



EXPERIENCIAS CON EL EMPLEO DEL Zn Y ALEACIONES Zn-Al EN LA ENSEÑANZA DE MATERIALES Y MANUFACTURA

Arturo Barba-Pingarrón¹, Jesús Rafael González Parra², Alba Covelo Villar³, Raúl Gilberto Valdez Navarro⁴, Esperanza Elizabeth Martínez Flores⁵, Miguel Angel Hernández Gallegos⁶, José María Cabrera Marrero⁷ y Gabriel Jorge Torres Villaseñor⁸

Resumen

En este trabajo se reúnen una serie de actividades experimentales que se han generado, usando al Zinc y a las aleaciones Zn-Al como recurso didáctico para la enseñanza de materias del campo de los Materiales, de la Manufactura y de la Ingeniería de Superficies. Se proponen, asimismo, experiencias que se pueden incluir en el futuro y se presenta un análisis de las ventajas y limitaciones de la utilización didáctica del zinc y las aleaciones Zn-Al, todo esto como una alternativa atractiva para mejorar los resultados del proceso enseñanza-aprendizaje de estas asignaturas. Entre las ventajas de estos recursos conviene señalar que el procesamiento ocurre a temperaturas mucho menores de las convencionalmente empleadas con aceros y que se puede tener una gama de opciones adicionales para la enseñanza de procesos novedosos.

Palabras clave

Enseñanza de Materiales, Enseñanza de Manufactura, Actividades Experimentales, Zn y Aleaciones Zn-Al

Experimental activities using Zn and Zn-Al alloys for teaching of materials engineering and manufacturing processes

Abstract

In this work, a series of experimental activities that have been generated using Zinc and Zn-Al alloys, as a didactic resource for teaching in the field of Science, Engineering or Materials Technology; of the Manufacturing Processes and Surface Engineering areas. We also propose experiences that can be included in the future, and, finally, we present an analysis of the advantages and limitations of the use of zinc and Zn-Al alloys, which are abundant and underused resources in our countries, as an attractive alternative to improve the results of the teaching-learning process in these subjects. Among the advantages of these resources, it is important to point out that the processing occurs at temperatures much lower than those conventionally used with steels and that there is a range of additional options for teaching different processes.

Keywords

Teaching of Materials Engineering, Teaching of Manufacturing Processes, Experimental Activities, Zn and Zn-Al Alloys

¹ Coordinador del Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA). Facultad de Ingeniería. UNAM.

² Estudiante de Doctorado y Profesor de asignatura de CENISA. Facultad de Ingeniería. UNAM.

³ Profesora investigadora de CENISA. Facultad de Ingeniería. UNAM.

⁴ Profesor Investigador de CENISA. Facultad de Ingeniería. UNAM.

⁵ Coordinadora del Posgrado, Instituto de Metalurgia. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

⁶ Secretario de CENISA. Facultad de Ingeniería. UNAM.

⁷ Profesor Investigador de la Universidad Politécnica de Cataluña, España.

⁸ Investigador Emérito del Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

Introducción

La enseñanza de temas de Materiales, Manufactura e Ingeniería de Superficies a estudiantes de carreras de ingeniería constituye todo un reto, en muchos sentidos. En primera instancia, el limitado tiempo con el que se cuenta para impartir todos los temas incluidos en los programas de los cursos. Otro aspecto está en el reto de incluir los constantes avances en la generación y mejora de materiales, además de la aparición de tecnologías de manufactura alternativas para procesarlos, con problemáticas adicionales ligadas con circunstancias y entornos cambiantes. Piénsese por ejemplo, en la acuciante necesidad de promover métodos de procesamiento de materiales que sean más amigables con el medio ambiente, además de establecer sistemas de reprocesamiento y reciclado de materiales, o bien considérese el tratamiento de efluentes de diversas industrias que procesan materiales o la aparición de técnicas de manufactura aditiva. Todas estas temáticas se están integrando, aún sea, poco a poco, en los planes de estudio de las carreras de ingeniería.

Durante muchos años, en la mayoría de las instituciones universitarias, se han utilizado aceros al carbono como material de trabajo para la enseñanza práctica de un buen número de procesos, fenómenos y comportamientos que experimentan los materiales metálicos. El uso de esta aleación se debe fundamentalmente a su bajo costo y amplia disponibilidad. Con menos frecuencia se emplean aceros aleados, aleaciones de cobre o aleaciones de aluminio. El uso de estas aleaciones en las sesiones prácticas conlleva, en muchos casos, la necesidad de alcanzar altas temperaturas y en muchas ocasiones, procesos que toman tiempos largos, además de cargas elevadas para conseguir conformarlos. Todos estos han sido motivos suficientes para que, en más de una ocasión, se opte por abandonar la realización de estas experiencias o se ejecuten de modo incompleto.

