

Proceso de galvanneal en lámina de acero comercial. Una revisión bibliográfica

Galvanneal process on commercial steel sheet. A bibliographic review

José Agustin Andrade Infante

<https://orcid.org/0000-0001-9032-7557>

jandrade@unexpo.edu.ve

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” UNEXPO

Resumen

Una de las características fundamentales que poseen los aceros es la gran resistencia y es por ende que en la actualidad no ha perdido vigencia frente nuevos materiales. Una amenaza que tiene este material es la corrosión que sufre en presencia de ambientes severos. Es por ello que se han creado diversas técnicas que permiten la protección del acero frente a estas condiciones drásticas. Una de estas es el galvanizado por inmersión en caliente. En los últimos años se ha modificado esta técnica aplicando un proceso de tratamiento térmico de recocido después de estar sumergida en el baño de zinc. Con este proceso se modifican las propiedades de las fases presentes debido al incremento de hierro producto de la temperatura y tiempo de permanencia en el horno. Por lo cual, este trabajo tiene como objetivo general analizar el proceso de galvanneal en lámina de acero comercial con el fin de determinar la influencia de la temperatura y tiempo de permanencia dentro del horno de recocido. La Metodología utilizada son de tipo documental y bibliográfica. Los resultados se basaron en el análisis del proceso de galvanneal, las variables del galvanneal a tomar en cuenta y la influencia de las mismas en el conformado y resistencia a la corrosión. Como conclusión, el incremento de la temperatura hace incrementar el powdering, el cual significa un desprendimiento del recubrimiento, produciendo que al momento del conformado dicho polvo pueda ofrecer resistencia a las presiones otorgando posibles defectos en la superficie, pero al aumentar la temperatura aumenta la resistencia a la corrosión de la lámina, por lo tanto, para ambas situaciones, el incremento de temperatura y tiempo de permanencia incrementa el porcentaje de hierro dentro del recubrimiento y por ende la modificación en las condiciones y propiedades de las piezas con recubrimiento galvanneal.

Palabras Clave: corrosión, galvanización, galvanneal, temperatura, tiempo de permanencia.

Abstrac

One of the fundamental characteristics that steels have is the great resistance and, therefore, that at present it has not lost its validity against new materials. A threat to this material is the corrosion it suffers in the presence of severe environments. That is why various techniques have been created that allow the protection of steel against these drastic conditions. . One of these is hot-dip galvanizing. In recent years, this technique has been modified by applying an annealing heat treatment process after being immersed in the zinc bath. This process modifies the properties of the phases present due to the increase in iron as a result of the temperature and residence time in the furnace. Therefore, this work has the general objective of analyzing the galvanneal process in commercial steel sheet in order to determine the influence of temperature and residence time in the annealing furnace. The Methodology used are documentary and bibliographic. The results were based on the analysis of the galvanneal process, the variables of the galvanneal to be taken into account and their influence on the formation and resistance to corrosion. In conclusion, the increase in temperature increases the powdering, which means a detachment of the coating, producing that at the time of forming said powder can offer resistance to pressures, granting possible surface defects, but as the temperature increases, the resistance to Corrosion of the sheet, therefore, for both situations, the increase in temperature and residence time increases the percentage of iron within the coating and therefore the modification in the conditions and properties of the parts with galvanneal coating.

Keywords: corrosion, galvanization, galvanneal, temperature, residence time.

Introducción

Uno de los problemas que aqueja a la industria es la corrosión que sufre los aceros ante ambientes severos. Todos los materiales metálicos sufren oxidación, pero es el acero que se deprecia más por la vulnerabilidad de sus propiedades al estar sometida a agentes corrosivos. A nivel industria, el acero ha jugado un papel importante en el desarrollo de la humanidad pasando a ser protagonista en sus innumerables desarrollos industrial sin permitir ser

desplazados, en su protagonismo, por otros materiales como los polímeros o las superaleaciones.

Las fortalezas o ventajas que ofrece el acero ante otros materiales son superior, es por ello que su desarrollo continua en auge en estos tiempos. Solo la corrosión, ha sido su mayor enemigo, pero al igual no ha escatimado esfuerzos es desarrollo un sinnúmero de procesos o técnicas que permitan aumentar la resistencia a ese flagelo. Es común describir la corrosión como una oxidación acelerada y continua que desgasta, deteriora y que incluso puede afectar la integridad física de los objetos o estructuras (Cortés & Ortiz, 2004).

La corrosión en el acero es una relación electroquímica entre el medio que rodea y el mismo material. Para que se forme una celda electroquímica, o celda de corrosión, se requiere la presencia de un material que cede electrones en contacto con otro que los acepta, y de un medio conductor de iones (Cortés & Ortiz, 2004).

Por ejemplo, en las armaduras de hormigón, utilizadas mayormente en la construcción, le sucede la pasivación de la estructura del acero.

Sobre el acero se forma una capa de óxidos que recubren el acero aislándolo del medio, viéndose favorecida termodinámicamente por la transición de potenciales catódicos a potenciales anódicos del acero. La composición, estructura, propiedades físicas y anticorrosivas de esta película pasiva viene determinada por el escenario de formación de la misma: pH del medio, Temperatura, humedad, contenido de oxígeno, estado superficial del acero, etc. (Recio Cortés, 2010, pág. 7)

La pasivación del hierro se puede demostrar por medio de tres fases, las cuales se determinan por los mecanismos termodinámicos en medios alcalinos (como el hormigón), donde dichas capas pueden deteriorarse por agentes agresivos como el HCl. Los iones cloruro rompen localmente la capa pasiva del acero formando picaduras, las cuales presentan áreas locales muy pequeñas que actuarán como ánodo, actuando el resto de la superficie como cátodo, provocando velocidades de corrosión muy altas y formando picaduras profundas y localizadas (Recio Cortés, 2010). Estas reacciones, de pasivación y corrosión, se detallan en la Figura 1.

