22

Acero inoxidable

Instituto Técnico
de la Estructura
en Acero



ITEA

ÍNDICE DEL TOMO 22

ACERO INOXIDABLE

Lección 22.1: Introducción al Acero Inoxidable 1

1 INTRODUCCIÓN AL ACERO INOXIDABLE 4
2 HISTORIA 5
3 ¿QUÉ ES EL ACERO INOXIDABLE? 6
4 ¿POR QUÉ UTILIZAR ACERO INOXIDABLE 8
4.1 Razones 8
4.2 Otras propiedades positivas del acero inoxidable 8
5 TIPOS DE ACERO INOXIDABLE 10
5.1 Aceros inoxidables austeníticos 10
5.2 Otras Aleaciones Inoxidables 11
6 DESIGNACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES 14
6.1 Sistema descriptivo 14
6.2 Sistema AISI 14
6.3 Sistema de Número de Material (Nº Werkstoff) 14
6.4 Sistema abreviado de designación 15
6.5 Aplicación según las normas 15
7 TRABAJO DE TALLER Y PRODUCTOS 16
7.1 Formas de los Productos 16
7.2 Trabajo en frío 16
7.3 Soldabilidad 16
7.4 Acabados 16
8 TORNILLOS Y TUERCAS 18
9 APLICACIONES TÍPICAS 20
10 RESUMEN FINAL 22
11 BIBLIOGRAFÍA 22

Lección 22.2: Comportamiento y Proyecto Estructurales 23

1 INTRODUCCIÓN 26
2 CONSIDERACIONES PRELIMINARES 27
2.1 Generalidades 27
2.2 Selección de la Clase del Material 27
2.3 Disponibilidad de Formas Estructurales 27
3 COMPORTAMIENTO MECÁNICO 29
3.1 Relaciones Tensión/Deformación 29
3.1.1 Comportamiento tensión-deformación básico 29
3.1.2 Factores que afectan al comportaiento 30
3.2 Tabajo en frío 30
3.3 Efectos de la Temperatura 31
3.4 Otras propiedades 32
4 COMPORTAMIENTO Y PROYECTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES ... 33
4.1 Generalidades 33
4.1.1 Cálculo elástico o plástico 33
4.1.2 Efecto de la no linealidad del material 33
4.2 Clasificación y abolladura 36
4.2.1 Clasificación 36
4.2.2 Abolladura 37
4.3 Proyecto de pilares 37
4.4 Proyecto de vigas 42
5 UNIONES 44
5.1 Aspectos generales 44
5.2 Uniones Atornilladas 44
5.3 Uniones Soldadas 44
6 RESUMEN FINAL 46
7 BIBLIOGRAFÍA 46
8 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 46

Lección 22.3: Corrosión de Acero Inoxidable 47

1 INTRODUCCIÓN 50
2 TIPOS DE CORROSIÓN 51

2.1 Picadura 51
2.2 Corrosión en Fisuras 51
2.3 Corrosión Bimetálica 52
2.4 Fisuración por Corrosión bajo Tensión 52
2.5 Corrosión General (Uniforme) 53
2.6 Ataque Intergranular y Degradación de la Soldadura 53
3 SELECCIÓN DE LA CLASE 54
4 CONSIDERACIONES DEL DETALLE 56
5 ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN 57
6 RESUMEN FINAL 58
7 BIBLIOGRAFÍA 58

Lección 22.4: Fabricación 59

1 INTRODUCCIÓN 62
2 LABRA DEL ACERO INOXIDABLE 64
2.1 Corte 64
2.2 Perforación y Punzonado 64
2.3 Amoladura 65
3 OPERACIONES DE CONFORMACIÓN Y ENSAMBLAJE 66
3.1 Conformación en frío 66
3.1.1 Plegado en prensa 66
3.1.2 Conformación en rodillo 66
3.1.3 Plegado 66
3.1.4 Estiramiento profundo 67
3.2 Soldadura 68
3.2.1 Soldadura por fusión 68
3.2.2 Soldadura por resistencia 70
3.3 Bulones, Remaches y Tornillos 70
3.4 Unión por adhesivos 71
4 INSPECCIÓN 72
5 ACABADO 73
6 RESUMEN FINAL 74
7 BIBLIOGRAFÍA 74
DIAPOSITIVAS COMPLEMENTARIAS 75

ESDEP TOMO 22
ACERO INOXIDABLE

Lección 22.1: Introducción al Acero Inoxidable

OBJETIVOS/CONTENIDO

Proporcionar una visión general de los aspectos básicos de los aceros inoxidables. Facilitar información práctica como introducción a las lecciones subsiguientes.

LECCIONES AFINES

Lección 22.2: Comportamiento y Proyecto Estructurales

Lección 22.3: Corrosión de Acero Inoxidable

Lección 22.4: Fabricación

RESUMEN

Se proporciona una breve visión histórica del desarrollo de los aceros inoxidables. Se facilitan antecedentes sobre la composición, las propiedades del acero y las diferencias respecto al acero al carbono.

Se presenta una visión general de los aceros inoxidables agrupándolos en familias de acuerdo con su estructura metalúrgica.