Piénsese como ejemplo, que se propone una práctica que usase el tratamiento termoquímico de carburización. Ello implica usar tiempos del orden de 10 a 12 horas a temperaturas de rango de 850 a 950°C. Estos tiempos y condiciones experimentales son difíciles de lograr en muchos laboratorios de entidades universitarias. Se propone, en cambio, en este trabajo hacer uso de metales como el zinc y aleaciones del sistema Zn-Al para obtener alternativas que proporcionen condiciones de trabajo experimental más accesibles, que colaboren a una mayor comprensión de algunos temas de los cursos, además del incentivo que significa el uso de un elemento de costo razonable y disponible en un buen número de países iberoamericanos. El zinc es un material valioso, principalmente por sus cualidades protectoras contra la corrosión, especialmente la corrosión atmosférica. Esto se ha ampliado en los últimos años con el desarrollo de diversas aleaciones, como las del sistema Zn-Al y de sus métodos de procesamiento.

A partir de estos desarrollos, este trabajo muestra un grupo de experiencias ligadas a la enseñanza práctica de temas de Materiales, Manufactura e Ingeniería de Superficies a estudiantes de ingeniería. En concreto, se describen el uso del zinc y las aleaciones Zn-Al en la enseñanza de diversos procesos tales como la fundición, el conformado mecánico o la elaboración de materiales compuestos. Asimismo, se relatan las aplicaciones en la enseñanza de temas de cursos de Materiales tales como difusión, diagramas de fase o tratamientos térmicos. Se hace también una descripción de las experiencias del uso de zinc y sus aleaciones en la enseñanza de tecnologías de la Ingeniería de Superficies. A través de estas descripciones se plantean, asimismo, diversas ventajas del uso didáctico del zinc y las aleaciones Zn-Al.

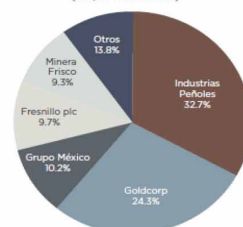
Algunos datos de la producción del Zinc en México como muestra de su presencia, se presentan en las figuras 1 y 2

Lugar	Unidad	Empresa	Estado	Miles de tons.
1º	Peñasquito	Goldcorp	Zac.	176.36
2º	Velardeña	Industrias Peñoles	Dgo.	80.54
3º	Francisco I. Madero	Industrias Peñoles	Zac.	42.61
4º	Bismark	Industrias Peñoles	Chih.	41.24
5º	Tizapa	Industrias Peñoles	Edo. Méx.	41.00
6º	Santa Bárbara	Grupo México	Chih.	32.63
7º	Asientos	MF	Ags.	30.23
8º	Charcas	Grupo México	S.L.P.	26.88
9º	Zimapán	Carrizal Mining	Hgo.	24.62
10º	San Francisco del Oro	MF	Chih.	22.25
		Total		518.34

Fuente: Información pública de las empresas.
Código: Cusumen. Por estado, Zacatecas concentra siendo el más importante en la producción de zinc, al representar 43% del total nacional en 2015.

Figure 1. Principales minas productoras de Zinc en México. [1]

PARTICIPACIÓN EN LA PRODUCCIÓN MINERA DE ZINC EN MÉXICO POR COMPAÑÍA EN 2017 (671,444 Toneladas)



Fuente: Peñoles, informes públicos de las empresas, INEGI y estimaciones propias.

Figura 2. Distribución de la producción de Zinc en México [2]

El Zinc es un metal en el que México es uno de los principales productores a nivel internacional. Según un reporte [1], la producción de Zinc en el país registró un aumento de 390,000 a 550,000 toneladas anuales, ubicándose entre el 6º y 7º lugar mundial. Una parte relevante de esta producción se vende en forma de concentrado y por tanto, uno de los retos es el de aumentar su producción y aplicaciones, en forma de metal o aleaciones. Entre algunas de sus ventajas se pueden mencionar su baja temperatura de fusión y su capacidad para proteger contra la corrosión atmosférica a través, principalmente, del galvanizado por inmersión en caliente, aplicación en la que se consume aproximadamente la mitad del zinc producido. En la UNAM y otras instituciones educativas se han hecho esfuerzos por desarrollar aleaciones de zinc y quizá el caso más conocido es el de las aleaciones Zinalco. El nombre Zinalco es un nombre que cubre una variedad de aleaciones, desarrolladas en la UNAM, basadas en zinc. Las aleaciones Zinalco son aleaciones que presentan porcentajes de aluminio de alrededor de 20% y bajos contenidos de cobre (máximo 2%). Las aleaciones se han caracterizado en cuanto a su microestructura y propiedades, al tiempo que se han desarrollado diversas tecnologías de proceso, tales como fundición, laminación ó extrusión. Las aleaciones Zinalco presentan mayores niveles de resistencia mecánica (del orden de 300 a 350 MPa) que el Al, con una densidad (5.4 g/cm³), intermedia entre la del Al (2.7 g/cm³) y la del acero (7.8 g/cm³). La fusión de estas aleaciones resulta más sencilla y si se aplica un tratamiento termomecánico apropiado, se puede conseguir una respuesta superplástica del material, a temperaturas del orden de 250-300°C. Pueden ser extruidas, laminadas ó forjadas, cambiando así la idea de que las aleaciones de Zn son útiles sólo en fundición. Se han realizado estudios sobre la resistencia a la corrosión de las aleaciones Zinalco, por ejemplo [4]. Genescá y Uruchurtu [4] opinan que las aleaciones presentan una apropiada resistencia a la corrosión, dada la posible formación de un óxido protector.

