



ASOCIACION VENEZOLANA DE GALVANIZADORES

Presentación

La presente publicación recoge la transcripción de la Conferencia Básica, dictada por la Profesora Laura Viloría Rendón, en el marco del Programa de Capacitación y Actualización Profesional que ofrece la Asociación Venezolana de Galvanizadores a Universidades, Institutos Universitarios y Tecnológicos, Centros Profesionales y organizaciones gremiales, cumpliendo su Misión de informar sobre los costos de la corrosión del acero y la necesidad de prevenir este fenómeno natural.

En el texto de esta Conferencia, titulada “Galvanizado en Caliente, una opción contra la corrosión”, la profesora Laura Viloría responde en forma sencilla las siguientes interrogantes ¿Qué es la corrosión? ¿Por qué ocurre? ¿Cómo ocurre? ¿Qué costos genera? ¿Puede controlarse o prevenirse?

La profesora Viloría expone la termodinámica y cinética del fenómeno y se refiere la corrosión del acero en la intemperie y dentro del concreto. Presenta algunos mecanismos de control de la corrosión y entre ellos expone el proceso del galvanizado en caliente.

En este texto describe el proceso físico químico e industrial del galvanizado en caliente en sus diversas etapas y modalidades y expone las propiedades y ventajas de este sistema de protección de reconocida eficacia, disponible en nuestro país con alta calidad y precios competitivos frente a otros recubrimientos.

La Asociación Venezolana de Galvanizadores se enorgullece de ofrecer esta publicación a instituciones públicas y privadas, a profesionales, empresarios y estudiantes, en la seguridad de que les brindará criterios útiles a la hora de tomar decisiones sobre proyectos, en los que se utilice el acero y se aspire durabilidad de las construcciones.

A quienes deseen obtener mayor información sobre estos temas, la Asociación ofrece la documentación que posee y recibe regularmente de instituciones nacionales y del exterior.

ASOCIACIÓN VENEZOLANA DE GALVANIZADORES: www.avgal.net

E-mail: avgal01@hotmail.com avgal02@cantv.net info@avgal.net

Telefax (0212) 263 36 77 263 09 56- Caracas



ASOCIACION VENEZOLANA
DE GALVANIZADORES

EL GALVANIZADO EN CALIENTE

Una opción contra la corrosión

INTRODUCCION

La corrosión del acero constituye un problema mundial de grandes proporciones que requiere ser controlado, por ello es objeto de estudio en universidades y centros de investigación para tratar de cuantificar y minimizar sus costos. En Venezuela, el Centro de Estudios de la Universidad del Zulia que ha adquirido prestigio internacional, realiza importantes investigaciones y entre sus logros podemos anotar la elaboración del Mapa de Corrosión, en el que se determinan los niveles de agresividad de este fenómeno en las diversas regiones y zonas del país.

Para determinar el impacto de la corrosión en Venezuela podemos partir del consumo promedio per cápita de acero al carbono, que es de 122 Kg., lo cual representa un consumo nacional anual de 2.900.000 toneladas, de las cuales la corrosión destruirá un 25%, o sea 725.000 toneladas anuales, lo que equivale a 9 k.o. por segundo. Si no se toman medidas adecuadas para proteger el acero contra la corrosión esta pérdida representa el 4% del PIB.

Como un ejemplo, vemos que en el período 1980-2001 en los Estados Unidos ocurrieron 52 grandes desastres naturales como terremotos, huracanes y tormentas tropicales, cuyo impacto económico normalizado representó un promedio de 17 billones de dólares anuales. En este mismo período, las pérdidas directas por la corrosión alcanzaron un promedio de 276 billones de dólares anuales.¹ Sin embargo, a diferencia de los desastres naturales, la corrosión puede ser controlada. En este sentido, el galvanizado en caliente del acero al carbono constituye una solución rentable para controlar la corrosión en muchas aplicaciones, tanto en la industria química y petrolera, como en el sector transporte, eléctrico, construcción, etc.

EL PROCESO DE CORROSIÓN

La corrosión del acero constituye un proceso termodinámicamente espontáneo, porque en la naturaleza el hierro se encuentra en forma de mineral constituido principalmente por óxidos, Hematita (Fe_2O_3) y Magnetita (Fe_3O_4).