Pasivación del acero dentro de la estructura de hormigón

- 1) $3 \text{ Fe} + 4 \text{ H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_3\text{O}^+ + 2 \text{ e}^-$.
- 2) $3 \text{ Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^-$.
 $3 \text{ FeO} + 2 \text{ OH}^- \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^-$.
- 3) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 3 \alpha\text{-FeO OH} + \text{e}^-$.
 $2 \text{ Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{OH}^- \leftrightarrow 3 \gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 + 2 \text{ e}^-$.

Corrosión por presencia de agentes despasivantes

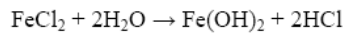
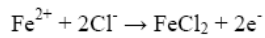


Figura 1. Pasivación y despasivación del hierro en presencia de agentes medios alcalinos y ácidos. Fuente: (Recio Cortés, 2010)

Poder contrarrestar esta corrosión ha permitido crear diferentes métodos que permiten el incremento de la vida útil del acero. Una de estas técnicas es la galvanización. Galvanizar es recubrir con zinc fundido la superficie del acero para protegerlo de la Corrosión, por lo que es el recubrimiento metálico más utilizado por su capacidad de sacrificio para proteger el acero base (ACESCO, 2000).

Dentro de la galvanización se encuentra dos procesos: galvanización por inmersión en caliente y electrogalvanización. El galvanizado por inmersión en caliente es uno de los métodos más utilizados contra la corrosión, estos recubrimientos tienen muy buena adherencia al metal base debido a la formación del enlace metálico entre el metal base y el zinc (Rico Oviedo, 2012). Por lo que, el producto que va a ser galvanizado, previamente limpiado de impurezas como grasas y oxidaciones, se introduce en un baño de zinc fundido a 450° C (CEMESA, 2014). En la Figura 2 se puede detallar el proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

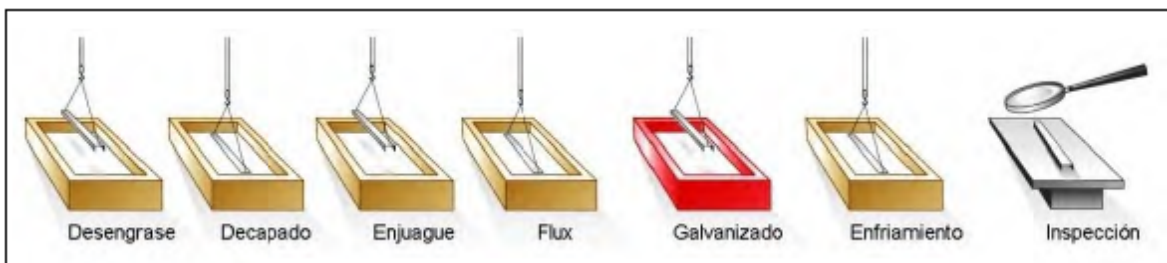


Figura 2. Proceso de galvanizado por inmersión en caliente. Fuente: (CEMESA, 2014)

Del mismo modo, una de las características fundamentales en el proceso de galvanización es que se producen capas microestructurales de los metales hierro y zinc. Es decir, las diversas capas desempeñan un rol importante en la provisión de la protección contra la corrosión (LATIZA, 2013). De la misma manera, el recubrimiento de zinc ofrece una protección catódica al hierro cuando queda al desnudo, el cual se detalla en la Figura 3.

El acero recién galvanizado es luminoso y brillante como la superficie del zinc puro. Durante un período de tiempo esta superficie se oxida a óxido de zinc (ZnO) en el aire. Esta se convierte rápidamente en hidróxido de zinc ($Zn(OH)_2$) por la humedad en la atmósfera. Ambos productos de corrosión son solubles y se lava fácilmente en la superficie por la lluvia o condensación. El recubrimiento protector final sobre la superficie de zinc es la conversión, en el aire que fluye libremente, de ZnO y $Zn(OH)_2$, a carbonato de zinc insoluble y denso ($ZnCO_3$). (LATIZA, 2013, pág. 4)

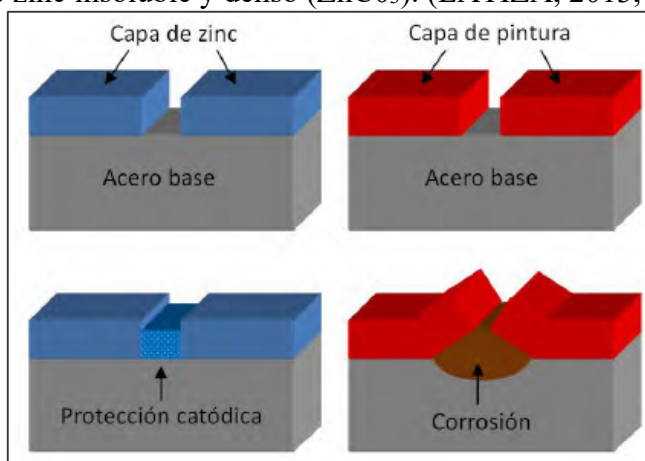


Figura 3. Protección del zinc en ambientes corrosivos. Fuente: (CEMESA, 2014)

Así mismo, el galvanizado proporciona una protección elevada en situaciones atmosféricas adversas, químicas leves, marinas y urbanas (Fernández Álvarez, 2004). Esto se observa en la Figura 4 donde se visualiza la vida útil del recubrimiento frente al tipo de atmosfera y espesor de zinc.

