

Dureza efectiva de una capa cementada en una atmósfera endotérmica a partir de metano, en aceros de bajo carbono.

Effective hardness of a cemented layer in an endothermic atmosphere from methane in low carbon steels.

Andrés Ortiz Cárdenas¹, Carlos Alberto López²
 Corporación Eco-eficiente, Colombia
 aortiz@forjasbolivar.com
 clopez@corpoeo.org

Resumen En el presente trabajo se presenta un procedimiento para evaluar la dureza efectiva en la capa cementada, en dos tipos de aceros AISI/SAE 8620 y 1020 en los que se requiere asegurar una dureza de 57 a 62 HRC hasta una profundidad superior a 0.7 mm. El procedimiento propuesto fue corroborado y complementado con análisis metalográfico.

Palabras clave Endotérmica, atmósfera controlada, cementación, martensita, dureza Rockwell.

Abstract In the present study is evaluated the effective hardness of a cemented layer treated in endothermic controlled atmosphere of methane, in two types of steel AISI / SAE 8620 and 1020 ensuring a hardness of 57 to 62 HRC at the surface and remains constant above 0.7 mm, is this the maximum adjustment between two moving parts such as bushings, pins and rollers, which in a drive chains are those that are subject to greatest abrasion wear.

Key Word Endothermic, controlled atmosphere, carburizing, martensite, Hardness Rockwell

I. INTRODUCCIÓN

Los aceros que se someten a procesos termoquímicos como la cementación, por lo general tienen un contenido máximo de 0.25%, en peso de carbono, en este trabajo se han evaluado dos de esos aceros con igual porcentaje de carbono (0.18-0.23% en peso de carbono) y diferente contenido de elementos de aleación; los aceros seleccionados fueron: el acero AISI/SAE 8620, un acero para cementación aleado con Cromo-Níquel-Molibdeno para cementación de aceptable templabilidad, que en el estado cementado y templado ofrece buena dureza

superficial y tenacidad en el núcleo; y el aceros AISI/SAE 1020, un acero simple al carbono que se utiliza para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia y buena tenacidad, puede utilizarse cementado templado y revenido o simplemente calibrado[1-2].

La profundidad de capa cementada en estos aceros es toda aquella sección que, desde la superficie hacia el centro, tiene un mayor porcentaje de carbono comparado con su composición química original; sin embargo, no toda la capa enriquecida en carbono, al ser templada, adquiere la dureza esperada, que para el caso de muchas industrias es de 88.9 a 91.4 Rockwell superficial 15N (57 a 63 HRC), esta condición se puede alcanzar si se consiguen una de las siguientes situaciones: con transformación con 80% de martensita en una capa cementada con un contenido de carbono de 0.7% en peso, o transformación de martensita del 95% para una capa cementada con contenido de Carbono de 0.5% en peso[3].

Se puede considerar que en la mayoría de las piezas cementadas el espesor de la capa dura varía de la cuarta parte a la mitad (0.25 a 0.5) de la profundidad de la capa cementada; a veces en lugar de hacer referencia a la profundidad de capa cementada se señala según preferencias la capa con carbono superior a 0.3 o 0.5 % de carbono, esto se hace por que en ocasiones ese espesor es casi aproximadamente al de la capa dura.

Los espesores de la capa cementa que normalmente se emplean en las piezas de máquinas y de motores se pueden clasificar en tres grupos:

- 1) Capas delgadas con menos de 0.5 mm de espesor de cementación. Estas profundidades de cementación se utilizan para pequeñas piezas de acero al carbono, endurecidas generalmente con sales de cianuro y templadas directamente desde la temperatura de

¹ Ingeniero metalúrgico, M. Sc., Director de proyectos Corporación Eco-eficiente.

² Ingeniero de Materiales, Ingeniero de proyectos Corporación Eco-eficiente

cementación. Estas deben usarse siempre sin rectificadas posteriores.

