

2. Propiedades del acero inoxidable.

El acero inoxidable fue inventado por Harry Brearley (1871-1948), quien había comenzado a edad muy temprana, 12 años, a trabajar como operario en la acería de su pueblo natal, Sheffield (Inglaterra). En 1912, Brearley comenzó a investigar, a petición de los fabricantes de armas, en una aleación que presentara mayor resistencia al desgaste que la experimentada hasta el momento por el interior de los cañones de las pequeñas armas de fuego como resultado del calor despedido por los gases.

Buscando un metal que resistiera la erosión, Brearley encontró un metal resistente a la corrosión. Su invento no tuvo mayor interés inmediato y fue destinado a la fabricación de cuberterías.

El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes. Los principales son el níquel y el molibdeno. Es un tipo de acero resistente a la corrosión, el cromo que contiene posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora que evita la corrosión del hierro contenido en la aleación. Sin embargo, esta película puede ser afectada por algunos ácidos dando lugar a un ataque y oxidación del hierro por mecanismos ínter granulares o picaduras generalizadas.



Figura 2.1. Bobinas de acero inoxidable corrugado

2.1. Tipos y grados de material

Existen muchos tipos de acero inoxidable y no todos son adecuados para aplicaciones estructurales, particularmente cuando se llevan a cabo operaciones de soldadura. Hay cinco grupos básicos de acero inoxidable clasificados de acuerdo con su estructura metalúrgica: austeníticos, ferríticos, martensíticos, dúplex y de precipitación-endurecimiento (endurecimiento por precipitación).

Los aceros inoxidables que contienen solamente cromo, se llaman "ferríticos", ya que tienen una estructura metalográfica formada básicamente por ferrita. Son magnéticos, y se distinguen porque son atraídos por un imán. Estos aceros, con elevados porcentajes de carbono, son templeables y, por tanto, pueden endurecerse por tratamiento térmico pasando a llamarse aceros inoxidables "martensíticos", por tener martensita en su estructura metalográfica.

Los aceros inoxidables que contienen más de un 7% de níquel, se llaman "austeníticos", ya que tienen una estructura metalográfica en estado recocido, formada básicamente por austenita. No son magnéticos en estado recocido, y por tanto no son atraídos por un imán. Estos aceros austeníticos se pueden endurecer por deformación, pasando su estructura metalográfica a contener "martensita". En esta situación se convierten en parcialmente magnéticos.

Los aceros inoxidables austeníticos y dúplex son, en general, los grupos más empleados en aplicaciones estructurales.

Los aceros inoxidables austeníticos proporcionan una buena combinación de resistencia a la corrosión y de las propiedades de fabricación. Los aceros inoxidables dúplex tienen una resistencia elevada y también una alta resistencia al desgaste, con una muy buena resistencia a la corrosión bajo tensión. En la tabla 2.1 se presentan los valores mínimos especificados para las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables más comunes según EN 10088.

Tabla 2.1 Propiedades mecánicas especificadas para los aceros inoxidables usuales según EN 10088-2

	Grado	Producto ¹⁾	Espesor máximo (mm)	Mínima resistencia ²⁾ correspondiente al 0.2% (N/mm ²)	Resistencia última a tracción (N/mm ²)	Alargamiento de rotura (%)
Aceros inoxidables austeníticos básicos de cromo y níquel	1.4301	C	8	230	540 – 750	45 ⁽³⁾
		H	13,5	210	520 – 720	45 ⁽³⁾
		P	75	210	520 – 720	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4307	C	8	220	520 – 700	45
		H	13,5	200	520 – 700	45
		P	75	200	500 – 700	45
Aceros inoxidables austeníticos de molibdeno, cromo y níquel	1.4401	C	8	240	530 – 680	40
		H	13,5	220	530 – 680	40
		P	75	220	520 – 670	45
Aceros inoxidables austeníticos estabilizados	1.4541	C	8	220	520 – 720	40
		H	13,5	200	520 – 720	40
		P	75	200	500 – 700	40
Aceros inoxidables austeníticos bajos en carbono, altos en nitrógeno	1.4571	C	8	240	540 – 690	40
		H	13,5	220	540 – 690	40
		P	75	220	520 – 670	40
Aceros inoxidables dúplex	1.4318	C	8	350	650 – 850	35
		H	13,5	330	650 – 850	35
		P	75	330	630 – 830	45
Aceros inoxidables dúplex	1.4362	C	8	450	650 – 850	20
		H	13,5	400	650 – 850	20
		P	75	400	630 – 800	25
	1.4462	C	8	500	700 – 950	20
		H	13,5	460	700 – 950	25
		P	75	460	640 – 840	25

