

Aceros Autopatinables

Weathering Steels

Alfredo Artigas, Konstantin Sipos, Rodrigo Allende
Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería
Universidad de Santiago de Chile
alfredo.artigas@usach.cl

Resumen

Los aceros autopatinables pertenecen a la familia de aceros estructurales de Alta Resistencia - Baja Aleación (HSLA) con adición de elementos aleantes tales como Cu, Cr y Ni. Estos aceros son utilizados en aplicaciones estructurales tales como edificios y puentes carreteros y de ferrocarril. Su uso es también frecuente en equipos rodantes como vagones ferroviarios. Debido a su mayor resistencia mecánica, es posible fabricar piezas de espesores menores, lo que se traduce en un menor peso y en una disminución de costos. Los aceros estructurales autopatinables presentan una buena resistencia a la corrosión, evitando el uso de pinturas y/o galvanizado, lo que disminuye costos tanto en construcción como en mantenimiento.

Palabras Clave: Aceros, patinables, corrosión.

Abstract

Weathering steels belong to the family of high-strength structural steels (HSLA) with addition of alloying elements such as Cu, Cr and Ni. These steels are used in structural applications such as road and railway buildings and bridges. Its use is also frequent in rolling equipment such as railway wagons. Due to its greater mechanical resistance, it is possible to manufacture pieces of smaller thicknesses, which translates into a lower weight and a reduction of costs. Weathering structural steels have good corrosion resistance, avoiding the use of paints and / or galvanizing, which reduces costs both in construction and maintenance.

Keywords: Steels, weathering, corrosion.

Introducción

El material metálico más utilizado a nivel industrial en el mundo es el acero (ASM Metals Handbook, 1990), pues a un bajo precio éste combina resistencia mecánica con la posibilidad de ser trabajado mediante variedad de métodos, lo que ofrece una amplia gama de posibilidades para la manufacturación de piezas. En función de requerimientos dados sus propiedades pueden ser modificadas mediante diferentes procesos de conformado, tratamientos térmicos y/o cambios en la composición química.

Sin embargo, la gran mayoría de los aceros sufren una degradación de sus propiedades en el tiempo debido a la corrosión ambiental. En general los óxidos superficiales se forman en capas discontinuas que se desprenden fácilmente, llevando paulatinamente a una pérdida de material que finalmente se traduce en la necesidad de reemplazar las piezas afectadas. Según un estudio de los costos asociados a esta pérdida de sus características, realizado en el año 2001 en los Estados Unidos (Koch *et al.*, 2002), dirigido por CC Technologies para la administración Federal de Autopistas (FHWA), se estima que las pérdidas económicas del país debido a problemas relacionados con la corrosión del acero fluctúan en el orden del 5% de producto interno bruto nacional (PIB), cifras cercanas a los 276 mil millones de dólares estadounidenses.

Ya principios del siglo pasado se iniciaron estudios que tratan acerca de la influencia de elementos aleantes que modifican las propiedades del óxido superficial, convirtiéndolo en una capa continua, densa y adherente, la cual retarda el avance de la corrosión. La capa de óxido formada, se denomina pátina, ilustrada en la figura 1, por lo cual estos aceros se denominan “autopatinables”.

Reseña Histórica

Los aceros comerciales autopatinables, también llamados tipo Cor-Ten, corresponden a aceros estructurales del tipo Alta Resistencia Baja Aleación, en inglés High-Strength Low-alloy (HSLA). Presentan además una buena resistencia a la corrosión atmosférica producto de la adición de elementos aleantes que modifican las propiedades del óxido superficial. La formación de esta pátina protectora requiere que estos aceros se usen sin recubrimientos tales como pinturas o galvanizado, lo que