La lección continúa facilitando información práctica sobre las designaciones de las aleaciones en los diferentes sistemas utilizados, tornillos y tuercas, distinguiendo los diferentes aceros inoxidables, las razones de su utilización, las formas de productos disponibles y los acabados de superficie.

Se señalan las aplicaciones típicas para ilustrar el uso del acero inoxidable en la construcción en acero.

1. INTRODUCCIÓN AL ACERO INOXIDABLE

Los aceros inoxidables son materiales modernos. Desde que empezaron a estar disponibles para la industria, su uso se ha extendido constantemente hacia nuevas aplicaciones. Este proceso continúa incluso hoy.

Para utilizar con éxito los aceros inoxidables en aplicaciones de construcción, es necesario conocer sus propiedades, sus capacidades en relación con la resistencia a la corrosión, la disponibilidad de formas de productos y acabados de superficie. Interesa asimismo conocer las aplicaciones de referencia que demuestran el éxito de la elección de los aceros inoxidables hace ya muchos años.

Esta lección está diseñada para proporcionar una visión general de los aceros inoxidables, sus propiedades y las formas de productos disponibles que, junto con las lecciones subsiguientes, permitirán utilizarlos con éxito en proyectos de una forma efectiva en cuanto a costes, en términos de resistencia a la corrosión, mantenimiento y durabilidad. Los aceros inoxidables respetan el medio-ambiente; de forma activa y pasiva, ayudan a mantenerlo limpio y se reciclan en un alto porcentaje (50 - 70 %).

El trabajo de taller del acero inoxidable es un arte tecnológico que requiere competencia y equipamiento especial a fin de mantener los elementos críticos dentro de unos límites especificados. Los aceros inoxidables contienen cantidades substanciales de elementos costosos como cromo, níquel, molibdeno, etc., que justifican su alto coste, de aproximadamente cinco veces el del acero al carbono. Sin embargo, los costes de material representan sólo una parte del coste total de una estructura. Un buen proyecto aprovechará las propiedades de los aceros inoxidables y el resultado de ello será una solución efectiva en cuanto a costes, lo cual podrá demostrarse mediante cálculos de costes de ciclo vital.

En un enfoque actualizado del diseño se consideran los efectos del mantenimiento, las reparaciones periódicas, las sustituciones y inmovilizaciones, además de los aspectos medioambientales.

El resultado de una estructura de acero inoxidable diseñada sobre la base de un proyecto en acero al carbono será casi seguro una solución insatisfactoria.

2. HISTORIA

Desde hace unos 200 años se sabe que cantidades pequeñas de cromo aleadas al acero común mejoran su resistencia a la corrosión en el aire y en el agua y que si se incrementan las cantidades de cromo, dicha resistencia aumenta. Estas investigaciones fueron realizadas en 1821 por Berthier (1) en Francia. Sin embargo, estos conocimientos no podían utilizarse en la fabricación de acero debido a las limitaciones tecnológicas. En aquel momento resultaba imposible reducir el alto contenido de carbono de las coladas a niveles suficientemente bajos o controlar el contenido de cromo. El contenido de cromo era siempre demasiado bajo o demasiado alto. Un alto contenido de carbono y/o cromo producía aleaciones frágiles y un bajo contenido de cromo producía una resistencia a la corrosión insuficiente.

Con el cambio de siglo, muchos investigadores trabajaron con estas aleaciones y publicaron sus trabajos. Goldschmidt (1), en Alemania, descubrió un método de producir ferro-cromo con un contenido muy bajo de carbono. Sobre la base de este descubrimiento, entre 1904 y 1909, A. Portevien y L. Guillet en Francia y W. Giesen en Alemania publicaron los resultados de sus investigaciones en aceros al cromo martensíticos al 13% y ferríticos al 17%. En 1909 L. Guillet presentó un estudio sobre aceros de cromo-níquel con una estructura austenítica.

Estas aleaciones ya eran similares a las actuales y a las tres principales familias metalúrgicas de los aceros inoxidables, esto es, los aceros martensíticos (endurecibles mediante tratamiento térmico), los ferríticos (no endurecibles) y los austeníticos (no endurecibles). Al mismo tiempo, P. Monnartz definía en Alemania el papel de la pasividad en la resistencia a la corrosión (1). Estas investigaciones se realizaban en laboratorios y, de 1910 a 1915, se llevaron a cabo intentos para desarrollar la producción práctica a gran escala de los aceros inoxidables. Este trabajo suponía fundir las aleaciones en cantidades mayores, convirtiendo los lingotes en formas semiacabadas y fabricando equipamiento a partir de éstas. Aunque había muchos investigadores empeñados en el desarrollo de los primeros aceros inoxidables, por lo general se considera que los mayores avances y contribuciones al arte se debieron a los siguientes metalúrgicos (1):

- Brearly en Inglaterra, con los aceros martensíticos.
- Dansitzen y Becket en EEUU, con los aceros ferríticos.
- Maurer y Strauss en Alemania, con los aceros austeníticos.

3. ¿QUÉ ES EL ACERO INOXIDABLE?

