

Influencia de los tratamientos a temperaturas intercríticas IHT y tratamientos criogénicos DC y un posterior revenido de 15, 30 y 45 minutos a la resistencia al desgaste abrasivo de un acero AISI/SAE 1045

/Influence of a cryogenic treatment on the abrasive wear resistance of AISI/SAE 1045 steel treated from intercritical temperatures

Héctor Fernando Rojas Molano¹, María Angélica Vacca García², Miguel Leonardo Zabala Ortíz³.

¹PhD(c). En Ingeniería. Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad Libre de Bogotá. Bogotá – Colombia, hector.rojasm@unilibrebog.edu.co

²Estudiante de Ingeniería Mecánica. Universidad Libre de Bogotá. Bogotá – Colombia, mariaa.vaccag@unilibrebog.edu.co

³Estudiante de Ingeniería Mecánica. Universidad Libre de Bogotá. Bogotá – Colombia, miguell.zabalao@unilibrebog.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN DEL ARTÍCULO: 21/08/2016 FECHA DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULO: 01/11/2016

Página
111

ESING

RESUMEN

Los tratamientos a temperaturas intercríticas (IHT) son una nueva forma de obtención de aceros doble fase (DP). Estos aceros tienen propiedades mecánicas tales como: elevado esfuerzo de fluencia, alto endurecimiento por deformación y buena ductilidad. Esta combinación está relacionada con las fracciones volumétricas de ferrita y martensita. Investigaciones anteriores indican que al realizar un tratamiento criogénico en aceros con elevados contenidos de elementos aleantes la resistencia al desgaste aumenta, sin embargo, no hay referencias de tratamientos a temperaturas intercríticas seguidos de tratamientos criogénicos. En la investigación se analizó la influencia en la resistencia al desgaste abrasivo en ambos tratamientos acorde con la norma ASTM G-65 en un acero AISI/SAE 1045 el acero se llevó a temperaturas intercríticas de 740°C y 770°C durante 30 minutos se templó, posteriormente se trataron criogénicamente a -196°C con un tiempo de mantenimiento de 24 y 48 horas, luego se realizó un revenido a 450°C con tiempos de 15 y 30 minutos, adicional a esto se realizó una caracterización microestructural y se establecieron relaciones entre las fracciones de los micro constituyentes y la resistencia al desgaste. Los resultados mostraron que comparado con el material sin tratar se disminuyó hasta un 27% la pérdida volumétrica de masa.

PALABRAS CLAVES

Criogenia, desgaste, dual-phase, martensita.

ABSTRACT

Intercritical heat treatments are a new method for obtaining dual phased steels (DP). These steels have mechanical properties such as high yield stress, high strain hardening and good ductility. This combination is related to volumetric fractions of ferrite and martensite. Previous research indicates that by cryogenically treating highly alloyed steels a gain in abrasive wear resistance is obtained, but there are no previous references on intercritical heat treating followed by cryogenic treatment. During this investigation, an analysis of the influence of both treatments in abrasive wear resistance was made according to the ASTM G-65 Standard Test Method using an AISI/SAE 1045 steel, which was taken to intercritical temperatures between 740°C and 770°C for 30 minutes and then quenched. Afterwards, it was cryogenically treated to -196 °C with holding times of 24 and 48 hours. Subsequently it was tempered at 450°C for 15 and 30 minutes. An additional microstructural characterization was made and relationships between microconstituents and abrasive wear resistance were established. Results showed a decrease of 27% volumetric mass loss as a consequence of the heat treating compared to an untreated sample.

KEY WORDS

Cryonics, abrasive wear, dual phased, martensite.

Para citar este artículo / To cite this article

H. F. Rojas Molano, M. A. Vacca García, M. L. Zabala Ortiz. Influencia de los tratamientos a temperaturas intercríticas IHT y tratamientos criogénicos DC y un posterior revenido de 15, 30 y 45 minutos a la resistencia al desgaste abrasivo de un acero AISI/SAE 1045. Revista Ingenieros Militares, No.11, pp. 111, 2016.

