

Modificación superficial de un acero AISI H13 mediante un tratamiento termoquímico

I. Resumen

Este estudio se centró en el análisis de un acero AISI H13, sometido a un tratamiento termoquímico de borurado a 950 °C durante 2 y 4 horas. Las muestras fueron preparadas mediante metalografía antes y después del tratamiento. La micrografía del acero revela información importante como la disposición de los granos y el tamaño de la capa compacta. En la sección transversal de estas muestras fue posible visualizar la forma de la capa de borurado y la presencia de cambios con respecto a la muestra original. Los resultados mostraron la formación de una capa de boruros de hierro en la superficie cuyo espesor aumentó con el tiempo de tratamiento; esto modificó propiedades mecánicas superficiales, evidenciando el notable aumento de la dureza y de la fragilidad superficial del acero.

II. Introducción

El acero AISI H13 es un acero de grado herramienta cuya composición es C 0.40%, Si 1%, Cr 5.2% Mo 1.3% y V 0.95%, este acero es ampliamente utilizado en aplicaciones de trabajo en caliente como dados de extrusión para aleaciones ligeras, dados de forja, herramientas para fundición a presión, etc. [1] debido a su excelente resistencia térmica y mecánica [2] Los tratamientos termoquímicos son procesos diseñados para modificar y mejorar las propiedades superficiales de los materiales, aumentando su rendimiento en condiciones exigentes. Entre los tratamientos aplicables al acero H13 destacan la nitruración, la carburización y el borurado, entre otros. En particular, el borurado ha demostrado ser eficaz para prolongar la vida útil de componentes fabricados con acero H13 [3]. Estas mejoras se deben a la formación de capas de boruros de hierro [4], los cuales confieren propiedades superiores frente a condiciones de abrasión [5]. Este proceso implica la adición de átomos de boro en la superficie del material al someterlo a temperaturas 800 a 1050 °C durante periodos de 0.5 a 10 horas, esto para crear compuestos de boro en el material y crear una capa compacta [6]. Durante el borurado de materiales ferrosos se da lugar a la formación de la fase Fe_2B o la doble fase ($\text{FeB}+\text{Fe}_2\text{B}$), la fase Fe_2B es producida a una temperatura de 800 °C mientras que la doble fase ($\text{FeB}+\text{Fe}_2\text{B}$) se forma entre los 800 a 1000 °C [7].

III. Metodología

Se prepararon tres discos de 20 mm de diámetro y 10 mm de espesor, de un acero AISI H13. Posteriormente se sometieron dos de las tres muestras a tratamiento termoquímico de borurado a 950 °C durante 2 y 4 horas. Posteriormente, se realizó el proceso metalográfico el cual incluye corte, montaje, desbaste, pulido y ataque químico, para revelar la microestructura y morfología de la capa.

Finalmente, se obtuvieron perfiles de dureza Vickers con 50 gramos ($HV_{0.05}$) desde la superficie hasta el material base.

IV. Resultados

En la figura 1 es posible observar la microestructura del acero H13 sin tratamiento, la cual presenta una estructura homogénea sin alguna capa superficial modificada. Por otro lado, en la figura 2 se observa la muestra sometida a borurado durante 2 horas, en donde se puede identificar una capa superficial (Fe_2B) correspondiente a la zona borurada cuyo espesor es aproximadamente $37.97\text{ }\mu\text{m}$. Esta capa es notable a simple vista debido a su morfología, diferenciándose claramente del sustrato. En la figura 3, se observa la muestra tratada por 4 horas, similarmente a la de 2 horas, esta última cuenta con una capa superficial ($FeB + Fe_2B$) con un espesor aproximado de $105.81\text{ }\mu\text{m}$ que es considerablemente mayor en comparación con la muestra de 2 horas.

