

## Mejora de la resistencia al desgaste de troqueles para forja en caliente utilizando aceros grado herramienta aleados con Vanadio y Boro

### Improvement of the wear resistance of dies for hot forging using tool grade steels alloyed with Vanadium and Boron Main Subtitle English

*J. Zuno-Silva<sup>a</sup>, A. Bedolla-Jacuinde<sup>b</sup>, M. Ortiz-Domínguez<sup>c</sup>, E. Carlos Borja Soto<sup>d</sup>, I. Ruiz-López<sup>e</sup>, J. Luis Rodríguez Muñoz<sup>f</sup>*

---

#### Abstract:

Due to the fact that the wear of machinery and tooling parts has a direct influence on the productivity, efficiency, reliability and quality of the manufactured products, advances have been implemented in the design of tool grade steels with emphasis on the improvement of the wear resistance to by adding vanadium, molybdenum and boron. The objective of this research work is to manufacture a tool grade steel (type H13) with improved wear resistance by adding Vanadium + Boron to potentially be used in hot forging dies. An improvement in wear resistance was obtained with the vanadium and boron alloy, which translates into an extension in the useful life of the forging dies. The addition of vanadium and boron produced a stable wear factor at a temperature of 22°C and 400°C.

#### Keywords:

*Tool grade. vanadium, boron, wear, forge, die.*

---

#### Resumen:

Debido a que el desgaste de partes de maquinaria y herramientas tiene influencia directa en la productividad, eficiencia, confiabilidad y calidad de los productos manufacturados, se han implementado avances en el diseño de aceros grado herramienta con énfasis en la mejora de la Resistencia al desgaste a través de adicionar vanadio, molibdeno y boro. El objetivo de este trabajo de investigación es fabricar un acero grado herramienta (tipo H13) con una resistencia al desgaste mejorada mediante la adición de Vanadio + Boro para ser potencialmente utilizado en troqueles de forja en caliente. Se obtuvo una mejora en la resistencia al desgaste con la aleación de vanadio y boro, lo cual se traduce en una extensión en la vida útil en los troqueles para forja. La adición de vanadio y boro produjeron un factor de desgaste estable a una temperatura de 22°C y 400 °C.

#### Palabras Clave:

Grado herramienta. vanadio, boro, desgaste, forja, troquel.

---

a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ing. Mecánica, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: [jorge\\_zuno@uaeh.edu.mx](mailto:jorge_zuno@uaeh.edu.mx)

b Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, <https://orcid.org/0000-0001-9762-9750>, Email: [abedolla68@uaeh.edu.mx](mailto:abedolla68@uaeh.edu.mx)

c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Lic. en Ing. Mecánica, ESCS, <https://orcid.org/0000-0003-4475-9804> Email: [martin\\_ortiz@uaeh.edu.mx](mailto:martin_ortiz@uaeh.edu.mx)

d Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ing. Mecánica, <https://orcid.org/0000-0002-1997-5399>, Email: [carlos\\_borja@uaeh.edu.mx](mailto:carlos_borja@uaeh.edu.mx)

e PEMSA – Celaya, CdTi, <https://orcid.org/0000-0001-6018-5869>, Email: [Ismael.ruiz@autometal.mx](mailto:Ismael.ruiz@autometal.mx)

f Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ing. Mecánica, <https://orcid.org/0000-0002-4108-9414>, Email: [jose\\_rodriguez@uaeh.edu.mx](mailto:jose_rodriguez@uaeh.edu.mx)

Fecha de recepción: 27/03/2023, Fecha de aceptación: 05/06/2023, Fecha de publicación: 05/07/2023

DOI: <https://doi.org/10.29057/escs.v10i20.10846>



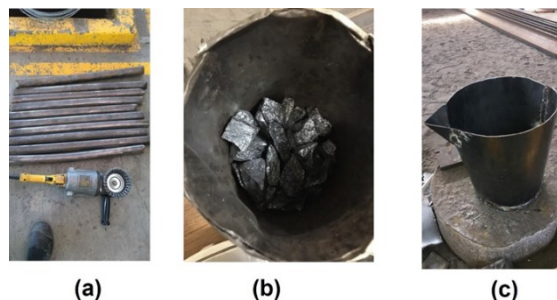
### Introducción

Actualmente, los procesos de manufactura destinados al conformado de piezas metálicas deben procesar geometrías complicadas con aceros de ultra alta resistencia, sometiendo a los herramientas a condiciones de desgaste severo combinados con esfuerzos térmicos y mecánicos. Debido a que el desgaste de partes de maquinaria y herramientas tiene influencia directa en la productividad, eficiencia, confiabilidad y calidad de los productos manufacturados, se han implementado avances en el diseño de aceros grado herramienta con énfasis en la mejora de la Resistencia al desgaste a través de adicionar vanadio, molibdeno y boro.