INTRODUCCIÓN

Los aceros DP (Dual Phase) son altamente empleados en la industria automotriz donde se busca reducir el consumo de combustible, una forma de lograrlo es disminuyendo el peso del vehículo sin restringir la seguridad para los pasajeros [1]. Estos aceros tienen propiedades mecánicas tales como: elevado esfuerzo de fluencia, alto endurecimiento

por deformación buena ductilidad y resistencia a la fatiga; el propósito es lograr estas propiedades y que a su vez estos sean más económicos que los comercializados actualmente. Una forma de obtener estas microestructuras y por ende dichas propiedades es realizar tratamientos térmicos IHT (Intercritical Heat Treatment) ya que a estas temperaturas ocurren las transformaciones de fases en los materiales, se pueden encontrar en el diagrama Fe-C y están comprendidas en un rango de temperaturas de A1 y A3, [2] Al someter el material a este rango de temperaturas se puede obtener un acero de doble fase con una matriz de martensita más ferrita, para el cálculo de estas temperaturas se necesita la composición del material y se calcula por medio de una fórmula basada en la literatura [3].

De esta manera se obtiene un acero doble fase que mejora las propiedades mecánicas como la dureza, esfuerzo último; todo esto sin sacrificar la ductilidad [4]. En estudios anteriores se ha expuesto que estos aceros han aumentado su resistencia al desgaste respecto a la fracción de volumétrica de martensita [5], que también puede ser el resultado de la estructura formada por ferrita que rodean las islas de martensita [6].

El tratamiento criogénico es uno de los tratamientos en los que menos se ha trabajado ya que su implementación es nueva, aunque en investigaciones recientes se ha encontrado que al someter aceros aleados a un temple, posteriormente a temperaturas criogénicas (nitrógeno líquido -196°C) y luego a un revenido se produce un incremento en la dureza, se transforma austenita en martensita y también se produce la precipitación de nano carburos sobre los límites de grano alargando la vida útil del material [7]. En otra investigación se realizó la comparación entre tratamientos convencionales y criogénicos, a partir de una prueba de tensión dando como resultado una variación de la microestructura con el tratamiento criogénico [8], actualmente

no se han encontrado muchas referencias de tratamiento criogénico aplicado a aceros de medio y bajo contenido de carbono y su comportamiento a la resistencia al desgaste abrasivo, es por esto que esta investigación se centra en el análisis de la resistencia al desgaste al someter un acero AISI/SAE 1045 a un tratamiento a temperaturas intercríticas y un tratamiento criogénico [9], donde se evaluará el tiempo de sostenimiento del tratamiento criogénico, ya que es la temperatura a la que trabaja en la del nitrógeno líquido que es a -196 y la del tratamientos a temperaturas intercríticas se calcula las temperaturas que vamos a emplear [10], y se deja un tiempo de sostenimiento de 30 minutos basados en la literatura y se enfría rápidamente en agua para la obtención de la martensita [11].

Antecedentes y Marco teórico

Antecedentes

El cambio de fase en los materiales metálicos como los aceros especialmente cuando son tratados térmicamente es muy importante desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas, aún más cuando se realizan tratamientos no convencionales como el criogénico. En el 2009 se realizó el estudio effects of austenitizing time on wear behavior of D6 tool steel after deep cryogenic treatment” de (AKHBARIZADEH, A., et al.), donde se analizó el comportamiento del cambio de fases en la microestructura y la resistencia al desgaste después de un tratamiento criogénico en aceros para herramientas, a los que se le realizaron la prueba de desgaste pin on disk y las huellas obtenidas fueron evaluadas con microscopía electrónica de barrido (SEM), observándose que la austenita retenida se transforma en martensita durante el tratamiento criogénico; concluyendo que el tamaño de grano generado, aumentó la resistencia al desgaste cuando fue sometido a esta prueba [11].

Otro factor relevante que se encontró fue el cambio en las propiedades mecánicas de un acero estructural sometido a temperaturas intercríticas, en el trabajo titulado “Influencia del tratamiento térmico desde temperaturas intercríticas en las propiedades mecánicas del acero AISI-SAE 1045” (BÓHÓRQUEZ AVILA, Carlos Arturo) realizado en el 2012. En este estudio se experimentó con la variable de temperatura del acero 1045 y con base en la composición química del material, el autor escogió cinco temperaturas comprendidas

entre A1 y A3 según el diagrama hierro carbono en especial la zona de austenización parcial. De acuerdo al diseño experimental propuesto para este trabajo se obtuvieron las probetas que fueron enfriadas en agua y ensayadas con las pruebas de dureza y metalografía, concluyendo que el aumento de la temperatura en los tratamientos térmicos, aumenta la fracción de martensita [12].