Tomando en cuenta lo anteriormente descrito, desde hace algunos años, se han venido utilizando el Zn y aleaciones Zn-Al en varias actividades experimentales de enseñanza y a continuación se describen los resultados más relevantes conseguidos, en el proceso enseñanza-aprendizaje, al cabo de ese tiempo.

Experiencias de aplicación del Zinc en la enseñanza práctica de materiales

(a) Difusión de zinc en aleaciones de cobre y su aplicación a la enseñanza

A partir de la realización de algunas experiencias previas, se diseñó y elaboró una práctica en la que aleaciones de cobre se colocan en un contenedor apropiado, se rodean de polvo de Zn puro y al cabo de 2 y hasta 8 horas a 400°C, se extraen las probetas, usualmente de latón y/o de bronce, ya revestidas [5,6]. Las probetas revestidas presentan la ventaja de que el tono grisáceo posterior al tratamiento de las piezas tratadas, permite tener una evidencia visual de como se ha generado, mediante fenómenos de difusión, una zona rica en zinc sobre las aleaciones de cobre. Una segunda característica atractiva de este proceso es el empleo de una temperatura baja y tiempos cortos. En función de si este proceso es utilizado en una práctica cuyo tema sea la difusión o si es el de tratamientos termoquímicos, puede variar la manera de caracterizar las capas obtenidas y su utilización como herramienta didáctica. Dos formas de evaluación recomendables son la microscopía óptica o microscopía electrónica de barrido (MEB) y el ensayo de microdureza.

Según sea el propósito de la práctica y el tiempo disponible, se pueden aplicar ensayos de otro tipo (como desgaste) y resulta recomendable pedir a los alumnos que asocien parámetros del proceso con los resultados de los ensayos y los diagramas de fase correspondientes. Por ejemplo, el espesor de las capas y el tiempo de proceso. Una muestra del aspecto de una pieza revestida por estas técnicas, se puede observar en la figura 3.

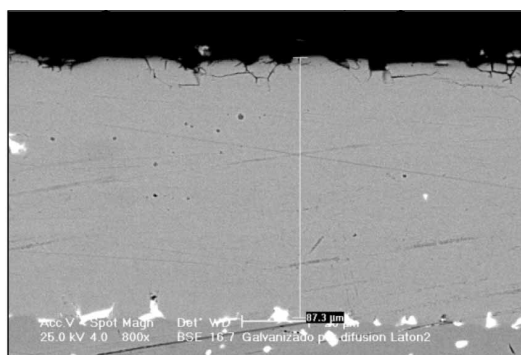


Figura 3. Imagen de microscopía electrónica de barrido de una capa rica en Zinc sobre latón, obtenida mediante difusión de zinc en la aleación de cobre, 8 hrs, 400°C. Electrones retrodispersados. 800 X. [5]

(b) Galvanizado por inmersión en caliente

Una segunda posibilidad de aplicación del zinc en la enseñanza práctica de temas de materiales y manufactura, es la realización del proceso de galvanizado por inmersión en caliente de un acero al carbono. Es importante, en este caso, conocer con profundidad previamente las técnicas de limpieza y preparación de la superficie a emplear que habitualmente incluyen una limpieza alcalina, un decapado y una activación de la superficie con una solución de cloruro de amonio y cloruro de zinc.

En relación con este proceso, en nuestra experiencia, se ha galvanizado acero AISI 1018, empleando temperaturas del orden de 450 - 460°C y tiempos diversos. La observación metalográfica de las capas obtenidas permite a los alumnos verificar que este tipo de proceso produce recubrimientos “graduales”, en cuanto a su composición química, a lo

que se ha añadido la medición de microdureza de las diversas zonas de la capa con lo cual, de nueva cuenta, los estudiantes pueden relacionar las fases presentes con sus propiedades y los fenómenos de difusión que ocurren en el proceso.