- 2) Capas medianas de 0.5 a 1.5mm. Estos espesores son los más corrientes para la mayoría de las piezas que se utilizan en la fabricación de máquinas y motores. Se pueden emplear cementantes sólidos, líquidos o gaseosos, con aceros al carbono, débilmente aleados o de alta aleación.
- 3) Capas de gran espesor, superiores a 1.5 mm. Son obtenidas generalmente, por cementación con materias sólidas y con cementantes gaseosos y algunas veces, aunque más raramente, con cementantes líquidos. Las chapas de blindaje, que suelen fabricarse con chapas cementadas de 3 a 4 mm son cementadas con gases.

Estas condiciones se requieren para ofrecer una adecuada resistencia a piezas que en la industria serán sometidas a condiciones de desgaste por abrasión.

En sistemas que requieren ajustes precisos como rodillo-buje, bujes-pasador donde la holgura permisible en el ajuste es de máximo hasta 0.7 mm en diámetro, se requiere entonces asegurar que la capa efectiva conserve su dureza cómo mínimo hasta esa profundidad; para lo cual el tratamiento de cementación se diseña de tal manera que las piezas adquieran una capa cementada en el rango de 1 a 1.5 mm radial, en la que la profundidad capa dura oscila entre 47% y 70% de la profundidad de la capa enriquecida en carbono. De esta manera se pretende asegurar que en las piezas ensambladas, la capa dura sobrepase la holgura permitida para el ajuste seleccionado (0,7mm) y por tanto que el cambio de las piezas no se produzca por defectos en el tratamiento térmico.

Un método preciso que se puede utilizar para la medición de la profundidad de la capa dura efectiva consiste en la preparación metalográfica de la sección transversal de una probeta del redondo tratado térmicamente que se desea inspeccionar, en la cual posteriormente se realiza un barrido de microdureza. Este método sin embargo, resulta difícil de implementar en una empresa que no cuente con la infraestructura de laboratorios necesaria lo cual la obligará a subcontratar el servicio algo que resulta poco práctico pues los resultados de la prueba podrían tardar varios días lo cual paralizaría la producción.

Por lo anterior, en este artículo se describe un método para inspeccionar la capa dura efectiva y predecir el porcentaje de carbono contenido en la martensita [3-4], que pueda ser implementado haciendo uso de los recursos que usualmente se encuentran en una planta de tratamientos térmicos. Los resultados obtenidos se verificaron mediante análisis metalográfico de la capa cementada.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A. Materiales:

Se utilizaron probetas cilíndricas de dos tipos de aceros cuyas especificaciones y dimensiones se muestran en la Tabla 1. Como ya se mencionó, los aceros seleccionados son comúnmente utilizados en la fabricación de piezas como bujes, piñones, pasadores y rodillos, con exigencias en profundidad de capa total hasta de 1.2 mm. [4]

Aceros SAE	AISI/	Diámetro en milímetros	Longitud en milímetros
1020		17.8	180
8620		23.8	150

Tabla 1. Dimensiones de las probetas

B. Tratamiento térmico:

El tratamiento térmico fue realizado en la planta de la compañía Forjas Bolívar S.A., donde el proceso de cementación se realiza en medio gaseoso con atmósfera endotérmica craqueada a partir de metano como se observa en la figura 1, la cual nos indica los parámetros para un estado de equilibrio ideales que cumple el generador de atmósfera la planta de tratamientos térmicos de la compañía mencionada [5].