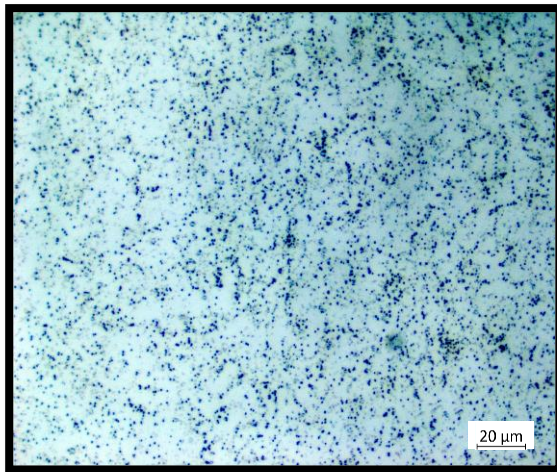


Figura 1. Micrografía H13 (sustrato) a 100x

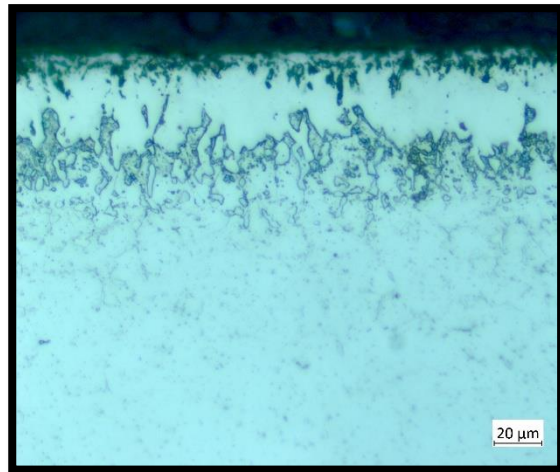


Figura 2. Micrografía H13 borurado a 950 °C por 2 h a 100x

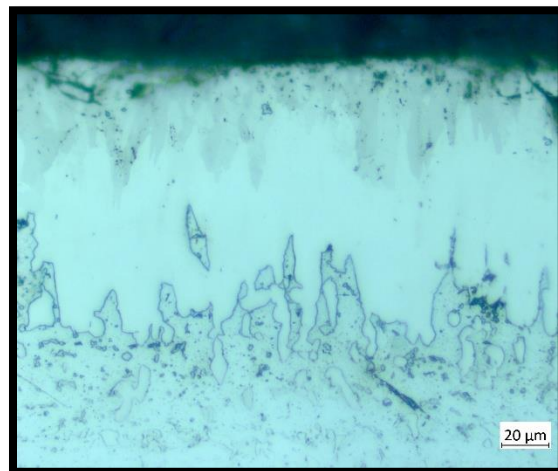


Figura 3. Micrografía H13 borurado a 950 °C por 4 h a 100x

La figura 4 y 5 muestran la clara variación en la respuesta del material, debido a las microindentaciones ($HV_{0.05}$) realizadas en cada una de ellas a distintas distancias de la superficie. En la zona superficial de las muestras es posible observar huellas de menor tamaño, especialmente en la de 4 h, lo que indica una mayor dureza en la región. Conforme las indentaciones se alejan de la superficie, el tamaño de las huellas aumenta progresivamente, lo que refleja la disminución de la dureza del sustrato.

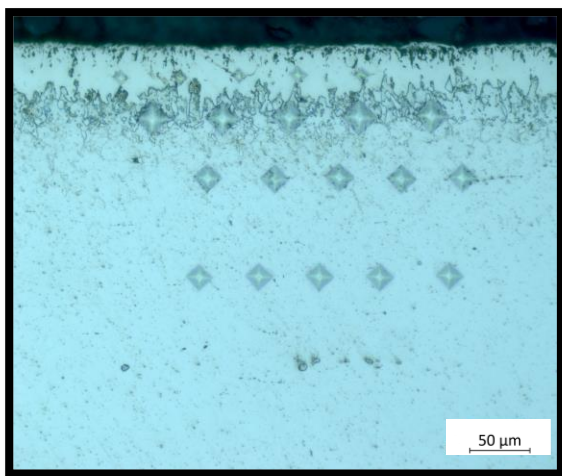


Figura 4. Microindentaciones H13 borurado a 950 °C por 2 h a 50x

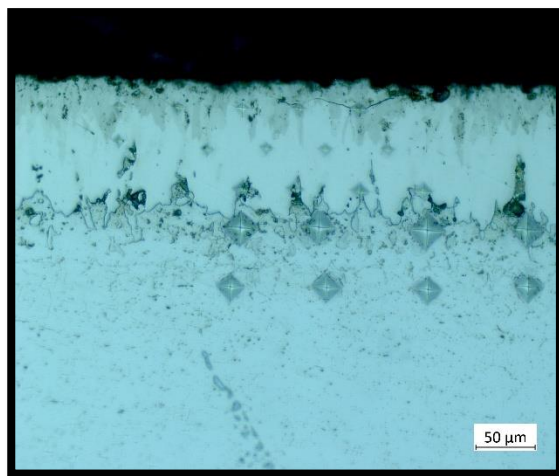


Figura 5. Microindentaciones H13 borurado a 950 °C por 4 h a 50x

Como se observa en la figura 6, los resultados de microdureza ($HV_{0.05}$) en función de la distancia desde la superficie confirman lo anteriormente mencionado. La muestra tratada durante 4 h presenta valores de dureza significativamente más altos en comparación con la de 2 h, esto se debe a que en la superficie de la muestra de 4 horas se encuentra la fase FeB, la cual presenta una dureza mayor que la fase Fe_2B .