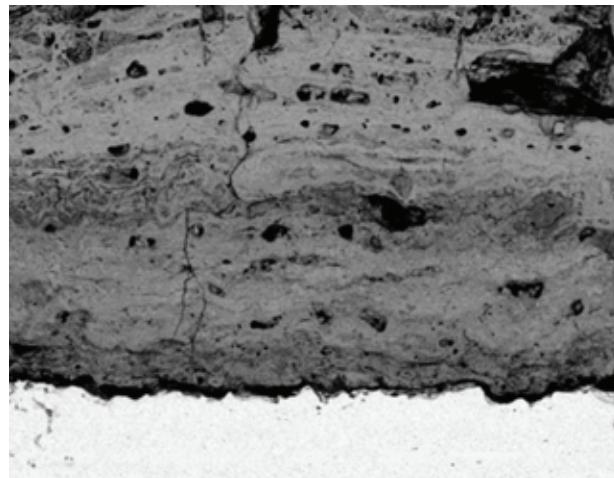


Figura 1.- Capa de óxido en acero autopatinable.

origina una importante disminución de costos en construcción como en mantenimiento de las piezas o partes de la estructura que conforman. En Chile estos aceros han sido fabricados hasta hace poco bajo el nombre de Cor-Cap (Sipos y Burgos, 2005).

El primer estudio relacionado a este tipo de aceros fue realizado por DM Buck Company en el año 1908 (Korb y Olson, 1987), el que estableció la eficacia del cobre como un elemento capaz de mejorar la resistencia a la corrosión atmosférica del acero al carbono sin pintar en una diversidad de ambientes. Este resultado desencadenó múltiples estudios adicionales efectuados por la American Society for Testing and Materials (ASTM), que se iniciaron en el año 1916, los que tenían por objetivo evaluar el desempeño frente a la corrosión atmosférica de una gran variedad de materiales ferrosos. Los resultados obtenidos de la investigación mostraron que los aceros que contenían un 0,3% en peso de cobre presentaban un incremento significativo de la resistencia a la corrosión, a diferencia de los aceros que no contenían este elemento de aleación.

En el año 1929, US Steel, el mayor fabricante de acero en los Estados Unidos, inició estudios que tenían como objetivo mejorar el rendimiento del acero con cobre de los cojinetes ferroviarios mediante la adición de elementos aleantes. En el año 1933 fue introducido a la industria el primer acero de Alta Resistencia - Baja Aleación para fabricar el coche tolva para transporte ferroviario de carbón. Desde entonces tal grado de acero ha sido cubierto por la norma ASTM A242 (2013). Cuando se requirió agrega características autopatinables a



Figura 2.- Puente carretero en acero autopatinable.

estos aceros, fueron cubiertos por la norma ASTM A588 (2015).

Al poco tiempo se expusieron pequeños paneles de prueba en diferentes tipos de atmósferas para determinar en cada caso, la habilidad para desarrollar la película de óxido protectora adherente en función de la composición química del acero. Los estudios posteriores se enfocaron en determinar la manera en que el óxido protector adherente pudiese funcionar. En el año 1962 se publicaron los resultados de un estudio de 15,5 años, en el cual 270 diferentes aceros fueron analizados en 3 diferentes tipos de atmósferas. Los lugares físicos utilizados para la realización de esa experiencia fueron Kearny (representando una atmósfera del tipo industrial), South Bend (representando una atmósfera del tipo semi-rural) y Kure Beach (ubicada a 250m del océano, representando una atmósfera marina). Se determinó la influencia de los elementos de aleación, el comportamiento de la película de óxido y la influencia del medio corrosivo.

Hoy en día Nippon Steel Corporation lidera las investigaciones, centrando sus esfuerzos en comprender los mecanismos de formación de la película de óxido protectora y la influencia de determinados elementos en la microestructura de dicha película oxidada.

Aceros autopatinables

Los aceros autopatinables pertenecen a la familia de aceros estructurales de Alta Resistencia - Baja Aleación (HSLA) con adición de elementos aleantes tales como Cu, Cr y Ni. Estos aceros son utiliza-



Figura 3.- Puente de ferrocarril en acero autopatinable.

dos en aplicaciones estructurales tales como edificios y puentes carreteros y de ferrocarril, ilustrados en las figuras 2 y 3.

Su uso es también frecuente en equipos rodantes como vagones ferroviarios. Debido a su mayor resistencia mecánica, es posible fabricar piezas de espesores menores, lo que se traduce en un menor peso y en una disminución de costos.

