

CARACTERIZACIÓN DE ALEACIONES NO FERROSAS PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, AERONÁUTICA Y METAL-MECÁNICA.

Frías Jiménez Florencia (1), Moreno Palmerín Joel (2), Márquez Herrera Alfredo (3), Hernández Landaverde Martín Adelaido (4), Jiménez Nieto Adair(4)

¹[Licenciatura en Administración de la Calidad y Productividad, Universidad de Guanajuato] | [f.friasjimenez@ugto.mx]

²[Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [jmoreno@ugto.mx]

³[Ingeniería Mecánica Agrícola, DICIVA, Campus Irapuato, Universidad de Guanajuato] | [amarquez@ugto.mx]

⁴[Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Querétaro] | [martinhernandez@cinvestav.mx]; [adairjn@cinvestav.mx]

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la temperatura de tratamiento térmico sobre el espesor de capa y las propiedades mecánicas (dureza), para una aleación ASTM F75 tratada termoquímicamente por borurización. El seguimiento del trabajo se llevó a cabo a través de la determinación de la microdureza Vickers y mediante microscopio óptico (metalográfico). La investigación se llevó a cabo en dos etapas: durante la primera se desarrolla el tratamiento termoquímico a las temperaturas de 850, 900, 950, 1000, 1050 y 1100°C por un período de 4 h para cada una de ellas. La segunda etapa contempla la preparación y caracterización de las muestras después del tratamiento termoquímico. Los resultados que se obtuvieron de microdureza Vickers registraron cambios con los diferentes valores de temperatura, sin embargo, estos cambios no se consideran significativos. El valor máximo se registró para la temperatura de 900°C con un valor de 2613.8 HV, y un espesor de capa de 9.45 µm. Los resultados de microscopía óptica mostraron que el espesor de capa mayor lo presentó la muestra tratada a 1050°C con un espesor de 51.40 µm. El tratamiento de borizado es un proceso relativamente nuevo que ha encontrado gran aceptación debido a las ventajas que proporciona como son: resistencia al desgaste y elevada dureza en la superficie, respecto a los demás tratamientos termoquímicos existentes. Además es de fácil aplicación para aleaciones ferrosas y no ferrosas, es por ello que surge interés en crear investigación acerca del tema y sus aplicaciones industriales.

The present study has as aim evaluate the effect of temperature of thermal treatment on the thickness of covering and the mechanical properties (hardness), for an alloy ASTM F75 treated thermo-chemically for boring. The follow-up of work is carried out across the determination of micro hardness Vickers and by means of optical microscope (metallographic). The investigation was carried out in two stages: during the first one the thermochemical treatment develops to the temperatures of 850, 900, 950, 1000, 1050 and 1100 °C in a period of 4 h for each of them. The second stage contemplates preparation and characterization of the samples after the thermochemical treatment. The obtained microhardness results do not show a significant increase, however there is a temperature effect on microhardness that is maintained in a range, due to the layer thickness. The maximum value was obtained at 900 °C and was 2613.8 and 9.45 µm layer thickness. The optical microscope results showed that the maximum layer thickness was 51.4 µm at 1050°C. The treatment of bored is a relatively new process that has found a great acceptance due to the advantages that provides like mechanical strength to the wear and high hardness in the surface, with regard to other thermochemical existing treatments. In addition it is of easy application for ferrous and not ferrous alloy, is for it that arises interest to create investigation brings over of topic and his industrial applications.

INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de CoCrMo han sido ampliamente utilizadas como materiales biomédicos en remplazos articulares tales como implantes de cadera, prótesis de rodilla, etc., debido a sus propiedades de resistencia a la fatiga, corrosión y desgaste. Las aleaciones base cobalto han recibido interés en los últimos años debido a la mejora de estas propiedades, las cuales se incrementan a través de tratamientos termoquímicos de borizado [1]. Estas ventajas han logrado que dichas aleaciones sean utilizadas en alabes de turbinas de gas, boquillas, herramientas para el moldeo por inyección de piezas de plástico, por mencionar algunas [2].

El proceso de borizado ha sido utilizado para modificar la superficie de la aleación base cobalto, dentro de las cuales destaca la aleación ASTM F75 (CoCrMo), donde los átomos de boro difunden hacia el interior del material formando boruros de cobalto. Esto hace que las propiedades del material se modifiquen de manera superficial sin afectar las propiedades internas. El espesor de la capa de borizado depende directamente de la temperatura de tratamiento y tiempo de exposición [1].

Tratamiento de Borizado.