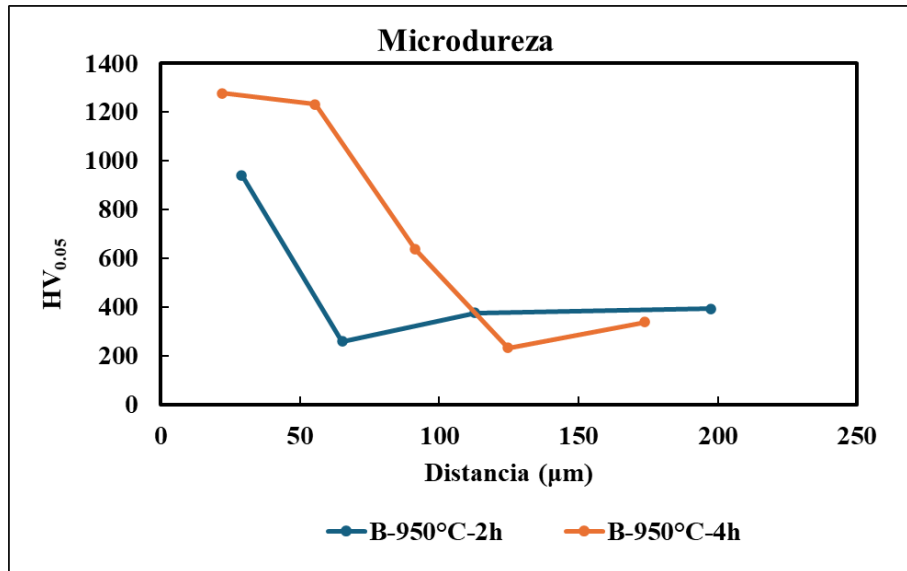


Figura 6. Gráfico de $HV_{0.05}$ vs distancia desde la superficie

V. Conclusión

El acero borurado H13 es un ejemplo de un proceso de difusión como se observó en las figuras 2 y 3, el tamaño de capa incrementa a medida que incrementa el tiempo. En la figura 6 se observa que la muestra sometida a 2 horas presenta una dureza máxima de aproximadamente 940 $HV_{0.05}$, mientras que la dureza superficial de la muestra tratada por 4 horas presenta una dureza de aproximadamente 1280 $HV_{0.05}$, lo cual representa un incremento de la dureza en el primer caso de 2.4 veces y en el segundo de 3.8 veces.

Referencias

- Aceros SISA. (s. f.). Acero SISA H13 [Ficha técnica]. <https://sisal.com.mx/wp-content/uploads/Acero-SISA-H13-1.pdf>
- Mourad, A., Mahdy, A. A., Mosa, E. S., Kandil, A., & Elhelaly, M. A. (2025). Enhancement of tribological behavior and microhardness of AISI H13 tool steel by electrochemical boriding. *Scientific Reports*, 15(1), 43384–23. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-28422-7>
- Nair, F., Zafar, H. M. N., Cerit, A. A., & Karamış, M. B. (2022). Analyzing the Influence of Simultaneously Austenitization and Multi-Directional Boriding on the Surface and Subsurface of H13 Tool Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31(12), 9791–9801. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07036-4>
- Trujillo Sánchez, R. (2019, junio 6). Estudio del comportamiento del acero H13 borurado y templado en un medio corrosivo empleando un electrolito tipo lluvia ácida. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/5729>
- Genel, K. (2005). Boriding kinetics of H13 steel. *Vacuum*, 80(5), 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2005.07.013>
- Ortiz, M., Keddām, M., & Morales, Á. (2024). Characterizations and boron diffusion modelling on the AISI H13 steel. [karakterizacija i modelovanje difuzije bora u AISI H13 čeliku] *Journal of Mining and Metallurgy. Section B: Metallurgy*, 60(3), 353–365. doi:<https://doi.org/10.2298/JMMB2404230290>
- Boumaali, B., Nait, A. Z., & Keddām, M. (2021). Characterization of bilayer (FeB/Fe2B) on AISI H13 work tool steel. *Koroze a Ochrana Materiálu*, 65(2), 40–48. doi:<https://doi.org/10.2478/kom-2021-0005>

Sobre la autora

Marisol Zarate Ramírez

Contacto: marisol.zaraterz@udlap.mx

Tutores

Dr. Rafael Carrera Espinoza

Doctor y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), realizó una estancia posdoctoral en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México, donde desarrollo actividades de investigación en el área de Ingeniería de Superficies. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel I y se desempeña como Decano de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de las Américas Puebla.

Contacto: rafael.carrera@udlap.mx

Dr. Melvyn Álvarez Vera

Doctor en Ingeniería de Materiales por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Ha publicado 43 artículos Journal Citation Reports (JCR), presentado 18 ponencias en congresos internacionales y cuenta con 9 títulos de patentes otorgadas. Es miembro de Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel II.

Contacto: melvyn.alvarez@udlap.mx

Dr. Pablo Moreno Garibaldi

Doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica. Es autor de libros y artículos de investigación, entre las que destaca el trabajo titulado Identification of Stress Fields in a Customized Mandibular Reconstruction Based on a Photoelastic Model. Actualmente, es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel 1, se desempeña como Director Académico del Departamento Ingeniería Industrial y Mecánica.

Contacto: pablo.moreno@udlap.mx