

Comportamiento parabólico del crecimiento de capas boradas en los aceros Y8A y X12M

C. Figueroa Hernández, E. Cañete Cisnero, M. Hurtado Ferrer

Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*.

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Tecnología de Construcción de Maquinaria

Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba

Tel: (537) 27 1208

Fax: (537) 27 1208

E-mail: castaned@mecanica.ispjae.edu.cu

(Recibido el 21 de febrero de 1999; aceptado el 7 de marzo de 1999)

Resumen

Se determina la influencia que tienen los principales parámetros tecnológicos del borado en el crecimiento de las capas y se corrobora el cumplimiento de la ley parabólica para predecir este comportamiento en los aceros Y8A y X12M.

El proceso de borado se aplica en una mezcla de carburo de silicio y bórax (70 y 30 %) a la temperatura de 850, 900 y 950 °C durante un tiempo de 2, 4 y 6 horas. Como variable dependiente se seleccionó la profundidad del recubrimiento, a partir de la cual se obtuvieron los coeficientes del crecimiento parabólico y la energía de activación en función de la temperatura, el tiempo del proceso y el tipo de acero.

La caracterización metalográfica reveló la presencia de la fase Fe₂B

Palabras claves: Borado, recubrimiento superficial, tecnología de recubrimiento.

1. Introducción

Ha sido demostrado [2,3,6] que uno de los parámetros más importante que caracteriza las capas difusivas es el espesor, ya que de éste dependen las propiedades del recubrimiento tales como: la resistencia al desgaste, a la fatiga y a las cargas dinámicas, además de determinar en gran medida el agarre con el sustrato.

Disponer de una expresión que permita pronosticar es espesor de las capas durante los procesos termoquímicos facilita la selección adecuada de los parámetros tecnológicos, para de este modo, garantizar las propiedades deseadas.

En el caso del borado este pronóstico reviste la misma importancia, sobre todo, cuando se requiere aumentar los espesores para asegurar una mayor durabilidad de los elementos que admiten tolerancias de desgaste más amplias.

El procedimiento utilizado permitió conocer la energía de activación (Q), el coeficiente de crecimiento para la capa (K). Estos son los parámetros que caracterizan los procesos difusivos y permiten una mejor comprensión de los fenómenos que ocurren durante la saturación.

2. Materiales y métodos de investigación

Los aceros utilizados durante la experimentación poseen la composición química que se brinda en la Tabla 1

Tabla 1. Composición química de los aceros Y8A y X12M.

Acero	% C	% Cr	% Mn	% Si	% V	% Mo
X12M	1,6	12	0,4	0,3	0,3	0,6
Y8A	0,85	0,2	0,4	0,3	-	-

Las muestras fueron obtenidas a partir de laminados cilíndricos con diámetros de 15 mm. Se construyeron probetas en forma de cubos de 10 x 10 mm y se rectificaron con papel de lija No. 600; para, de este modo, garantizar una rugosidad homogénea.

El proceso seleccionado fue el borado en mezcla líquida con 30 % de SiC y 70 % de Na₂B₄O₇. El mismo se realizó dentro de un crisol metálico a las temperaturas de 850, 900 y 950 °C durante tiempos de 2, 4 y 6 horas. Como medio de enfriamiento se utilizó el aire.

La profundidad de la capa se determinó a través de la medición directa en el ocular del microdurómetro PMT-3 que puede apreciar 0,3 μm .

Los valores de microdureza superficial obtenidos corroboran la presencia del hemiboruro Fe_2B .

Conocida la ley parabólica del crecimiento de fases [3]

$$y = K\sqrt{t} \quad (1)$$

Donde:

K: Coeficiente de crecimiento de fases ($\text{cm/s}^{1/2}$)

t: Tiempo del proceso (s)

y: Profundidad de capa (cm)

El coeficiente K se puede describir por la siguiente ley

$$K^e = K_o^e \cdot e^{-Q/RT} \quad (2)$$

Donde:

K_o^e : Coeficiente preexponencial (cm^2/s)

Q: Energía de activación

R: Constante de los gases (Kcal/mol)

T: Temperatura ($^\circ\text{K}$)

Los valores de K, K_o y Q se determinaron a partir de los gráficos que se muestran en la figura 1, luego de hacer la linealización de la ecuación (2) y aplicando el método de los mínimos cuadrados [5].

