



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Mecánica

Metalurgia General - ME42A

Resistencia al Desgaste Abrasivo de  
Acero con Bajas Concentraciones de  
Carbono Mediante Borización

Alvaro Romo Y.  
Luis Tapia D.

**Semestre Otoño 2006**

# Índice

<b>1. Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>3. Experimento</b>	<b>4</b>
<b>4. Resultados y discusión</b>	<b>5</b>
4.1. Observaciones de la microestructura . . . . .	5
4.2. Análisis de rayos X . . . . .	6
4.3. Dureza de la capa borizada . . . . .	6
4.4. Test abrasivo . . . . .	6
<b>5. Conclusiones</b>	<b>7</b>
<b>6. Referencias</b>	<b>8</b>

# 1. Objetivos

1. Explicar las razones de porque el acero SAE 1020 resultó ser el más resistente.
2. Explicar microestructuralmente el proceso de borizado en el acero.

## 2. Introducción

Borizado es un tratamiento termoquímico, en que átomos de boro penetran a través de la difusión en el material deseado, en este caso acero. De esta manera en el acero se forma una capa superficial con alta concentración de boro. El acero borizado presenta en sus capas superficiales mayor microdureza, lo que ayuda a disminuir el desgaste, es decir aumenta la resistencia abrasiva. La ventaja de este tratamiento es que el Boro es un átomo muy pequeño comparado con otros, por lo que difunde con mayor facilidad.

Para realizar el tratamiento se dispone de un contenedor en donde se introduce la mezcla de borizado y el acero. La mezcla de borizado es colocada alrededor del acero. El contenedor es calentado a alta temperatura, alrededor de los  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  y luego enfriado a temperatura ambiente por un tiempo determinado, por lo general en un rango de entre 1 a 8 horas.

La mezcla esta compuesta principalmente por  $B_4C$ , un activador como  $KBF_4$  y un diluyente, por ejemplo  $SiC$ . La capa formada por la difusión de Boro forma fase  $FeB$  y  $Fe_2B$ , por lo general no se desea que se forme la fase  $FeB$ , ya que es más frágil que la fase  $Fe_2B$ , además cuando están presentes las dos fases si se aplica carga suelen formarse grietas en los límites entre fases.

El grosor de la capa formada depende de la temperatura a la que se realizó el borizado y el tiempo de enfriado. El aumento de estos factores incide en el aumento del grosor de la capa.

### 3. Experimento

Para el desarrollo del experimento se usaron muestras planas de 25 mm de diámetro y de 5 mm de grosor, los aceros utilizados se enumeran en la tabla 1.

Tabla 1: Composición de aceros.

Acero	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si	Fe
1020	0.20	0.45	-	-	-	0.2	Balance
1045	0.45	0.75	-	-	-	0.2	Balance
4140	0.4	0.65	1.0	0.2	-	0.2	Balance
4340	0.4	0.7	0.8	0.25	1.8	0.2	Balance

La microdureza de los aceros utilizados se muestra en la tabla 2. Antes de realizar el boronizado, las muestras fueron pulidas y limpiadas con acetona.

Tabla 2: Microdureza  $HV_{0,1}$  de aceros sin tratamiento.

Acero	Microdureza
1020	250
1045	260
4140	370
4340	330

El Boronizado fue realizado con diferentes mezclas (ver tabla 3).

Tabla 3: Composición (%) de mezclas de borizado.

Mezcla	Borax	$SiC$	$NH_4Cl$	$NaCl$
M1	88.26	9.06	1.22	1.46
M2	73.26	24.06	1.22	1.46
M3	63.26	34.06	1.22	1.46

La temperatura de tratamiento aplicada se encuentra en un rango de 1223 y 1323 °K y la duración en un rango de 2 y 8 h. Los tests de abrasión a las probetas fueron realizadas usando un aparato de rueda de goma, conforme al estándar ASTM-G65, funcionando a una velocidad en la periferia de 2 - 2.5 m/s y con una fuerza contra las muestras de 130 N, la arena de cuarzo (200 um) fue usado como el agente abrasivo. La pérdida de masa de las probetas fue medida cada 60 s.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Observaciones de la microestructura

Se observa que en el acero SAE 1020 borizado a  $1273\text{ }^{\circ}\text{K}$  durante 4 horas con la mezcla M1 posee una morfología de sierra, la cual es típica en los aceros borizados, además se ve que el borax como agente borizante tiene una notoria influencia en el grosor de la capa borizada. Con las mezclas M1 y M3 la capa borizada fue relativamente más fina que con la mezcla M2.

Como el borizado es un proceso difusional termoquímico el grosor de la capa debe aumentar con el tiempo y la temperatura. Para el acero SAE 1020 con la mezcla M2, a  $1223\text{ }^{\circ}\text{K}$  la capa borizada fue relativamente delgada, pero al aumentar la temperatura a  $1323\text{ }^{\circ}\text{K}$  el grosor de la capa aumento, sin embargo esta fue porosa.