Los aceros grado herramienta como el H13 y/o CrNiMo se utilizan generalmente para fabricar troqueles o dados para forja con propiedades mecánicas capaces de soportar las altas cargas y temperaturas de deformación en caliente (1300°C) (Jian Shang, 2023, Yiwei Sun, 2022). Estos tipos de aceros son tratados con un doble o triple templado a 566 ~ 594°C, desarrollando una excelente combinación de alta dureza, una máxima resistencia a la tracción, buena resistencia a la fractura y máxima resistencia a la fatiga a temperatura ambiente y a altas temperaturas (Gao Huang, 2022). El acero para herramientas H13 contiene el segundo porcentaje más alto de cromo (5%wt.) en comparación con otras series H y algunas variaciones específicas de Vanadio y Molibdeno, por lo que es adecuado para la forja en caliente. Ampliamente es sabido que el alto contenido de Cromo aumenta la resistencia a altas temperaturas y oxidación, el molibdeno aumenta la capacidad de endurecimiento. El vanadio aumenta la resistencia, la tenacidad y mejora el desempeño en el proceso de forja. Para este tipo de troqueles que trabajan a altas temperaturas se requiere la precipitación de diferentes carburos, lo cual se logra con diferentes elementos de aleación que modifiquen la precipitación secundaria (Chengkuan Ma, 2022, Kanwal Chadha, 2022). El objetivo de este trabajo de investigación es fabricar un acero grado herramienta (tipo H13) con una resistencia al desgaste mejorada mediante la adición de Vanadio + Boro para ser potencialmente utilizado en troqueles de forja en caliente.

### Procedimiento experimental

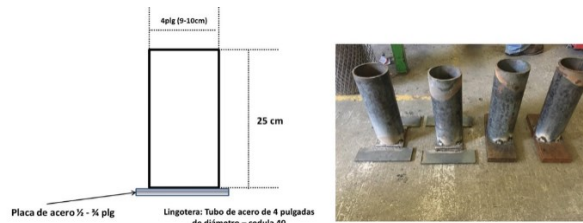
Para la fundición del acero experimental se utilizó chatarra de acero (palanquilla), la cual fue cortada y seccionada para ser colocada en un horno de inducción con una capacidad de 200 Kg (Figura 1).



**Figura 1.** Proceso de fundición del acero experimental: (a) Limpieza y corte de chatarra, (b) pesaje de elementos aleantes y (c) Fabricación de ollas de vaciado.

Fuente: Elaboración propia.

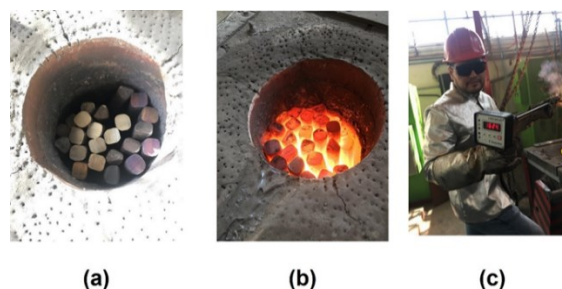
El vaciado del acero fundido se realizó en lingoteras metálicas con el objetivo de obtener una solidificación rápida y reducir la segregación de los elementos aleantes, Figura 2.



**Figura 2.** Lingotera metálica para el vaciado del acero experimental.

Fuente: Elaboración propia.

La palanquilla de acero se colocó por etapas en el horno de inducción, de acuerdo conforme esta se iba fundiendo, así también, la medición de la temperatura se realizó mediante un pirómetro de contacto tipo lanza, Figura 3, además de un pirómetro laser como referencia. Los elementos microaleantes se adicionaron poco antes de realizar el vaciado del metal, esto con la finalidad de evitar pérdidas por oxidación.