Notas:

- 1) C=fleje laminado en frío, H=fleje laminado en caliente, P=chapa laminada en caliente
- 2) Propiedades transversales
- 3) Para material más estirado, los valores mínimos son un 5% más bajos

Los grados más utilizados, referidos generalmente como grados austeníticos estándares, son 1.4301 (comúnmente conocido como 304 en denominación AISI) y 1.4401 (AISI 316). Estos aceros inoxidable contienen entre un 17-18% de cromo y un 8-11% de níquel. El grado 1.4301 es adecuado en ambientes rurales, urbanos y ligeramente industriales, mientras que el 1.4401 es un grado más aleado y por tanto recomendable en ambientes marinos e industriales.

Las versiones de estos mismos grados con bajo contenido en carbono son 1.4307 (AISI 304L) y 1.4404 (AISI 316L). Los grados 1.4301 y 1.4401 se fabricaban anteriormente con contenidos de carbono más elevados lo cual tenía implicaciones en el comportamiento de los mismos frente a la corrosión. Tanto el grado 'L' como un acero estabilizado tal como el 1.4541 y el 1.4571 deberían utilizarse cuando sea determinante el comportamiento frente a corrosión en estructuras soldadas.

A todos los aceros inoxidable, se les puede añadir un pequeño porcentaje de molibdeno, para mejorar su resistencia a la corrosión por cloruros.

La tabla 2.2 recoge la correspondencia entre designaciones de acero inoxidable en varias normativas nacionales y europeas.