Marco teórico

Los aceros al carbono son aleaciones de hierro y carbono en gran cantidad, que no sobrepasan 1,5% de carbono, pero también contienen pequeñas cantidades de manganeso, Silicio, Fósforo y azufre, como impurezas, que provienen de los procesos de fabricación. Además de los aceros al carbono, existen los aceros especiales y los aceros aleados que pueden ser ternarios, cuaternarios o complejos según la adición del tercer elemento o un cuarto para obtener unas características especiales. Los aceros al carbono son los más usados en la industria por su bajo costo, ya que se producen en una gran variedad de formas y dimensiones y también son fáciles de tratar térmicamente por sus pocos aleantes pudiéndose con ello aumentar las propiedades mecánicas [13].

El temple es un tratamiento térmico que se le hace a los aceros, calentándolos hasta temperaturas de austenización y enfriándolos rápidamente especialmente en agua. Las transformaciones de fases generalmente se dan entre A1 y A3, zona donde coexisten la ferrita y la austenita simultáneamente y dependiendo de la temperatura se encontrarán diferentes fracciones volumétricas de cada fase, lo que cambia las propiedades finales del material tratado térmicamente [14].

METODOLOGÍA









Materiales

- Acero AISI/SAE 1045
- Papel abrasivo de granos 80 a la 1200.
- Nital al 3%
- Arena de maya grado 70.
- Agua destilada
- Alúmina 0.3 micras
- Paño de pulido metalográfico

Equipos

En la tabla 1 se muestran los equipos empleados para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 1. Equipos que se utilizaron en el proyecto de investigación. Fuente: autores del proyecto. Fuente: Autores del proyecto.

EQUIPOS	
 <p>Foto 1. Mufla eléctrica LEF-205P, Laboratorio de tratamientos térmicos, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Sede Bogotá.</p>	 <p>Foto 2. Pulidora metalografía Metkom, Laboratorio de tratamientos térmicos, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Sede Bogotá.</p>
 <p>Foto 3. Microscopio Óptico metalográfico Metallovert Leitz, Laboratorio de tratamientos térmicos, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Sede Bogotá.</p>	 <p>Foto 4. Termo industrial para almacenamiento de Nitrógeno líquido, Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Incca, Sede Bogotá.</p>
 <p>Foto 5. Dureómetro Minor Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Incca, Sede Bogotá.</p>	 <p>Foto 6. Empastilladora Metalotest, Laboratorio de tratamientos térmicos, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Sede Bogotá.</p>
 <p>Foto 7. Máquina de desgaste, Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería, Universidad Incca, Sede Bogotá.</p>	 <p>Foto 8. Microscopio Electrónico de Barrido, Laboratorio de análisis de materiales, Universidad de los Andes, Sede Bogotá.</p>

Preparación del material

El material fue comprado en platina de 1m x 3 pul x 3/4 pul, y cortado con sierra mecánica según la norma ASTM G65 de desgaste abrasivo con mediadas 25.4 x 76.2 x 6.3 mm. [15].

Identificación del material

Se efectuó la composición química del material por medio de la técnica de espectrometría, para certificar sus elementos aleantes, en la tabla 2 se muestra los datos que se obtuvieron en prueba.

Tabla 2. Composición química del acero AISI 1045. Fuente: Laboratorio de espectrometría y análisis químico Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

C	MNS	I	P	S	CR	N	I	MOC	U
0.43	0.643	0.226	0.014	0.0001	0.012	0.013	0.008	0.010	

Calculo de las temperaturas intercríticas

Con la ecuación 1 se calculó las temperaturas intercríticas, las cuales permitieron establecer el rango en que se podía tratar el acero 1045 con base en su composición química. El rango obtenido estuvo comprendido entre 720°C para A1 y 778°C para A3. Las temperaturas de trabajo seleccionadas fueron 740°C para A1 y 770°C para A3; posteriormente se realizaron los tratamientos al material según. [12].