La siderurgia transforma este mineral en arrabio y luego lo refina y alea con carbono para producir el acero, con un consumo enorme de energía. Desde el punto de vista termodinámico, esta misma energía consumida en la producción del acero constituye la *Fuerza Motriz* para la corrosión, porque el hierro tenderá a volver a su estado de mínima energía.

La cantidad de energía requerida para alcanzar el estado metálico varía de un metal a otro; es muy alta para metales como el cinc, el magnesio, el aluminio y el hierro y muy baja para el platino y el oro.

La corrosión es un fenómeno de naturaleza electroquímica; es decir, la corrosión del metal involucra reacciones químicas y flujo de electrones. El proceso se conoce como *corrosión galvánica*. La Figura 1 muestra los componentes de una celda galvánica, que al igual que una batería, consiste de dos electrodos metálicos diferentes inmersos en un electrolito. Cuando los electrodos se ponen en contacto se genera una corriente eléctrica (flujo de electrones). En una celda galvánica hay cuatro elementos necesarios para que ocurra la corrosión:

Ánodo: Es el electrodo donde las reacciones anódicas o de oxidación generan electrones como consecuencia del paso del metal en forma de iones, al electrolito. La corrosión ocurre en el ánodo.

Cátodo: Este es el electrodo donde ocurren las reacciones de reducción, o reacciones catódicas, que consumen electrones porque se combinan con determinados iones presentes en el electrolito. Este electrodo no se corroe.

Electrolito: Es el medio conductor a través del cual se transportan las especies iónicas generadas en las reacciones de oxidación-reducción.

Contacto eléctrico: es el medio de retorno de la corriente generada por el flujo de electrones.

Estos cuatro elementos constituyen la base de la corrosión y de la prevención de la corrosión.

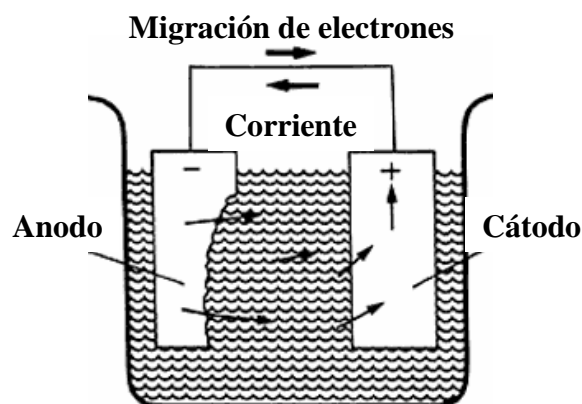


Fig. 1 Elementos de la celda galvánica

Según la tendencia del metal a volver a su estado natural, es posible construir la Tabla 1 que presenta los metales en orden creciente de su fuerza electromotriz. De acuerdo con su posición relativa en la tabla, un metal en la posición inferior se corroerá

preferencialmente con respecto a otro en una posición más alta, siempre y cuando estén en presencia de un electrolito.

Tabla 1 Fuerza electromotriz

Metales electronegativos, catódicos o más nobles
Platino
Oro
Plata
Cobre
Níquel
Hierro
Cadmio
Aluminio
Cinc
Magnesio
Metales electronegativos, anódicos o menos nobles

CORROSIÓN DEL ACERO

La figura 2 muestra la micro-estructura de un acero de bajo carbono vista al microscopio óptico. El proceso de corrosión ocurre debido a la diferencia de potencial que existe entre diversas zonas en la superficie, como consecuencia de variaciones en su composición, presencia de impurezas, esfuerzos internos no uniformes o un ambiente circundante no uniforme.

El medio ambiente puede ser una atmósfera húmeda, agua, químicos, el suelo, todos pueden actuar como electrolitos para la formación de millones de micro celdas galvánicas para la corrosión. El metal bajo la superficie conecta eléctricamente los electrodos.

