

MATERIALES UTILIZADOS EN VÁLVULAS EN APLICACIONES CORROSIVAS

	CONTENIDO	Página
1	Tipos de corrosión	1
1.1	Corrosión uniforme	1
1.2	Corrosión por picadura	1
1.3	Corrosión por grietas o fisuras	2
1.4	Corrosión intergranular	2
1.5	Corrosión bajo tensión (Stress corrosión cracking)	2
1.6	Corrosión galvánica	3
2	Materiales resistentes a la corrosión	3
2.1	Aceros de baja aleación	3
2.2	Aceros inoxidables	4
2.3	Aleaciones de níquel	5
2.4	Aleaciones de cromo (DUPLEX / SUPERDUPLEX)	6
2.5	Titanio	6
3	Corrosión producida por cloro (Cl) y dióxido de azufre (SO ₂)	7-8
4	Corrosión producida por CO ₂ (dióxido de carbono) y H ₂ CO ₃ (ácido carbónico)	9

1. Tipos de corrosión

1.1 Corrosión uniforme

La corrosión uniforme se considera un ataque uniforme sobre la superficie de un material y es el tipo más común de corrosión. También es el más benigno, ya que la extensión del ataque es relativamente fácil de juzgar, y el impacto resultante en el rendimiento del material se evalúa con bastante facilidad debido a la capacidad de reproducir y probar el fenómeno de manera consistente. Este tipo de corrosión generalmente ocurre en áreas relativamente grandes de la superficie de un material.

1.2 Corrosión por picadura

Corrosión por picaduras es uno de los tipos de corrosión más destructivos, ya que pueden ser difíciles de predecir, detectar y caracterizar. La picadura es una forma localizada de corrosión, en la cual un punto anódico local, o más comúnmente un punto catódico, forma una pequeña celda de corrosión con la superficie normal circundante. Una vez que se inicia un pozo, se convierte en un "agujero" o "cavidad" que adquiere una de una variedad de formas diferentes. Los hoyos típicamente penetran desde la superficie hacia abajo en dirección vertical. La corrosión por picadura puede ser causada por una rotura local o daño a la película protectora de óxido o un recubrimiento protector. También puede ser causado por falta de uniformidad en la estructura metálica misma. Las picaduras son peligrosas porque pueden conducir a la falla de la estructura con una pérdida general de metal relativamente baja.

1.3 Corrosión por grietas o fisuras

La corrosión por grietas también es una forma localizada de corrosión y generalmente resulta de un microambiente estancado en el que hay una diferencia en la concentración de iones entre dos áreas de un metal. La corrosión por grietas ocurre en áreas protegidas, como debajo de arandelas, cabezas de pernos, juntas, etc., donde el oxígeno está restringido. Estas áreas más pequeñas permiten la entrada de un agente corrosivo, pero no permiten suficiente circulación interna, agotando el contenido de oxígeno, lo que evita la repasivación. A medida que se acumula una solución estancada, el pH se aleja de neutral. Este desequilibrio creciente entre la grieta (microambiente) y la superficie externa (ambiente externo) contribuye a efectos más altos de corrosión. La corrosión por grietas a menudo puede ocurrir a temperaturas más bajas que las picaduras. El diseño apropiado de la junta ayuda a minimizar la corrosión en grietas.

1.4 Corrosión intergranular

Un examen de la microestructura de un metal revela los granos que se forman durante la solidificación de la aleación, así como los límites entre ellos. La corrosión intergranular puede ser causada por impurezas presentes en estos límites de grano o por el agotamiento o enriquecimiento de un elemento de aleación en los límites de grano. La corrosión intergranular ocurre a lo largo o adyacente a estos granos, afectando seriamente las propiedades mecánicas del metal mientras la mayor parte del metal permanece intacta.

Un ejemplo de corrosión intergranular es la precipitación de carburo, una reacción química que puede ocurrir cuando un metal se somete a temperaturas muy altas (por ejemplo, 400°C - 900°C) y / o trabajo en caliente localizado como ser soldaduras. En los aceros inoxidable, durante estas reacciones, el carbono "consume" el cromo, formando carburos y haciendo que el nivel de cromo restante en la aleación caiga por debajo del 11% necesario para sostener la capa de óxido pasivo que se forma espontáneamente.