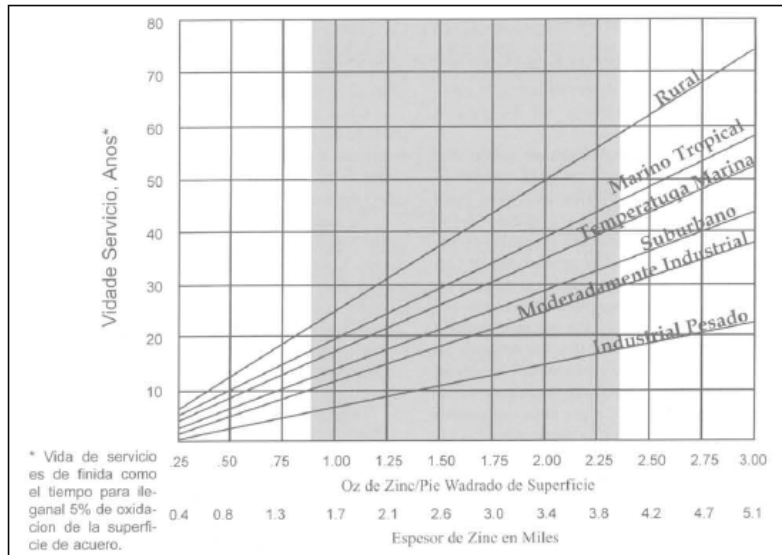


Figura 4. Vida útil del recubrimiento frente al tipo de atmósfera y espesor de zinc. Las áreas sombreadas representan el rango de espesor el cual esta basado en el mínimo espesor para todos los grados, clases, etc., abarcados por las especificaciones ASTM A123 y A153. Fuente: (AGA, 1996)

Por otro lado, se han realizado diversas investigaciones que han permitido descubrir que el proceso de galvanizado puede mejorar aplicando un subproceso que permite mayor resistencia a la corrosión. Después de la inmersión en caliente es necesario aplicar un tratamiento térmico de recocido, llamado Galvanneal. El proceso consiste en recalentar, inmediatamente después del galvanizado, entre 500 y 565 °C manteniendo durante unos segundos el revestimiento, por lo cual, la capa de zinc se alea con el acero por medio de difusión (Vazquez Becerra, 2018).

Es decir, este proceso busca incrementar el porcentaje de hierro dentro de las capas de zinc del recubrimiento. Esto sucede gracias a los parámetros del proceso, los cuales son temperatura y tiempo de permanencia en el horno de recocido. Estas fases modificadas se ilustran en la Figura 5.

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo general analizar el proceso de galvanneal en lámina de acero comercial con el fin de determinar la influencia de la temperatura y tiempo de permanencia dentro del horno de recocido. La Metodología utilizada son de tipo documental y bibliográfica.

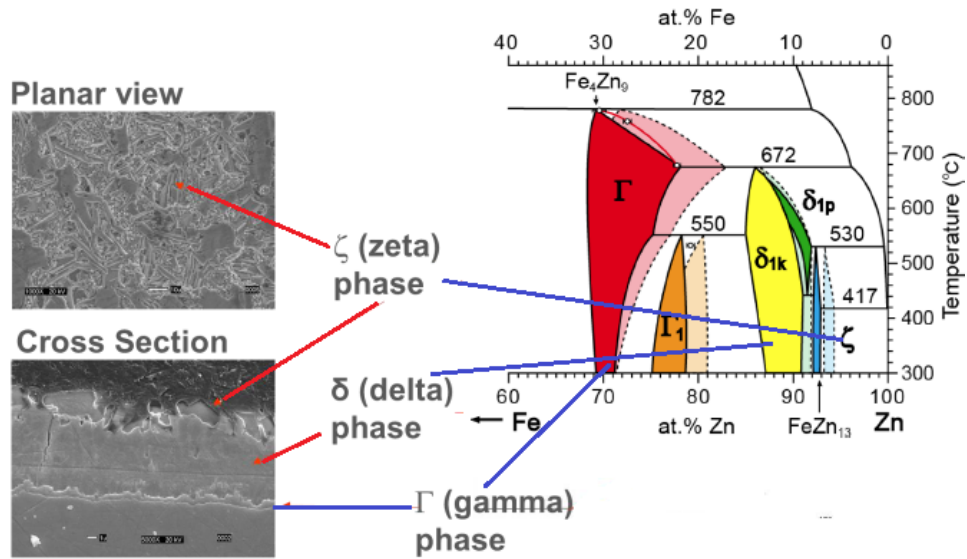


Figura 5. Micrografías del recubrimiento galvanneal y la relación de las fases presentes con el diagrama de fases binario de Fe-Zn. Fuente: (Inui et al, 2018; Sriram et al, 2018)

Método

Los objetivos específicos de esta investigación se basaron en conceptualizar el proceso de corrosión dentro de los aceros, explicar el proceso de galvanización por inmersión en caliente, describir el proceso de galvanneal, establecer las diferencias en las fases del recubrimiento galvanneal y determinar la influencia de los parámetros en el proceso de conformado y resistencia a la corrosión del acero con recubrimiento galvanneal. Lograr este propósito se basó en una metodología de tipo documental y bibliográfico a través de herramientas como textos, documentos y artículos científicos publicados disponibles en la web.