El acero común se compone de hierro (Fe) con algunos otros elementos derivados de la fabricación del acero como el carbono (C), el manganeso (Mn), el silicio (Si), el fósforo (P) y el azufre (S). Un acero al carbono típico sin alear utilizado en la construcción tiene la siguiente composición química (en % del

C	Mn	Si	P	S	Fe
0,17	0,60	0,25	0,045	0,045	> 98

peso):

Si se añade un mínimo de 11% de cromo a este acero se obtiene un "acero inoxi-

C	Mn	Si	P	S	Cr	Fe
0,10	1,0	1,0	0,045	0,030	11	≤ 87

dable". La composición química (de nuevo en % del peso) pasa entonces a ser:

El hierro sigue siendo el elemento dominante, pero el añadido de cromo requiere también algunos cambios menores en el contenido de manganeso y silicio para facilitar la fabricación del acero, así como de fósforo y azufre. Estos dos últimos elementos son impurezas y tienen un efecto negativo en algunas de las propiedades del acero, como la resistencia a la corrosión y la soldabilidad. Un acero con un 11% de cromo representa la forma más simple de un acero inoxidable. Su resistencia a la corrosión es suficiente para resistir en un entorno acuoso poco severo.

El añadido de cromo a un acero tiene como resultado la formación de una capa delgada, estanca, adherente y dúctil de óxido de cromo sobre la superficie del acero, siempre que éste se exponga al aire o a otro entorno oxidante. Puesto que esta capa confiere pasividad al acero, lo que significa que éste no se corroe de forma activa, se la denomina también capa pasiva. Es la responsable de la capacidad del acero para resistir la corrosión. El espesor de esta capa muy fina es del orden de 1 - 10 mm (1 nanómetro = 10^{-9} m o 0,000001 mm). La capa pasiva no es inerte ni tiene una composición o espesor determinados e invariables, sino que depende de la composición del acero, del tratamiento que se le aplique a la superficie y del efecto corrosivo del ambiente al que se expone. Si se producen cambios en estas condiciones, la capa pasiva se adapta por si misma.

También es posible que la capa pasiva resulte dañada por herramientas durante el trabajo de taller (fresado, rectificado, pulido, perforación, roscado) o por accidente. En condiciones normales (en presencia de aire) la capa pasiva se renueva por sí misma; es autorregenerable. Esta interesante capacidad del acero inoxidable tiene una gran importancia práctica, ya que no es necesario adoptar medidas especiales para renovar o reparar la capa resistente a la corrosión.

Por su naturaleza, las pinturas que se aplican para la protección contra la corrosión de otros materiales no cubren totalmente las superficies y son susceptibles de resultar dañadas. Los daños en la pintura son generalmente el punto de inicio de la corrosión.

La familia de los aceros inoxidables comprende un gran número de diferentes aleaciones. Cada una de ellas se desarrolló para satisfacer necesidades específicas como una mayor resistencia a la corrosión, una mejora de las propiedades mecánicas como la resistencia, dureza o ductilidad, estabilidad metalúrgica bajo la influencia del calor de la soldadura y, en casos especiales, la maquinabilidad. Puesto que todos estos aceros contienen al menos un 11% de cromo, todos están protegidos por la capa pasiva que se forma espontáneamente en la superficie.

La designación de acero "antioxidante" o "inoxidable" se remonta a los primeros años del desarrollo metalúrgico. Significaba que aquellas nuevas aleaciones de acero no pre-

sentarían herrumbre ni se oxidarían al ser expuestas a la atmósfera o al agua. Esta designación se sigue utilizando ampliamente en la actualidad pero puede confundir al diseñador poco informado. No es correcta una interpretación mucho más amplia en el sentido de que "los aceros inoxidables" son resistentes a cualquier entorno corrosivo que se pueda concebir. No obstante, si se tiene presente esta limitación, constituye una designación muy práctica para la descripción global de toda la familia de estos aceros.

4. ¿POR QUÉ UTILIZAR ACERO INOXIDABLE?

4.1 Razones

Existen algunas razones importantes por las que se utilizan ampliamente los aceros inoxidables en estructuras. Estas razones son:

- Excelente resistencia a la corrosión atmosférica
- Estética
- Aspectos higiénicos/limpieza
- Resistencia térmica

Resistencia a la corrosión atmosférica y durabilidad

Los aceros inoxidables austeníticos tienen un largo historial de aplicaciones con éxito en la industria de la construcción. Su excelente resistencia a la corrosión es la razón principal de sus bajos costes de mantenimiento y su excelente durabilidad. Estas propiedades son cada vez más importantes en cualquier proyecto de construcción.

Estética

La superficie de los aceros inoxidables puede obtenerse en numerosas clases diferentes tales como pulido especular, brillante con diferentes grados de rugosidad, cepillado, laminado en frío, arenado, texturado y coloreado en rollo. El acero inoxidable combina estéticamente con cualquier otro material sin dominarlo y manteniendo su elegancia intemporal, especialmente cuando se utilizan elementos esbeltos (pero fuertes).

Aspectos Higiénicos y Limpieza

El acero inoxidable tiene una superficie dura, lisa y uniforme totalmente apropiada para aplicaciones exigentes en las que la higiene y la limpieza son importantes. Por estas razones tiene muchos usos en hospitales, laboratorios, baños y piscinas.

