

Caracterización microestructural de un acero rápido AISI M2 tratado termoquímicamente

I. Resumen

Este estudio analizó el efecto del borurado sobre la microestructura del acero rápido AISI M2. El tratamiento termoquímico se realizó por empaquetamiento a 950 °C durante 2 y 4 horas, con el fin de favorecer la difusión del boro en la superficie del material. A las muestras se les aplicó metalografía para evaluar la morfología y el espesor de la capa formada, así como su variación de dureza desde la superficie hacia el sustrato. Se lograron formar capas boruradas bien definidas en ambas condiciones, con un mayor desarrollo para el tratamiento de 4 horas y se observó un incremento significativo de la dureza en la región superficial en comparación con el material base.

II. Introducción

El acero AISI M2 es un acero rápido muy utilizado en herramientas de corte y aplicaciones de alto desempeño debido a su buena dureza y alta resistencia al desgaste y estabilidad térmica. Su composición química se conforma por 0.85% C, 0.30% Mn, 0.30% Si, 4.15% Cr, 5.00% Mo, 1.95% V y 6.40% W, lo cual contribuye a su buen desempeño en procesos de manufactura (Servicio Industrial, S. A. de C. V., 2012). Sin embargo, aun cuando este material presenta excelentes propiedades para aplicaciones industriales, la modificación de su superficie sigue siendo de interés cuando se busca prolongar su tiempo de vida y también incrementar su resistencia al desgaste. Es por esto que el borurado se ha destacado como un tratamiento termoquímico capaz de introducir boro en la superficie del material para así generar capas de boruros con alta dureza y buena resistencia al desgaste (Bortec Group, s.f.). Este proceso sucede por medio de difusión sólida a temperaturas elevadas y dependiendo de la composición del sustrato y de las condiciones del tratamiento, pueden formarse capas monofásicas Fe_2B o capa doble constituida por FeB y Fe_2B (Ozbek & Bindal, 2011). En aceros como el AISI M2, el crecimiento de las capas está relacionado directamente con el tiempo y la temperatura del tratamiento empleado, lo cual modifica su morfología superficial junto con su dureza (Keddam & Jurči, 2021; Ozbek & Bindal, 2011).

III. Metodología

- a) Se prepararon 3 discos de acero AISI M2 de 20 mm de diámetro con 10 mm de espesor.
- b) Las muestras se desbastaron con agua como refrigerante y lijas de grano progresivamente más finas hasta lograr una superficie homogénea.
- c) Se aplicó un tratamiento termoquímico de borurado por empaquetamiento a 950 °C durante 2 y 4 h.

- d) Se realizó el proceso metalográfico de corte, montaje, desbaste, pulido, ataque químico para revelar la microestructura y morfología de la capa.
- e) Se obtuvieron perfiles de dureza a distintas distancias de la superficie hasta el material base para analizar la variación de la dureza $HV_{0.025}$.

IV. Resultados

La figura 1 muestra el sustrato del acero M2 sin tratamiento, con una microestructura homogénea y sin capa superficial modificada. La figura 2 corresponde al borurado a 950 °C durante 2 horas, donde se observa la formación de una capa superficial asociada a la fase Fe_2B , con un espesor aproximado de 21.00 μm . En la figura 3, correspondiente al tratamiento de 4 horas, se logra identificar una capa más desarrollada compuesta por $(FeB + Fe_2B)$, con un espesor aproximado de 64.11 μm , lo cual indica un mayor avance del proceso de difusión del boro. Este comportamiento confirma la información reportada para aceros AISI M2 borurados, donde al incrementar el tiempo de tratamiento, este favorece el crecimiento de la capa y la formación de una capa doble (Keddām & Jurči, 2021; Ozbek & Bindal, 2011).



Figura 1. Micrografía M2 (sustrato) a 50x.