1.5 Corrosión bajo tensión (Stress corrosión cracking)

Corrosión bajo tensión (SCC) es el resultado de la combinación de tensión y un ambiente corrosivo, a menudo a temperaturas elevadas. La corrosión por tensión puede ser el resultado de una tensión externa, como las cargas reales en el metal o la expansión / contracción debido a los rápidos cambios de temperatura. También puede ser el resultado de la tensión residual que se produce durante el proceso de fabricación, como el forjado en frío, soldadura, mecanizado, rectificado, etc. En la corrosión por tensión, la mayoría de la superficie generalmente permanece intacta; sin embargo, aparecen grietas finas en la microestructura, lo que hace que la corrosión sea difícil de detectar. Las grietas generalmente tienen una apariencia y forma frágiles y se extienden en una dirección perpendicular a la ubicación de la tensión. La selección de materiales adecuados para un entorno determinado (incluida la temperatura y el manejo de cargas externas) puede mitigar el potencial de falla catastrófica debido a SCC.

1.6 Corrosión galvánica

La corrosión galvánica es la degradación de un metal cerca de una junta o unión que ocurre cuando dos metales electroquímicamente diferentes están en contacto eléctrico en un entorno electrolítico; por ejemplo, cuando el cobre está en contacto con el acero en un entorno de agua salada. Sin embargo, incluso cuando se cumplen estas tres condiciones, hay muchos otros factores que afectan el potencial y la cantidad de corrosión, como la temperatura y el acabado de la superficie de los metales. Estructuras grandes, que emplean muchos tipos de metal en su construcción, son susceptibles a la corrosión galvánica si no se tiene cuidado durante la fase de diseño. Elegir metales que estén tan juntos como sea posible en la serie galvánica ayuda a reducir el riesgo de corrosión galvánica.

2. Materiales resistentes a la corrosión

2.1 Aceros de baja aleación

S41001 (A182 F6a) (1.4006) (X12Cr13)

Este material es un acero inoxidable martensítico que combina buenas propiedades mecánicas y buena resistencia a la corrosión en medios moderadamente agresivos. Para lograr una resistencia óptima a la corrosión de este acero al cromo, se requiere una superficie lisa (pulida por la industria) y libre de residuos. Se utiliza en piezas de construcción en agua y vapor, en la industria del petróleo, en ingeniería mecánica, en la industria de bombas y en áreas de la industria alimenticia y se puede utilizar hasta 400°C. Es fácil de mecanizar y muy fácil de soldar.

S42000 (A276 420) (1.4021) (X20Cr13)

Este tipo de acero tiene una dureza media entre los aceros al cromo y una buena resistencia a la corrosión en agua (sin cloro), vapor y productos químicos moderadamente agresivos. Con una participación de más del 12%, el cromo hace que el material de acero sea resistente a la corrosión. Muestra buena resistencia a la corrosión solo en condiciones templadas (+ QT) y pulidas (+ SL). Esta resistencia a la corrosión ya no está presente en el estado recocido y naturalmente duro. Todos los aceros inoxidables martensíticos no son resistentes al agua de mar. Cuando se usa en agua de mar, se produce corrosión por picadura. Tiene buenas propiedades de corrosión en medios que no contienen cloro con agresividad moderada, p. agua, vapor de agua, humedad del aire, jabones, solventes, ácidos orgánicos y álcalis. La resistencia a la corrosión en los medios oxidantes es de hasta aprox. 600°C.

S42000 (AISI 420) (1.4031) (S39Cr13)

Este material presenta una buena resistencia a la corrosión en medios moderadamente agresivos, sin cloro, como jabones, solventes y ácidos orgánicos. La mejor resistencia a la corrosión está en el estado endurecido con una superficie pulida. En términos de propiedades de corrosión, muestra una resistencia algo mejorada como resultado del cromo ligeramente más alto. Esto puede compensar algo el agotamiento del cromo causado por el mayor contenido de carbono.