Los dos procesos mencionados previamente pueden utilizarse como una forma de que los estudiantes vean claramente qué es la difusión y sus posibles aplicaciones. (Figura 4) [7]

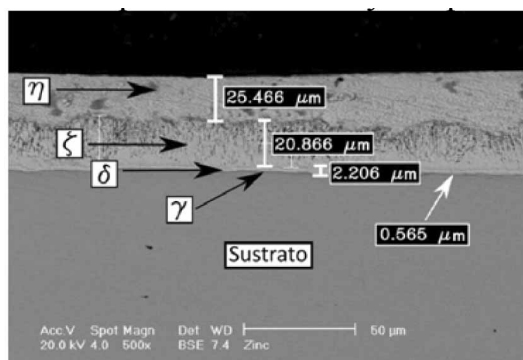


Figura 4. Imagen de microscopía electrónica de barrido de un recubrimiento de Zn sobre acero al carbono AISI 1018, obtenido mediante galvanizado por inmersión en caliente, indicando las diversas zonas del recubrimiento. Electrones retrodispersados. 500 X. [7]

(c) Generación de recubrimientos de zinc mediante técnicas de Proyección Térmica

Una forma alternativa para generar recubrimientos de zinc sobre diversos materiales es el uso de tecnologías de proyección térmica por flama. Esta técnica emplea una pistola que genera, por una combustión de oxígeno-acetileno, una flama. Dicha pistola se puede alimentar con alambre de zinc o de una aleación Zn 85%-Al 15% (en peso), este material se funde y se proyecta con lo que se forma un recubrimiento de este material metálico, que usualmente se emplea con el objetivo de mejorar la resistencia a la corrosión del sustrato.

Una evidencia de la imagen obtenida por esta técnica se puede observar en la figura 5, en la que se presenta el aspecto de una capa de zinc sobre una fundición nodular. La caracterización, para efectos de la práctica, se ha realizado usando técnicas de microscopía óptica y/o electrónica y ensayos de microdureza. [8,9]. La observación mediante microscopía óptica ó electrónica, permite distinguir algunas particularidades y diferencias respecto a otras capas y procesos aplicados para generar capas ricas en Zinc.

Algo digno de mencionar a los estudiantes es que en esta técnica, a diferencia de las dos anteriormente descritas, no se producen, prácticamente, fenómenos de difusión, lo que si ocurre en los dos métodos anteriores. Otra diferencia observable es que en el recubrimiento obtenido por esta técnica, hay evidencias de porosidad y de falta de adherencia. Conviene, si ello es posible, en función del equipamiento disponible, obtener y contrastar la composición química de las capas obtenidas a través de los diferentes métodos empleados.

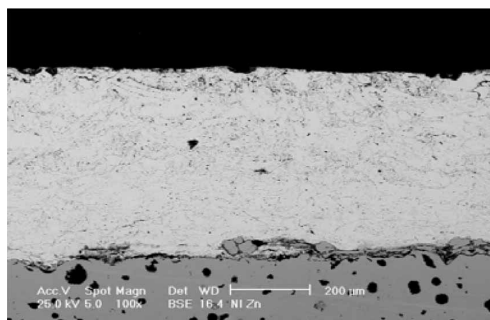


Figura 5. Imagen de microscopía electrónica de barrido de una capa de Zinc sobre fundición nodular, obtenida mediante proyección térmica por flama. Electrones retrodispersados. 100X

Con ello podrá quedar claro para los estudiantes el hecho de que, por ejemplo, esta tecnología produce revestimientos de composición homogénea con una morfología típica de esta clase de técnicas, a diferencia de la composición gradual que se obtiene en procesos como tratamientos termoquímicos o inmersión en caliente.

Otro fenómeno cuya enseñanza se ha hecho más sencilla, por dar un ejemplo más del uso del zinc y sus aleaciones, según nuestra experiencia, es el relacionado con la forma en que se puede obtener una condición de protección catódica con la realización de un experimento simple, uniendo un tornillo galvanizado a un clavo de acero al carbono y sometiendo a este par galvánico a la acción de un medio salino. (Figura 6).

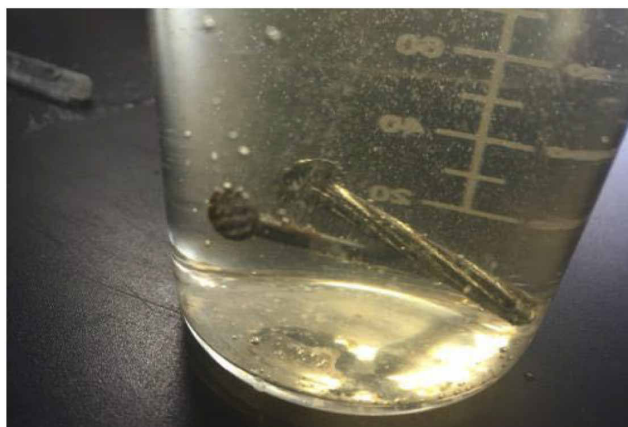


Figura 6. Clavo de acero al carbono unido a clavo galvanizado en presencia de un medio salino. El clavo con la capa rica en zinc, protege al clavo de acero. Ejemplo de un sistema de Protección Catódica

Experiencias de aplicacion de aleaciones del sistema Zn-Al en la enseñanza practica de materiales

(d).- Obtención de capas de aleaciones Zn-Al-Cu por difusión en aceros

De modo semejante a lo que se ha planteado líneas arriba, respecto a la difusión de zinc en aleaciones de Cu, se ha experimentado colocando polvo de la aleación zinalco, rodeando acero de bajo carbono, empleando tiempos de 4 a 8 horas y temperaturas cercanas a 400°C y se han obtenido capas como la mostrada en la figura 7. [10] (zinalquizado por difusión).

