportamiento de los aceros inoxidables austeníticos en soluciones salinas ácidas depende de los ácidos liberados por hidrólisis. Sin embargo, debido a la menor acidez de las soluciones salinas, sus características corrosivas son menos severas y los aceros inoxidables resistirán el ataque sobre una amplia gama de concentración y temperatura. Las aleaciones que contienen molibdeno frecuentemente demuestran una ventaja bajo las condiciones más severas de acidez y temperatura.

Sales halógenas

Los iones halógenos penetran la película pasiva e inducen el picado. Esto sucede especialmente en el caso de las sales alógenas ácidas, que pueden causar picadura si las soluciones son de naturaleza oxidante, o causar un ataque general considerable si las soluciones son reductoras.

Ácidos

Ácido clorhídrico

Todas las concentraciones de ácido clorhídrico atacarán los aceros inoxidables porque este ácido destruye fácilmente su pasividad. En soluciones moderadamente fuertes, las aleaciones son atacadas rápidamente con el desprendimiento de hidrógeno.

Ácido sulfúrico

El acero inoxidable tipo 316 proporciona un servicio útil a temperatura ambiente en concentraciones de ácido sulfúrico debajo de 20% y arriba de 85%. Entre 20 y 80% de concentración, el acero inoxidable está sujeto a un ataque rápido. A temperaturas elevadas, la velocidad de corrosión aumenta y aun el tipo 316 no es particularmente útil en el ácido. Otras aleaciones conteniendo molibdeno con cobre y silicio, conjuntamente con niveles más elevados de níquel y cromo, proporcionan resistencia al ataque a temperaturas de alrededor de 50°C. Sin embargo en algunos casos en los que están presentes otros materiales se reduce mucho el ataque, por lo que frecuentemente es empleado el acero inoxidable con ácido sulfúrico mezclado con sulfato férrico, sulfato de cobre, ácido nítrico o crómico.

Ácido nítrico

Los aceros inoxidables austeníticos tienen una buena resistencia a la corrosión por el ácido

nítrico en todas las concentraciones y prácticamente en todas las temperaturas. Los tipos 304 y 347 son usados comúnmente para el ácido nítrico hasta el punto de ebullición, aunque los tipos 309 y 310, estabilizados con columbio, son más adecuados para temperaturas arriba del punto de ebullición.

La presencia de ácido nítrico en algunas mezclas de ácidos conduce a velocidades de corrosión extremadamente bajas de los aceros inoxidable. Las mezclas de ácido nítrico y sulfúrico ya han sido mencionadas. La corrosividad de otros ácidos, incluyendo el fosfórico y el acético, es reducida también en presencia del ácido nítrico. Por otra parte, las mezclas de ácido nítrico con ácido clorhídrico o fluorhídrico son corrosivas a todos los aceros inoxidables. La velocidad de ataque depende de la concentración y temperatura.

Ácido fosfórico

Los tipos 302 y 304 son satisfactorios con la mayoría de las concentraciones a temperatura ambiente. A temperaturas más elevadas se requiere el tipo 316. Si hay fluoruros presentes en soluciones calientes de ácido fosfórico producido en planta, la corrosión de los aceros inoxidables será incrementada considerablemente. Si las soluciones contienen ácido nítrico, la corrosión será reducida.

Ácido sulfuroso

El ácido sulfuroso causa picadura de los tipos 302 y 304 pero solamente tiene una ligera acción corrosiva sobre los aceros inoxidables conteniendo molibdeno. Como resultado, el tipo 316 es bastante útil para ductos y chimeneas que manejan gases que contienen dióxido de azufre. Cuando los gases o soluciones están calientes, húmedos y contienen algo de ácido sulfúrico, puede ser necesario usar aceros inoxidables que contengan cobre.

En la industria de pulpa de sulfito de papel, los tipos 316 y 317 son utilizados para intercambiadores de calor y recubrimientos de digestores. En ambientes más severos de ácido sulfuroso, generalmente involucrando la presencia de ácido sulfúrico, podrían

requerirse aleaciones inoxidables que contengan cobre con 20 a 29% de níquel, 19 a 20% de cromo y de 2 a 3% de molibdeno.

Ácido carbónico

No tiene ningún efecto sobre los aceros inoxidables. Como resultado, el tipo 304 proporciona un buen desempeño en la fabricación de equipo para carbonizar y es resistente a prácticamente todos los tipos de condensado de vapor.

Otros ambientes

Corrosión por bases

Los aceros inoxidables austeníticos tienen una excelente resistencia a la corrosión por bases débiles, tales como hidróxido de amonio y compuestos orgánicos como la anilina, piridina y aminas alifáticas. El tipo 304 puede usarse para equipos como destiladores de amoniaco y para ciertos tipos de reacciones de aminación.

El desempeño de los aceros inoxidables en soluciones de bases fuertes puede ser ilustrado con resultados de pruebas en soluciones de hidróxido de sodio. Los aceros inoxidables austeníticos generalmente muestran sólo un ligero ataque en soluciones hasta de 50% de concentración de sosa a temperaturas de hasta alrededor de 105°C. En concentración y temperaturas más elevadas, las velocidades de corrosión pueden llegar a ser apreciables.

Corrosión por compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos no causan problemas de corrosión en los aceros inoxidables, excepto en algunos casos específicos que involucran ácidos orgánicos o haluros orgánicos. Los compuestos orgánicos puros halogenados no atacan los aceros inoxidables, sin embargo cuando están en presencia de agua, un haluro puede hidrolizar





para producir el ácido halógeno correspondiente que puede causar picadura seria y hasta una corrosión general.

Ácido acético

Los aceros inoxidable tipo 302, 304 y 347 exhiben una excelente resistencia a todas las concentraciones de ácido acético a temperaturas moderadas y al ácido caliente concentrado. Los tipos 316 y 317 son más resistentes a las soluciones de ácido hirviendo de concentración intermedia y son usados para equipos tales como destiladores, columnas e intercambiadores de calor en la producción de ácido acético.

Ácido fórmico

El ácido fórmico es un buen agente reductor y es capaz de causar una corrosión severa de los aceros inoxidable austeníticos normales cuando está caliente. Los inoxidable tipo 316 y 317 generalmente son resistentes y utilizados en aplicaciones tales como el envejecido repidógeno de textiles y la destilación del ácido fórmico solo o mezclado con otros materiales orgánicos.

Ácido láctico

Los aceros inoxidable son utilizados ampliamente para manejar soluciones de ácido láctico conforme ocurre en productos alimenticios y lecheros. Los austeníticos normales comúnmente sirven para este propósito.

Las soluciones concentradas calientes de ácido láctico pueden causar picado severo de las aleaciones que no contienen molibdeno, por lo que en dicha aplicación los tipos 316 y 317 son los materiales preferidos de construcción.

Corrosión por alimentos

Los alimentos que contienen ácidos, tales como el acético, cítrico, málico, tartárico y láctico, son procesados en equipo hecho de acero inoxidable 304 o 316. Donde se añade sal durante el procesamiento de alimentos, se prefiere el tipo 316.

La corrosión del acero inoxidable es tan baja, que la contaminación del alimento durante su cocinado y almacenamiento en frío en recipientes de inoxidable es despreciable y sin ninguna consecuencia.