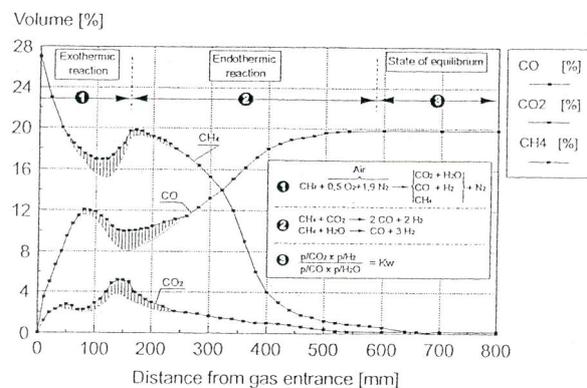


Fig. 1 Altura de columna efectiva desde la entrada de gas. [5]

La planta de tratamientos térmicos esta compuesta por hornos y equipos verticales de pozo tipo *batchö* (discontinuos); con una capacidad máxima de carga de 400kg, también cuenta con una sonda zirconia, la cual permite realizar una medición directa del potencial de carbono que contiene la atmósfera interna del horno de cementación.

Los parámetros con los que se realizaron los tratamientos en la planta se describen en la siguiente tabla 2:

Tratamiento	Temp °C	tiem (min)	% C	Temp Aceite
Cementación	930	60	1	45
	930	60	0,9	
	930	120	0,8	
Temple	800	60	0,5	
Revenido	180	120		

Tabla 2. Variables del proceso

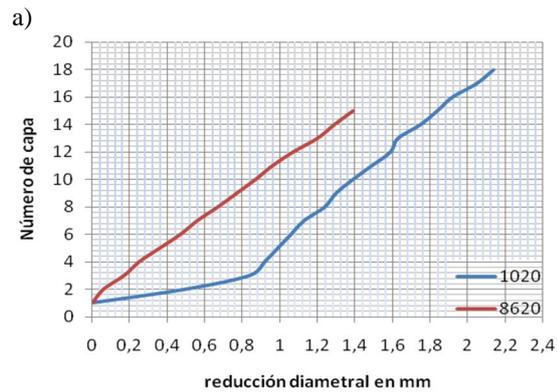
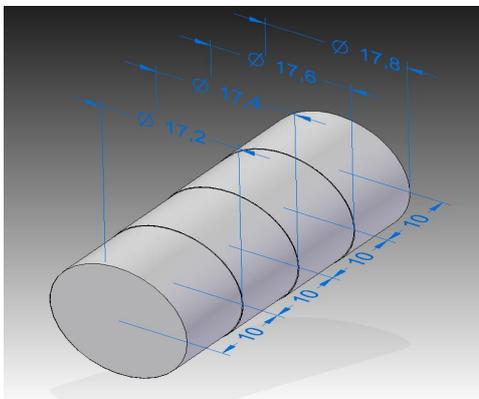
C. Preparación de las muestras:

Las probetas fueron cilindradas en un torno CNC Leadwell LTC25IL, luego se le realizó un rectificado para obtener las dimensiones mostradas en la tabla 1.

D. Procedimiento de inspección:

Después de haber realizado el tratamiento térmico en las probetas y a lo largo de toda la longitud se rectificó el diámetro a una profundidad promedio de 0.1mm cada 10mm de longitud (ver esquema en figura 2a) en una rectificadora sin centros Estarta 310; en la figura 2b se presentan los datos reales del maquinado.

El procedimiento para la toma de dureza se hizo según la norma ASTM E18-05-1[6] para durezas Rockwell, las indentaciones se hicieron en diferentes partes de la superficie maquinada, se realizaron 5 tomas de durezas Rockwell superficial 15N en cada capa, en un durómetro marca Instron tipo Rockwell RB2003 con sistema electrónico de control.