Ecuación 1. Calculó para encontrar las temperaturas intercríticas. Fuente: [16].

$$A_{c1} (^{\circ}C) = 723 - 7.08Mn + 37.7Si + 18.1Cr + 44.2Mo + 8.95Ni + 50.1V + 21.7Al + 3.18W + 297S - 830N - 11.5C - 14.0Mn - 3.10Si - 57.9C - Mo - 15.5Mn - 5.28C - Ni - 6.0Mn - Ni - 6.77Si - Ni - 0.80Cr - Ni - 27.4C - V + 30.8Mo - V - 0.84Cr^2 - 3.46Mo^2 - 0.46Ni^2 - 28V^2$$

Diseño de experimentos

En la tabla 3 se consignaron los promedios de las durezas obtenidas de la prueba piloto realizada a las temperaturas intercríticas de trabajo seleccionadas para tal fin seguidas del tratamiento criogénico por un tiempo de 24 y 48 horas, encontrándose que este tiempo no influyó en los valores de la prueba de dureza efectuada según su desviación estándar, la diferencia RC y los valores para A y B respectivamente.

Tabla 3. Desviación estándar y promedios de las durezas y las dos variables a trabajar A y B. Fuente: Autores.

Temperaturas	Durezas	Desviación	Diferencia-RC	A	B
740	30,4	1,25	2,3	2	2
770	52,3	2,16	4		

Con la figura 1 se encuentran los valores para β , para el cálculo del número de réplicas "N" que se deben considerar para que el proyecto tenga

una hipótesis de rechazo mínima y un grado de confiabilidad del 95%.

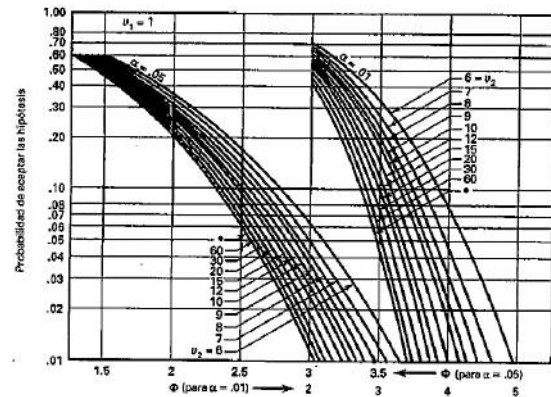


Figura 1. Curvas de operación característica para análisis de varianza del modelo con efectos fijos. Fuente [17].

La tabla 4 consigna el número de réplicas según los criterios seleccionados en la figura 1. En función de mantener la confiabilidad del 95%, se seleccionó "n" = 5, para un total 40 probetas más una probeta patrón que se consideró como referencia.

Tabla 4. Réplicas, desviación estándar, grados de libertad y el grado de confiabilidad para una temperatura de 740°C a 48 h

N	σ^2	Φ	$v1 (a-1)$	$v2(ab(n-1))$	β
2	3,3856	1,84	1	4	0,42
3	5,0784	2,25353056	1	8	0,3
4	6,7712	2,60215295	1	2	0,16
5	8,464	2,90929545	1	6	0,06



Figura 2. Distribución del número de probetas que se van a emplear para la investigación. Fuente: Autores.

Ejecución de los tratamientos térmicos

En la figura 3 se establece la secuencia del tratamiento IHT llevado a cabo para el proyecto manteniendo la temperatura de temple por 30 minutos. Posterior a esto se sometieron las probetas

al tratamiento criogénico con la inmersión en nitrógeno líquido a una temperatura aproximada de -196°C , por un tiempo de permanencia de 24 y 48 horas [18]. Se seleccionaron 10 probetas fueron para la temperatura de 740°C y 10 para la de 770°C ; así mismo 10 probetas para el tiempo de 24 horas y 10 para el de 48 horas.

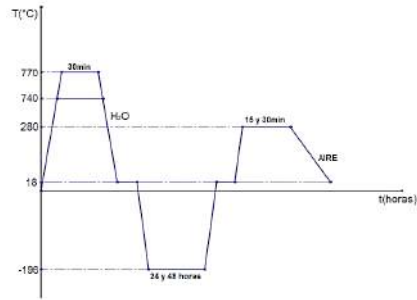


Figura 3. Secuencia del tratamiento térmico IHT. Fuente: Autores.

Luego de los tratamientos anteriores se realizó un tratamiento de revenido a las probetas a una temperatura de 280°C con un tiempo de sostenimiento de 15 y 30 minutos respectivamente esto con el fin de liberar tensiones ocasionadas en los primeros tratamientos.