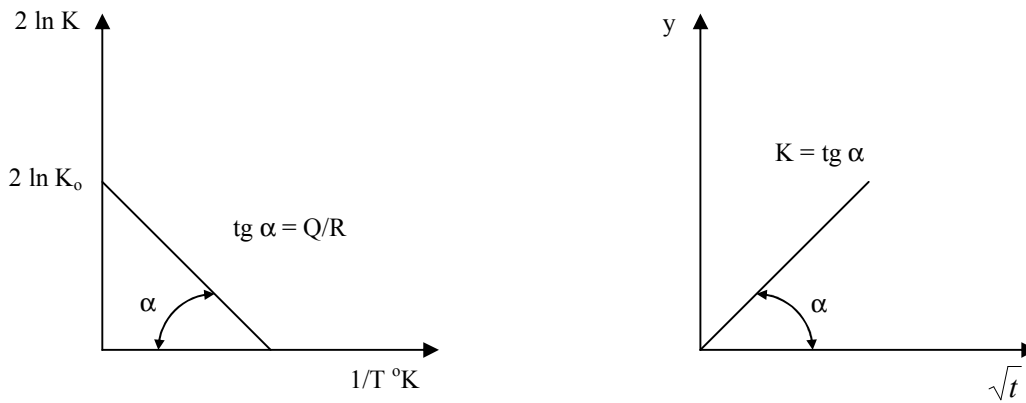


Fig. 1. Representación gráfica de la linealización de la ecuación 2.

$$2 \ln K = 2 \ln K_o - \frac{Q}{R} \frac{1}{T} \quad (3)$$

Los coeficientes Q, K_o y K caracterizan el proceso difusivo [1]. Conocidos éstos se pueden sustituir en la expresión (1) y se obtiene la expresión que permite predecir el crecimiento de la fase boruro en función de la temperatura y tiempo del proceso.

$$y = K_o \cdot \sqrt{e^{-Q/RT} \cdot t} \quad (4)$$

La validación se realizó determinando el grado de adecuación del mismo con relación a los resultados experimentales.

3. Análisis de los resultados y discusión

La caracterización de la capa borada a través del microdurómetro evidenció la presencia del compuesto químico Fe_2B que posee microdureza de 1300 – 1500 Hv. Esta fase aparece cuando el proceso de borado se realiza utilizando como reductor el carburo de silicio (SiC). En este caso la actividad del medio no permite la formación de una fase con mayor contenido de boro [4].

Si se establece una comparación entre los coeficientes obtenidos para los aceros Y8A y X12M se puede apreciar que su comportamiento concuerda con la teoría establecida para el crecimiento en capas difusivas puesto que el coeficiente K muestra incremento con la temperatura. Además, los menores valores corresponden al metal base más aleado ya que se dificulta el proceso difusivo y las capas son más pequeñas.

La energía de activación y el factor preexponencial no dependen de la temperatura y poseen un valor constante.

La adecuación satisfactoria permite confirmar el cumplimiento de la ley parabólica durante el proceso de borado líquido monofásico.

Los resultados pueden ser apreciados en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Comportamiento del crecimiento de la capa borada en el acero Y8A.

Temperatura °C	Tiempo (h)	K (cm/s ^{1/2})	Profundidad de capa teórica (μm)	Profundidad de capa experimental (μm)	Microdureza Superficial (Hv)
850	2		23,8	23,2	1395
	4	2,745 x 10 ⁻⁵	33,7	33,2	1428
	6		41,28	40,22	1476
900	2		28,72	28,57	1523
	4	3,3802 x 10 ⁻⁵	40,62	40,51	1532
	6		49,75	49,56	1548
950	2		34,09	35,5	1529
	4	4,1279 x 10 ⁻⁵	48,22	50,11	1538
	6		59,05	61,13	1550
K ₀ = 0,002240246 cm/s ^{1/2} Q = 19,4733 Kcal/mol					
Modelo 1			$y = 0,002240246 \sqrt{e^{-9835/T} \cdot t}$		

Tabla 3. Comportamiento del crecimiento de la capa borada en el acero X12M.