Tabla 2.2. Correspondencia entre designaciones de acero inoxidable

EN (10088)	Anglaterra BSI	Estados Unidos		Alemania DIN	Suecia SIS	EN (10283)	Francia AFNOR	Composición guía					
		AISI	UNS					C	Cr	Ni	Mo	Others	
.	C					
<u>1.4005</u>	<u>416S21</u>	<u>416</u>	-	X12CrS13	-	-	Z 11 CF 13						
<u>1.4006</u>	<u>410S21</u>	<u>410</u>	-	X10Cr13	-	-	Z 10 C 13						
<u>1.4016</u>	<u>430S17</u>	<u>430</u>	-	X6Cr17	-	-	Z 8 C 17						
<u>1.4021</u>	<u>420S37</u>	<u>420</u>	-	X20Cr13	-	-	Z 20 C 13						
<u>1.4301</u>	<u>304S31</u>	<u>304</u>	<u>S30400</u>	X5CrNi18-10	2333	<u>1.4308</u>	Z 6 CN 18-09	0.07x	18	8	-	-	
<u>1.4303</u>	<u>305S19</u>	<u>305</u>	<u>S30500</u>	X5CrNi18-12	-	-		0.06x	18	11	-	-	
<u>1.4305</u>	<u>303S31</u>	<u>303</u>	<u>S30300</u>	X10CrNiS18-9	2346	-		0.10x	18	8	-	0.35xS	
<u>1.4306</u>	-	<u>304L</u>	-	X2CrNi19-11	2352	-	Z 2 CN 18-10	0.030x	18	10	-	-	
<u>1.4307</u>	<u>304S11</u>	<u>304L</u>	<u>S30403</u>	-	2352	-		0.030x	18	8	-	-	
<u>1.4310</u>	<u>301S21</u>	<u>301</u>	<u>S30100</u>	X12CrNi17-7	2331	-		.05/.15	17	6	-	-	
<u>1.4311</u>	304S61	<u>304LN</u>	<u>S30453</u>	X2CrNiN18-10	2371	<u>1.4309</u>	Z 2 CN 18-10 Az	0.030x	18	9	-	0.22xN	
<u>1.4372</u>	-	<u>201</u>	<u>S20100</u>	-	-	-		0.15x	17	4.5	-	6.5Mn	
<u>1.4401</u>	<u>316S31</u>	<u>316</u>	<u>S31600</u>	X5CrNiMo17-12-2	2347	-	Z 6 CND 17-11	0.07x	17	11	2	-	
<u>1.4404</u>	<u>316S11</u>	<u>316L</u>	<u>S31603</u>	X2CrNiMo17-13-2	2348	<u>1.4408</u>	Z 2 CND 17-12	0.030x	17	11	2	-	
<u>1.4406</u>	316S61	<u>316LN</u>	<u>S31653</u>	X2CrNiMoN17-12-2	-	<u>1.4409</u>	Z 2 CND 17-12 Az	0.030x	17	11	2	0.22xN	
<u>1.4432</u>	<u>316S13</u>	<u>316L</u>	-	-	2353	-		0.030x	17	11	2.5	-	
<u>1.4435</u>	<u>316S13</u>	<u>316L</u>	-	XCrNiMo18-14-3	2353	-	Z 2 CND 17-13	0.030x	17	13	2.5	-	
<u>1.4436</u>	<u>316S33</u>	<u>316</u>	-	X5CrNiMo17-13-3	2343	-		0.05	17	11	2.5	-	
<u>1.4438</u>	<u>317S12</u>	<u>317L</u>	<u>S31703</u>	-	2367	-		0.030x	18	13	3	-	
<u>1.4439</u>	-	-	-	X2CrNiMoN17-13-5	-	<u>1.4446</u>		0.030x	17	13	4	0.22xN	
<u>1.4462</u>	<u>Duplex 2205</u>	-	<u>S31803</u>	X2CrNiMoN22-5-3	-	-	Z 2 CND 22-5 Az	0.030x	22	5	2.5	0.22xN	
<u>1.4541</u>	<u>321S31</u>	<u>321</u>	<u>S32100</u>	X6CrNiTi18-10	2337	-	Z 6 CNT 18-10	0.08x	18	9	-	0.5Ti	
<u>1.4550</u>	<u>347S31</u>	<u>347</u>	<u>S34700</u>	X6CrNiNb18-10	2338	<u>1.4552</u>		0.08x	18	9	-	0.5Nb	
<u>1.4563</u>	-	-	<u>N08028</u>	X1NiCrMoCu31-27-4	2584	-		0.02x	26	30	3.0	1.0Cu	
<u>1.4567</u>	394S17	304Cu	<u>S30430</u>	-	-	-		0.04x	18	9	-	4xCu	
<u>1.4571</u>	<u>320S31</u>	<u>(316Ti)</u>	<u>S31635</u>	X6CrNoMoTi17-12-2	2350	<u>1.4581</u>	Z 6 CNDT 17-12	0.08x	17	11	2	0.5Ti	
<u>1.4539</u>	904S13	-	<u>N08904</u>	X1CrNiMoCuN25-20-5	2562	<u>1.4584</u>	Z 1 CNDU 25-20	0.020x	19	24	4	1.5Cu	
<u>1.4547</u>	-	-	<u>S31254</u>	-	2378	<u>1.4593</u>		0.020x	20	18	6	0.75Cu	
<u>1.4529</u>	-	-	<u>N08925</u>	X1NiCrMoCuN25-20-6	-	<u>1.4588</u>		0.020x	19	24	6	1.25Cu	