Preparación de las probetas para ensayo de toma de durezas y análisis metalográfico

Se cortaron en secciones transversales las probetas y se embaquelitaron, para el proceso de pulido con papel abrasivo de carburo de silicio (80 – 1200) en la pulidora metalográfica METKOM, finalizando con paño y alúmina de 0.3 micras hasta brillo espejo. El ataque químico superficial de las probetas se realizó con el reactivo Nital al 3% [19], [20]. El análisis microscópico se realizó con MOC (Microscopía Óptica Convencional) y SEM (Microscopía Electrónica de Barrido) respectivamente para la determinación de los cambios de fase y finalizando con la prueba de dureza.

Prueba de desgaste

Se realizó el procedimiento bajo la norma ASTM G-65 con arena maya 70-80, a 2000 RPM, carga de 130 N, flujo de arena de 312,63 g/min y tiempo de ensayo a 10 minutos por probeta. El pesaje de las probetas se efectuó 10 minutos antes y 10 minutos después del ensayo a fin de calcular la pérdida de volumen.

RESULTADOS

Análisis Micrográfico

En la figura 4 se observa las fases para los diferentes tiempos de tratamiento, “A” acero 1045 en estado de entrega, “B” Templado desde 770°C , “C” Templado desde 770°C y revenido a 280°C 15 minutos, “D” Templado desde 770°C y revenido a 280°C a 30 minutos. De acuerdo a la tabla 5, en general los porcentajes de cada fase al realizar los tratamientos son de 3,14% de ferrita y 96,82% de martensita para C y 18,72% de ferrita y 80,66% de martensita para D, comparados con el 22,4% y 77,15% para las fases de perlita y ferrita respectivamente en el material en estado de entrega en A. Se evidencia para B que el porcentaje de transformación de la fase perlítica a la fase martensítica en B es muy reducida por el % de C asociado debido a las temperaturas IHT trabajadas; sin embargo, las fracciones de las fases no tienen una variación importante cuando se hacen los revenidos a diferentes tiempos de sostenimiento, pero por medio del tratamiento a temperaturas intercríticas se pueden obtener los dos microconstituyentes como lo son la ferrita y la martensita brindando al material un alto esfuerzo de fluencia con mayor vida útil [12].

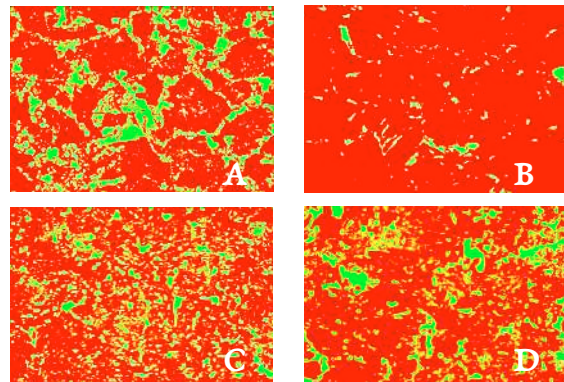
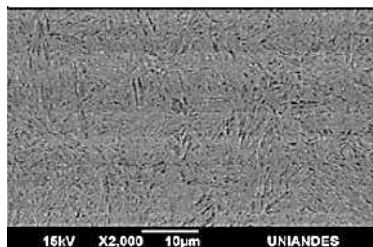


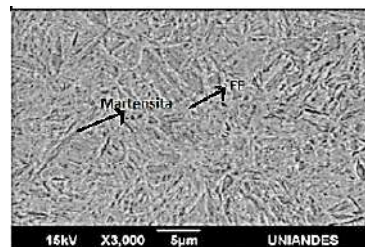
Figura 4. Transformaciones de Fases de un acero 1045 a 500X. Fuente: Autores

Tabla 5: Porcentajes de cada una de las fases para los diferentes tratamientos. Fuente: Autores

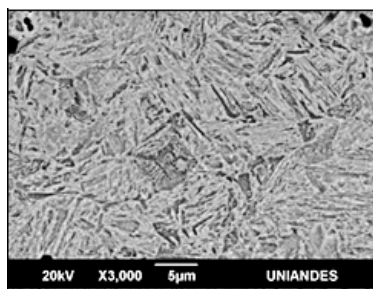
Tratamiento	% Fase	
	Verde	Rojo
1045	22,4	77,15
T 770+ Rev. 15 min	3,14	96,82
T 770+ Rev. 30 min	18,72	80,66