b) Fig. 2 a-b-). Maquinado posterior cada 10 mm

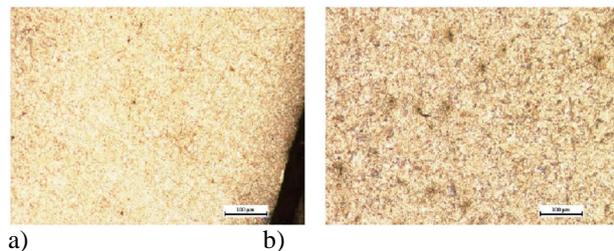
E. Ensayo metalográfico

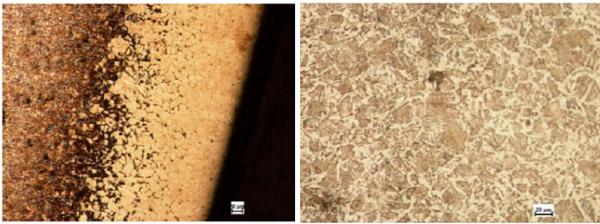
El análisis metalográfico se realizó con el fin de complementar los datos obtenidos a través del ensayo de dureza, se hizo mediante la técnica tradicional de pulido hasta superficie espejo y posterior ataque químico para revelar la microestructura, el reactivo utilizado fue Nital al 0.5%, las muestras templadas se cortaron con disco diamantado, antes de realizarle el rectificado posterior de cada capa.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Análisis metalográfico:

En la figura 3a se observa una microestructura compuesta principalmente por martensita, de la misma manera se puede ver que el centro de la muestra está constituido principalmente por martensita bruta con cantidades apreciables de perlita y carburos 3b. Por otro lado en la figura 3c se observar la capa cementada la cual está constituida principalmente por martensita fina, igualmente se puede observar la interfase entre la capa cementada y el centro de la muestra, en la cual se observa la formación de perlita en una matriz de martensita y la formación de ferrita widmanstatten. En la figura 3d se observa el centro de la muestra, donde aparece una microestructura conformada principalmente por martensita con contornos de grano de ferrita widmanstatten.





c) d)
Fig. 3. Metalografías acero AISI/SAE a-b) 8620, c-d) 1020

El tratamiento térmico fue diseñado para un temple único posterior a la cementación sin afinamiento de núcleo, al templar desde esta temperatura (800°C) se buscaron dos resultados principalmente: martensita muy fina en la capa externa con la máxima dureza y poca cementita; y segundo la temperatura de temple es insuficiente para la austenización del núcleo bajo en carbono como se observa en las anteriores micrografías, en éste la estructura resulta basta, con ferrita gruesa sin transformar y con bajas propiedades mecánica, por esto el objeto de estudio para este trabajo es solo la capa cementada [7].

B. Ensayo de dureza

Las figuras 4a y 4b muestran los valores promedio de 5 indentaciones realizadas para cada capa rectificada Vs. la reducción en diámetro a través del rectificado de forma diametral; en la figura 4a se muestra que para una reducción de capa de 0.7 mm presenta el mayor valor de la dureza 91.62 HR15N, de igual manera para la probeta de AISI/SAE 1020 donde para la misma reducción de capa presenta un valor de la dureza de 91.28 HR15N.

Por otro lado, en ambas probetas hay una tendencia inesperada de aumentar la dureza al interior de la capa cementada, esto se puede atribuir al hecho de que las dos últimas horas del proceso de cementación se redujo el potencial de carbono, con el fin de evitar la presencia de redes de cementita o de carburos que pueden hacer frágil la capa cementada y con tendencia a descascarillarse, por esto la martensita interior de la capa puede presentar un mayor porcentaje de carbón e incrementar la dureza de la misma como se muestra en la gráfica de la figura 5 obtenida de la referencia[3], otro posible efecto de reducir el potencial de carbono, es que se puede generar una ódescarburaciónó en la superficie, lo que ha generado la reducción de dureza:



a)