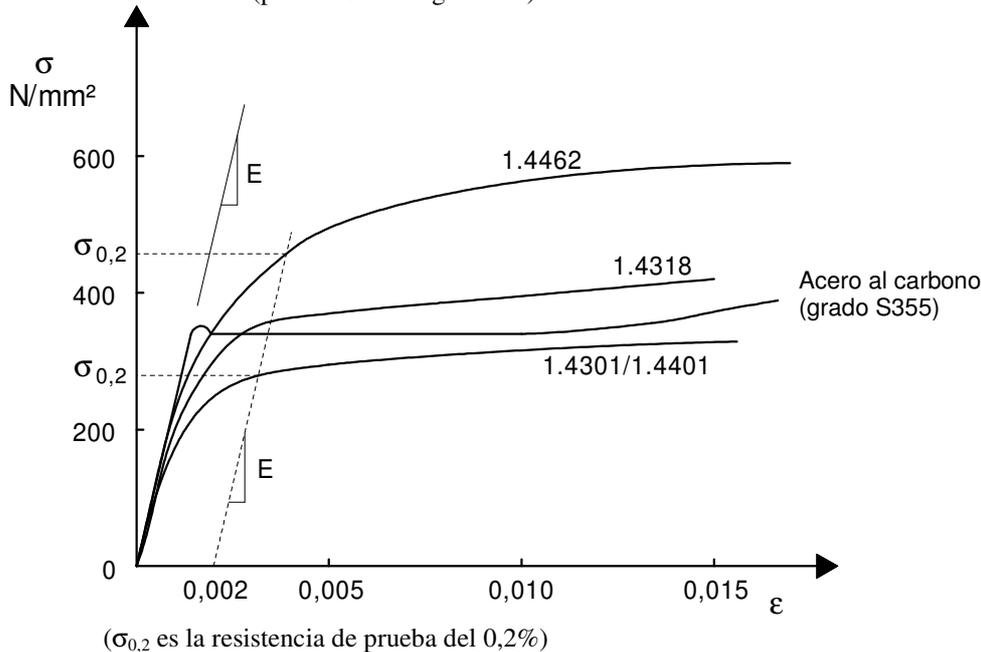
2.2. Comportamiento tensodeformacional básico

El comportamiento tensión-deformación del acero inoxidable difiere del comportamiento del acero al carbono en varios aspectos. La diferencia más importante reside en la forma de la curva tensión-deformación. Mientras el acero al carbono exhibe un comportamiento elástico lineal hasta su límite elástico y una zona plana antes del endurecimiento por deformación, el acero inoxidable presenta una curva tensión-deformación con forma más redondeada sin límite elástico definido (ver Figura 3.1). Por ello, el “límite elástico” del acero inoxidable se expresa, en general, en términos de una resistencia de prueba definida para un determinado valor de deformación remanente (convencionalmente la deformación del 0,2%), tal y como se muestra en la figura.

En la Figura 2.2 se presentan otras curvas tensión-deformación experimentales típicas, representativas de los materiales acero al carbono y acero inoxidable. Dichas curvas no deben utilizarse en el dimensionamiento.

En cualquier caso, debe señalarse que el acero inoxidable puede absorber impactos considerables sin que sobrevenga la fractura, gracias a su excelente ductilidad (especialmente los grados austeníticos) y a sus características de endurecimiento por deformación.

Figura 2.2. Curvas tensión-deformación típicas para el acero inoxidable y el acero al carbono en la condición de recocido (para tensión longitudinal).



Los niveles de resistencia de los aceros inoxidables austeníticos y dúplex aumentan con el trabajado en frío (tal como ocurre durante las operaciones de conformado en frío incluyendo el nivelado/aplanado mediante rodillo y también durante la fabricación). Asociada a esta mejora de los niveles de resistencia se produce una reducción de la ductilidad, aunque generalmente tiene poca consecuencia gracias a los altos valores iniciales de ductilidad, especialmente para los aceros inoxidables austeníticos.

2.3. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables

Todos los aceros inoxidables contienen el cromo suficiente para darles características de inoxidables. Muchas aleaciones inoxidables contienen además níquel para reforzar aun más su resistencia a la corrosión. Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo "inoxidable en toda su masa". Por este motivo, los aceros inoxidables no necesitan ser ni chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión. En el acero inoxidable no hay nada que se pueda pelar, ni desgastar, ni saltar y desprenderse.

El acero ordinario, cuando queda expuesto a los elementos, se oxida y se forma óxido de hierro pulverulento en su superficie. Si no se combate, la oxidación sigue adelante hasta que el acero esté completamente corroído.