Mientras los aceros al carbono desarrollan durante el proceso de corrosión capas de óxidos que se desprenden con facilidad, los aceros autopatinables forman una capa densa y adherente de óxido sobre su superficie, lo que impide el avance de la corrosión. Esta propiedad se debe a la adición de elementos aleantes, principalmente de cobre y cromo. La oxidación, en comparación a los aceros al carbono, ocurre de manera similar, pero la diferencia radica que al cabo de 3 años (Jaramillo *et al.*, 2006) la pátina protectora se estabiliza, formando un óxido superficial denso y adherente de color oscuro, limitando seriamente el avance de la corrosión, tal como se ilustra en la figura 4. La formación de esta pátina protectora superficial, solo se generará con la existencia de ciclos alternados húmedos y secos, y siempre que no exista polución atmosférica ácida o salina.

Pátina Protectora

La formación de la pátina protectora ocurre de manera natural. La corrosión superficial del acero, en presencia de la humedad, genera oxihidróxidos de hierro del tipo FeOOH por vía electroquímica, y su desarrollo depende de factores tales como

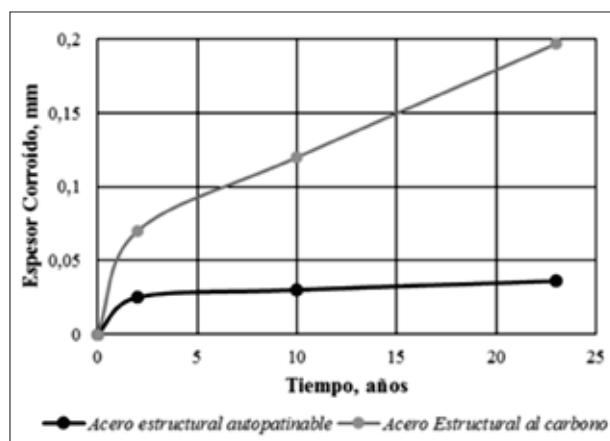


Figura 4.- Gráfico penetración por años de exposición a la intemperie, para un acero Autopatinable y un acero al carbono estructural.

los ciclos alternados de humectación y secado a los cuales se somete el material debido a las variaciones climáticas. Los oxihidróxidos FeOOH, cuya unidad básica son los octaedros de $\text{Fe}(\text{O},\text{OH})_6$, existen en varias formas alotrópicas, cuyas estructuras cristalográficas se ilustran en la figura 5. En la Lepidocrocita (figura 5a) y en la Goethita (figura 5b), las esferas pequeñas, de color negro representan átomos de hidrógeno.

El primer oxihidróxido que se forma corresponde a la Lepidocrocita, el cual después de transcurridos algunos ciclos de humectación y secado se transforma a una fase más estable, denominada Goethita.

Las diferencias entre sus estructuras, es que mientras la Lepidocrocita es una serie de estructuras octaédricas planas unidas entre sí solo por átomos de hidrógeno, la Goethita presenta una estructura de octaedros unidos de forma más compacta al unir los planos estructurales por octaedros y no solo por átomos de hidrógeno.

La Goethita es un oxihidróxido formado a baja velocidad de corrosión, y que madura en una estructura con menor número de defectos, ofreciendo una mayor resistencia a la corrosión debido a que posee una estructura más compacta y resistente impiéndiendo la permeabilidad de oxígeno y del agua. Es así que, para lograr potenciar la transformación de la Lepidocrocita a Goethita, estos aceros deben usarse sin pintura ni otro recubrimiento adicional.

Para obtener las mejores características de esta pátina protectora es necesario que el tamaño de los granos de la Goethita sean lo más pequeños

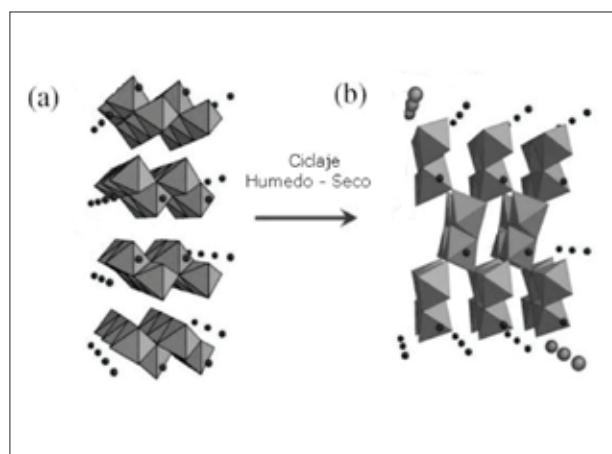


Figura 5.- Formas alotrópicas de oxihidróxidos de hierro (Kimura, 2003): (a) Lepidocrocita y (b) Goethita.