Resistencia térmica

Los aceros inoxidables son materiales resistentes al calor. superan a cualquier otro material estructural convencional en aplicaciones con presencia de fuego o altas temperaturas. Su uso está indicado en sistemas de emergencia en incendios, puertas corta-fuego, cerramientos, cajas de cables, chimeneas, etc. (Véase también el apartado 5.1).

4.2 Otras propiedades positivas del acero inoxidable

Existen varias propiedades ventajosas que pueden utilizarse en ciertas aplicaciones:

- resistencia
- alta absorción de energía
- facilidad de trabajo en taller
- costes de ciclo vital favorables
- reciclaje y protección del medio-ambiente

Resistencia

Los aceros inoxidables tienen unas propiedades mecánicas muy interesantes que pueden modificarse dentro de límites amplios debido a su respuesta al trabajo en frío. Los proyectos en los que se hace un buen uso de las ventajosas propiedades mecánicas resultan eficientes en cuanto a costes.

Alta absorción de energía

Los aceros inoxidables austeníticos son tenaces y dúctiles, con el resultado de una deformación plástica excepcionalmente alta antes de la rotura. Estas propiedades pueden ser importantes en barreras de seguridad, paredes contra explosiones y estructuras antisísmicas de edificios.

Facilidad de trabajo en taller

Los aceros inoxidables pueden trabajarse en taller igual que los materiales metálicos convencionales. Se pueden cizallar, cortar, aserrar,

doblar, estirar, conformar en rollo, perforar, desmenuzar, soldar, extruir, fresar y pulir.

Costes de ciclo vital favorables

Se ha comprobado a menudo que el uso de aceros inoxidables tiene como resultado costes de ciclo vital favorables en los que se tienen en cuenta todos los costes relacionados a lo largo de la vida útil prevista de una aplicación. Los cálculos de costes de ciclo vital son cada vez más importantes en vista de los altos costes de mantenimiento, paralizaciones, demolición y sustitución de equipos y piezas. En los cálculos de costes de ciclo vital se incluyen conceptos tales como los costes de instalación inicial, los costes de mantenimiento, los costes de las inmovilizaciones, los costes de reparación y sustitución, los intereses y el efecto de la inflación.

Reciclaje y protección del medio-ambiente

No es muy conocido el hecho de que el reciclaje del acero inoxidable ya ha experimentado un alto grado de desarrollo. Dependiendo de las condiciones económicas, se recicla entre un 50% y un 80%, porcentaje que no se alcanza con la mayoría de los demás materiales. Una razón de este aspecto favorable es el hecho de que la chatarra de acero inoxidable es un bien valioso que se puede vender en cualquier momento.

El reciclaje incluye el almacenamiento, el transporte y la manipulación en diferentes lugares. El acero inoxidable, debido a su resistencia a la corrosión, no tiene ningún efecto sobre el medio-ambiente, incluso si se deja expuesto a la intemperie durante años.

El acero inoxidable desempeña asimismo un papel activo importante en la protección del medio-ambiente. Se utiliza ampliamente en los sistemas de escape de los vehículos y en los convertidores catalíticos, en las plantas de depuración de aguas residuales, chimeneas, depuración de humos y otras aplicaciones.

5. TIPOS DE ACERO INOXIDABLE

Resulta práctico agrupar los numerosos aceros inoxidables diferentes de acuerdo con su estructura metalúrgica. Sobre esta base, pueden distinguirse los grupos siguientes:

- Aceros inoxidables martensíticos
- Aceros inoxidables ferríticos
- Aceros inoxidables austeníticos
- Aceros inoxidables austeníticos/ferríticos (Dúplex)
- Aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación

En la figura 1 se muestra una visión general gráfica de estos grupos en relación con el contenido de cromo y níquel.

En aplicaciones estructurales predomina el uso de las clases austeníticas.