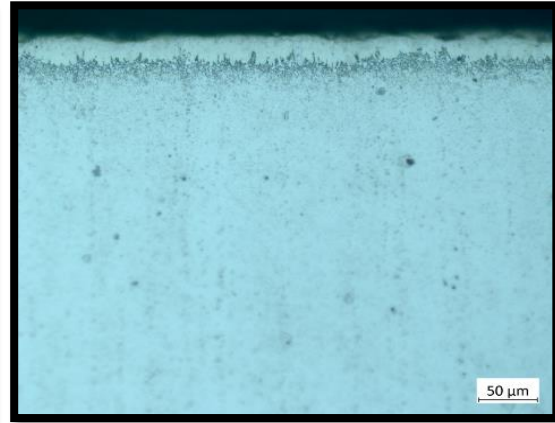


Figura 2. Micrografía M2-B 950 °C por 2 horas a 50x,

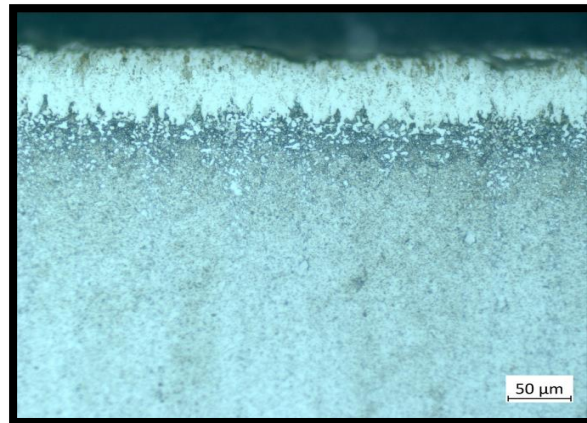


Figura 3. Micrografía M2-B 950 °C por 4 horas a 50x.

En las figuras 4 y 5 se muestran las microindentaciones realizadas desde la superficie hacia el sustrato del material. En ambos tratamientos, las microindentaciones cercanas a la superficie son menores, lo cual indica mayor dureza en la zona borurada, esto debido a que conforme aumenta la distancia respecto a la superficie, el tamaño de las huellas también aumenta, reflejando la disminución del efecto del tratamiento. En la muestra tratada a 4 horas, la transición entre el sustrato y la capa endurecida es más amplia, lo que sugiere una mejor profundidad de difusión del boro.

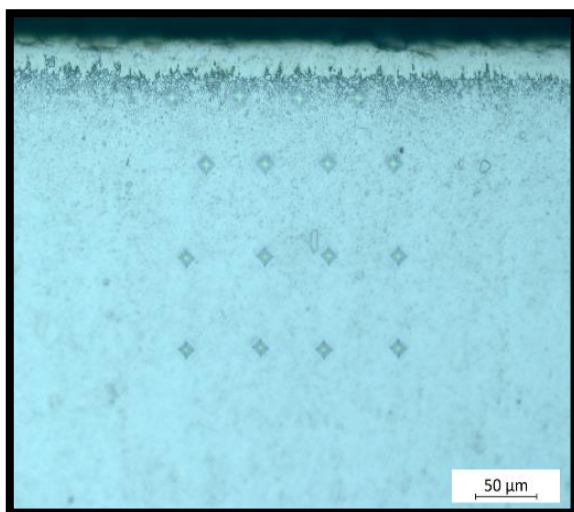


Figura 4. Microindentaciones M2-B 950 °C por 2 horas a 50x.

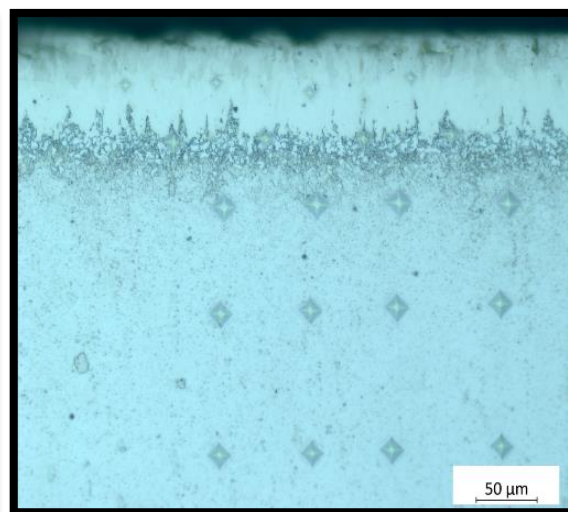


Figura 5. Microindentaciones M2-B 950 °C por 4 horas a 50x.

La figura 6 muestra el gráfico de la variación de la dureza $HV_{0.025}$ en función de la distancia desde la superficie. La muestra tratada por 2 horas presentó una dureza inicial más alta, pero ésta decrece con mayor rapidez. Por su parte, la muestra tratada por 4 horas mantiene valores de dureza más altos a distancias mayores, lo cual indica una capa endurecida más amplia. En conjunto, los resultados confirman que el tiempo de tratamiento influye directamente en el espesor de la capa borurada y en la distribución de dureza de la capa superficial, concordando con estudios previos sobre el borurado en el acero rápido M2 (García Vanegas et al., 2023; Ozbek & Bindal, 2011).