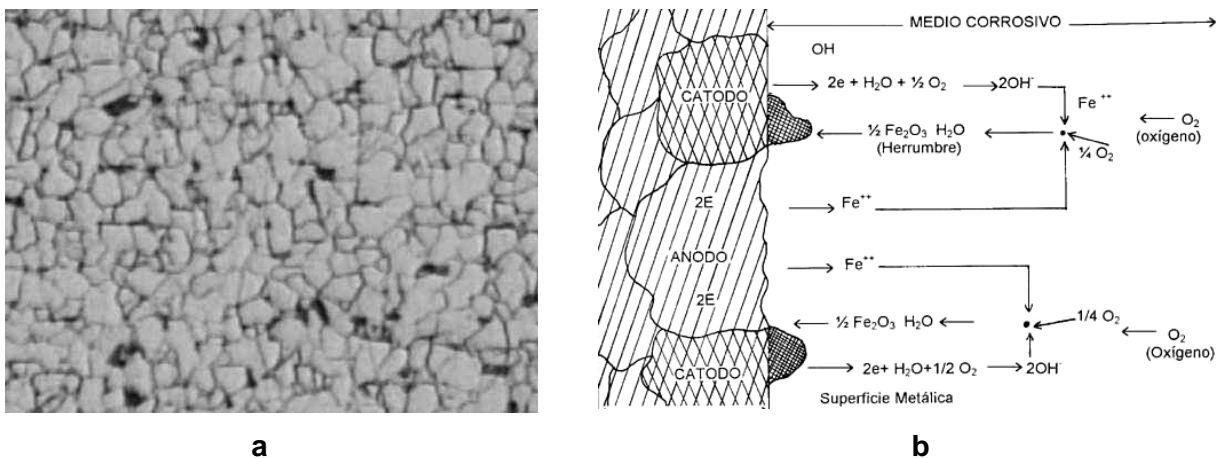


Fig. 2 (a) Microestructura de un acero de bajo carbono vista al microscopio óptico.

(b) Proceso de corrosión que ocurre en la superficie del acero

A medida que la corrosión ocurre en las zonas anódicas, nuevo material, de diferente composición y estructura, queda expuesto a la superficie, lo que genera cambios en el electro potencial y hace que ánodos y cátodos intercambien roles. Este proceso que ocurre a escala microscópica puede continuar hasta que todo el acero es destruido por la corrosión.

CONTROL DE LA CORROSIÓN

Como la corrosión ocurre en la superficie del metal en contacto con un electrolito, cualquier medio que retarde estas reacciones permitirá controlar el proceso. Dependiendo del medio utilizado el control puede ser por pasivación, inhibición o protección.

En el primer caso, se utilizan aleaciones que formen una película de productos de corrosión adherentes y compactos que aíslan la superficie del metal; los aceros inoxidables son un ejemplo.

En el control por inhibición se agregan químicos, cuidadosamente dosificados, al electrolito para polarizar uno de los electrodos de la pila de corrosión y detener o al menos disminuir la velocidad de corrosión.

En el caso de la protección, ésta puede ser **por barrera**, donde se busca aislar la superficie metálica del medio corrosivo utilizando recubrimientos metálicos o revestimientos orgánicos como pinturas. La protección también puede ser de tipo **galvánica**, llamada **protección catódica**, en cuyo caso se establece una celda galvánica intencional, mediante la aplicación de un metal que sea anódico respecto al acero y se comporte como metal de sacrificio, corroyéndose preferencialmente. En la serie galvánica mostrada en la Tabla 1, el Cinc y el Magnesio son anódicos respecto al acero. De estos elementos, el cinc es el más utilizado.

EL GALVANIZADO EN CALIENTE

El galvanizado en caliente como proceso industrial para la protección del acero contra la corrosión se remonta a más de 150 años, cuando en los años 1936 y 1937 aparecen las primeras patentes del proceso en Francia e Inglaterra, respectivamente. Para 1850 en Inglaterra se utilizaba un promedio de 10.000 toneladas de cinc anualmente para galvanizar el acero. Desde entonces el proceso ha demostrado ser rentable y efectivo para la protección del acero al carbono en miles de aplicaciones usadas en la industria química, del petróleo, papel, transporte, automotriz, etc., etc.

El cinc funde a 419 °C, y para galvanizar el acero éste se sumerge en un baño de cinc metálico fundido que se encuentra a 445-450°C. A esta temperatura el acero y el cinc muestran gran afinidad y, por difusión, forman aleaciones Fe-Zn. El producto final es un acero protegido por un revestimiento de cinc.

El proceso puede ser **continuo** o **general**, pero en ambos casos el principio es el mismo: En primer lugar se realiza un pre tratamiento de la superficie del acero para eliminar grasas y óxidos provenientes del proceso de fabricación, a fin de disponer de una superficie completamente limpia donde el Zn y el Fe puedan ínter difundir y formar aleaciones.