**Figura 3.** Proceso de fundición del acero experimental: (a) Carga del horno, (b) proceso de fusión y (c) medición de temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

El vaciado se realizó alrededor de 1700°C grados centígrados, durante el vaciado se tomaron muestras “chill” o de solidificación rápida en cucharillas de acero para análisis químico, **Figuras 4, 5 y 6.**



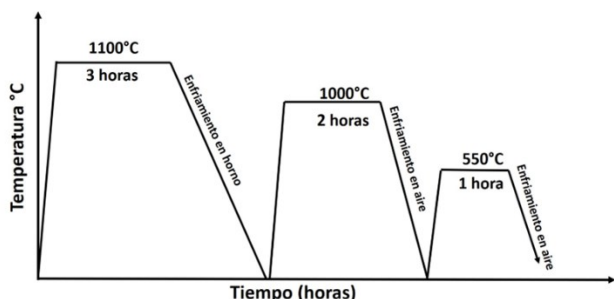
**Figura 4.** Proceso de fundición del acero experimental: Vaciado en olla. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** Proceso de fundición del acero experimental: Vaciado en lingotera y toma de muestra para análisis químico. Fuente: Elaboración propia



**Figura 6.** Proceso de fundición del acero experimental: Lingoteras en etapa de enfriamiento. Elaboración propia



**Figura 7.** Tratamiento térmico aplicado a los aceros fabricados por fundición. Fuente: Elaboración propia

A los aceros colados les aplico un tratamiento térmico de recocido, temple y revenido como se ilustra en el diagrama de la **Figura 7.**

Los ensayos de dureza se realizaron en un durómetro Rockwell – Dúplex – 713 – SR marca HOYTOM. Se utilizó una punta de diamante y carga de 100 kilos en la escala Rockwell “C”. Para los ensayos de desgaste y determinar el coeficiente de fricción se utilizó un equipo PLINT TE77 de fricción de alta frecuencia. Este equipo es usado para evaluar el desgaste dinámico en superficies de materiales con o sin lubricación, en nuestro caso, fue en condiciones secas. El contacto durante el ensayo, se logra mediante un disco fijo y una bola de acero recíprocante. La bola de acero es montada en un cabezal que oscila mecánicamente sobre el espécimen colocado en el disco fijo. La carga normal es aplicada a través de un abalanza de resorte activada por una palanca, La bola de acero utilizada esta especificada como AISI 52100, con un diámetro de 4.75 mm y 850 HV. El coeficiente de fricción es adimensional, y es la fuerza de rozamiento que dificulta el movimiento de un cuerpo sobre otro y se relaciona de la siguiente manera:

$$\mu = \frac{F_R}{N}$$

$\mu$  = coeficiente de fricción

$F_R$  = fuerza rozamiento expresada en Newtons

$N$  = fuerza normal expresada en Newtons

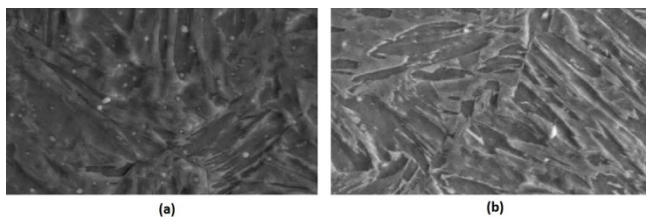
### Análisis de los resultados

Se fabricó un acero base sin adición de vanadio ni de boro (A1) y otro aleado con estos elementos (A2). Los resultados de la composición química del acero fabricado se presentan en la **Tabla 1.** Los valores obtenidos están dentro de lo especificado para un acero grado herramienta tipo H13. Los valores de vanadio (1.1 % Wt.) y boro (0.006%) están dentro de lo estimado. Los aceros A1 y A2 fueron tratados térmicamente con un recocido de homogenización a 1100°C, seguido de un temple al aire a 1000°C y un revenido a 550°C, **Figura 7.**

**Tabla 1** Composición química propuesta de los aceros experimentales A1 y A2 (% Wt.). Elaboración propia

Acero	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	B
A1	0.38	1.1	0.39	5.0	0.3	1.4	0.00	0.00
A2 (V+B)	0.39	1.0	0.40	5.2	0.3	1.3	1.1	0.006

Las microfotografías de la **Figura 8,** presentan una distribución uniforme de la microestructura y de algunos carburos después del tratamiento térmico de recocido de homogenización, temple y revenido en los aceros experimentales A1 y A2.