También los aceros inoxidables se oxidan, pero en vez de óxido común, lo que se forma en la superficie es una tenue película de óxido de cromo muy densa que constituye una coraza contra los ataques de la corrosión. Si se elimina esta película de óxido de cromo que recubre los aceros inoxidables, se vuelve a formar inmediatamente al combinarse el cromo con el oxígeno de la atmósfera ambiente.

El empleo de acero inoxidable estará bajo la dependencia de las características oxidantes del ambiente. Si imperan condiciones fuertemente oxidantes, los aceros inoxidables resultan superiores a los metales y aleaciones más nobles. Sin embargo, en la misma familia de los aceros inoxidables la resistencia a la corrosión varía considerablemente de un tipo al otro. En el grupo al cromo níquel, los tipos 1.4310 y 1.4319 (AISI 301 y 302) son menos resistentes a la corrosión que los tipos 1.4401 (AISI 310 y 316). En el grupo más sencillo al cromo (sin níquel), los tipos 1.4006 (AISI 405 y 410) son menos resistentes a la corrosión que los tipos 1.4016 (AISI 430 y 442).

La utilización de los aceros al cromo (serie AISI 400) para fines industriales se debe principalmente a las condiciones de resistencia a la oxidación. Un acero con un 12% de cromo desarrollará una película de óxido superficial al cabo de varias semanas de exposición a una atmósfera industrial. La película, una vez formada, actúa como barrera contra la corrosión más pronunciada, pero si se ha de tener en cuenta la apariencia del metal, los tipos 1.4006 (AISI 410 y 405) pueden resultar objetables. El tipo 1.4016 (AISI 430), con el 17% de cromo, necesita varios meses hasta que se forma la película superficial de óxido, mientras que el tipo AISI 442, con más del 20 % de cromo, se vuelve pasivo en la atmósfera sin que se desarrolle una película de óxido visible. Otro procedimiento para evitar que en condiciones semejantes se forme óxido, consiste en añadir más del 7 % de níquel a una aleación con el 17 % o más de cromo, como son los tipos 1.4310, 1.4319, 1.4301 (AISI 301, 302 y 304). En atmósferas que contengan aire salino o humos procedentes de fábricas de productos químicos, la adición de molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión, como es el caso con el tipo 1.4401 (AISI 316).

Los fabricantes de acero han adoptado el procedimiento de "recocido brillante" para mejorar la resistencia a la corrosión del tipo 1.4016 (AISI 430). Este procedimiento evita que el cromo emigre de la superficie. También ha sido desarrollado el tipo AISI 434, con el 17% de cromo y el 1 % de molibdeno para obtener una mayor resistencia a las sales corrosivas.

En general, dentro de los aceros inoxidable los tipos 1.4319 y 1.4310 (ASISI 302 y 301), por ser aleaciones de acero al cromo níquel, poseen mayor resistencia a la corrosión que los tipos 1.4016 (AISI 430 y 434) que no contienen níquel.

2.4. Corrosión: causas y remedios

Son cinco los riesgos que amenazan el éxito del uso de los aceros inoxidable. Estos son: la corrosión intergranular, la corrosión bimetálica o galvánica, la corrosión por contacto, la corrosión por picaduras y la corrosión bajo tensión. Muchos problemas pueden ser evitados teniendo en cuenta los riesgos involucrados y adoptando las medidas apropiadas para eliminarlos.

2.4.1. Corrosión intergranular

Un tratamiento térmico inadecuado del acero inoxidable puede producir una red de carburos en los aceros con más del 0,03 por ciento de carbono, o sin adición de titanio o de columbio. El metal que contenga tal red es susceptible de corrosión intergranular que puede resultar problemática en condiciones muy corrosivas y reducir la duración útil en muchos servicios relativamente ligeros. Los procedimientos normales de soldadura introducen en el metal la susceptibilidad a la precipitación de los carburos. Que el acero sea susceptible de corrosión intergranular no significa necesariamente que vaya a ser atacado por ella. El resultado en servicio puede ser satisfactorio. Pero la posibilidad de corrosión intergranular deberá ser tenida en cuenta siempre que no quede excluida según la experiencia previa. La precipitación de carburos puede ser eliminada por uno de los tres procedimientos indicados a continuación:

- Por recocido: una vez terminadas las operaciones de elaboración y de soldadura, el acero deberá ser calentado hasta una temperatura lo suficientemente alta para disolver los carburos, lo que es generalmente entre 1036 °C y 1150 °C, para enfriarlo luego con la rapidez suficiente para evitar que se vuelva a precipitar el carburo y utilizando para ello un chorro de aire o agua. Un tratamiento térmico localizado en la zona inmediatamente adyacente a la soldadura no da resultados satisfactorios. Para un recocido efectivo, toda la pieza deberá ser calentada y apropiadamente enfriada con rapidez.