GALVANIZADO GENERAL

En el *galvanizado general o por bache*, las piezas ya fabricadas, o semi terminadas, son pretratadas y luego galvanizadas. La Figura 3 es un esquema general del proceso.

La preparación superficial para galvanizar consta de tres etapas típicas: limpieza cáustica, lavado, decapado químico, lavado y baño de fundente.

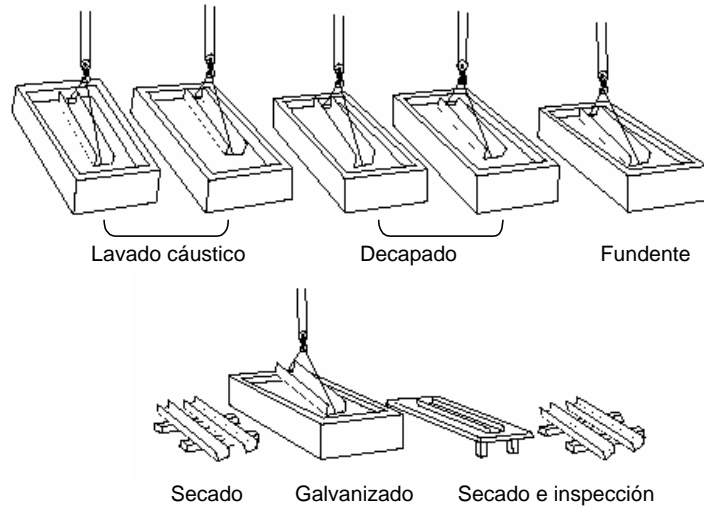


Fig. 3 Esquema del proceso de galvanizado general.

En la limpieza cáustica se utiliza una solución de soda cáustica caliente para remover contaminantes orgánicos como sucio, grasas y aceites, de la superficie del acero.

En el decapado el óxido y la herrumbre se eliminan de la superficie utilizando una solución diluida de ácido sulfúrico caliente o de ácido clorhídrico a temperatura ambiente.

El paso final es la aplicación del fundente, que consiste en una solución de sales de cloruros amoniacales de cinc. El fundente elimina el óxido y previene la oxidación posterior de la superficie para asegurar que el cinc fundido pueda mojar completamente al acero.

En el recubrimiento o galvanizado la pieza es completamente sumergida en un baño de al menos 98% de cinc fundido, que se mantiene a 454 °C durante el tiempo suficiente para que la pieza alcance la temperatura del baño. Luego la pieza es sacada lentamente del baño para escurrir completamente el exceso de cinc.

De inmediato las piezas son enfriadas con agua o al aire y luego sometidas a inspección. En esta etapa se verifica el espesor del recubrimiento y la apariencia de la superficie.

El proceso de galvanizado está completamente regulado por estándares bien establecidos: ASTM, COVENIN, ISO, etc., que permiten al cliente establecer las condiciones mínimas de calidad de su producto.

UNIÓN METALÚRGICA

Durante la inmersión del acero en el baño de cinc fundido, ocurren reacciones que producen una serie de aleaciones en la superficie, las cuales conforman un recubrimiento que es parte integral de la pieza en sí misma. La Figura 4 muestra un corte transversal de un acero galvanizado donde se aprecian las distintas aleaciones producidas en su superficie.

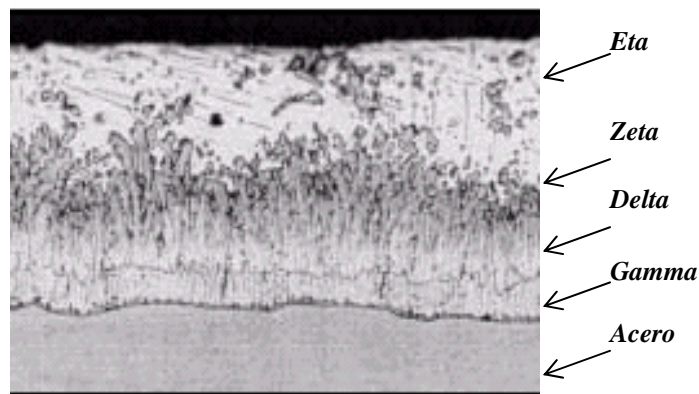


Fig. 4 Corte transversal de un acero galvanizado.