Resultados

Proceso de galvanneal en el acero.

Uno de los principales problemas que trae el contacto de medio agresivos hacia el acero es la corrosión y por ello la disminución de vida útil. El galvanizado ha fungido como una

técnica que permite la duración en horas servicio de las piezas. Se han realizado investigaciones y han determinado una mejora a esta técnica, la cual se le aplica un tratamiento térmico de recocido durante una temperatura y tiempo de permanencia. Esta galvanneal (galvanorecocido) ha permitido que la durabilidad del acero se extienda aún más.

Del mismo modo, el galvanneal al ser un tratamiento térmico cambia las propiedades del recubrimiento de zinc. Es por ello que el proceso involucra el recalentamiento de la lámina inmediatamente después de salir del baño de Zn, de tal manera que, por un período de tiempo suficiente, el Fe se difunda hacia el Zn y a través de toda la superficie del recubrimiento (Fernández Carbajal, 2005).

Esto sin duda, produce una transformación en las fases presentes en el recubrimiento de galvanizado. Por lo cual, se tiene:

La formación de la fase *Zeta* ζ (FeZn_{13}) baja en hierro, en la superficie del recubrimiento, mientras que en la interfase más cercana al acero base, se forman las fases *Gamma'* Γ_1 ($\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$) y *Gamma* Γ ($\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$) ricas en hierro, algunos autores atribuyen las propiedades físicas y químicas del acero con galvanneal a la fase *Delta* δ_1 (FeZn_{10}). (Vazquez Becerra, 2018, pág. 4)

Al mismo tiempo, estas fases tienen mayor contenido de Fe y por el cual cumple con la premisa de modificación de las propiedades del galvanizado. En la Tabla 1 se detalla la cantidad de Fe en cada una de las fases presentes del galvanneal. Así como también, en la Figura 6 se describe el esfuerzo crítico, la dureza HV y resistencia a la fractura. De aquí se comprueba que la dureza esta en las primeras fases como la Γ , por tener mayor cantidad de Fe. A su vez esta fase es frágil por lo que la resistencia a la fractura es menor. La fase que está más cerca de la superficie, como la ζ tiene menor esfuerzo crítico, menor dureza y mayor resistencia a la fractura por la menor cantidad de Fe. También se observa que la fase δ , la cual se identifica como la principal por diversos autores dando las características y propiedades del recubrimiento, posee una resistencia crítica y dureza moderada y una alta resistencia a la fractura más elevada. Con esto comprueba que el tratamiento térmico al galvanizado incrementa las propiedades.

Tabla 1.

Fases de Fe-Zn en un acero galvanneal.

Fase	Estequiometria	%Fe	Estructura
Γ	$\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$	24-27.7	BCC
Γ_1	$\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$	16.6-21.2	FCC
δ	FeZn_{10}	7.0-11.5	hexagonal
ζ	FeZn_{13}	5.1-6.1	monoclinic
η	Zn	0	HCP

Fuente: (Long, Haynes, & Hodgson, 2004)

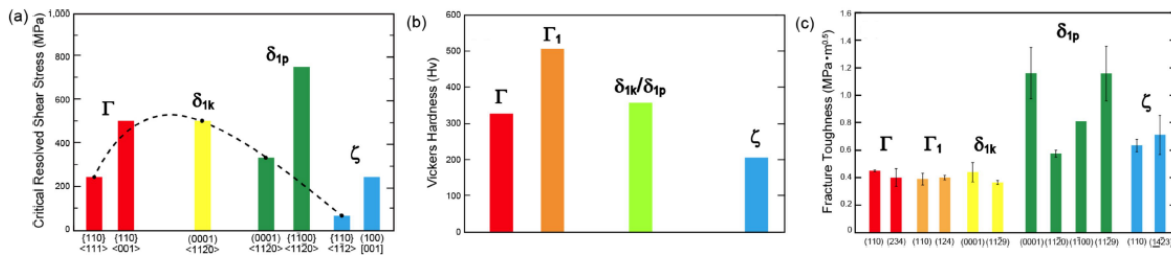


Figura 6. Esfuerzo crítico, dureza HV y resistencia a la fractura de las fases presentes en el recubrimiento de galvanneal. Fuente: (Inui, Okamoto, & Yamaguchi, 2018)

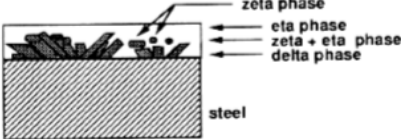
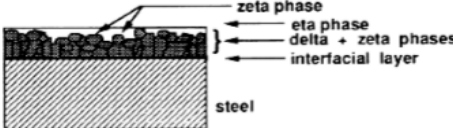
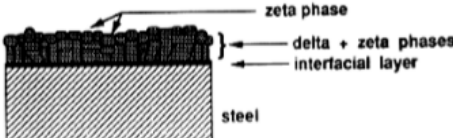
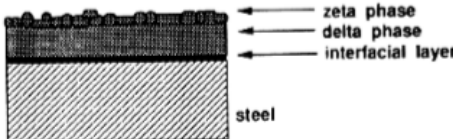
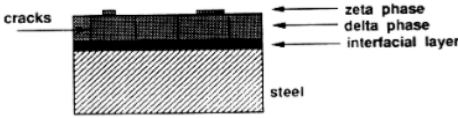
La formación de estas nuevas fases conlleva al estudio de la cinética de formación, la cual depende de los parámetros del proceso, temperatura y tiempo de permanencia. Aunado, esta formación se encuentra determinada por dos procesos: la interrupción de la capa de inhibición y la reacción Fe-Zn, donde ambos ocurren en la intercara acero/recubrimiento, por lo que son influenciados por el estado superficial de la lámina (Fernández Carbajal, 2005). La calidad de la superficie va a depender del estado de oxidación, de la composición del acero y de la temperatura del recocido. Esta cinética se observa a través de la Tabla 2.