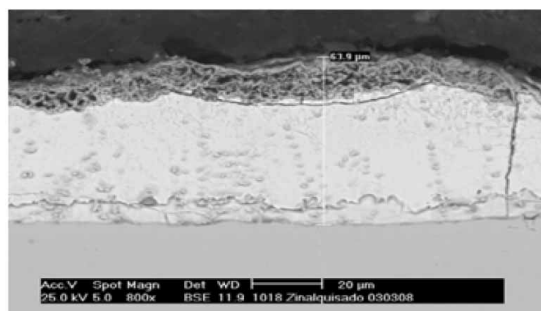


Figura 7. Imagen de microscopia electrónica de barrido de acero de bajo carbono AISI 1018 zinalquizado por difusión, al cabo de 8 horas a 400°C. [10]. 800 X. Electrones retrodispersados.

Este proceso puede formar parte de una práctica sobre tratamientos termoquímicos y permitiría contrastar lo obtenido respecto al proceso de difusión de Zn sobre aleaciones de Cu o utilizarse por separado. Un detalle a resaltar es que estos revestimientos presentan

dos zonas características. Una externa, rica en Al, oscura, con alguna porosidad y una zona interna, rica en Zn, más compacta, de tono claro. Se puede explicar a los estudiantes que esto está asociado con la intensa difusión del Al hacia el exterior. El proceso de preparación de la superficie es semejante al empleado para el caso de la difusión de Zn en las aleaciones de cobre. Nuevamente se percibe el carácter gradual de la composición química, facilitando de este modo la comprensión del proceso y de los mecanismos que operan en esta clase de tecnologías.

(e) Obtención de recubrimientos Zn-Al por inmersión en caliente de aceros

De manera similar al galvanizado por inmersión en caliente, se ha generado y se lleva a cabo el proceso de obtención de recubrimientos Zn-Al, por inmersión en caliente. Los procedimientos de preparación superficial son los mismos en ambos casos [11,12]. Se usa una aleación Zn-Al-Cu fundida para producir un revestimiento como el mostrado en la figura 8. La imagen permite resaltar ciertas características de este recubrimiento que son importantes para hacerse notar a los estudiantes.

En primera instancia, en la capa existen, dado su carácter gradual, diversas zonas desde el exterior, que se modifican a medida que se desplaza hacia el sustrato, pero, adicionalmente, en las diversas regiones queda clara la presencia de dos fases, una rica en Zn -la clara- y la otra, rica en Al, la oscura, lo que se recomienda comentar con los alumnos.

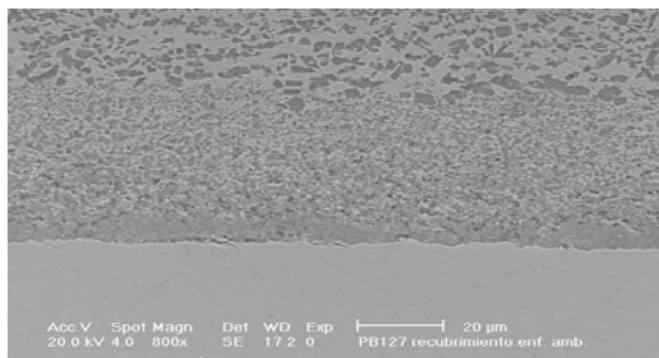


Figura 8. Imagen de microscopía electrónica de barrido de la capa de aleaciones Zn-Al por inmersión en caliente de acero 1018. Imagen de electrones secundarios. 800X [11].

(f) Elaboración de Materiales compuestos de matriz metálica con matriz Zn-Al

Se pueden mejorar las propiedades de las aleaciones Zn-Al si se elaboran materiales compuestos con matriz Zn-Al usando técnicas de metalurgia de polvos [13, 14]. Es posible diseñar una práctica en la que los alumnos puedan usar Zn-Al en polvo como matriz metálica y preparar compuestos usando partículas cerámicas como SiC, grafito o algunos compuestos intermetálicos. El sistema de compactación es muy simple y las temperaturas de trabajo van de los 200 a los 300°C. Los alumnos pueden variar la cantidad y tipo de refuerzo, la temperatura de compactación y evaluar propiedades como la dureza del material lo que les permitirá entender la relación entre parámetros de procesamiento y propiedades mecánicas (figura 9).