Las capas *Gamma*, *Delta* y *Zeta* son más duras que el acero base, lo cual protege al recubrimiento de daños mecánicos. La capa *Eta* es bastante dúctil lo cual le confiere resistencia al impacto al recubrimiento.

La unión metalúrgica asegura una alta adherencia del recubrimiento, del orden de 3600 psi, comparado con otros revestimientos cuya adherencia está en el orden de las centenas de psi. La combinación de dureza, ductilidad y adherencia protegen al acero galvanizado contra posibles daños durante el transporte, trabajos en sitio y futura vida en servicio.

GALVANIZADO CONTINUO

Este proceso se aplica a bobinas de acero laminado, de bajo, medio y alto carbono, que son alimentadas de manera continua a una línea de producción automatizada. El pretratamiento de limpieza se realiza en un baño cáustico que elimina la grasa proveniente del proceso de laminación; sin embargo, en lugar del decapado químico, el óxido y la herrumbre son removidos en un horno de recocido que se mantiene con una atmósfera reductora (con exceso de CO). El control de la temperatura en el horno permite modificar la resistencia del acero, de acuerdo con los requerimientos de conformado posterior de la lámina.

La temperatura del acero se controla a la salida del horno, justo antes de entrar al baño de Zn, con el fin de evitar el choque térmico. Esto permite también que la lámina alcance rápidamente la temperatura del baño de cinc fundido, a la velocidad típica de alimentación que es del orden de 200 m/min, y se formen las aleaciones Fe-Zn en su superficie.

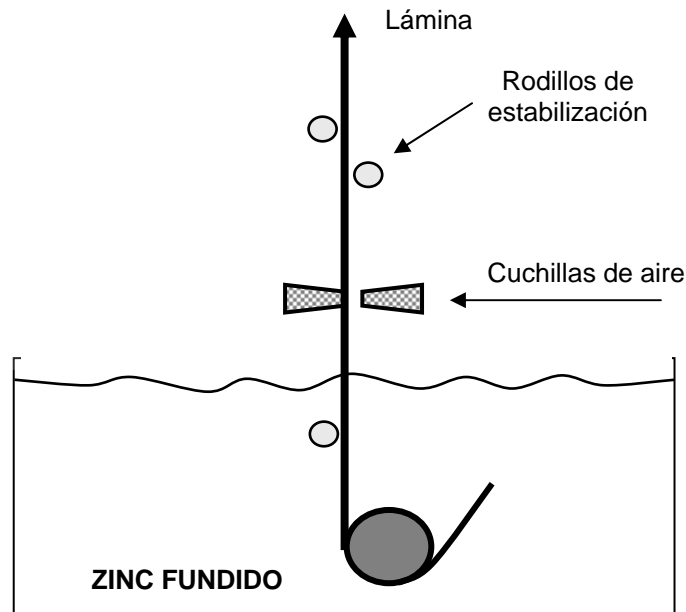


Fig. 5 Esquema del galvanizado continuo.

La lámina es enfriada posteriormente con agua para detener el crecimiento del recubrimiento con el fin de asegurar que la lámina pueda ser sometida a procesos posteriores de conformado, según el uso final del producto.

PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DEL ACERO GALVANIZADO

La unión metalúrgica del recubrimiento galvanizado constituye una barrera impermeable que protege al acero del efecto del medio ambiente. Además de la protección por barrera, el galvanizado en caliente es el único proceso que brinda protección catódica al acero.

La Figura 6 muestra lo que sucede cuando un revestimiento orgánico, típicamente un sistema de pinturas, sufre un daño que deja al desnudo la superficie del acero. El acero expuesto se corroe formando un depósito de herrumbre, que por ocupar un volumen mayor que el acero, ejerce presión bajo el revestimiento y lo levanta. La corrosión localizada sigue creciendo y la pintura termina por desconcharse agravando el proceso de corrosión.

Cuando el daño se produce en el acero galvanizado, el cinc del recubrimiento se sacrifica y se corroe preferencialmente para proteger el acero. Esta protección continúa

hasta tanto exista cinc en un área alrededor de la ranura de aproximadamente 5 a 6 mm de diámetro.