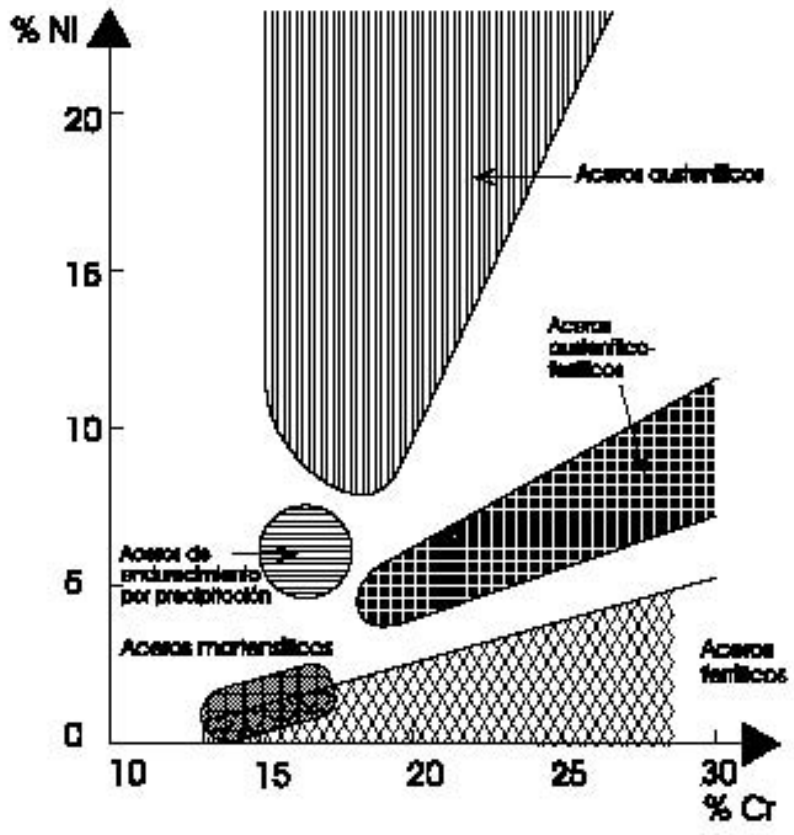

Figura 1 Tipos de acero inoxidable

5.1 Aceros inoxidables austeníticos

La resistencia a la corrosión favorable de los aceros inoxidables austeníticos debido a su contenido de cromo se combina con las propiedades mecánicas favorables (buena ductilidad y resistencia) y la buena soldabilidad debida a un cierto contenido de níquel (véase la figura 1).

Los aceros inoxidables austeníticos contienen cromo (17%), níquel (8 - 17%) y tienen un bajo contenido de carbono (generalmente menos del 0,10%).

Pueden contener otros elementos como molibdeno (2 - 6%), titanio o niobio a fin de estabilizar la estructura, así como azufre, que se añade para mejorar la maquinabilidad.

La composición química de un acero inoxidable austenítico típico es:

C ≤ 0,10%

Cr = 16,5 - 18,5%

Ni = 10,5 - 13,5%

Mo = 2,0 - 2,5%

Ti ≥ 5 x % C

Los aceros inoxidables austeníticos en su estado más resistente a la corrosión (recocido por solubilización) no son magnéticos. Para una mayor resistencia pueden trabajarse en frío mediante laminación, plegado, prensado, etc., lo que puede hacerlos ligeramente magnéticos. Son fácilmente soldables.

Sus aplicaciones típicas son en arquitectura, cubiertas, piezas de unión, procesamiento de alimentos, industria química y farmacéutica, hospitales, usos médicos, transporte, vivienda, chimeneas, industria papelera,

Material			Mínimo 0,2 % límite elástico [N/mm²]
*1.4301 1.4541 1.4401 1.4571	**X 5 CrNi 18 10 X 6 CrNiTi 18 10 X 5 CrNiMo 17 12 2 X 6 CrNiMo 17 12 2	Recocido por solubilización	195 200 205 210
1.4301 K 700	X 5 CrNi 18 10 K 700	Conformado en frío según nivel de resistencia indicado	350
1.4541 K 700	X 6 CrNiTi 18 10 K 700		350
1.4401 K 700	X 5 CrNiMo 17 12 2 K 700		350
1.4571 K 700	X 6 XrNiMo 17 12 2 K 700		350

** Sistema de número de material
* Sistema abreviado de designación.

Tabla 1. Las propiedades materiales del acero inoxidable austenítico, DIN

instalaciones nucleares, cajas y correas de relojes, etc.

El proceso de trabajo en frío influye en gran medida en el comportamiento mecánico del acero inoxidable austenítico. En la tabla 1 se facilitan datos de los aceros típicos y en la figura 2 se muestra un diagrama de tensiones-deformaciones. Se muestra asimismo la diferencia significativa del módulo de Young.

5.2 Otras Aleaciones Inoxidables

De acuerdo con sus propiedades específicas, se utilizan varios aceros inoxidables en aplicaciones especiales. En algunos casos pueden también utilizarse en estructuras de edificios. Éstos aceros son:

- aceros inoxidables martensíticos
- aceros inoxidables ferríticos
- aceros inoxidables austeníticos/ferríticos
- aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación

Aceros inoxidables martensíticos

Este acero contiene entre un 12% y un 18% de cromo y entre un 0,12% y un 0,9% de carbono. Debido a la presencia de mayores contenidos de carbono, pueden endurecerse. Algunos de estos aceros contienen cantidades modestas de níquel (hasta 2,5%) y molibdeno (hasta 0,6%) para mejorar su resistencia a la corrosión. También se pueden añadir otros elementos como titanio, vanadio y niobio. Un alto contenido de carbono reduce la resistencia a la corrosión.

Los aceros inoxidables martensíticos son magnéticos y, por regla general, no se sueldan.

Típicamente se utilizan en ingeniería mecánica para ejes de bombas, válvulas, matri-