possible, lo que se logra mediante la adición de elementos aleantes (Kimura *et al.*, 2002). Los pequeños granos de la Goethita, permiten una mayor cohesión entre granos, disminuyendo el área entre los espacios cristalinos, actuando como una barrera efectiva a los efectos de la corrosión.

La presencia de iones Cloro en los ambientes marinos forman un estado alotrópico diferente, llamado Akaganeita ($\beta\text{-FeOOH}$), que a diferencia de los dos oxihidróxidos mencionados anteriormente, forma estructuras octaédricas con un túnel central. Para evitar el efecto de los iones Cloro, se agregan elementos aleantes tales como el níquel, molibdeno y titanio, que restringen la permeabilidad de las estructuras mediante transmisión selectiva de iones. Además el Níquel, contemplado en la composición química del acero, permite superar eventuales problemas de fragilidad en caliente que pudieran surgir debido a la presencia de cobre.

Desafíos y Desarrollo de mejores aceros autopatinables

El uso de aceros autopatinables en construcción presenta una serie de desafíos, como lo son el que los puntos soldados de una estructura se desgasten o corroan a la misma velocidad que el resto de sus constituyentes. Por otro lado es necesario controlar la sensibilidad que experimentan estos aceros en climas subtropicales y ambiente marino, dado que en el primer caso no se realizan los ciclos de humectación y secado que requiere el cambio de Lepidocrocita a Goethita, y que en el segundo se promueve la formación de Akaganeita.

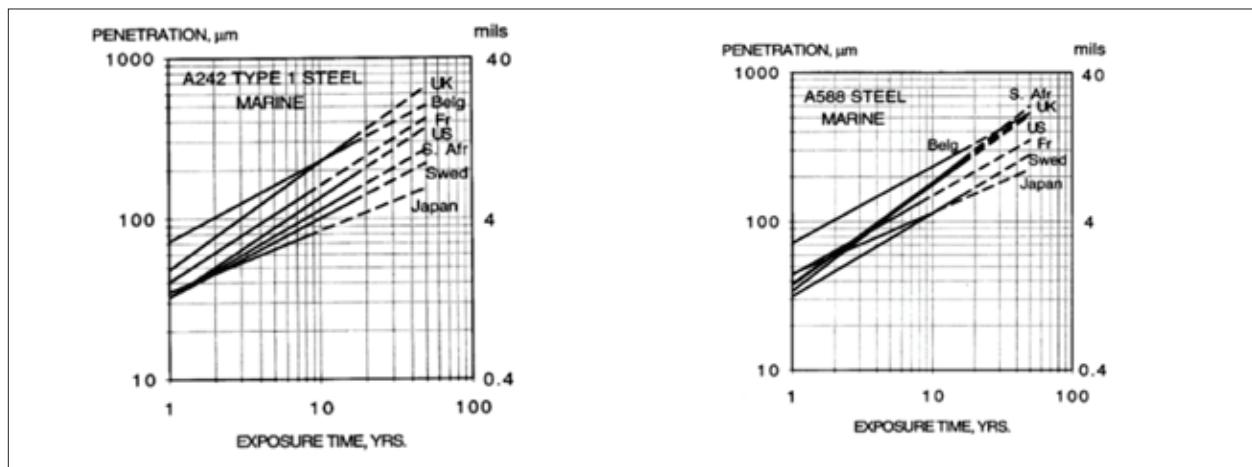


Figura 6.- Espesor corroído proyectado para aceros ASTM A242 Y ASTM A588, en ambientes marinos de distintas partes del mundo.

Ambos mecanismos actúan como inhibidores de la estabilización de la pátina protectora. El desarrollo de aceros autopatinables que superen estas limitaciones actuales se ve dificultado puesto que los ensayos duran muchos años, y que las pruebas de corrosión acelerada se correlacionan mal con los primeros.

El Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Santiago, estudia no solo la influencia de diversos elementos de aleación sobre las propiedades de resistencia a la corrosión en aceros autopatinables, sino que también el desarrollo de un ensayo de corrosión acelerada con ciclos de humectación y secado que permita la obtención de una expresión matemática que relacione los tiempos de ensayo con tiempo real de corrosión para aceros del mismo tipo localizados en distintas zonas geográficas del mundo, datos que se encuentran en la norma ASTM G101 (2010) y que se muestran en la figura 6.



Figura 7.- Centro cultural Gabriela Mistral, Santiago, Chile (Saieh, 2017).

Arquitectura y Color

Dependiendo de la oxidación del producto, el pH, los contaminantes atmosféricos y la composición química, la pátina presentará tonalidades de rojizo amarillento, anaranjado y marrón. Lo anterior ha hecho de los aceros estructurales autopatinables un material de construcción empleado para fines tanto estructurales como cosméticos.

Los arquitectos y los artistas le confieren así a sus obras características dinámicas de color variables a lo largo del tiempo.

En Chile destacan, entre otros, el Centro Cultural Gabriela Mistral y el edificio de la fábrica de Nestlé en Graneros, ilustrados en las figuras 6 y 7, exhibiendo tonalidades típicas de la capa oxidada para estos aceros.



Figura 8.- Edificio fábrica Nestlé, Graneros, Chile (Barra, 2017).

Comentarios

Los aceros estructurales autopatinables presentan una buena resistencia a la corrosión, evitando el uso de pinturas y/o galvanizado, lo que disminuye costos tanto en construcción como en mantenimiento. Su uso se encuentra limitado en climas sub-tropicales y en ambientes marinos, por lo que en los estudios para superar esta característica se investiga la influencia de la adición de varios elementos de aleación sobre las características de los

productos de corrosión. Por otro lado la formación de la pátina protectora que los caracteriza requiere de ciclos de humedad y secado, lluvia y sol. Las investigaciones que se realizan para estos aceros, se realizan en tiempo real, y se requieren ensayos de corrosión acelerada que logren replicar las condiciones de corrosión de la intemperie, a escala de laboratorio.

Referencias

ASM Metals Handbook. 1990. Volume 1, 10th edition, Properties and selection irons, steels, and high-performance alloys, ASM International (American Society for Metals), Materials Park, Ohio, USA.

ASTM G101. 2010. Standard guide for estimating the atmospheric corrosion resistance of low-alloy steels. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. www.astm.org

ASTM A242. 2013. Standard Guide for High-strength low-alloy structural steel. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. www.astm.org

ASTM A588. 2015. Standard Guide for High-strength low-alloy structural steel, up to 50 ksi [350 Mpa] minimum yield point, with atmospheric corrosion resistance, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. www.astm.org

Barra MJ. 2017. <http://mjbarrasoto.blogspot.com/2010/09/block-social-nestle.html>

Jaramillo B, Calderón J, Castaño J. 2006. Evaluación electroquímica de aceros autoprotectores en condiciones simuladas de laboratorio. Revista Facultad de Ingeniería 37: 200-210.

Kimura M, Suzuki T, Shigesato G. 2002. Characterization of nanostructure of rusts formed on weathering Steel. ISIJ Internacional 42: 1534-1540.

Kimura M. 2003. Fe(O,OH)6 network structure of rust formed on weathering Steel. SIA 35: 66-71.

Koch GH, Brongers MPH, Thompson NG. 2002. Corrosion costs and preventive strategies in the United States. Cost of corrosion study unveiled, N°. FHWA-RD-01-156.

Korb LJ, Olson DL. 1987. Corrosion of carbon steels. Metals Handbook, Vol. 13, 9º edición, ASM, USA.

Saieh N. 2017. Centro Cultural Gabriela Mistral / Cristián Fernández Arquitectos, Lateral arquitectura & diseño. <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-52707/centro-cultural-gabriela-mistral-cristian-fernandez-arquitectos-lateral-arquitectura-e-diseno>

Sipos K, Burgos N. 2005. Aceros resistentes a la corrosión atmosférica. Remetallica 25: 24-27.