- Utilizando acero que contenga menos de 0,03 % de carbono.

- Utilizando un acero estabilizado: el titanio o el columbio se combinan con el carbono y evitan las precipitaciones perjudiciales. Los aceros estabilizados son necesarios para todo servicio que implique prolongadas exposiciones a las temperaturas entre 426° C y 871 °C.

El peligro inherente a la precipitación de carburo de cromo ha llegado a ser tan bien conocido y tan fácilmente evitado, que ocurren pocos fallos debidos a esta causa.

2.4.2. Corrosión galvánica

Cuando dos metales diferentes están en contacto eléctrico y a su vez conectados por medio de un electrolito (por ejemplo un líquido conductor como el agua de mar o agua dulce impura), fluye una corriente desde el metal anódico al catódico o metal más noble a través del electrolito. Como resultado, el metal menos noble se corroe.

Este tipo de corrosión es especialmente relevante cuando se plantean uniones de acero inoxidable con acero al carbono o aceros de baja aleación. Es importante seleccionar los materiales de soldadura de modo que sean al menos tan nobles como el material base. En ambientes corrosivos en los que pudiera estar presente el agua, tales como ambientes industriales pesados, atmósferas marinas, y donde pudiera existir inmersión en agua salobre o marina, deben evitarse las uniones de aceros inoxidables austeníticos mediante tornillos martensíticos y ferríticos (ver Sección 3.1.2).

La corrosión galvánica no debiera ser un problema en aceros inoxidables, aunque a veces su prevención pueda requerir precauciones que a primera vista resultan sorprendentes. Para evitar la corrosión galvánica, en principio, debe impedirse el flujo de corriente:

- Aislando los metales diferentes, por ejemplo rompiendo la conexión metálica.
- Evitando la formación de puentes electrolíticos, por ejemplo rompiendo la conexión electrolítica con pinturas u otros recubrimientos. Cuando se persigue conseguir la protección de esta manera, y no es posible recubrir ambos metales, es preferible recubrir el más noble (por ejemplo el acero inoxidable en el caso de unión acero inoxidable/acero al carbono)

El riesgo de un ataque profundo de corrosión es mayor si el área del metal más noble (por ejemplo el acero inoxidable) es mayor que el área del metal menos noble (como el acero al carbono). Debe prestarse una especial atención al empleo de pinturas u otros recubrimientos sobre acero al carbono. Si existen pequeños poros o agujeros en el recubrimiento, la pequeña área de acero al carbono desnuda proporcionará relaciones de área cátodo/ánodo muy grandes, dando lugar a un severo ataque por picaduras del acero al carbono. Por supuesto, el ataque será probablemente mucho más intenso en condiciones de inmersión. Por esta razón es preferible pintar el acero inoxidable.

Relaciones desfavorables de área tienen lugar probablemente con tornillos y en uniones. El empleo de tornillos de acero al carbono en elementos de acero inoxidable debe evitarse ya que la relación de área del acero inoxidable en relación con el acero al carbono es grande y los tornillos estarán sujetos a un ataque agresivo. Por el contrario, la velocidad de ataque de un elemento de acero al carbono por un tornillo de acero inoxidable es mucho más lenta. Es generalmente útil apoyarse en experiencias previas en emplazamientos similares ya que metales diferentes pueden a menudo trabajar unidos sin peligro bajo condiciones de condensación o humedad ocasional sin efectos adversos, especialmente cuando la conductividad del electrolito es baja.