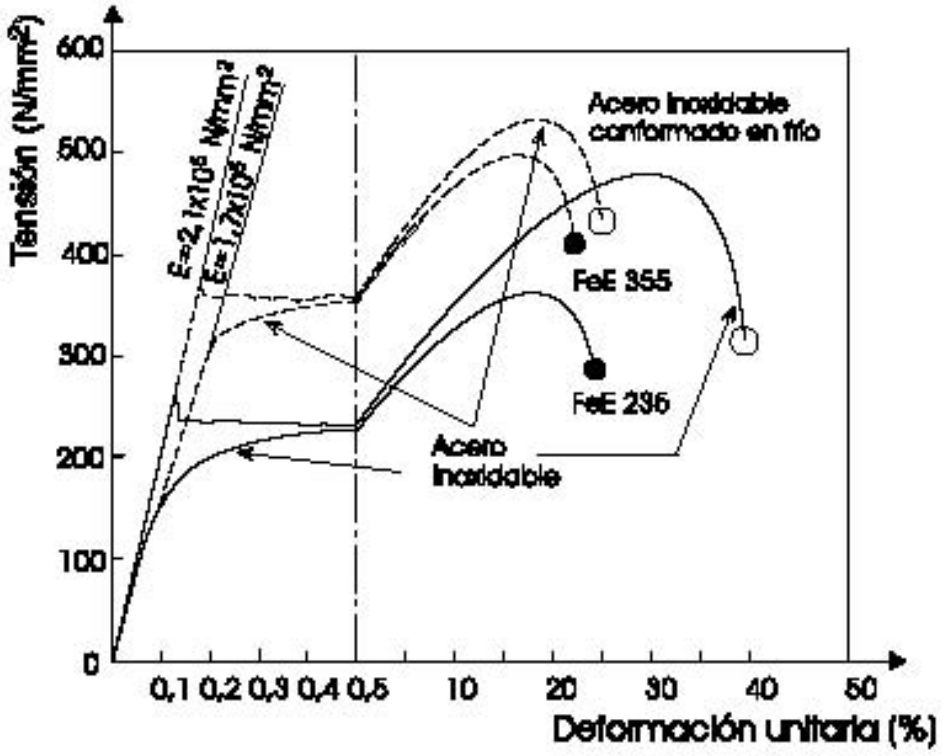

Figura 2 Relación entre tensión y deformación unitaria en aceros ordinarios e inoxidables

Los aceros ferríticos son magnéticos. Con las debidas precauciones pueden soldarse.

Se utilizan típicamente en sistemas de escape de vehículos, contenedores, depósitos de agua caliente, lava vajillas, lavadoras, utensilios de cocina.

Aceros inoxidables austeníticos/ferríticos (Aceros dúplex)

Los aceros inoxidables dúplex tienen un alto contenido de cromo (20 - 25%), un bajo contenido de níquel (5-9%), un contenido variable de molibdeno (0,2-3%) y un bajo contenido de carbono (menos de 0,06%). Contienen nitrógeno en cantidades de 0,07-0,20% para incrementar la resistencia y estabilizar la doble estructura, y a veces hasta un 2,5% de cobre.

Los aceros inoxidables dúplex son magnéticos y se pueden soldar con las debidas precauciones.

Se utilizan típicamente en las industrias papelera, química, petrolífera y de la construcción.

ces, palas de turbinas y cojinetes de rodillos. Otra área de aplicación es la vivienda y las hojas de cuchillas industriales.

Aceros inoxidables ferríticos

Los aceros inoxidables ferríticos contienen entre un 12% y un 18% de cromo, al igual que los aceros inoxidables martensíticos, pero por lo general su contenido de carbono es inferior al 0,08%, aunque en ocasiones puede ser de hasta un 0,15%. Existen aceros ferríticos especiales con un contenido de cromo de hasta un 29%.

Estos aceros pueden contener otros elementos tales como molibdeno (hasta 1,2%), titanio o niobio (estos dos elementos se utilizan para estabilizar su estructura) y azufre, que se añade para mejorar la maquinabilidad. Para obtener una mayor resistencia se añade nitrógeno en cantidades pequeñas, entre un 0,10% y un 0,30%.

Aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación

Los aceros inoxidables austeníticos recocidos por solubilización tienen un límite elástico muy modesto de 0,2%. Por otra parte, su resistencia a la corrosión y ductilidad (dureza) son máximas. En los últimos 50 años ha habido muchos intentos de combinar una alta resistencia mecánica con una buena resistencia a la corrosión. El compromiso entre estas propiedades opuestas ha dado como resultado varios aceros inoxidables de endureci-