Variables del proceso de galvanneal a tomar en cuenta.

Uno de los factores más importantes dentro del procedimiento del galvanneal es el control de los parámetros. Principalmente destacan la temperatura y tiempo de permanencia en el horno de recocido. Al incrementar la temperatura del horno de galvanneal se producen variaciones del contenido de Fe en el recubrimiento, en la composición de las fases, además de la influencia en el grado de powdering del recubrimiento (Campos Garza, 2001). Este último se refiere a la formación de hojuelas y posteriormente a la pérdida de recubrimiento.

Tabla 2.

Cinética de formación de las fases del galvanneal.

TIEMPO	FORMACION	CARACTERISTICAS
t ₁		En esta etapa, la capa de inhibición producida por el Al se rompe, debido a la aparición de los estallidos de la nucleación inicial de la fase zeta, la cual tiene lugar en la interfaz del recubrimiento/sustrato.
t ₂		La fase delta crece con un patrón columnar. Los Núcleos de fase Zeta se deben a la sobresaturación de hierro en la fase líquida de cinc.
t ₃		La fase Zeta es empujada a la superficie por la fase delta y también se forma la fase gamma en la interfaz de recubrimiento / sustrato debido a la sobresaturación de hierro en fase delta.
t ₄		La fase delta continúa creciendo hacia la superficie y consume la fase zeta. La capa gamma está presente en la microestructura con un espesor constante.
t ₅		La fase delta alcanza la interfaz de recubrimiento/ambiente y la fase gamma continuará creciendo a expensas de la fase delta/sustrato. El crecimiento en estado sólido de la capa gamma puede atribuirse a la mayor cantidad de hierro presente en la interfaz acero/recubrimiento. Pueden aparecer grietas en la microestructura.

Fuente: (ASGARI MOSLEHABADI, 2012)

La conjunción de estas variables incrementan el powdering dentro el revestimiento por lo que no es factible en otros subprocesos posteriores al tratamiento térmico. Esto trae como consecuencia que el control de los parámetros debe realizarse de manera efectiva. En la Figura 7 se detalla la influencia del tiempo de permanencia en el proceso galvanneal a una temperatura de 450°C.

De la misma forma se destaca que el incremento de la temperatura aumenta el contenido de Fe dentro del recubrimiento, tal como se describe en la Figura 8. A mayor temperatura, el proceso de difusión de los átomos de Fe hacia el recubrimiento de Zn es mayor, lo cual también produce movimientos de los átomos de Zn hacia el sustrato del acero. Con ello se forma las fases ricas en Fe del recubrimiento de Zn. Así como también, la temperatura juega un papel importante en el tamaño de los cristales que se encuentra en la superficie, el cual se

visualiza en la Figura 9. Los átomos de Zn se difunden hacia el sustrato de la lámina de acero por lo que los tamaños de los cristales disminuyen.