2.2 Aceros inoxidables

S30400 (AISI 304) (1.4301) (X5CrNi18-10)

Es una aleación con un alto contenido de cromo que tiene buena resistencia a la corrosión. También es dúctil, lo que facilita una serie de procesos de fabricación. El bajo contenido de carbono es beneficioso para la soldadura y se usa ampliamente para la industria alimenticia y aplicaciones sanitarias

S31600 (AISI 316) (1.4401) (X5CrNiMo17-12-2)

Este acero tiene una mejor la resistencia a la corrosión y una mejor resistencia a la fluencia a altas temperaturas que el S30400. Es un material estándar y se puede usar para una amplia gama de productos químicos. Se suelda fácilmente.

Ni S30400 ni S31600 son adecuados para aplicaciones donde hay un alto contenido de cloruro y son susceptibles a la corrosión por picadura en ambientes de agua de mar.

Este material se usa casi universalmente y se puede encontrar en muchas aplicaciones químicas, alimentarias y farmacéuticas.

S31603 (AISI 316L) (1.4435) (X2CrNiMo18-14-3)

Este material es una variante del S31600 y tiene una resistencia superior a la corrosión intergranular después de soldar o alivio de tensiones mecánicas. Por lo tanto, puede seleccionarse con preferencia a otros grados para ciertos procesos de fabricación.

S31635 (316Ti) (1.4571) (X10CrNiMoTi18-10)

Esta es una variante adicional al S31600 con una adición de titanio.

Se puede utilizar para reducir la corrosión intergranular y garantizar buenas propiedades mecánicas a temperatura ambiente y elevada.

S32100 (AISI 321) (1.4541) (X6CrNiTi18-10)

Es un desarrollo del AISI 304 con cierto contenido de titanio que ayuda a prevenir la precipitación de carburo de cromo resultante de la soldadura o temperaturas elevadas. También tiene buena resistencia a la fatiga por vibración. Por lo tanto, es un material útil para equipos de proceso de alta temperatura, por ejemplo, en turbinas de gas.

S34700 (AISI 347) (1.4550) (X6CrNiNb18-10)

Una alternativa para juntas metálicas seleccionadas por su buena resistencia al calor y resistencia a la corrosión intergranular.

2.3 Aleaciones de níquel

N10276 (Alloy 276) (2.4810) (G-NiMo30)

Una de las aleaciones de níquel más utilizadas, y con el nombre comercial HASTELLOY C276^R. Es adecuado para aplicaciones en agua de mar, salmuera y muchos ácidos. Se suelda fácilmente y conserva buenas propiedades en la zona de soldadura. Ampliamente utilizado en aplicaciones de alta temperatura o corrosivas. Se puede usar como material para resortes.

N07718 (Alloy 718) (2.4668) (NiCr19FeNbMo)

Es una aleación con alto contenido de níquel y cromo, con un cierto contenido de hierro, que tiene una excelente resistencia a la corrosión y tiene un tratamiento térmico para obtener las características requeridas.

Se utiliza en servicio de hidrocarburos calientes.

N06600 (Alloy 600) (2.4816) (NiCr15Fe)

Este material se conoce familiarmente bajo el nombre comercial Inconel 600^R. Es una aleación de níquel-cromo con buena resistencia a la oxidación a altas temperaturas y resistencia a iones de cloruro, corrosión por grietas y por tensión, corrosión por agua de alta pureza y corrosión cáustica. Se utiliza para la fabricación de O-rings metálicos.

N07750 (Alloy X750) (2.4669) (NiCr15Fe7TiAl)

Esta es una aleación de níquel-cromo similar a N06600 también conocida bajo el nombre comercial Inconel X750^R. La adición de aluminio y titanio hace que sea endurecible por precipitación. Tiene buena resistencia a la corrosión y oxidación con propiedades de alta resistencia a la tracción y a la fluencia por deslizamiento de hasta 700 ° C. Su excelente resistencia a la relajación es útil para resortes y pernos de alta temperatura y se utiliza para la fabricación de sellos metálicos de alta temperatura.