**Figura 8.** Microestructura de los aceros después del tratamiento térmico: (a) acero A1 con presencia de algunos carburos, (b) microestructura del acero A2 con carburos disperses.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de dureza se muestran en la **Tabla 3**, el acero A2 obtuvo valores de 47 HRC contra el acero A1 que presenta valores de 44 HRC, existiendo una diferencia de tres unidades, lo cual puede ser atribuido a los contenidos de vanadio y boro adicionado. En este mismo sentido, los resultados del ensayo de desgaste se presentan en las **Tablas 2 y 3**.

Para los ensayos a temperatura ambiente (22°C), el acero A1, obtuvo un coeficiente de fricción de 0.53 y que como consecuencia, el factor de desgaste es de 0.37 con una pérdida de 72.1 mm<sup>3</sup>, que comparado con el acero, A2 el cual obtuvo un coeficiente de fricción 0.45 con un factor de desgaste de 0.33, con una pérdida de volumen de 62.82 mm<sup>3</sup>, lo que presenta una mejora en la resistencia al desgaste debido a una menor pérdida de material lo que favorece la vida útil del troquel, y que se puede decir que la adición de vanadio y boro mejora esta propiedad del material y que puede ser atribuido a la estabilidad tanto de carburos como de la estructura del material, lo cual puede ser constatado con el factor de desgaste del acero A2 a una temperatura de 400 °C el cual mantuvo el mismo valor a temperatura ambiente.

**Tabla 2** Resultados del ensayo de desgaste para los aceros A1 y A2.

Fuente: Elaboración propia

Material	Condición	Temperatura (°C)	Dureza HRC	Factor de Desgaste "K"
A1	Temple y Revenido	22	44	0.37
		400	43	0.39
A2	Temple y Revenido	22	47	0.33
		400	46	0.33

**Tabla 3** Ensayos de Dureza y Factor de desgaste para los aceros A1 y A2 a diferentes temperaturas.

Fuente: Elaboración propia

Material	Temperatura (°C)	Peso sin ensayar (gramos)	Peso después del ensayo (gramos)	Pérdida de Peso (gramos)	Perdida en Volumen (mm <sup>3</sup> )	Coefficiente Fricción
A1	22	279.76	279.20	0.56	72.1	0.53
A2	22	243.76	243.27	0.49	62.82	0.45
A1	400	277.31	276.73	0.58	74.31	0.55
A2	400	245.27	244.77	0.50	64.08	0.46

### Conclusiones

- 1.- Se estableció un sistema de fundición para un acero grado herramienta aleado con vanadio y boro utilizando una lingotera metálica para lograr un enfriamiento rápido y obtener una microestructura más homogénea durante el tratamiento térmico de recocido, temple y revenido. La composición química de los aceros fabricados está dentro de los establecidos para un acero H13.
- 2.- Se obtuvo una mejora en la resistencia al desgaste con la aleación de vanadio y boro, lo cual se traduce en una extensión en la vida útil en los troqueles para forja.
- 3.- La adición de vanadio y boro produjeron un factor de desgaste estable a una temperatura de 22°C y 400 °C.

### Referencias

Chengkuan Ma, Zhibin Xia , Yifeng Guo Weifeng Liu, Xuhui Zhao, Qian g Li, Wentao Qi, Yunbo Zhong, (2022), Carbides refinement and mechanical properties improvement of H13 die steel by magnetic-controlled electroslag remelting, [Journal of Materials Research and Technology, Volume 19](#), July–August 2022, Pages 3272-3286

Gao Huang, Kaiwen Wei, Xiaoyan Zeng, (2022), Microstructure and mechanical properties of H13 tool steel fabricated by high power laser powder bed fusion, [Materials Science and Engineering: A Volume 858](#), 14 November 2022, 1441154

Jian Shang, Mengjiu Zhang, Shenlu Tan, Aijun Xie, Lingyao Meng, Yue Zhang, (2023), Improved wear and hot melting loss resistance of a vanadium carbide layer prepared on H13 steel, [Materials Letters, Volume 337](#), 15 April 2023, 133967

Kanwal Chadha, Yuan Tian, Kuda Nyamuchiwa, John Spray, Clodualdo Aranas Jr, (2022), Austenite transformation during deformation of additively manufactured H13 tool steel, [Materials Today, Volume 33](#), December 2022, 104332