

Tratamiento térmico de acero cubano

N. Caballero Stevens, H. Cabrera Araujo

Unidad Docente Metalúrgica, Facultad de Ingeniería Mecánica
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
Calle 20 # 10522, Cotorro, Ciudad Habana, Cuba.
Email: udm@aacero.colombus.cu

(Recibido el 2 de febrero, aceptado el 2 de marzo)

Resumen

En este trabajo se muestran algunos de los resultados obtenidos durante la investigación de un nuevo acero cubano que se pretende destinar a la fabricación de elementos de corte para máquinas combinadas cortadoras de caña de azúcar, herramientas de mano y otras piezas de gran responsabilidad que requieren elevada dureza para su trabajo. En el trabajo se presentan los aspectos principales que relacionan la composición química, microestructura y dureza de este acero. Se establecen experimentalmente las temperaturas de los puntos críticos para definir los regímenes de tratamiento térmico. Se incluye el comportamiento de las propiedades de dureza ante diferentes regímenes de tratamiento térmico.

Palabras claves: Acero, recocido, temple, revenido, martensita, dureza

1. Introducción

La producción de nuevas marcas de acero es un objetivo fundamental para garantizar la producción de nuevos productos, así como para mejorar la calidad y propiedades de otros, requiere además de un estudio minucioso que permita conocer sus características, tendencias y comportamiento ante diferentes regímenes de explotación. Un elemento de suma importancia, para el empleo de cualquier acero, lo es sin duda el conocimiento no solo de su composición química, sino también las características de su microestructura, el comportamiento de su dureza bajo diferentes regímenes de tratamiento térmico.

2. Características principales del acero

El acero es elaborado en hornos de arco eléctrico y se vierte por colada continua, obteniéndose palanquillas cuadradas de 100x100 mm. De estas palanquillas se obtienen por laminación perfiles redondos de diferentes diámetros y planchuelas de sección rectangular de 12x80 mm.

La composición química se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero, en %.

C	Mn	Si	Cr	Ni
0,31- 0,30	1.093- 1,090	1,0	1.04- 1,045	1,54- 1,56

La microestructura del material en estado de entrega presenta agujas muy finas de martensita con agregados de perlita, también muy fina, similar a la troostita. La microdureza de la martensita es de 506 HV_{0,3} y la de la troostita es 355 HV_{0,3}. Los valores promedios de dureza Rockwell HRC fluctúan de 48-50.

Con el fin de caracterizar la martensita más detalladamente se aplicaron diferentes técnicas de estudios estructurales. Con la microscopía de fuerza atómica (AFM) se define el relieve y orientación de la martensita. Se observaron irregularidades en las alturas detectadas y muchos centros concentradores de tensiones. La topografía de la martensita se estudió a partir de los puntos de referencia en la zona observada.

El acero en estado laminado y enfriado al aire presenta dureza de 51-52 HRC. A esto le corresponde una microdureza de la martensita presente en la estructura de 572-579 HV_{0,3}. El efecto de la velocidad de enfriamiento del metal desde la temperatura de laminación se estudia al enfriarse al aire tranquilo y en una corriente de aire proveniente de un ventilador. Las temperaturas seleccionadas fueron : 850, 900, 950,

1 000, 1 050, 1 100, 1 130 y 1 150°C, las cuales responden a las características del proceso. En la tabla 2 se muestran los resultados

Tabla 2. Dureza promedio (HRC) con dos regímenes de enfriamiento diferentes

Temperatura [°C]	Enfriamiento en aire tranquilo	Enfriamiento en aire forzado
850	49,6	52
900	49,3	51,4
950	48,6	50,9
1 000	47,6	50,5
1 050	46,1	49,9
1 100	44,6	48,5
1 130	43,6	46,7
1 150	42,8	45,4

En la tabla 1 se observa que los valores de dureza después del enfriamiento al aire son elevados. Sin embargo, existe poca diferencia para una misma temperatura entre ambos regímenes de enfriamiento. El incremento de la temperatura ocasiona la disminución de la dureza, lo cual va acompañado de un notable crecimiento del tamaño del grano austenítico del metal. La microestructura en estos casos presenta la presencia de martensita de agujas finas con microdureza de 572 HV_{0,3}. Partiendo de los valores obtenidos, se efectúa el análisis de regresión y se establece el modelo matemático para expresar la variación de la dureza en función de la temperatura y el medio de enfriamiento. En la ecuación se considera:

T= temperatura de tratamiento (°C)

I = intensidad del aire durante el enfriamiento.