N04400 (Alloy 400) (2.4360) (NiCu30Fe)

Este material también se conoce bajo el nombre comercial Monel^R. Es una aleación de cobre-níquel que tiene una resistencia a la corrosión particularmente buena contra el ácido sulfúrico y clorhídrico, los álcalis y el agua de mar. Tampoco es susceptible al agrietamiento por corrosión bajo tensión y es a menudo el material elegido para aplicaciones de agua de mar y en ácido fluorhídrico

N05500 (Alloy K-500) (2.4375) (NiCu30Al)

Un material adicional de la familia Monel^R que tiene mayor resistencia y se usa donde esto es requerido para tornillos de fijación y sujetadores.

2.4 Aleaciones de cromo (DUPLEX / SUPERDUPLEX)

S31803 (A182 F51) (1.4462) (X2CrNiMoN22-5-3)

Este es un acero inoxidable denominado "DUPLEX" que tiene hasta dos veces el límite elástico del S31600 y una resistencia a la corrosión mucho mejor. Se utiliza donde se requiere una resistencia a la corrosión mejorada. La mayor resistencia mecánica también puede ser una ventaja en algunos casos.

S32760 (A182 F55) (1.4501) (X2CrNiMoCuWN25-7-4)

Este es un acero inoxidable denominado "SUPERDUPLEX" con 25% de Cr, una alta resistencia a la corrosión por picadura y alta resistencia. La alta resistencia a la corrosión por grietas o por corrosión por tensión, lo cual lo convierte en un material adecuado para componentes en aplicaciones de exploración de petróleo, refinación, agua de mar y geotérmica.

La alta resistencia puede facilitar el ahorro de peso en comparación con los aceros inoxidables convencionales como los materiales de las series 304 o 316.

2.5 Titanio

El titanio es un metal muy reactivo que muestra una notable resistencia a la corrosión en ambientes ácidos oxidantes en virtud de una película de óxido pasiva. Se desempeña mejor en medios oxidantes como el ácido nítrico caliente. La película de óxido formada en titanio es más protectora que la del acero inoxidable, y a menudo funciona bien en medios que causan picaduras y corrosión en grietas (p. Ej., agua de mar, cloro húmedo, cloruros orgánicos). Si bien el titanio es resistente a estos medios, no es inmune y puede ser susceptible a picaduras y ataques de grietas a temperaturas elevadas. Por ejemplo, no es inmune a la corrosión del agua de mar si la temperatura es superior a aproximadamente 110°C.

3. Corrosión producida por cloro (Cl) y dióxido de azufre (SO₂)

La resistencia de los materiales contra la corrosión se mide en "PREN" (número equivalente de resistencia a las picaduras)

El número PREN es una medida predictiva de la resistencia de un acero inoxidable a la corrosión por picadura localizada en función de su composición química. En general: cuanto mayor es el valor PREN, más resistente es el acero inoxidable a la corrosión por picaduras localizadas producidas por cloruros.

PREN se especifica con frecuencia cuando los aceros inoxidables estarán expuestos al agua de mar u otras soluciones con alto contenido de cloruro. En algunos casos, los aceros inoxidables con valores $PREN > 32$ pueden proporcionar una resistencia útil a la corrosión por picadura en el agua de mar, pero dependen de las condiciones óptimas. Sin embargo, la corrosión de grietas también es una posibilidad significativa y un $PREN > 40$ se especifica típicamente para el servicio de agua de mar.

Estas aleaciones tienen que ser fabricadas y tratadas térmicamente correctamente para sean resistentes a la corrosión por agua de mar al nivel esperado. PREN solo no es un indicador de resistencia a la corrosión. El valor debe calcularse para cada colada para garantizar el cumplimiento de los requisitos mínimos, esto se debe a la variación química dentro de los límites de composición especificados.