- *Marco histórico*

La historia del borurado comienza en el año de 1895 cuando H. Moissan sugirió que los aceros podrían ser borurados. Posteriormente, en Rusia se llevó a cabo la primera aplicación de un tratamiento de difusión de boro empleado en maquinaria de perforación de pozos profundos. Actualmente, es posible producir boruros en la superficie de diferentes aleaciones ferrosas y no ferrosas mediante el empleo de diversas técnicas [3]. La borurización ha sido implementada en México a partir del año de 1997 [4], los primeros aceros endurecidos mediante este método fueron aceros comerciales con fines para herramientas de corte, maquinaria, construcción e industria alimenticia [5].

- *Características Importantes*

El tratamiento termoquímico es básicamente un proceso difusivo, lo que significa que promueve la generación de una capa superficial que oscila de unas pocas a cientos de micras de espesor. El proceso de borizado se usa con el propósito de aumentar la resistencia al desgaste y abrasión, así como incrementar la vida útil de las piezas. Asimismo, las áreas boruradas poseen una resistencia a la oxidación significativa (en ambientes altamente oxidantes con temperatura de hasta 850°C) [1]. Diversos componentes endurecidos por la difusión de boro son empleados en la industria del vidrio, química, textil, ejes, engranes, diversos elementos de maquinaria, pernos y discos abrasivos, etc. Las técnicas convencionales de borurado son en pasta, en polvo y baño de sales; las técnicas más avanzadas comprenden la modificación de la superficie por láser, mediante reactor de lecho fluidizado, proceso de plasma de arco transferido, sinterización de plasma por chispa y técnica por implantación de iones. Una tercera categoría reúne las técnicas mixtas que son: borurado-cromizado, boro-nitrurado, boruro-vanadio y boro-carbonitrurado [6].

Justificación

El proceso de borizado ha sido ampliamente empleado para incrementar las propiedades mecánicas de manera superficial en aceros. Sin embargo, en la actualidad se ha demostrado que este mismo proceso puede ser aplicado en aleaciones ferrosas y no ferrosas. Recientemente las aleaciones base cobalto han demostrado tener excelente respuesta a este tipo de tratamientos termoquímicos, por lo que la utilidad para estas aleaciones es cada vez más amplia, sobre todo para el ramo de la industria metal mecánica y aeronáutica, gracias a su excelente resistencia a la fatiga, corrosión y desgaste. La mejora de estas propiedades está relacionada con el espesor de la capa de boro. Es por ello que el presente trabajo pretende evaluar el efecto de la temperatura sobre el espesor de la capa de borizado y su influencia sobre las propiedades mecánicas superficiales en una aleación base cobalto conocida como ASTM F75 (CoCrMo).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo, como materia prima, se usó una barra de aleación ASTM F75 (Co-28%Cr-6%Mo) con dimensiones de 25.4 cm de diámetro y 0.5 cm de espesor; se utilizó pasta de boro comercial (5% peso de B₄C diluido en 90% en peso de SiC y 5% en peso de KBF₄ como fundente). Los tratamientos térmicos se realizaron a temperaturas de 850, 900, 950, 1000, 1050 y 1100°C en una mufla convencional, por un periodo de tiempo de 4h, el cual se mantuvo constante para cada temperatura. Posteriormente, las muestras se prepararon mediante metalografía convencional de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM E3 “Preparación de muestras metalográficas”, utilizando lijas grado 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 y 1200 para la etapa de desbaste, mientras que para la etapa de pulido se utilizó alúmina de 0.3 micras, y como reactivo de ataque Nital al 10% de acuerdo con la norma ASTM E407 “Ataque químico para metales y aleaciones”. El análisis de microdureza se realizó sobre la cara del material (muestra longitudinal) en la cual se colocó la pasta de boro para formar la capa borizada y sobre el canto de las muestras (muestra transversal) donde se determinó el espesor de capa, utilizando un microdurómetro Vickers de la marca EMCO-Test modelo DS20 con carga de 200g y realizando 10 indentaciones para cada muestra con el fin de obtener un valor promedio. El espesor de capa fue observado y medido sobre la muestra transversal haciendo uso de un microscopio óptico metalográfico de la

Muestras	Dureza longitudinal (HV)	Dureza transversal (HV)	Espesor de capa (μm)
Muestra 1	2217.2	418.88	8.91
Muestra 2	2613.8	416.25	9.45
Muestra 3	2192.4	399.00	16.62
Muestra 4	2461.3	355.63	28.29
Muestra 5	2099.5	360.00	51.40
Muestra 6	513.75	350.13	21.64

TABLA 1: Promedios de dureza y espesor de capa para

marca Nikon, modelo MA200 equipado con analizador de imágenes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microscopía óptica

La tabla 1 muestra los resultados del espesor de capa, la cual presenta un crecimiento gradual conforme se incrementa la temperatura de tratamiento. Para la temperatura de 850°C se observó un espesor promedio de capa de 8.91 μm (Imagen 2A), mientras que para la temperatura de 1050°C se observó un espesor de capa de 51.40 μm (Imagen 2E). Así mismo, las imágenes mostraron que el espesor de la capa borizada presenta dos tonalidades de coloración distintas (Imagen 1), que de acuerdo con la literatura, corresponden a la formación de fases diferentes durante el proceso del tratamiento termoquímico. Dentro de la capa borizada, la tonalidad más oscura corresponde a la fase CoB (capa cercana a la superficie (figura 2A)), por lo tanto, la tonalidad menos oscura corresponde a la fase Co₂B (figura 2A) [7].