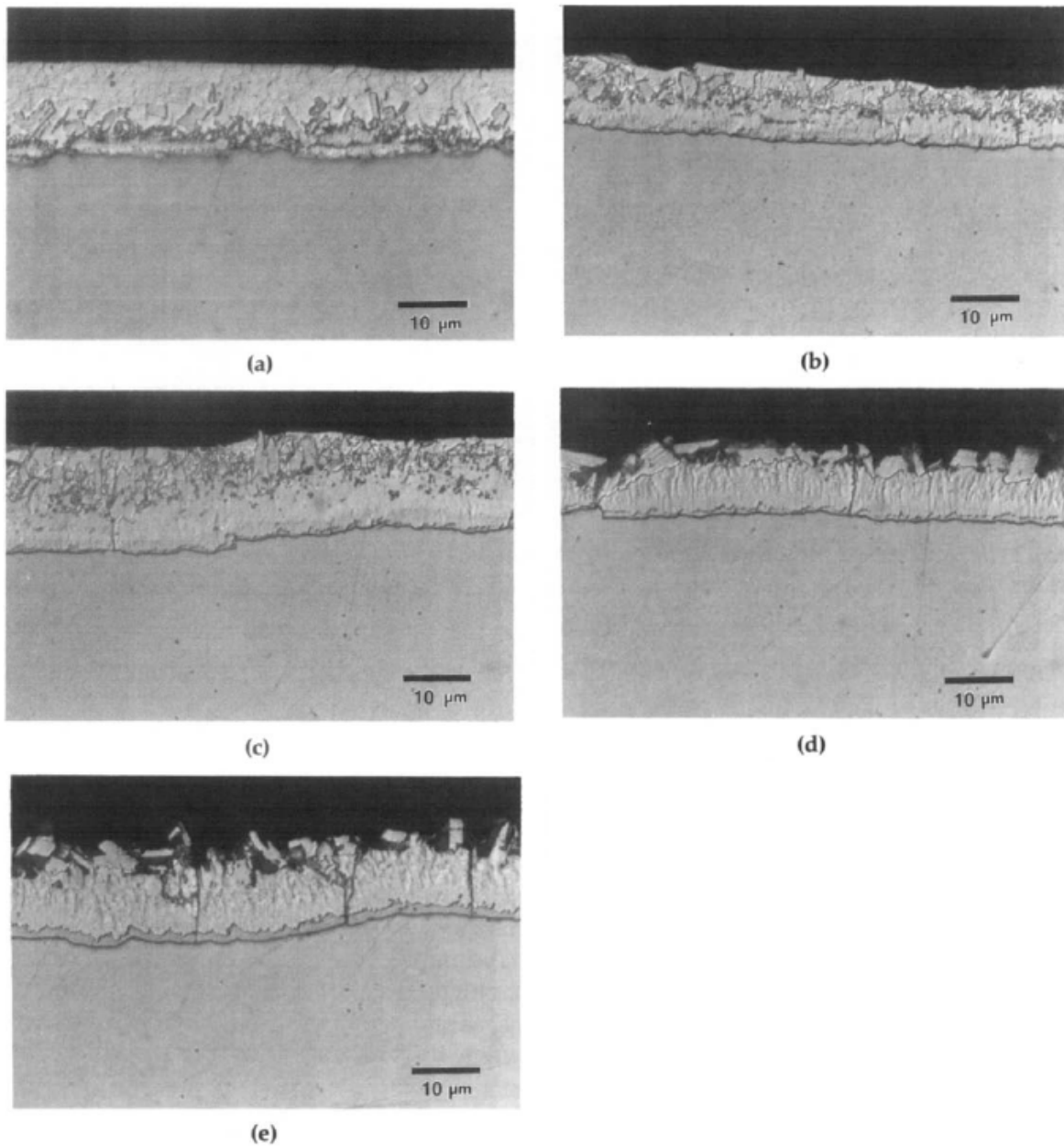


Figura 7. Influencia del tiempo de permanencia en el proceso galvanneal a una temperatura de 450°C. (a) A 1seg, (b) a 5seg, (c) a 10seg, (d) a 20seg, (e) a 60seg de permanencia, respectivamente. Fuente: (Jordan, Goggins, Benscoter, & Marder, 1993)

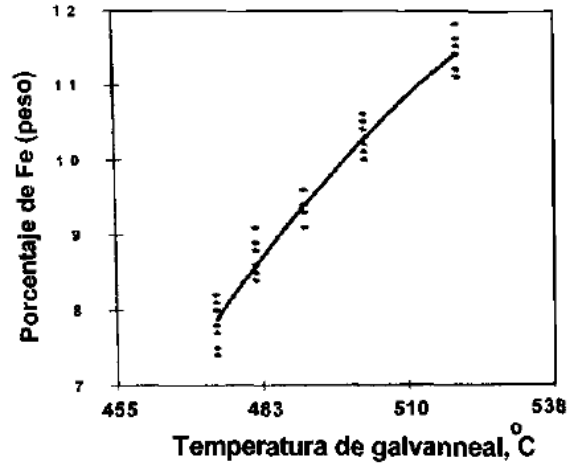


Figura 8. Efecto de la temperatura de galvanneal en función del %Fe. Fuente: (Campos Garza, 2001)

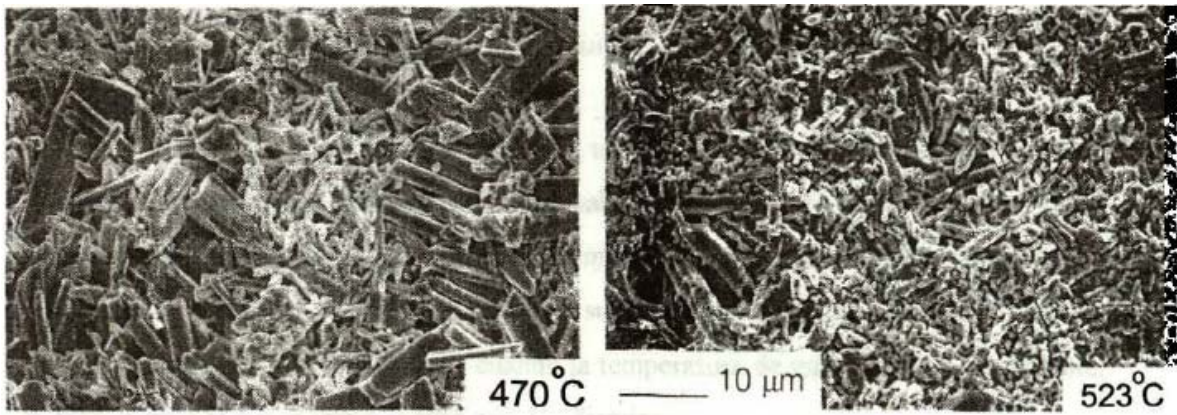


Figura 9. Efecto de la temperatura sobre el tamaño de los cristales de Fe-Zn de la superficie. Fuente: (Campos Garza, 2001)

Influencia de los parámetros en los procesos de conformado y resistencia a la corrosión.