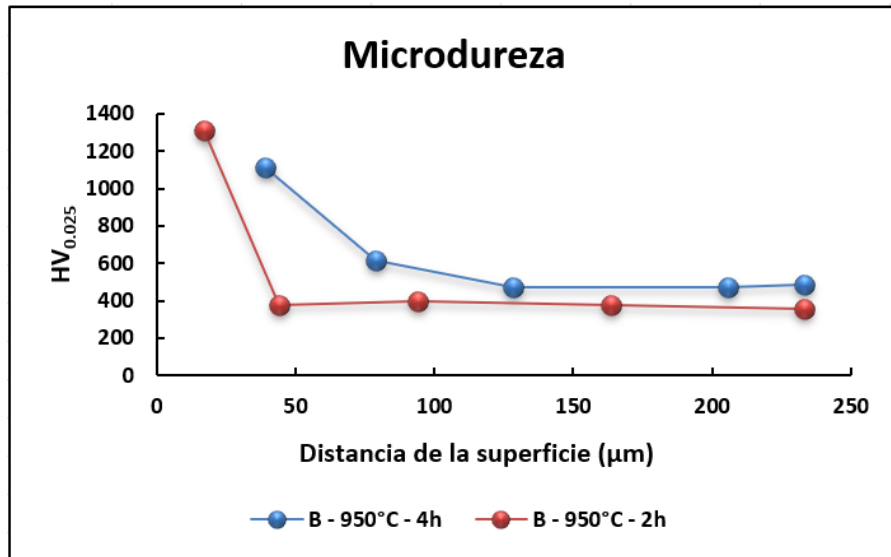


Figura 6. Gráfico $HV_{0.025}$ vs distancia desde la superficie.

V. Conclusiones

El tratamiento de borurado aplicado al acero AISI M2 generó una dureza superficial aproximada de 1312.03 $HV_{0.025}$, mientras en el material base fue de 400.28 $HV_{0.025}$, lo cual representa un incremento de hasta 3.25 veces la dureza del sustrato, formando capas endurecidas cuyo espesor y uniformidad aumentaron con el tiempo de tratamiento. En general, el borurado resultó efectivo para incrementar la resistencia superficial del material, lo que podría traducirse en un menor desgaste en las aplicaciones típicas de este acero herramienta.

Referencias

- Bortec Group. (s. f.). Boriding of steel. <https://bortec-group.com/glossary/boriding-of-steel/>
- García Vanegas, L., Elías Espinosa, M. C., Doñu Ruiz, M. A., López Perrusquia, N., & Hernández-García, A. (2023). Tribological evaluation of boride layers formed on an AISI M2 steel substrate by the powder packing method. *Microscopy and Microanalysis*, 29 (Suppl. 1), 98-101. <https://doi.org/10.1093/micmic/ozad067.042>
- Keddam, M., & Jurči, P. (2021). Simulating the growth of dual-phase boride layer on AISI M2 steel by two kinetic approaches. *Coatings*, 11(4), Article 433. <https://doi.org/10.3390/coatings11040433>
- Ozbek, I., & Bindal, C. (2011). Kinetics of borided AISI M2 high-speed steel. *Vacuum*, 86(4), 391-397. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2011.08.004>
- Servicio Industrial, S. A. de C. V. (2012). Acero rápido SISA M2 / AISI M2 high speed tool steel. <https://sisal.com.mx/wp-content/uploads/Acero%20SISA%20M2.pdf>

Sobre los autores

Santiago Miranda Rueda

Integrante del Programa de Honores UDLAP.

Contacto: santiago.mirandara@udlap.mx

Dr. Rafael Carrera Espinoza

Decano de la Escuela de Ingeniería de la UDLAP desde 2024 y profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Industrial y Mecánica desde 2016. Es Doctor y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el IPN, e Ingeniero Electromecánico por el ITT. Ha colaborado en investigación con instituciones de Brasil y Alemania, y es miembro del SNII nivel 1, así como de diversas redes científicas nacionales e internacionales.

Contacto: rafael.carrera@udlap.mx

Dr. Melvyn Álvarez Vera

Profesor de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Industrial y Mecánica de la UDLAP desde 2021. Es Doctor en Ingeniería de Materiales por la UANL, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el CENIDET e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Oaxaca. Su investigación se enfoca en diseño mecánico, biomecánica, tribología, ingeniería de superficies y diseño de uniones. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel 1.

Contacto: melvyn.alvarez@udlap.mx

Dr. Pablo Moreno Garibaldi

Profesor de tiempo completo en el Departamento Académico de Ingeniería Industrial y Mecánica de la UDLAP. Es Doctor y Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica, así como Licenciado en Ingeniería Aeronáutica por el Instituto Politécnico Nacional. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores nivel 1.

Contacto: pablo.moreno@udlap.mx