Por otro lado, al incrementar la duración del borizado, como se esperaba el grosor de la capa aumento.

Al borizar a  $1273\text{ }^{\circ}\text{K}$  durante 8 horas, el grosor de la capa alcanzo valores superiores a  $200\text{ }\mu\text{m}$ . Cabe mencionar que con el aumento del tiempo de borizado aumento el tamaño del grano. Al analizar los otros aceros testeados (1045, 4140, 4340) se puede concluir cuales son los orígenes de las diferencias entre las capas, es decir, la influencia de los distintos agentes químicos como el C, Cr y el Ni.

En general, el grosor máximo de la capa borizada fue obtenido en el acero 1020, el cual contiene una baja concentración de C, además de Mn y Si. Al aumentar la concentración de C el grosor de la capa comienza a disminuir, esto es atribuido a la baja solubilidad del C en la capa borizada. Consecuentemente el carbono es forzado a moverse hacia el interior, acumulándose bajo la capa borizada formando una zona polifase rica en carburos y borocarburos. En el acero 4140, aunque el Boro posee más afinidad por el Cr que por el Fe, la capa fue similar a la del acero 1045. Probablemente la concentracin de C es el factor que limita el grosor de la capa borizada para estos dos aceros.

En el caso del acero 4340, el Boro tiene mayor afinidad por el Fe que por el Ni, por lo que el C y el Ni son forzados a moverse hacia el interior, lo que produce una capa borizada relativamente fina.

## 4.2. Análisis de rayos X

El patrón de difracción de rayos X, para cada acero borizado con la mezcla M2 a  $1273\text{ }^{\circ}\text{K}$  durante 8 horas, mostró que solo se consiguieron picos de  $\text{Fe}_2\text{B}$ , lo que concuerda con el uso de borax como agente borizante (no se forma la fase FeB).

## 4.3. Dureza de la capa borizada

Los valores de microdureza de la capa borizada con la mezcla M2 fueron medidos a una profundidad de 25 y 50  $\mu\text{m}$ . Se obtuvo que para todos los aceros borizados, la máxima dureza de superficie supera levemente los 2000  $\text{HV}_{0,1}$ . Esta microdureza no fue obtenida en todos los aceros usando las mismas condiciones de borizado. El acero 1020 requiere más temperatura que los otros aceros, a  $1273\text{ }^{\circ}\text{K}$  se le midió 1500  $\text{HV}_{0,1}$  mientras que la máxima microdureza de los otros fue mayor. Para los aceros 1020 y 4140, la microdureza de la capa borizada fue mayor con la mezcla M3 que con la M2.

## 4.4. Test abrasivo

Las muestras borizadas a  $1223\text{ }^{\circ}\text{K}$  presentaron una mayor pérdida relativa de masa, lo que puede ser atribuido al hecho de que a esa temperatura la capa borizada es más bien fina.

Al aumentar la temperatura y el tiempo de borizado ( $1273\text{ }^{\circ}\text{K}$  durante 8 horas), la capa aumenta su espesor y la pérdida másica es relativamente baja para las muestras. Para las anteriores condiciones de borizado, el acero 1020 presenta la más baja dureza y la menor pérdida de masa en comparación con los otros aceros, este aparente comportamiento contradictorio puede ser explicado porque la capa es la más grande y la menos frágil de las muestras estudiadas. La baja fragilidad puede ser confirmada por las grietas observadas en las superficies borizadas de los aceros 1045, 4140 y 4340 después del test abrasivo.

## 5. Conclusiones

Luego de estudiar el borizado en una variedad de aceros, en el cual se han modificado las temperaturas aplicadas, los tiempos de enfriado y además se han comparado propiedades se puede concluir:

1. Todos los aceros ocupados pueden ser borizados satisfactoriamente con una mezcla de borax y  $SiC$  a una temperatura de  $1273\text{ }^{\circ}K$ .
2. La capa borada presenta solo fase  $Fe_2B$ .
3. En el proceso de borizado lo que ocurre es que átomos de boro ingresan por difusión al acero formando fase  $Fe_2B$ , lo cual implica un aumento en la microdureza del material.
4. La mayor microdureza registrada en todos los aceros fue  $2000\text{ }HV_{0,1}$ .
5. El carbono posee baja solubilidad a la capa borizada, por tanto a mayor concentración de carbono menor será el grosor de la capa.
6. De todos los aceros el SAE 1020 fue el que mostró mayor resistencia abrasiva. Esto se debe principalmente a que el acero SAE 1020 posee menor concentración de carbono comparado con las otras muestras.

## 6. Referencias

- [1] M.A. Béjar, E. Moreno: *Abrasive wear resistance of boronized carbon and low-alloy steels*, Journal of Materials Processing Technology, Chile (2006).
- [2] Vipin Jain, G. Sundararajan: *Influence of the pack thickness of the boronizing mixture on the boriding of steel*, Surface and Coatings Technology, India (2002).