I = 1 para aire tranquilo

I = 2 para aire forzado

D = Dureza HRC

$$D = 0,12188 T - 0,00007 T^2 - 2,82429 \cdot t \quad (1)$$

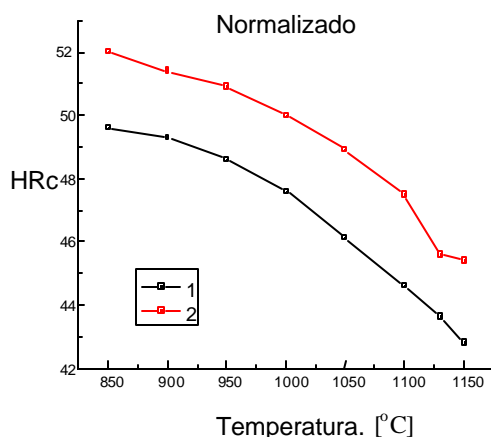


Fig. 1. Variación de la dureza durante el normalizado

3. Tratamiento Térmico

El estudio del comportamiento del material durante el recocido se lleva a cabo a las temperaturas 740, 760, 780, 800, 840 y 880°C con tiempos de permanencia a la temperatura de 30, 60 y 90 minutos. La estructura lograda en cada caso se corresponde con ferrita y perlita laminar cuya dureza varía de 266 a 270 HV_{0,3}. Con esta estructura la dureza lograda es baja lo que posibilita su elaboración posterior por maquinado.

Los valores promedios de dureza obtenidos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Dureza HRC del acero en estado recocido con enfriamiento final en el horno.

Temperatura [°C]	Tiempo de permanencia en minutos		
	30	60	90
880	28,1	27,6	27,2
840	27,7	26,7	25,7
800	26,7	26,4	25,6
780	27,0	26,2	24,9
760	26,5	25,9	23,7
740	25,9	25,1	22,7

Es notable que en el rango estudiado de temperaturas, la variación de dureza es poca y que el tiempo no ha ejercido una influencia importante. Para evaluar el efecto de la dureza y el tiempo en el recocido se obtuvo la siguiente ecuación que constituye una herramienta para determinar los regímenes de calentamiento en función de la dureza que se desea obtener.

$$D = -3093,8 + 3,023 \cdot t + 7478,3 \cdot \ln \frac{T}{100} + 42,98 \cdot \ln \frac{t}{10} - 5894,7 \left(\frac{T}{100} \right)^{0,5933} + 276 \cdot e^{[2,76+7,26 \cdot 10^{-4} (T) - 1,36 \cdot 10^{-3} t]} + 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot t \quad (2)$$

La variación de la dureza durante el temple a diferentes temperaturas considerando tiempos de permanencia de 30, 45, 60, 75 y 90 minutos y con enfriamiento siempre en aceite se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Variación de la dureza durante el temple, en HRC

Temp. [°C]	Tiempo de permanencia en minutos				
	30	45	60	75	90
780	52,9	52,4	52,3	52,2	52,2
820	52,9	52,3	52,3	52,2	52,1
860	52,5	52,3	52,2	52,2	52,0

La dureza no presenta gran variación en el intervalo analizado y en todos los casos se mantiene en 52HRC. Para el estudio del efecto del revenido se toma como temperatura de temple 820°C con tiempo de permanencia de 30 minutos y enfriamiento en aceite. Se estudian las temperaturas de 200, 250, 300, 500 y 550°C. Los resultados de dureza se muestran en la figura 2.

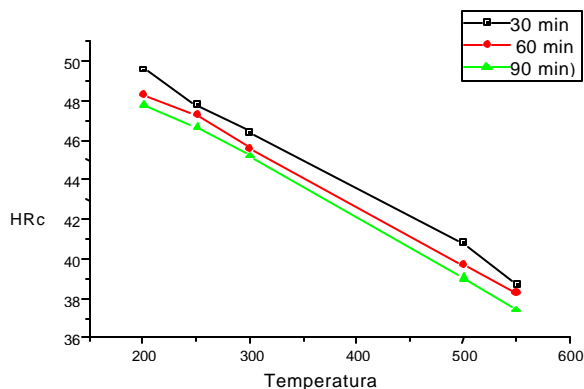


Fig. 2. Variación de la dureza durante el revenido

Las ecuaciones de regresión que pronostican la dureza que puede alcanzarse al variar la temperatura y el tiempo de revenido son:

Para un tiempo de 30 min.

$$D = 55.4711 - 0.030 T \quad (3)$$

Para un tiempo de 60 min.

$$D = 54.3505 - 0.0292 T \quad (4)$$

Para un tiempo de 90 min.

$$D = 54.0979 - 0.0302 T \quad (5)$$

Estas tres ecuaciones muestran que hay poca influencia del tiempo en los valores de dureza que se obtienen. No obstante, se presenta la siguiente ecuación general de ajuste para el intervalo de tiempo de 30 a 90 minutos:

$$D = 56.0798 - 0.024 t - 0.02981 T \quad (6)$$

En el caso del revenido también se observa que la dureza varía muy poco en cada nivel de temperatura, independientemente del tiempo de permanencia estudiado.