La predicción de estos efectos es difícil ya que la velocidad de corrosión se determina a partir de una serie de variables de cierta complejidad. El empleo de tablas de potencial eléctrico ignora la presencia de películas superficiales de óxido y los efectos de relaciones de área y de diferentes soluciones (electrolitos) químicas. Por esta razón, un empleo desinformado de estas tablas puede conducir a resultados erróneos. Dichas tablas deberían utilizarse de manera cuidadosa y solamente para valoraciones iniciales.

Los aceros inoxidables generalmente forman el cátodo en un enlace bimetálico y por ello no sufren corrosión. El contacto entre aceros inoxidables austeníticos y zinc o

aluminio puede dar lugar a una corrosión adicional de los últimos dos metales. Es poco probable que el efecto de dicha corrosión sea significativo desde un punto de vista estructural; no obstante, el polvo blanco/gris resultante es absolutamente antiestético.

El acoplamiento con cobre debe ser en general evitado excepto bajo condiciones adecuadas no severas.

El comportamiento general de los metales en contacto bimetálico en ambientes rurales, urbanos, industriales y costeros está completamente documentado en BSI PD 6484 “Commentary on corrosion at bimetallic contacts and its alleviation” [BSI; 1979].

La corrosión se atribuye frecuentemente a la acción galvánica cuando su verdadera causa se debe efectivamente a unas condiciones anormales de operación. Así por ejemplo, el uso de ácido clorhídrico para sustituir un material de limpieza normal, puede destruir la película pasiva del acero inoxidable. En tal caso se puede formar una celda galvánica. El volver a proyectar y a construir una pieza que sea completamente de acero inoxidable puede resultar muy costoso y la nueva pieza proyectada puede ser difícil de fabricar. Así pues, cuando aparentemente la acción galvánica sea la única causa de un desperfecto en una unidad que, demostradamente, es de un buen diseño, convendrá realizar una verificación meticulosa para cerciorarse de que todas las condiciones de operación son normales.

2.4.3. Corrosión por picaduras

Como el nombre indica, la corrosión por picaduras toma la forma de pequeños hoyos localizados. Esto ocurre como resultado de la rotura local de la capa pasivante, normalmente por iones cloruro, aunque otros haluros y otros aniones pueden tener un efecto similar. Durante el desarrollo de una picadura, los productos corrosivos pueden crear una solución muy corrosiva, que a menudo conduce a procesos de corrosión de alta velocidad. Sin embargo, en la mayoría de aplicaciones estructurales, las picaduras suelen ser sólo superficiales y la reducción de sección es despreciable. Por otra parte, los productos corrosivos pueden ensuciar los principales rasgos arquitectónicos de una obra. En estructuras de canalización, tuberías y contenedores debe adoptarse una tolerancia menor en cuanto a la corrosión por picaduras.

Dado que el ión cloruro es, con diferencia, el causante más común del ataque por picaduras, los ambientes costeros y marinos son bastante agresivos. La probabilidad de que un cierto entorno provoque ataque por picaduras depende, además del contenido de cloruros, de factores tales como la temperatura, la acidez o la alcalinidad y el contenido de gases oxidantes. La resistencia al ataque por picaduras de un acero inoxidable depende de su composición química. El cromo, el molibdeno y el nitrógeno mejoran la resistencia al ataque por picaduras.

Una medida aproximada de la resistencia al ataque por picaduras viene dada por el Índice de Picaduras o Equivalente a la resistencia al ataque por picaduras (Pitting Resistance Equivalent, PRE) definido como:

$$\begin{aligned} \text{PRE} &= \% \text{ peso Cr} + 3,3(\% \text{ peso Mo}) + 30(\% \text{ peso N}) && \text{para grados austeníticos} \\ \text{PRE} &= \% \text{ peso Cr} + 3,3(\% \text{ peso Mo}) + 16(\% \text{ peso N}) && \text{para grados dúplex} \end{aligned}$$

La determinación del PRE de un acero inoxidable permite llevar a cabo un análisis comparativo entre los diferentes aceros inoxidables.

El acero de grado 1.4301 tiene el PRE más bajo de todos los aceros considerados en este Manual de Diseño y no es, por tanto, el grado más adecuado para aplicaciones arquitectónicas en ambientes marinos excepto, quizás, para elementos estructurales internos protegidos de forma efectiva de espuma marina y niebla. El acero de grado 1.4301 también puede presentar niveles inaceptables de picaduras en atmósferas industriales severas y por consiguiente será preferible seleccionar el acero de grado 1.4401 o acero dúplex.