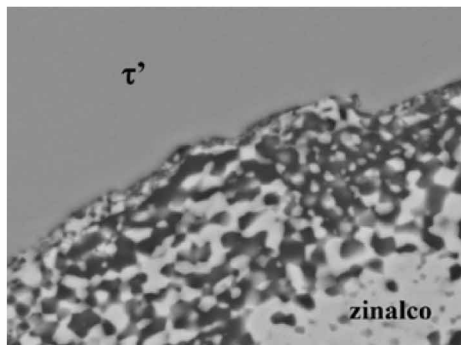


Figura 9. (a) Equipo de compactación de materiales compuestos usando técnicas de metalurgia de polvos. (b) En la micrografía se observa el detalle de la interfase entre el Zinalco y una partícula del intermetálico τ' del sistema ternario Cu-Al-Zn [13,14]

(g) Aplicaciones Didácticas asociadas al comportamiento mecánico

Aunque el zinc por sí sólo no tiene gran interés respecto a su comportamiento mecánico, dada su estructura cristalina hexagonal compacta, de limitada ductilidad y resistencia, una variante muy interesante lo constituyen las aleaciones Zn-Al, debido a que pueden presentar un comportamiento superplástico y de ello se genera el hecho de que se pueden derivar aplicaciones muy interesantes para su uso en la enseñanza.

Se han podido efectuar procesos de laminación y de colaminación (con aluminio) aprovechando la elevada plasticidad del sistema Zn-Al, lo que incluso, puede producir una soldadura por difusión [15]. Las láminas obtenidas se pueden recocer para mostrar a los alumnos los cambios que sufre la microestructura tanto por los procesos de conformado mecánico como por los tratamientos térmicos aplicados.

Por otro lado, se pueden planear prácticas en donde se puede mostrar que, al reducir el tamaño de grano de las aleaciones, se modifican las capacidades de deformación de los materiales. Así, se pueden diseñar experiencias en las que los alumnos puedan contrastar diversos comportamientos variando tamaño de grano, temperatura y tipo de procesamiento.

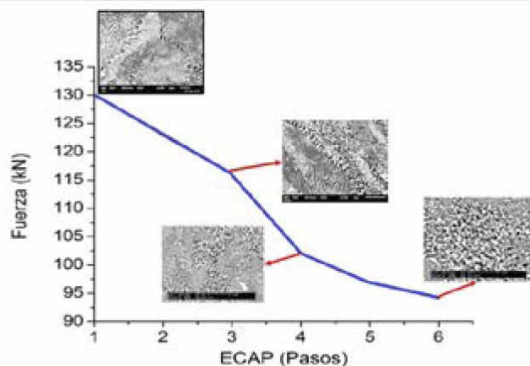


Figura 10. Variación de la carga necesaria para la extrusión en canal angular de una aleación Zn-Al en función del número de pasos de extrusión (ECAP) y de la microestructura de la aleación [18].

En la actualidad se pueden encontrar trabajos que estudian los procesos de deformación plástica severa para lograr el refinamiento de grano de las aleaciones, tales como la extrusión en canal angular constante (ECAP) [16]. En trabajos realizados con las aleaciones Zn-Al se ha logrado, mediante ECAP, un tamaño de grano menor a $1 \mu\text{m}$ [17, 18]. En la figura 10 se puede observar que la carga que se requiere para ECAP de la aleación Zn-Al

con microestructura laminar, es mayor que la necesaria para deformar la aleación con microestructura de granos finos. Con este tamaño de grano podría ser viable que la aleación se pueda deformar superplásticamente, a temperatura ambiente, para fines didácticos.

Una propuesta adicional está asociada con someter probetas de estas aleaciones con microestructura de grano fino, a un ensayo de impacto Charpy para determinar la zona de temperaturas en que se presenta la superplasticidad, lo que permite a los alumnos conocer otra aplicación de este tipo de ensayos.

Otras posibles aplicaciones didácticas del Zinc y las aleaciones Zn-Al

Otro sector donde se recomendaría el empleo del Zn y sus aleaciones, es el de la enseñanza de procesos de fundición [19]. En este sentido, el rango de temperaturas de fusión del zinc y sus aleaciones es muy adecuado para la enseñanza de diversos procesos de fundición. En [19], también se plantea su empleo en la enseñanza de Diagramas de Fase. Una posibilidad adicional es la de realizar otros procesos de conformado mecánico como la extrusión o la forja, de aleaciones Zn-Al. Otra opción para experimentar en un futuro cercano, será la de calentar mediante energía solar concentrada, aleaciones Zn-Al, para posteriormente conformarlas o para generar, incluso, diversos recubrimientos.