A 200°C el límite de rotura es de 151-155 kg/mm², mientras que a 550°C este valor es de 93-98 kg/mm². La elongación es de 10-16% y la estricción alcanza 5-9%.

La evolución de la microestructura del acero revenido en el rango estudiado es la siguiente:

- Hasta 250°C la estructura presenta agujas de martensita revenida con dureza de 493-499HV_{0.3}. También se observan pequeñas formaciones aisladas de bainita inferior con dureza de 470-476HV_{0.3}.
- A 300°C se incrementa la presencia de bainita inferior junto con la martensita revenida. En todas las probetas analizadas después del revenido a 550°C está presente la perlita globular con dureza del orden de 300HV_{0.3} y bainita superior de forma aislada con 443-450HV_{0.3}.

Conclusiones

- El acero estudiado presenta dureza 51-52HRC inmediatamente después de laminado y enfriado al aire tranquilo y en el aire forzado. Su estructura en este estado es martensítica.
- Han sido establecidos regímenes para el tratamiento térmico por recocido, normalizado, temple y revenido.
- Se obtienen ecuaciones de regresión que relacionan la dureza con la temperatura y el tiempo en los diferentes procesos de tratamiento térmico estudiados.

Bibliografía

- 1.-Valencia A. Tecnología del Tratamiento Térmico de los Metales. Editorial Universidad de Antioquia, Colombia, 1992.
- 2.-Francis G. R. *Diseño de experimentos*. Departamento de Matemáticas, Facultad de Ingeniería Industrial, ISPJAE., Cuba, 1997
- 3.-Montgomery D.C. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1991.
- 4.-Juan J.M. Grynai F. M. *Manual de control de calidad*. Segunda parte, Editorial Mc Graw Hill, España.
- 5.-Wegst C.W. *Llave de los aceros*. 1995

Thermal treatment of cuban steel

Abstract

In this article are shown some of the results obtained during the investigation of a new cuban steel that it is going to be used in the manufacture of blades for cane cutting machines, hand tools and other part of great responsibility that require high hardness for the job.

In the article are presented the principles aspects of quimical composition, microstructure and hardness of this steel. There are stablished experimentally the temperature of the critic points in order to determine the regimes of the thermal treatment. The behavior of the properties of hardness is included at different regimes of thermal treatment.

Key words: Steel, thermal treatment, quenching, tempering, hardness.

COMBUSTIBLES Y REFRACTARIOS

Curso de posgrado.

Conferencista: *Dr. Rogelio Zaragoza Valdés. Director de la Unidad Docente de Metalurgia. Facultad de Ingeniería Mecánica. ISPJAE*

E-mail: udm@aacero.colombus.cu



Temáticas:

MATERIALES REFRACTARIOS Y SUS PROPIEDADES. DESGASTE DEL MATERIAL REFRACTARIO. ATAQUE DE LAS ESCORIAS. SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE LOS MATERIALES REFRACTARIOS. COMBUSTIBLE Y SUS PROPIEDADES. TEORÍA DE LA COMBUSTIÓN. COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASEOSOS. QUEMADORES. CONTROL DE LA COMBUSTIÓN. EFECTO CONTAMINANTE DE LA COMBUSTIÓN Y SU PREVENCIÓN.

Fecha: 24 al 28 de Septiembre del 2001

Duración: 30 horas

Resumen Curricular del Coordinador:

Dr. Ciencias Técnicas. Investigador Auxiliar, Profesor Titular Adjunto, Especialista en hornos metalúrgicos, combustión, refractarios y fenómenos de transporte, campos en los que ha desarrollado sus trabajos. Ha impartido varios cursos de post-grado sobre estos temas. Es autor de cuatro folletos de texto. Posee una experiencia de 25 años en la industria, en la esfera tecnológica, donde se ha desempeñado desde tecnólogo hasta director de empresa, lo que le da un perfil tecnológico-industrial en la metalurgia muy amplio. Es miembro de la Comisión Nacional de Carrera de Metalurgia y jefe de la misma en la UDM del ISPJAE. Es miembro de la Comisión de Especialidades del SIME.

Correo Electrónico: udm@aacero.colombus.cu