Temperatura °C	Tiempo (h)	K (cm/s ^{1/2})	Profundidad de capa teórica (μm)	Profundidad de capa experimental (μm)	Microdureza Superficial (Hv)
850	2		17,56	17,82	1263
	4	2,03 x 10 ⁻⁵	24,84	25,01	1353
	6		30,42	30,45	1363
900	2		20,00	20,01	1280
	4	2,3724 x 10 ⁻⁵	28,28	28,39	1425
	6		34,64	34,84	1486
950	2		22,52	22,73	1332
	4	2,6946 x 10 ⁻⁵	31,86	32,17	1542
	6		39,02	39,47	1549
K ₀ = 0,000433949 cm/s ^{1/2} Q = 13,53076 Kcal/mol Modelo 2 $y = 0,000433949 \sqrt{e^{-6833,72/T} \cdot t}$					

4. Conclusiones

Los regímenes de borado establecidos garantizan la formación de una capa monofásica de alta microdureza (1300 – 1500 Hv) compuesta fundamentalmente por el hemiboruro FeB.

La metodología propuesta permitió determinar con cierta exactitud coeficientes tan importantes como el de crecimiento de fases (H), la energía de activación (Q) y el factor exponencial (K₀).

Al utilizar los dos sistemas metálicos diferentes no es posible establecer una relación entre los valores de energía de activación obtenidos.

La ley parabólica para el crecimiento de las capas se puede utilizar para predecir el espesor del recubrimiento, puesto que muestra una adecuación satisfactoria.

Bibliografía

1. Bokstein, S. Z. *Difusión en metales*, Moscú: Editorial Mir. 1980. p217.
2. Borsiacov, A. S. *Optimizachiia tiejnologichieskij prochiessopoluchieniia borsodiersshaschij diffuzionij sloiev*. SSSR: Zhurnal, Metaloviedenie Termicheskaja Obrabudka Metallov. No. 1, 1981, pp 24-27.
3. Lajtin, Yu M. *Tratamiento Qyumicotérmico de los metles*. Moscú: Editorial Mir 1987, p303.
4. Lyakhovich, L. S. *Diffusion saturation and formation of boride coatings on high strenght cast iron*. USA: Jornal, Metal Science and Heat Treatment. Vol. 19, No. 5-8, may – june, 1987, pp 454-457.
5. Ostle, B. *Estadística aplicada*. La Habana: Editorial Científico – Técnica. 1980, p 629.
6. Schmauser, H. *Experiencias realizadas con punzones recubiertos*. Barcelona: Revista Deformación Metálica. Año XVIII. No. 189, marzo 1992, pp 11-17.

Parabolic behavior of boriding layers growth in Y8A and X12M steels

Abstract

It was determined the influence of the main technological parameters of the boriding process, and a mathematical model that allows to predict this conduct on the steels Y8A and X12M steels was obtained.

The boriding process is applied in a mixture of silicon carbide and borax (70 and 30%) at 850, 900 and 950 °C temperature during a period of time 2, 4 and 6 hours. As an independent variable the depth of the coat was selected.

It was obtained the parabolic growth coefficients, and the activation energy according to temperature, time and the chemical composition of steel.

Metallografic analysis reveals the presence of Fe₂B phase.

Key words: Boriding process, superficial coat, coat technology.

I Conferencia de Diseño Mecánico de Componentes y Sistemas



Septiembre 12 - 15, 2000, La Habana, Cuba

TEMAS PRINCIPALES

Diseño por Simulación y Optimización, Mecánica del Sólido, Cinemática y Dinámica de las Máquinas, Ingeniería para la Industria y Elementos de Máquinas.

Para enviar resúmenes o solicitar información adicional

Comité Organizador CCIM'2000
 Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
 Facultad de Ingeniería Mecánica
 Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba
 Teléfono: (537) 20 2267 Fax: (537) 27 1208 E-mail: ccim@mecanica.ispjae.edu.cu