Resultados y discusión

Las experiencias que se relatan en los puntos anteriores, aplicadas a la enseñanza de temas de Materiales, Manufactura e Ingeniería de Superficies para estudiantes de ingeniería con Zn y aleaciones Zn-Al, generan una serie de reflexiones

Cabe destacar, por ejemplo, que la baja temperatura de fusión del zinc (419.5°C) y de las aleaciones Zn-Al, es un argumento muy favorable para emplearlas en la enseñanza de temas como difusión, tratamientos termoquímicos o fundición. Al mismo tiempo, sus favorables condiciones de protección contra la corrosión son un eje a partir del cual se puede recomendar su uso para el aprendizaje de temas como los sistemas de protección contra la corrosión, tales como los procesos de proyección térmica, la protección catódica o los procesos por inmersión en caliente.

Por otro lado, el particular comportamiento mecánico de las aleaciones Zn-Al, especialmente por su posible comportamiento superplástico, constituye un punto inicial con un potencial muy interesante para aprovecharlo como opción para complementar la enseñanza de temas tales como la colaminación, los procesos de severa deformación plástica, la soldadura por difusión u otras aplicaciones de los ensayos de impacto Charpy.

Conviene también señalar que un aspecto que aún puede ser motivo de empleo de las aleaciones Zn-Al en enseñanza, es su evaluación tribológica, tema que aún requiere el desarrollo de una propuesta de práctica en la que se pueden integrar conceptos tales como dureza o microestructura resultante del procesamiento metalúrgico, por ejemplo [20].

Es conveniente también señalar que el planteamiento de las experiencias descritas en este trabajo, constituye una invitación para que los profesores experimenten e incorporen sus propias experiencias y para que, a través de la aplicación de sus capacidades creativas, tomando en cuenta el equipamiento disponible en sus instituciones y las características particulares de sus grupos, puedan ir adaptando y enriqueciendo estas propuestas.

Comentarios y reflexiones finales

Al cabo de varios años de venir empleando el Zn y las aleaciones Zn-Al en la enseñanza práctica de varios temas de los cursos de Materiales, Manufactura e Ingeniería de Superficies, conviene realizar una reflexión, en torno a los resultados encontrados.

En primer lugar, conviene destacar que el empleo de estos materiales metálicos constituye una alternativa muy valiosa, en diversos sentidos. Puede mencionarse que permite que los estudiantes conozcan otros materiales y por supuesto otros comportamientos diferentes a los de los aceros. En segundo lugar, se abren posibilidades para poder mostrar a los alumnos fenómenos novedosos como el comportamiento superplástico o bien otros asociados a la severa deformación plástica, observados en las aleaciones con tamaño de grano sub-micrométrico, además de lograr mayor claridad en la enseñanza de temas como difusión y claro está, otro aspecto destacado es que pueden ser una valiosa alternativa para disminuir tiempos y temperaturas respecto a los procesos clásicos que se han venido empleando en la enseñanza de temas como puede ser el de los tratamientos termoquímicos.

A todo lo anterior conviene añadir el hecho de que al impulsar su uso se promueve el mejor aprovechamiento de un metal abundante, que ha sido subempleado y quizá también de esta forma, amén del uso didáctico propio, se pueda colaborar a difundir las bondades de este grupo de materiales y facilitar el desarrollo de nuevas aplicaciones en nuestros países.

Conclusiones

- 1.- El uso del Zinc y sus aleaciones en la enseñanza de temas de Materiales, Manufactura e Ingeniería de Superficies a estudiantes de ingeniería, representa una opción digna de consideración, a través de la cual es posible enriquecer la labor docente y ofrecer a los estudiantes experiencias alternativas, que permiten complementar, de modo atractivo y con resultados visibles, el aprendizaje logrado y conferirles nuevas visiones de fenómenos, transformaciones y procesos que pueden experimentar y aplicarse a los materiales.
- 2.- Algunas de las características que hacen atractivo el empleo didáctico del Zinc y las aleaciones Zn-Al son: (a) La posibilidad de reducir tiempos de procesos y adaptarlos a los tiempos disponibles en cada sesión. (b) La opción de aprovechar las bajas temperaturas de fusión que presentan estos materiales. (c) La elevada y excepcional capacidad de conformación mecánica que puede obtenerse en las aleaciones Zn-Al. (d) La atractiva protección contra la corrosión que son capaces de brindar. (e) Su relativo bajo costo y (f) La posibilidad de mostrar a los estudiantes fenómenos poco comunes cuya enseñanza no siempre es viable en otros materiales, como el comportamiento superplástico.
- 3.- La utilización didáctica del Zinc y las aleaciones Zn-Al es un campo con un amplio potencial para que los docentes puedan enriquecer el proceso enseñanza-aprendizaje, aportando a ello su propia experiencia y su creatividad y adaptándola a sus condiciones concretas de equipamiento e instalaciones en sus instituciones universitarias.