Una de las aplicaciones que deben tener los aceros con recubrimiento galvanneal es la utilización de productos en el área automotriz por lo que se requiere un proceso e conformado posterior, así como también que dichos productos tengan una resistencia elevada a la corrosión. El control de los parámetros del proceso de recocido es fundamental para obtener una eficiencia en los productos sometidos a estas dos circunstancias.

Ahora, existe una consideración importante dentro del proceso de conformado que es la aparición del powdering. Esta pérdida del recubrimiento juega un factor importante. Si la temperatura o el tiempo del galvanneal son muy altos, la fase ζ disminuye, pero la fase Γ frágil se vuelve más gruesa, lo que puede causar la formación de powdering en el recubrimiento (Sriram, Krishnardula, & Hahn, 2018). Este powdering se puede detallar en la Figura 10.

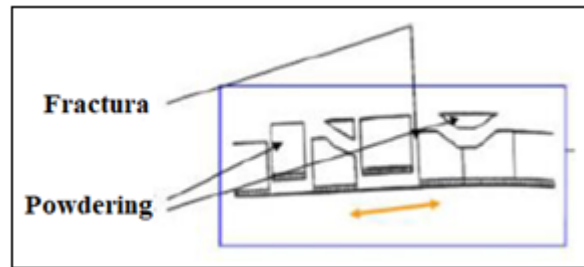


Figura 10. Powdering en el recubrimiento galvanneal. Fuente: (Goodwin, 2013)

Este powdering es una de las principales causas de problemas en el proceso de conformado, debido a la dificultad que puedan desempeñar las presiones de trabajo sobre dicha lámina. Esto es debido a que estas partículas son más pequeñas que el recubrimiento, por lo que se acumula en los troqueles y contribuye a las dificultades de estampado, esto ha sugerido que la composición de fases afecta el powdering durante la formación del metal (Long et al, 2004).

Si las fuerzas de fricción entre el galvanneal y las herramientas son demasiado grandes, el revestimiento se rasgará durante el estampado, esto hace que dichas fuerzas estén relacionadas tanto con la microestructura de la superficie como con la rugosidad de la superficie. Aunado a que dentro de los procesos de conformado existen condiciones de tribología del sistema, es decir una lubricación eficiente del proceso. Es decir, la composición de fase de la superficie puede influir en la dureza y rugosidad de la superficie, y la cantidad de powdering puede absorber lubricantes en el proceso de estampado (Long et al, 2004).

En otras palabras, la tribología juega un papel importante. La lubricación previa a la formación disminuye considerablemente los efectos del powdering, donde la reducción es más dramática en el caso del recubrimiento con alto contenido de hierro; por lo cual, la

cantidad de polvo puede reducirse aún más mediante el uso de un lubricante efectivo durante la formación del metal (Long et al, 2004).

Es decir, la relación del Fe-Zn dentro de las fases del recubrimiento juega un papel importante y por lo cual también se destaca en la resistencia a la corrosión que deben tener las láminas de acero con recubrimiento galvanneal. El potencial de corrosión del recubrimiento galvanneal se basa en el potencial de equilibrio de Fe y Zn. La forma de cambio del potencial de corrosión y la tasa de corrosión de la aleación de zinc es muy compleja en el revestimiento galvanizado, no solo está influenciada por el contenido de Fe, sino también por la fase intermetálica y la morfología de la aleación (Yuan & Zhang, 2017).

Tanto, la temperatura como el tiempo de permanencia en el horno de recocido juega un papel importante en la resistencia a la corrosión. La resistencia a la corrosión del recubrimiento galvanizado se volvió excelente, junto con el aumento de la temperatura del galvanneal (Yuan & Zhang, 2017). En otras palabras, el aumento de Fe en el recubrimiento incrementa la resistencia a la corrosión.

Discusión y conclusiones

Una de las desventajas que puede tener el acero en ambientes severos es la corrosión inminente que sufre. Esto permite una disminución de la vida útil de la pieza, peor aún que puede conllevar a una fractura inminente y con gravedad en situaciones de riesgo en el bienestar de la sociedad. La afinidad del hierro en presencia de oxígeno o de ácidos incrementa la posibilidad de oxidación de la superficie produciendo picaduras que se convierten en concentradores de tensiones. De esta situación, recae las diversas técnicas que buscan proteger al acero de estos ambientes drásticos.

Una de esas técnicas es el proceso de galvanización. Este proceso produce un recubrimiento de zinc sobre la superficie de acero para que el ambiente no influya en el último, permitiendo que el zinc sea el elemento de sacrificio. Existen dos formas de realizar la galvanización, una es a través de la inmersión en caliente en un baño de zinc a 450°C previo procesos de limpieza

y decapado, y el otro la electrodeposición. La galvanización por inmersión en caliente produce unos espesores de recubrimiento mayores a los de electrodeposición, por lo que la garantía ante posibles rayaduras posteriores es mayor.

Este proceso de galvanización por inmersión en caliente, no solo ayuda a incrementar la resistencia a la corrosión, sino que también ofrece buen comportamiento mecánico y excelente soldabilidad. A pesar de estas características y propiedades, las investigaciones han determinado que una modificación en la morfología del recubrimiento ayuda a incrementar estas fortalezas. Aquí aparece el proceso de galvanneal.

Este proceso consta de la aplicación de un tratamiento térmico de recocido a la lámina galvanizada permitiendo que los átomos de hierro que están en el sustrato del acero difundan hacia el recubrimiento de zinc y viceversa. Esto crea nuevas fases que estarán relacionadas con la cantidad de hierro presente en ellas y por el cual permitirán modificar las propiedades del material. Para poder cumplir con estas condiciones es necesario poder controlar los parámetros del proceso, la temperatura y tiempo de permanencia en el horno.