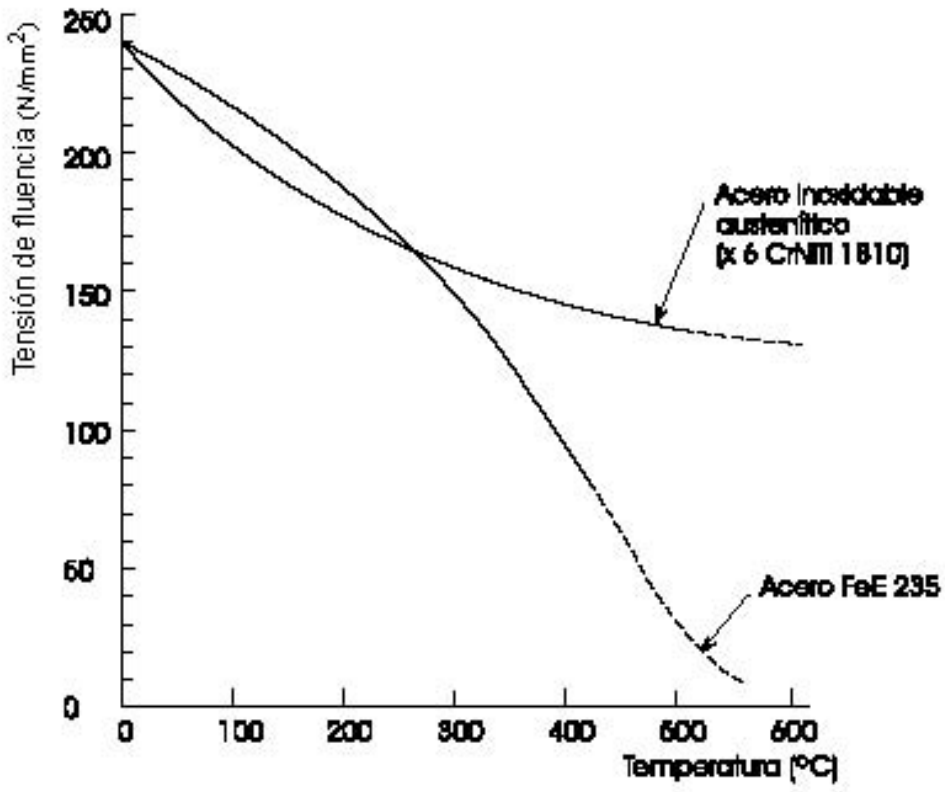

Figura 3 Relación entre tensión de fluencia y temperatura

miento por precipitación. Sin embargo, la selección de una aleación apropiada para una aplicación determinada requiere una gran experiencia por parte del productor y del usuario.

Las altas propiedades mecánicas se obtienen mediante un tratamiento térmico estrechamente controlado que produce un incremento de la dureza, un mayor límite elástico y una mayor resistencia a la rotura por tracción, así como una mayor resistencia a la fatiga.

Los aceros inoxidables martensíticos y semiaustenísticos de endurecimiento por precipitación son magnéticos. Los aceros austeníticos no son magnéticos.

Los aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación se pueden soldar siempre que se utilicen los procedimientos adecuados. Las aleaciones con un alto contenido de fósforo son difíciles de soldar.

Se utilizan típicamente en aplicaciones aeronáuticas y espaciales, piezas de turbinas, motores y compresores, muelles resistentes a la corrosión, misiles, recipientes a presión y piezas sometidas a grandes esfuerzos en instalaciones de investigación.

6. DESIGNACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Existen varias alternativas para designar a los aceros inoxidables. Se mencionan aquí porque se las encuentra a menudo en las descripciones técnicas.

6.1 Sistema Descriptivo

Este sistema emplea los elementos añadidos a los aceros. Resulta complicado con los aceros más aleados, ya que las designaciones se hacen largas. Se hace referencia a los elementos en orden descendente del peso contenido. Así pues, tenemos:

- Aceros inoxidables al cromo
- Aceros inoxidables al cromo-níquel
- Aceros inoxidables al cromo-níquel-molibdeno

En el caso de un acero bajo en carbono o de un acero estabilizado con titanio, diríamos:

- Acero inoxidable al cromo-níquel-molibdeno bajo en carbono.
- Acero inoxidable al cromo-níquel-titanio.

La ventaja de este sistema es que incluso un lector no muy informado entiende fácilmente de qué clase de acero se trata. Para una descripción más exacta sería necesario añadir el contenido de cada elemento en % de peso.

6.2 Sistema AISI

El sistema introducido por el American Iron and Steel Institute (AISI) se utiliza en general en todo el mundo. Define cada clase de acero con un número y, si es necesario, con una letra adicional. A continuación se indican algunos ejemplos:

L = Bajo en carbono
N = Nitrógeno
Se = Selenio
Ti = Titanio
C = Alto en carbono
B = Más bajo en carbono que C
A = Más bajo en carbono que B
F = Maquinado libre (alto contenido de azufre)
Cb = Colombio = Niobio Nb

Así pues, acero inoxidable 304LN significa que es un acero austenítico con bajo contenido de carbono (0,03% como máximo) y nitrógeno. Los contenidos nominales de cromo y níquel son 18 - 20% y 8 - 12% respectivamente.

Las series 200 y 300 se reservan para los aceros austeníticos, la serie 400 para los aceros martensíticos y ferríticos y la serie 600 para los aceros de endurecimiento por precipitación.

La composición química exacta y las propiedades de un acero deben consultarse en la norma. Algunas designaciones típicas son:

Tipo 201: C = 0,15% máximo
Mn = 5,5 - 7,5%
Cr = 16 - 18%
Ni = 3,5 - 5,5%
Tipo 304: C = 0,08% máximo
Cr = 18 - 20%
Ni = 8 - 10,5%

6.3 Sistema de Número de Material (Nº Werkstoff)

Este sistema alemán se utiliza ampliamente también en otros países. Cada designación consiste en 5 números y los detalles de composición y las propiedades de los aceros deben consultarse en la norma. Por ejemplo, el número de material 1.4306 se considerará:

El primer dígito es 1 e indica que es un acero.

Los dos dígitos siguientes "43" significan "aceros químicamente resistentes sin molibdeno, niobio ni titanio"

Los dos últimos dígitos "06" definen la aleación exacta.