Agradecimientos

Los profesores del Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, agradecen el apoyo recibido de la DGAPA-UNAM, a través del

Proyecto PAPIME100218 “Programa para la Actualización y Mejora de la Enseñanza y Aprendizaje de Temas de Materiales, Manufactura e Ingeniería de Superficies a estudiantes de Ingeniería” y del Proyecto PAPIIT IT101318 “Desarrollo de Tecnologías de Superficie para la Optimización de Componentes y Sistemas”.

Referencias

- [1] United States Geological Survey (USGS). “La producción de zinc en el mundo en 2010”. Mineral Commodity Summaries 2011.
- [2] LATIZA. “Usos del Zinc y sus Aleaciones”. Presentación, 2006.
- [3] Torres G. (1991). “Recopilación de Trabajos de Investigación Realizados sobre Zinalco en el periodo 1979–1990. Instituto de Investigaciones en Materiales. UNAM.
- [4] Genescá J. Uruchurtu J. (1994). “Corrosion resistance of zinalco alloy in sodium chloride solution” Proceedings of the 3rd International Conference on Zn-Al Alloys; 1994. March 29 -30; Torres Villaseñor G, Zhu Y, Piña C, (Eds); :215-218.
- [5] Valdés C. (2010). “Galvanizado por difusión de aleaciones de cobre”. Tesis de Doctorado en Ingeniería. UNAM.
- [6] González R., Valdés C. et al (2019). “Enhancement of Wear Resistance of Copper Alloys Using a Thermochemically obtained Zinc-Rich coating”. Enviado a la Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología.
- [7] Cervantes J, González R, Valdez R. et al (2018). “Influencia de la adición de pequeñas cantidades de Ni a baños de galvanizado por inmersión en caliente, en las propiedades de aceros al carbono galvanizados”. Memorias del XXIV Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM). 178-185.
- [8] Bolarín A, Martínez M, et al (2007). “Desarrollo de recubrimientos protectores para fundiciones nodulares austemperizadas”. Memorias del XIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM, páginas: 489-496. México. ISBN 968 9173
- [9] Martínez M. (2007). “Desarrollo y Caracterización de fundiciones nodulares austemperizadas recubiertas con zinc mediante proyección térmica”. Tesis de Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales, UNAM.
- [10] González R, Sixtos P, Torres G. et al (2019). “Obtención y Caracterización de Revestimientos Zn-Al-Cu sobre acero 1045 mediante empaquetamiento”. Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo. Vol. 6, No 5 (2019) 185 - 192.
- [11] Denova C, Salas J. et al. (2008). “Resistencia al Desgaste de Aceros Zinalquizados por inmersión en caliente” Memorias del XIV Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica. p. 958 – 965.
- [12] Conde A., Dénova C, Espinosa J, et al (2013). “Obtención y caracterización de recubrimientos Zn-Al-Cu por inmersión en caliente sobre aceros de bajo carbono”. *Revista de Metalurgia*. 49 (5), 351-359. doi: <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.133>
- [13] Martínez-Flores E., Torres-Villaseñor G. (2011). Hybrid Materials Based on Zn-Al Alloys, in: J. Cuppoletti (Ed.), Met. Ceram. Polym. Compos. Var. Uses, INTECH, Rijeka, Croatia, 149-170
- [14] Almazán E., Martínez-Flores E., Medina L. (2000). Síntesis y caracterización de materiales compuestos de matriz metálica reforzados con intermetálicos, in: Mem. IV Reun. Int. Mater. Compuestos,; pp. 117–121.

- [15] Cervantes J. et al. (1997) “Obtención de materiales compuestos Zinalco-Aluminio mediante técnicas de laminado conjunto”. Memoria del III Congreso Internacional Anual de la SOMIM. p. 77-81.
- [16] Benito J. et al (2007). Procesos de severa deformación plástica para obtener materiales de grano nanométricos y ultrafinos. *Ingeniería e Investigación*, 27(1), 101-105.
- [17] Cruz D. et al (2017). Evaluation of hardening and softening behaviors in Zn-21Al-2Cu alloy processed by ECAP. *J. Mater. Res. Technol.* 6 329–333.
- [18] Ramírez E. Caracterización de la microestructura de la aleación Zn-21%Al-2%Cu procesada por extrusión en canal angular constante, UASLP. Tesis Maestría 2018.
- [19] Bravo A, Gómez X, Jacobo V., Ortiz A., Ramos E., Romero J. (2017). “Análisis de la solidificación de aleaciones Zn-Al y su uso en la enseñanza de construcción de diagramas de fases binarios”. Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. EM 51- EM57. Cuernavaca, México.
- [20] Babic M, Ninkovic R. (2004) “Zinc-Aluminum Alloys as Tribomaterials”. *Tribology in industry*, Volume 26, No. 1&2, , p. 3 – 7

Recepcion: 21 de junio de 2019 Aprobacion: 19 de agosto de 2019