El molibdeno contenido en los tipos 1.4401 y 1.4438 (AISI 316 y 317) aumenta la resistencia al picado. Estas aleaciones quedan sometidas a los desperfectos debidos a la corrosión por fatiga; así pues, los recipientes deberán quedar tan exentos de tensiones como sea posible. Grietas, fisuras y bolsas de estancamiento deberán ser eliminadas ya que son las superficies limpias y en buen estado las que mejor resisten al picado, cualquiera que sea la calidad del acero inoxidable.

2.4.4. Corrosión bajo tensión

El desarrollo de la corrosión bajo tensión (Stress Corrosion Cracking, SCC) requiere la existencia simultánea de tensiones de tracción y de factores ambientales específicos que difícilmente se encuentran en condiciones ambientales normales de edificación. Las tensiones no necesitan ser altas en relación con la tensión de prueba del material y pueden estar generadas por cargas y durante los procesos de fabricación tales como soldadura o el doblado.

Los aceros inoxidables dúplex muestran generalmente una mayor resistencia a la corrosión bajo tensión que los aceros austeníticos más habituales. Se han desarrollado aceros inoxidables austeníticos con aleaciones superiores, como por ejemplo los grados 1.4539, 1.4529, 1.4547 y 1.4565 para aplicaciones en las que existe riesgo de corrosión bajo tensión.

2.4.5. Proyecto y fabricación. Cómo reducir al mínimo la corrosión

La medida más importante a tomar para prevenir los problemas que puede ocasionar la corrosión es seleccionar adecuadamente el grado de acero inoxidable con los procedimientos de fabricación idóneos para el ambiente que se prevea. En cualquier caso, tras la selección adecuada de un determinado acero se conseguirá hacer uso de todo el potencial de resistencia a corrosión que puede ofrecer dicho acero, si tal selección viene acompañada por buenos detalles constructivos. Las medidas anticorrosivas a adoptar deberían estar presentes en la fase de planteamiento del proyecto y obra y en el desarrollo y diseño de todos los detalles constructivos.

Los problemas debidos a la corrosión pueden ser eliminados frecuentemente modificando de forma apropiada el diseño sin necesidad de cambiar el tipo de acero. Algunos de los parámetros de diseño a tener en cuenta son: la forma de las juntas, la continuidad de la superficie y la concentración de las tensiones. Las soldaduras a tope son preferibles a las soldaduras en solape, y es imprescindible utilizar buenos métodos de soldadura. Se reducirá al mínimo el uso de piezas complementarias, tales como planchas o placas de refuerzo rodeadas de costuras o cordones de soldadura para evitar tensiones biaxiales que resultan difíciles de eliminar por tratamiento térmico.

Todo el equipo deberá ser limpiado a fondo meticulosamente para eliminar toda contaminación producida por óxidos, polvo de hierro, partículas procedentes de las herramientas, fundente de soldadura, suciedades y sustancias orgánicas.

Estas sustancias extrañas pueden ser eliminadas limpiándolas a chorro o por decapado. Una buena solución para el decapado consiste en el 10 por ciento de ácido nítrico y el 1 por ciento de ácido fluorhídrico.

Los resultados de los ensayos de laboratorio solamente podrán servir de guía debido a la dificultad de reproducir las condiciones que se presentan verdaderamente en la práctica. Los datos publicados sobre la corrosión como resultado de distintos ensayos, pueden estar basados en unas condiciones químicas, temperaturas, velocidades y aireación que difieran de las reales. Por este motivo y siempre que sea posible, se deberá utilizar para los ensayos prácticos, procedimientos similares o comparables a los que se darán en la realidad [EuroInox; SCI; 2002]. Convendrá realizar ensayos de fatiga a probetas con corrosión, sometiéndolas a varios niveles de esfuerzo o tensión con el fin de poder apreciar la susceptibilidad del acero al agrietamiento una vez terminadas de fabricar.