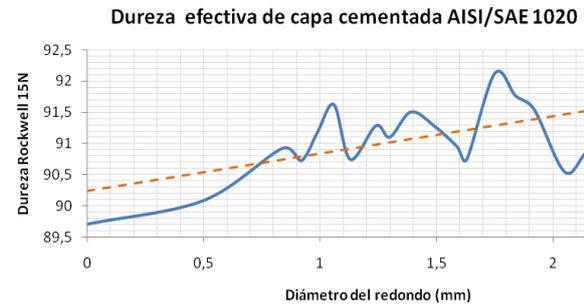


Fig. 4. Durezas de las probetas a) 8620, b) 1020

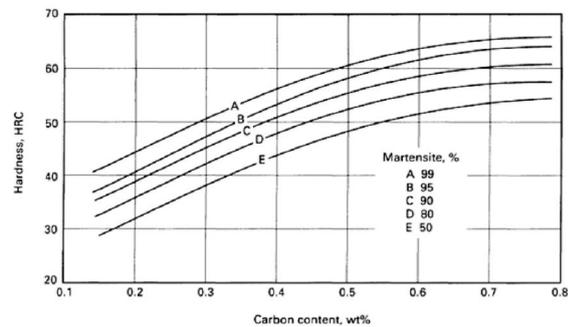


Fig.5 Relación entre la dureza, el contenido de carbono y la cantidad de martensita [3].

IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Los resultados aquí presentados sugieren que la capa efectiva presente en la profundidad total de capa cementada en estas probetas, se conserva en los 0.7mm que son los límites permisivos para la holgura entre piezas que están en movimiento relativo y requieren una buena resistencia al desgaste por abrasión.

La dureza promedio obtenida para el acero 8620 es de 89.85 HR15N (58.5HRC) y para el 1020 es de 91 HR15N (62 HRC); en ambos casos se puede atribuir entonces una transformación mínimo de 95% martensita y con un contenido de carbono

mínimo de 0.7% de carbono.

El método propuesto para la medición de la capa dura efectiva basado en la reducción sucesiva del diámetro del redondo, mostró ser una opción adecuada para ser aplicada a escala industrial por su versatilidad; este método podría extrapolarse a otras geometrías axisimétricas como platinas, barras cuadradas, entre otras.

Para una completa validación del método propuesto Se requiere entonces realizar nuevamente el procedimiento con mayor número de piezas con un manejo estadístico adecuado y barridos de microdurezas en la sección transversal.

El proceso de cementación bajo atmósfera gaseosa controlada endotérmica, comparado con la cementación en estado sólido y líquido es el único que permite controlar el potencial exacto de carbono.

[10] Totten George E. Steel heat treatment, metallurgy and technologies. Ed. Taylor & Francis Group. 2007.

[11] L. F. Rueda. Tratamientos termoquímicos para endurecimiento superficial del acero. Centro Metalmecánico. SENA Regional Antioquia. Julio 2002

[12] ASM international, *Metallography and Microstructures*. Volume 9 of the 9th Edition *Metals Handbook*. 1985

[13] Franco F. Paz José H. Tratamientos térmicos de aceros de bajo carbono en horno de atmósfera controlada. Volumen 6 No. 2. Diciembre 2004

[14] H.S. Restrepo, D.M. Tabón. Resistencia a la abrasión vs. resistencia al impacto del acero AISI 15B30, templado + revenido. Dyna, Año 74, Nro. 153, pp. 125-133. Medellín, Noviembre de 2007

REFERENCIAS

A. Catálogos y normas

[1] Normas AISI/SAE J404, junio 2000 (8620). J403, Noviembre 2001 (1020)

[2] Catálogos: a) Cia. General de Aceros S.A. Catálogo técnico. Octubre 2005. B) Bohler. Manual de aceros.

B. Referencias de libros y artículos

[3] ASM International. Metals Handbook 9th edition, vol. 4 pp. 30 ó 34.

[4] Aparaz Barreiro J. Tratamientos térmicos de los aceros. Editorial Dossat S.A. 8^o Edición. 1984. pp. 324 - 335.

[5] Aichelin-Stahl Inc., Lessø Summiit, Missouri. Principles and use of Endothermic atmosphere. 17th ASM

[6] ASTM (American National Standard) designation E18-05-1. Standar Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materiales.

[7] A. Valencia Giraldo. Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. 2009. Pp. 335 ó 365

[8] Krauss George. Steels: Processing, structure and performance. ASM. August 2005.

[9] Grossman/Bain. Principios de tratamientos térmicos. Editorial Blume. 1972