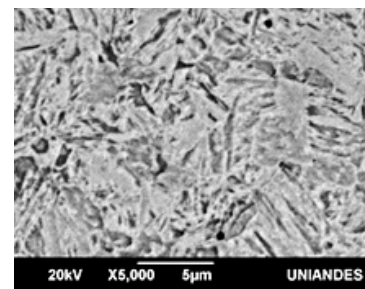
A. Temple a 740°C + Criogenia a 24 horas + Revenido a 280°C a 15 min. 2000X



B. Temple a 740°C + Criogenia a 48 horas + Revenido a 280°C a 15 min. 3000X



C. Temple a 770°C + Criogenia a 24 horas + Revenido a 280°C a 15 min. 3000X



D. Temple a 770°C + Criogenia a 48 horas + Revenido a 280°C a 15 min. 5000X

Figura 5. Micrografías SEM. Acero AISI/SAE1045 con tratamientos de Temple, Criogenia y. Fuente: Autores.

La figura 5 muestra las micrografías SEM del acero AISI/SAE 1045 con los tratamientos térmicos de temple a 740°C y 770°C, criogenia a 24 y 48 horas de sostenimiento y revenido a 280°C durante 15 minutos. Los microconstituyentes como la ferrita y la martensita, se evidencian más claro a 3000 X en B comparado con A a 2000X con tensión del equipo a 15kV. Mientras que en C a 3000X y D a 5000X, se aprecia mejor la formación de la fase martensítica en forma de agujas a una tensión de equipo de 20 kV. Se observa que a medida que se aumenta el tiempo en criogenia la martensita se vuelve mucho más fina, debido a que este tratamiento refina el grano y le brinda una mayor resistencia al desgaste por la formación de los granos tan refinados [11]. Adicionalmente se hizo un análisis químico cuantitativo en D que confirmó la formación de las 2 fases y el porcentaje de carbono y de ferrita asociados fue del 5 y 95 % respectivamente.

Ensayo de dureza

Se ha establecido que cuando se tratan materiales como los aceros con bajo contenido de aleantes a temperaturas criogénicas, las diferencias en los valores de las durezas no son significativas [7]; pero su resistencia al desgaste abrasivo si se ve aumentada [9] [21].

En la figura 6, se puede observar el comportamiento de este ensayo a través del histograma, con los valores de dureza de poca variación en especial en el tratamiento térmico criogénico con revenido a 30 minutos; la diferencia con el tratamiento a 15 minutos en ningún caso supera el 11% lo que está acorde con las referencias consultadas. Esto confirma aún más que la dureza no aumenta con el tratamiento criogénico, pero si se ve beneficiado en la resistencia al desgaste abrasivo.

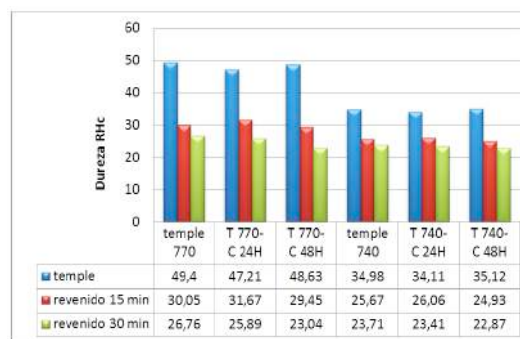


Figura 6. Comparación de los valores de dureza para los tratamientos con y sin criogenia con tiempos de revenido. Fuente: Autores.

Ensayo de Desgaste abrasivo ASTM-G65

Para el ensayo de desgaste abrasivo se empleó arena homologa a la que recomienda la norma ASTM G65-04 [15], el tamaño de partícula oscila entre 211 y 620 μm , La figura 7 muestra la morfología tipo acicular de la arena y un tamaño de partícula aparentemente homogéneo.