Además de la designación "43", existen también las siguientes:

"40" sin molibdeno, niobio o titanio, con menos del 2,5% de níquel

"41" con molibdeno, sin niobio ni titanio, con menos del 2,5% de níquel

"44" sin molibdeno, sin niobio ni titanio, con más del 2,5% de níquel

"45" con cobre, niobio o titanio, con más del 2,5% de níquel

Un acero con el número de material 1.4306 tiene la composición siguiente:

C = 0,03% máximo
Cr = 18 - 20%
Ni = 10 - 12,5%

Por lo tanto, corresponde al tipo de acero inoxidable AISI 304L, aunque el límite inferior de níquel es un 2% mayor.

6.4 Sistema abreviado de designación

Este sistema se utiliza ampliamente en varias normas. Consiste en una serie de letras y números, como en los ejemplos siguientes:

X 2 Cr Ni 18 11

X significa que es un acero altamente aleado

2 indica el contenido de carbono en 1/100° de un porcentaje, por ejemplo, C = 0,02%

Cr significa cromo y 18 es el contenido en %

Ni significa níquel y 11 indica el contenido en %.

Un acero X 2 Cr Ni 18 11 corresponde al tipo AISI 304L y al número de material 1.4306.

6.5 Aplicación según las Normas

En la actualidad las normas nacionales utilizan estos sistemas:

Sistema AISI:

- Normas Británicas (BSI)
- Normas Japonesas (JIS)

Sistema abreviado:

- Normas Italianas (UNI)
- Normas Alemanas (DIN)
- Normas Españolas (UNE)
- EURONORM
- ISO/DR 2604/4
- Las Normas Francesas (AFNOR) utilizan letras diferentes pero números similares (X 2 Cr Ni 18 11 = Z 2 CN 18 10)

Sistema de numeración:

- Números de material alemanes
- Normas suecas (SIS)
- ISO/DR 683/13 y DR 2604/1-75

(Los sistemas de numeración sueco y de las normas ISO no se explican en esta lección)

En vista de esta situación bastante confusa, se espera que en un futuro próximo prevalecerán sólo s2 sistemas:

- EURONORM utilizando el sistema abreviado y
- El Sistema Unificado de Numeración (UNS) basado en el sistema AISI.

7. TRABAJO DE TALLER Y PRODUCTOS

7.1 Formas de los Productos

Para aplicaciones especiales, muchas de las aleaciones de acero inoxidable están disponibles en forma de pieza colada o forjada. Las piezas más pequeñas pueden producirse por pulvimetalurgia pero, con diferencia, lo que más se utiliza son las formas siguientes de productos forjados que se encuentran disponibles:

- Planchas, laminadas en caliente
- Chapa, lámina y tira, laminadas en frío
- Tubos sin juntas (sólo redondos)
- Tubos soldados (redondos, cuadrados, rectangulares)
- Barras, laminadas en caliente (redondas, cuadradas, rectangulares)
- Barras, laminadas en frío (redondas, cuadradas, rectangulares)
- Barras huecas, laminadas en caliente (redondas)
- Ejes, estirados en frío o rectificados (redondos)
- Barras y alambres, estirados en frío (redondos)
- Barras para armadura de hormigón (planas/redondas)
- Barras para armadura de hormigón (con aletas)
- Redes para refuerzo de hormigón
- Piezas de unión (tornillos, tuercas, arandelas, pernos de anclaje, etc.)
- Las secciones están disponibles en forma de extrusión, pero resulta más económico conformarlas en frío en la prensa de embutir o mediante rodillo.

7.2 Trabajo en Frío

La resistencia de los aceros inoxidables austeníticos no puede mejorarse mediante tratamiento térmico. Pueden obtenerse mayores niveles de resistencia mediante el trabajo en frío, por ejemplo laminación en frío, conformación en rodillo y plegado en prensa de embutido. Típicamente, un 15% de trabajo en frío duplica el límite elástico del 2%. Se puede encargar material conforme a niveles de resistencia especificados. El material trabajado en frío puede tener una resistencia a la corrosión ligeramente reducida.

Para más detalles, consultar la lección 22.4, Trabajo de taller y montaje.

7.3 Soldabilidad

Los aceros inoxidables austeníticos pueden soldarse con todos los métodos de soldadura conocidos, pero se aplican las restricciones de los demás grupos metalúrgicos. Cualquiera que sea la clase del acero inoxidable que se deba soldar, es necesario seleccionar el método más efectivo en cuanto a costes.

Los aceros inoxidables para aplicaciones estructurales se seleccionan principalmente por sus propiedades de resistencia a la corrosión. Hay que asegurarse de que la soldadura se ajusta a las propiedades del material de base.

Los aceros austeníticos pueden soldarse al acero al carbono estructural observando las debidas precauciones.

Para más detalles, consultar la lección 22.4, Trabajo de taller y montaje.

7.4 Acabados

Hay disponibles numerosos acabados para las superficies de las piezas de acero inoxidable, lo que proporciona al arquitecto/ingeniero una amplia gama de efectos. La chapa laminada en frío, la tira, los tubos y las barras pueden obtenerse con los acabados siguientes:

- pulido especular

- brillante con diferentes grados de rugosidad, desde muy fina hasta basta
- cepillado
- mate (decapado o chorreado con grava)
- bruto de laminación.

Además, puede obtenerse chapa en un gran número de superficies dibujadas y texturadas, producidas por laminación.

Las superficies de acero inoxidable pueden colorearse mediante procesos especiales.