Las fases presentes dentro del horno son la fase Γ que tiene mayor contenido de hierro por estar ubicada en la intercara entre el recubrimiento y la lámina de acero, luego está la fase δ por el cual se rigen las propiedades del recubrimiento y por último está la fase ζ que se encuentra en la superficie y por ende tienen menor cantidad de hierro presente. El control de estas fases está relacionado a las variables del proceso. Estas a su vez rigen el desempeño en la conformabilidad y resistencia a la corrosión de la lámina de acero con recubrimiento galvanneal.

El incremento de la temperatura hace incrementar el powdering, el cual significa un desprendimiento del recubrimiento, produciendo que al momento del conformado dicho polvo pueda ofrecer resistencia a las presiones otorgando posibles defectos en la superficie. Contrarrestando esta limitante, se encuentra que al aumentar la temperatura aumenta la resistencia a la corrosión de la lámina. Para ambas situaciones, el incremento de temperatura y tiempo de permanencia incrementa el porcentaje de hierro dentro del recubrimiento y por ende la modificación en las condiciones y propiedades de las piezas con recubrimiento galvanneal.

Referencias

- ACESCO. (2000). *Manual técnico del Acero Galvanizado*. Acerías de Colombia. S. A.
- AGA. (1996). *Galvanización en Caliente para la Protección contra la Corrosión de los Productos de Acero*. AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION. .
- ASGARI MOSLEHABADI, H. (2012). *GALVANNEALING OF DUAL PHASE STEELS* . Trabajo de grado para optar Magister en Ciencias Aplicadas de la McMaster University .
- Campos Garza, C. A. (2001). *Variables que afectan las propiedades de soldabilidad e integridad del recubrimiento de Galvanneal en un acero IF*. San Nicolas de los Garza, México: Trabajo de Grado - Universidad Autonoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Obtenido de <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/3803/17392.pdf?sequence=1>
- CEMESA. (2014). *Galvanizado por inmersión en caliente*. San José, Costa Rica.: Cemesa Galvanizadora.
- Cortés, M., & Ortiz, P. (2004). *Corrosión en los aceros*. Bucaramanga, Santander, Colombia: Corporación para la Investigación de la Corrosión CIC. Universidad Industrial de Santander.
- Fernández Álvarez, B. (2004). *DOUBLE DIP. EL NUEVO PROCESO DE GALVANIZACIÓN PARA SISTEMAS DE BANDEJA PORTACABLES DE OBO BETTERMANN*. OBO Bettermann.
- Fernández Carbajal, D. A. (2005). *Soldadura de aceros complejos termogalvanizados*. Nuevo León , México: Trabajo de Grado - Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Goodwin, F. (2013). Developments in the production of galvanized steel for automotive. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 1-7.
- Inui, H., Okamoto, N. L., & Yamaguchi, S. (2018). Crystal Structures and Mechanical Properties of Fe–Zn Intermetallic Compounds Formed in the Coating Layer of Galvanized Steels. *ISIJ International*, *ISIJINT-2018.*, 1-12. Obtenido de https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational/advpub/0/advpub_ISIJINT-2018-066/_pdf/-char/ja
- Jordan, C. E., Goggins, K. M., Benschoter, A. O., & Marder, A. R. (1993). Metallographic preparation technique for hot-dip galvanized and galvanized coatings on steel. *Materials characterization*, *31*(2), 107-114. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Leandro_Bengoa/post/How_to_measure_the_thickness_of_coating_material_after_coating/attachment/59d63f32c49f478072ea981d/AS:273776644689920@1442284846164/download/MARDER.pdf

- LATIZA. (2013). *GALVANIZADO GENERAL POR INMERSIÓN EN CALIENTE*. Lima, Perú: ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE ZINC - LATIZA.
- Long, J., Haynes, D. A., & Hodgson, P. (2004). Characterisation of galvaneal coatings on strip steel. *In Materials forum (Vol. 27)*. IMEA., 62-67. Obtenido de <http://dro.deakin.edu.au/eserv/DU:30002639/hodgson-characterisationofgalvaneal-2004.pdf>
- Recio Cortés, F. J. (2010). *CORROSIÓN DE ACEROS INOXIDABLES Y GALVANIZADOS DE ALTA RESISTENCIA, COMO ALTERNATIVA A LOS ACEROS CONVENCIONALES DE PRETENSADO*. Trabajo presentado con tesis de doctorado de la UAM.
- Rico Oviedo, Y. (2012). ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE, SOBRE ACEROS. *REDIP. UNEXPO. VRB. Venezuela, 2(5)*, 368-378.
- Sriram, S., Krishnardula, V., & Hahn, H. (2018). Influence of Delta Phase Morphology in Galvanealed Coated Steels on Formability. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 418, No. 1)* (págs. 1-8). IOP Publishing. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/418/1/012094/pdf>
- Vazquez Becerra, S. A. (2018). *Efecto del procesamiento industrial en el conformado mecánico de recubrimientos galvaneal*. SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO: Trabajo de Grado - Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Yuan, X., & Zhang, Q. (2017). Study on the Corrosion Resistance of Galvanealed Coatings on Different Alloying Parameters. *Advances in Engineering Research (AER), volume 102* (págs. 358-363). Second International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering (ICMMSE 2017).