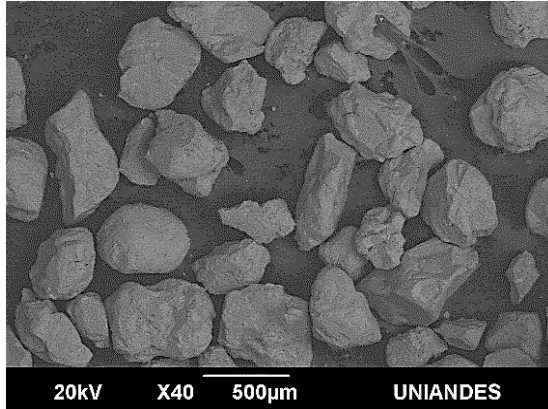


Figura 7. Micrografía SEM. Morfología de la arena empleada en el ensayo de desgaste abrasivo según la norma ASTM G-65. Fuente: Autores del proyecto.

En la tabla 6 se establecen los valores obtenidos más representativos del ensayo de desgaste abrasivo según la norma ASTM G, de las 40 probetas tratadas térmicamente; los datos del ensayo se establecieron en el numeral 4.7 y la densidad del material tenida en cuenta fue de 7.87 g/cm^3 .

Tabla 6: Datos en la prueba de desgaste abrasivo según Norma ASTM G65 para el acero AISI/SAE 1045. Fuente: Autores del proyecto.

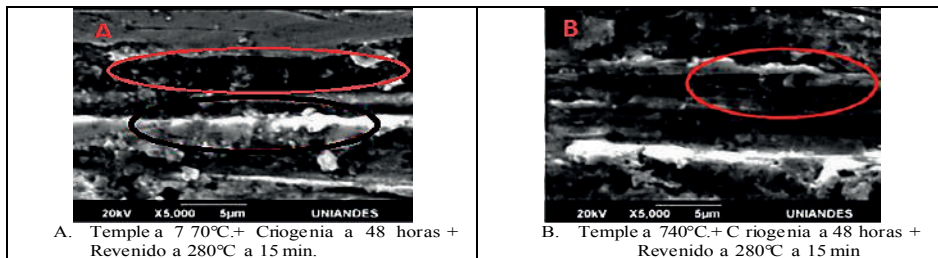
Parámetros	Valor
Masa inicial, (g)	93,6682
Masa Final, (g)	91,697
Pérdida de masa, (g)	1,9712
Pérdida por volumen, (mm^3)	250,4701398
Ajuste de pérdida por volumen (mm^3)	254,477662

La micrografía SEM de la figura 8 muestra que el tratamiento de 770°C presenta un canal de huella menor en A comparado con el que se puede observar en B que corresponde al tratamiento a 740°C, indicando esto que aquí se presentó mayor pérdida de masa.

En la figura 9 se puede observar, como la pérdida porcentual de volumen es mayor, en el temple a 740°C con revenido a 280°C y diferentes tiempos de mantenimiento, que en el temple a 770°C con el mismo revenido; aunque la prueba de dureza no varía significativamente con los tratamientos realizados, este fenómeno se puede atribuir a la formación de carburos de los elementos aleantes del acero durante el tratamiento criogénico, especialmente carburos de manganeso o de silicio.

CONCLUSIONES

El tratamiento criogénico no aumenta la dureza para ninguno de los 2 tiempos de sostenimiento a -196 °C, sin embargo, la resistencia al desgaste si se disminuye en 83.26% para el tratamiento de



A. Temple a 770°C.+ Criogenia a 48 horas + Revenido a 280°C a 15 min.

B. Temple a 740°C.+ C riogenia a 48 horas + Revenido a 280°C a 15 min

Figura 8. Micrografía SEM. Huella del ensayo de desgaste abrasivo a 5000X. Fuente: Autores del proyecto.

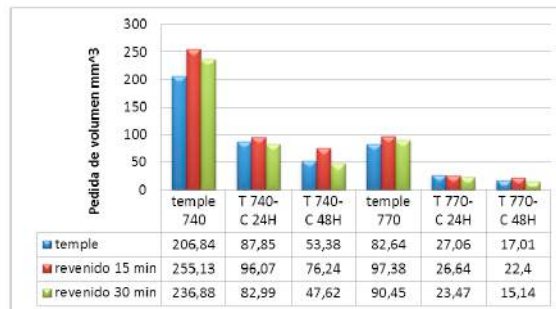


Figura 9. Comparación de la pérdida de Volumen de acuerdo a la norma ASTM-G65. Fuente: Autores del proyecto.

temple a 770°C y 79.9% para 740°C con tiempo de sostenimiento de 30 minutos con revenido de 280°C.