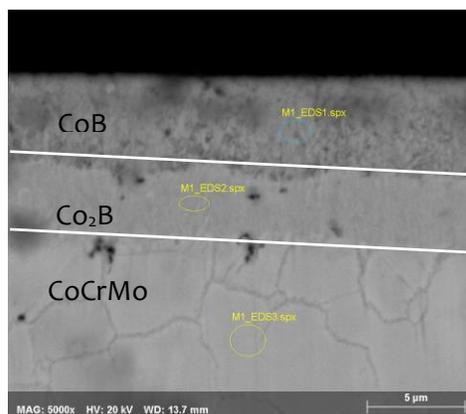


IMAGEN 1: Micrografía de SEM de la sección transversal correspondiente a la muestra tratada a 850°C por un tiempo de 4 h, donde se observa el espesor de capa y las fases de CoB y Co₂B de acuerdo con la literatura^[2].

TABLA 1: Promedios de dureza y espesor de capa para cada muestra.

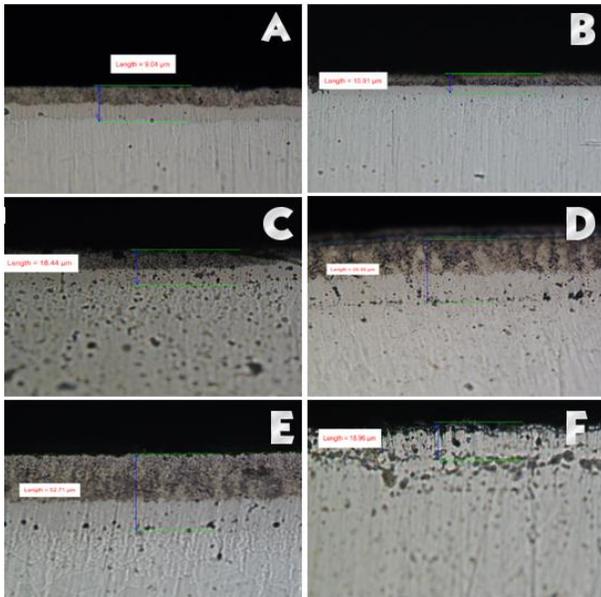


IMAGEN 2: Micrografías de microscopia óptica para las sección transversal a cada temperatura de tratamiento, aumento 500X; A) tratada a 850°C, B) tratada a 900°C, C) tratada a 950°C, D) tratada a 1000°C, E) tratada a 1050°C, F) tratada a 1100°C por un periodo de 4 h para cada temperatura.

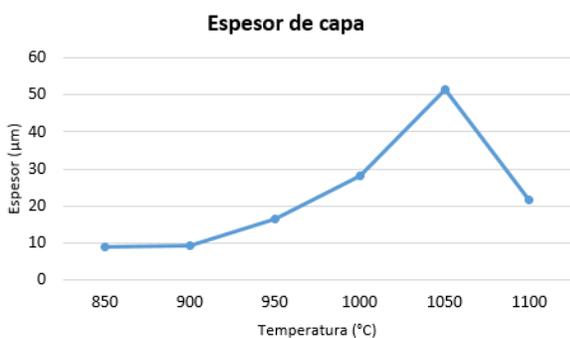


IMAGEN 3: Gráfico Temperatura contra Espesor de capa.

Microdureza Vickers

Se realizaron un total de veinte mediciones para cada temperatura de tratamiento, es decir, diez

medidas para las muestras en forma longitudinal (cara) y diez medidas para las muestras en forma transversal (de canto). Cabe destacar que en la sección transversal, no se cuenta con recubrimiento de borurado. Los resultados promedio para ambas secciones se muestran en la Tabla 1, así mismo se grafican ambas secciones con el objetivo de diferenciar el efecto del tratamiento térmico sobre la región de interés.