Hay varias fórmulas PREN. El más común es $PREN = 1 \times \% Cr + 3.3 \times \% Mo + 16 \times \% N$

Hay algunos aceros inoxidables que contienen tungsteno (W), para ellos se usa la siguiente fórmula $PREN = 1 \times \% Cr + 3.3 (\% Mo + 0.5 \times \% W) + 16 \times \% N$

Los procedimientos de prueba exactos se especifican en la norma ASTM G48

Como se puede ver en la fórmula, la cantidad de carbono (C) y níquel (Ni) en la aleación no influye en el valor PREN. El efecto del Ni es la reducción de la velocidad de corrosión una vez que el proceso ha comenzado. Esto significa que un mayor contenido de Ni proporciona una vida útil más larga al componente expuesto a la corrosión.

En general, los aceros inoxidables se dividen en cuatro categorías de resistencia a la corrosión, en función de su valor PREN. Aquí algunos ejemplos:

Categoría I – Baja corrosión

Aceros				Valor PREN
UNS	AISI	ASTM	DIN	
S41000	410	A182 F6A	1.4006	12,0 / 13,0
S42000	420	A276 420T	1.4021	12,0 / 14,0
S42000	420	A276 420	1.4031	12,0 / 14,0

Categoría II – Baja corrosión, bajo contenido de Cl y SO₂ – Componentes accesibles

Aceros				Valor PREN
UNS	AISI	ASTM	DIN	
S37400	347	A182 F347	1.4550	17 / 19
S30400	304	A182 F304	1.4301	20 / 21
S30403	304L	A182 F304L	1.4306	20 / 22
S32100	321	A182 F321	1.4541	17 / 19

Categoría III – Corrosión mediana – Contenido mediano de Cl y SO₂ – Componentes que no están accesibles

Aceros				Valor PREN
UNS	AISI	ASTM	DIN	
S31635	316Ti	A182 F316Ti	1.4571	25 / 30
S31600	316	A182 F316	1.4401	25 / 28
S31603	316L	A812 F316L	1.4404	25 / 28

Categoría IV – Alta corrosión por Cl y SO₂

Aceros				Valor PREN
UNS		ASTM	DIN	
S31803	DUPLEX	A182 F51	1.4462	31 / 36
S32760	SUPERDUPLEX	A182 F55	1.4501	38 / 44

La selección del acero inoxidable para una aplicación específica debe realizarse de acuerdo con los requisitos mecánicos del componente, las condiciones del proceso (presión y temperatura) y el contenido de elementos corrosivos.

Siempre se debe considerar que no solo se deben tener en cuenta las condiciones normales del proceso, sino también las condiciones anormales, como que el equipo está fuera de servicio durante un período más prolongado durante se pueden acumular componentes corrosivos.

4. Corrosión producida por CO₂ (dióxido de carbono) y H₂CO₃ (ácido carbónico)

El dióxido de carbono seco (CO₂) no es corrosivo para todos los metales en todas las temperaturas. Cuando hay presencia de agua (H₂O), la combinación con el CO₂ forma ácido carbónico (H₂CO₃) que es corrosivo.

La corrosividad de los metales depende de muchos factores, como la temperatura, el valor del pH, el contenido de agua y el cloro.

Esta descripción solo puede dar una guía general para la selección de un material específico para un componente.

La siguiente tabla aplica para líquidos

Presión parcial de CO ₂	Corrosion reactiva	Materiales recomendados		Notas
≤ 0,5 bar	No hay corrosión	Sin restricciones		
0,5 hasta 2,1 bar	Corrosión leve	1.4006 1.4021 1.4313	AISI 410 AISI 420 AISI 415	Aceros Cr13
≥ 2.1 bar	Corrosión media a alta	1.4301 1.4541 1.4401 1.4462	AISI 304 AISI 321 AISI 316 A182 F51	Aceros Cr17 Aceros Cr22

La presión parcial se puede calcular de la siguiente manera: en gas con una presión de 100 bar con un contenido de CO₂ del 2%, la presión parcial de CO₂ es de 2 bar.