DURABILIDAD

El acero galvanizado ha demostrado tener una duración hasta tres veces mayor que el acero pintado, esto lo hace especialmente atractivo como opción contra la corrosión, especialmente en aquellas aplicaciones donde el mantenimiento durante la vida de la instalación debe ser minimizado.

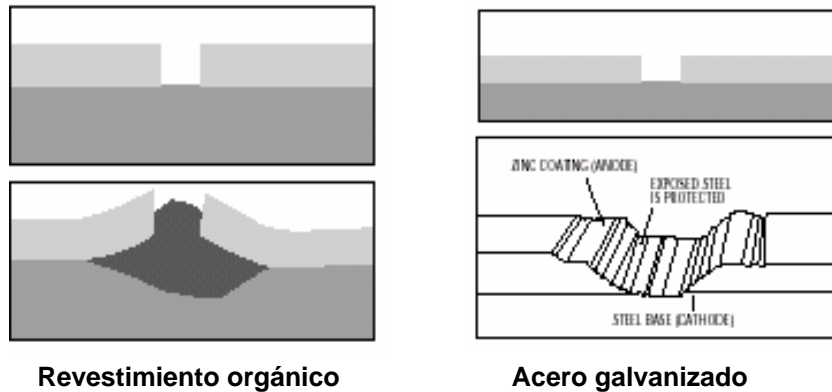


Fig. 6 Efecto del daño del recubrimiento en la protección del acero contra la corrosión. ⁱⁱ

COSTOS DEL CICLO DE VIDA

El costo del ciclo de vida analiza el verdadero costo del sistema de protección del recubrimiento, considerando su vida total en servicio. Considera el costo original, costos de retoques, costos de mantenimiento, inflación y el costo de oportunidad. En este caso se calcula el valor presente neto del proyecto utilizando las ecuaciones:

$$VPN = VNF / (1+R)^n \quad y$$

$$VNF = \text{Costo original} (1+I)^n$$

Donde:

- VPN = valor presente neto
- VNF = valor neto futuro
- R = tasa de interés
- n = años de vida del proyecto
- I = tasa de inflación.

La Figura 8 muestra como se distribuyen los costos a lo largo de la vida total del proyecto. Se observa que los mayores ahorros se obtienen en la etapa de diseño, en el momento en que se concibe la idea.

Cuando se considera utilizar el galvanizado en caliente, el diseño de la instalación debe considerar todos los detalles de construcción para el ensamblaje de las piezas. Con el acero galvanizado se debe minimizar la soldadura y considerar el apernado de las piezas. Este tipo de construcción también representa ahorros porque no requiere de mano de obra especializada. Como ventaja sobre el acero pintado, la construcción no sufre retrasos por efectos del mal tiempo. Durante la vida en servicio, los costos de mantenimientos son nulos al compararlos con un sistema de pinturas, en el mismo periodo de vida. Al final del proyecto tanto el cinc como el acero pueden ser reciclados.

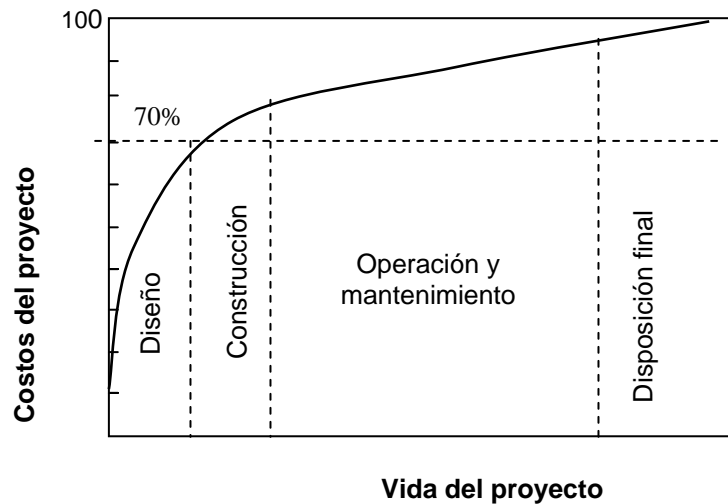


Fig. 8 Distribución de costos durante la vida total del proyecto.

ⁱ Supplement to Materials Performance, July 2002.

ⁱⁱ Hot-Dip Galvanizing for Corrosion Protection. A Specifier's Guide. American Galvanizer Association.