Las muestras que fueron medidas de forma longitudinal, presentaron endurecimiento superficial debido a la difusión de boro hacia el interior de la aleación ASTM F75 (Imagen 4). El valor de dureza máximo promedio fue de 2613.8 HV para la muestra tratada a 900°C, mientras que el valor promedio de dureza mínimo fue de 513.75 HV para la muestra tratada a 1100°C. En la grafica de la figura 4 se puede observar que el valor de dureza permanece constante en un rango de ± 220 HV. Por lo tanto, si hay afectación con el crecimiento de la capa borizada. Sin embargo, este efecto no es lo suficientemente considerable para ser tomado en cuenta, debido a que el valor registrado por la desviación estandar no es tan grande para la magnitud de los valores alcanzados por el tratamiento de borizado. Por otra parte, los resultados para las muestras que se midieron de forma transversal, mostraron una disminución de la dureza de forma gradual, conforme se incrementa la temperatura del tratamiento (Imagen 5). La dureza promedio más alta fue de 418.88 HV y se registró para la temperatura de 850°C, mientras que el valor promedio de dureza mínimo fue de 350.13 HV para la temperatura de 1050°C. Estos valores corresponden de manera directa a la dureza global de la aleación, ya que el endurecimiento por difusión de boro solo se registra de manera superficial y no de manera global. Con el incremento de la temperatura se inducen cambios internos en la microestructura de la aleación ASTM F75, promoviendo diferencias en el tamaño de grano en cada una de las muestras, sobre la región cercana a la capa borizada, lo que podría afectar la dureza global de la aleación.

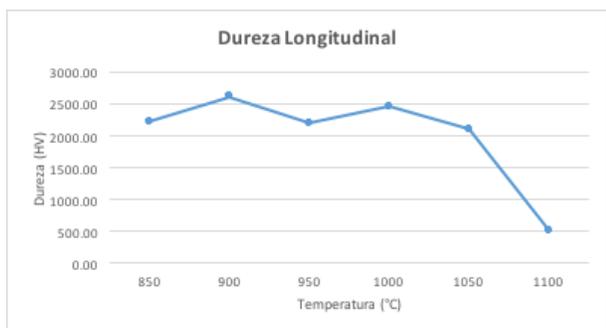


IMAGEN 4: Gráfico Temperatura contra Dureza para la parte superficial (cara) de las probetas

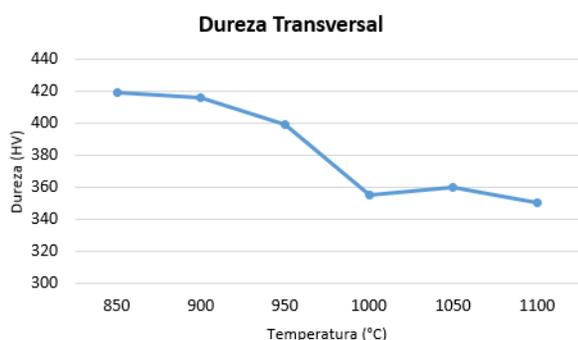


IMAGEN 5: Gráfico Temperatura contra Dureza para la sección transversal (canto) de las probetas.

CONCLUSIONES

La capa de borizado incrementa conforme aumenta el valor de temperatura debido a que, a mayor temperatura, existe mayor difusión.

La dureza del material para la sección longitudinal se mantiene constante dentro un rango, sin afectarse de manera considerable con el crecimiento de la capa de borizado.

La dureza del material para la sección transversal disminuye conforme se incrementa la temperatura, esto debido a los cambios microestructurales que sufre la aleación (cambio en el tamaño de grano) durante su exposición a la temperatura de tratamiento térmico.

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Investigación y Caracterización de Minerales y Materiales (LICAMM) de la Universidad de Guanajuato, al Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Recubrimientos Avanzados (LIDTRA) de CINVESTAV Querétaro, así como al Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DICIVA) Campus Irapuato.

REFERENCIAS

- [1] Dong, M., Bao- Luo S. (2010). Oxidation resistance of boronized CoCrMo alloy. *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 28, 424-428.
- [2] Rodríguez Castro G.A., Reséndiz Calderón C.D., Jiménez Tinoco L.F. (2015). Micro- abrasive wear resistance of CoB/ Co₂B coatings formed in CoCrMo alloy. *Surface & Coatings Technology*, 284, 258-263.
- [3] Bravo, D. (2010). Tesis: Formación y caracterización de capas duras en aceros AISI 1045. México, D.F. IPN.
- [4] Bravo, O. (2010). Tesis: Endurecimiento superficial de una aleación base Fe- Cr- Ni cinética de crecimiento y caracterización mecánica de las capas boruradas. México D.F. IPN.
- [5] López, N. (2008). Tesis: Evaluación de tenacidad a la fractura por microindentación de aceros borurizados AISI 4140. México D.F. IPN.
- [6] Suwattananont, N. (2004). Tesis: Surface treatment of ferrous alloys with boron. New Jersey, EE.UU. Faculty of New Jersey Institute of Technology.
- [7] Campos Silva I., Bravo Bárcenas D., Cimenoglu H. (2014). The boriding process in CoCrMo alloy: fracture toughness in cobalt boride coatings. *Surface & Coatings Technology*, 260, 362-368.