El aumento de la resistencia al desgaste abrasivo puede ser explicado por la presencia de una estructura formada por ferrita que se deforma antes de ser removida y martensita que es muy dura mostrando las ventajas de trabajar con este tipo de aceros.

De acuerdo a las micrografías obtenidas por SEM se encontró que de 24 a 48 horas, la martensita se volvió mucho más fina ya que el tratamiento criogénico refina el grano y se forman micro carburos brindándole al material mayor resistencia al desgaste.

REFERENCIAS

- [1] I. I. I. a. S. IISI, «Advance High Strength Steel Applications Guidelines,» IISI, 2014.
- [2] Movahed. P, et al., «The effect of intercritical heat treatment temperature on the tensile properties and work hardening behavior of ferrite-martensite dual phase steel sheets,» *Materials Science and Engineering A*, pp. 1-6, 2009.
- [3] ASTM INTERNATIONAL, Standard Practice for Microetching Metals and Alloys, Estados Unidos, 2004.
- [4] Z. K. C. K. Huseyin. A, «Effect of intercritical annealing parameters on dual phase behavior of commercial low alloyed steels,» *Journal of Iron And Steel Research*, pp. 73-78, 2010.
- [5] P. Kovacs-Coskun.T, «The Effect of Microstructure on the local wear behavior of heat treated structural steel,» *periodica polytechnica*, 2011.
- [6] M. T. P. Rocha. R, «Microstructural evolution at the initial stages of continuous annealing of cold rolled dual-phase steel,» *Materials Science and Engineering*, vol. A 391, p. 296-304, 2005.
- [7] Bensely, A., et al., «Effect of cryogenic treatment on tensile behavior of case carburized Steel-815M17,» *Materials Characterization*, pp. 485-491, 2007.
- [8] K. S. Jain.J, «Analysis of Abrasive Wear Characterization and its Correlation with Structure for Low and Medium Carbon Steels,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 2, n° 12, 2012.
- [9] B. R, «Cryogenic Treatment of AISI T8 and C1045 Steels,» *Advanced and Cryogenic Engineering*, vol. 27, pp. 1-7, 1981.
- [10] G. Totten, «HEAT TREATING IN 2020: WHAT ARE THE MOST CRITICAL ISSUES AND WHAT WILL THE FUTURE LOOK LIKE?,» *IFHTSE*, pp. 1-5, 2010.
- [11] Akhbarizadeh, A., et al., «Effects of Austenizing Time on Wear Behavior of D6 Tool Steel After Deep Cryogenic Treatment,» *JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH. INTERNATIONAL*, pp. 29-32, 2009.
- [12] C. A. Bohórquez Avila, «Influencia del Tratamiento termico desde temperaturas intercriticas de en las propiedades mecanicas del acero AISI 1045,» *Mecánica Computacional Vol XXXI*, pp. 3577-3587, 2012.
- [13] Abouei, V, et al., «A Study on the Wear Behaviour of Dual Phase Steels,» *J. Mater. Sci. Technol.*, pp. 107-110, 2007.
- [14] «Aceros al carbono,» de Elementos de Metalografía y de Acero al Carbono, Santiago de Chile, Andres Bello, 1995, pp. 213,214,215.
- [15] ASTM INTERNATIONAL, Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus, Estados Unidos, 2010.
- [16] VARIOS, «Heat Treating,» de Metals HandBook, vol. 4, ASM INTERNATIONAL, 1991.
- [17] D. C. Montgomery, «Diseño y analisis de experimentos,» de Diseño y analisis de experimentos, Mexico, Limusa Wiley S.A, 2004, p. 647.

- [18] K. Amini A. Akhbarizadeh, S. Javadpour, «Investigating the effect of holding duration on the microstructure of 1.2080 tool steel during the deep cryogenic heat treatment,» Vacuum, pp. 1534-1540, 2012.
- [19] ASTM INTERNATIONAL, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials., Estados Unidos, 2002.
- [20] ASTM INTERNATIONAL, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, Estados Unidos, 2003.
- [21] S. Offerman, Evolving Microstructures in carbon steel, Delf: Delf Institute, 2003.