

# Caracterización metalográfica de capas cromadas por difusión

**J. E. González Ruiz\*, R. Quintana Puchol\*\*, A. Duffus Scot\*\*, A. Rodríguez Cristo\***

\*Centro de Investigación y Desarrollo de la Fundición. Planta Mecánica.

Fax: (422) 91 690

Email: direccion@plantamec.esivc.colombus.cu

\*\*Universidad central de Las Villas (UCLV). Centro de Investigaciones de Soldadura.

( Recibido el 21 de octubre de 1998; aceptado el 27 de diciembre de 1998 )

## Resumen

En el trabajo se aborda la aplicación de procesos de cromado difusivo obtenidos a partir de mineral de cromo refractario mediante el método metalotérmico. En primer término se realiza una caracterización metalográfica de las capas cromadas por difusión y sus zonas adyacentes en aceros AISI 1015, 1045, 1055 y W108, de forma adicional se estudia un hierro fundido con una matriz predominantemente perlítica y un contenido de carbono de 3%.

También es tratado el efecto ejercido por el contenido de carbono presente en los materiales anteriormente mencionados sobre el espesor de las capas y en los valores de microdureza alcanzados en la sección transversal de éstas, haciendo énfasis en la zona compuesta por carburos complejos de cromo - hierro.

**Palabras claves:** Cromado difusivo, difusión, recubrimiento, deposición, cromita.

## 1. Introducción

La industria moderna se caracteriza por un constante incremento de la productividad de máquinas y herramientas, lo cual resulta posible gracias al desarrollo de nuevas tecnologías y materiales. Los recubrimientos por difusión (tratamientos termoquímicos) se encuentran dentro de las tecnologías que más han evolucionado en las últimas décadas, permitiendo con ello a los elementos de máquina y herramientas tratados enfrentar las nuevas condiciones de explotación, al crear en sus superficies un conjunto de propiedades imposible de obtener por otro método tecnológico.

En la actualidad existe una tendencia, dentro de los recubrimientos por difusión, encaminada a desarrollar recubrimientos de carburos, nitruros y boruros de los elementos comprendidos entre los grupos IV y VI de la tabla periódica de elementos químicos, lo cual es motivado porque en muchos casos su utilización redundaría en un incremento de las propiedades en las piezas y herramientas tratados en comparación con los niveles obtenidos empleando recubrimientos de sus metales (Cr, Ti, V) [8].

Dentro de los recubrimientos base carburos más estudiados se encuentran los de cromo. La composición física de las capas cromadas por difusión depende del contenido de carbono en el metal base (2, 5, 7). Al cromar

aceros con contenidos inferiores al 0,17 % de éste elemento se obtienen capas de solución sólida de cromo en  $Fe\alpha$ , mientras que cuando su contenido sobrepasa el 0,17 %, las capas adquieren naturaleza de carburos. Las capas de carburos se forman a costa de la interacción del Cr presente en el medio saturante con la superficie a saturar y de la difusión, contra el gradiente de concentración, del carbono desde la matriz austenítica hacia la superficie a saturar [5].

Los costos por concepto de materias primas en la aplicación del cromado difusivo mediante el método de mezclas de polvos ( $FeCr$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ) resultan relativamente altos, impidiendo con ello una mayor generalización en la aplicación de dicha tecnología lo cual ha creado la necesidad de trabajar en su disminución. La utilización de las cromitas refractarias en éste sentido, significa una disminución de los costos por concepto de materias primas en más de 11 veces.

El cromo en las cromitas refractarias cubanas se encuentra formando cromoespinelas en compañía de aluminio, hierro y magnesio, a lo cual se suma la presencia en éstas de silicio (en forma de  $SiO_2$ ), lo cual puede repercutir de forma positiva sobre las propiedades de las capas cromadas formadas por carburos [8], unido a los elementos de tipo económico anteriormente expuesto, hacen necesario el estudio de este mineral como posible sustituto de las materias primas tradicionalmente utilizados en los procesos

de cromado difusivo que emplean el método de mezclas de polvos.

## 2. Materiales, métodos e instalaciones

Como fuente aportadora del elemento activo (Cr) se utilizó cromita refractaria, con una composición química, según análisis de laboratorio, acorde con lo expuesto en la tabla 1. Los Análisis fueron realizados por vía húmeda.

**Tabla 1.** Composición química de la cromita utilizada en los experimentos.

Oxido	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO
Contenido(%)	33.7	3.44	14,93	32,34	14,61	0,98

Con el objetivo de conocer la influencia del contenido de carbono en el metal base sobre la morfología, valores de microdureza y espesor de las capas cromadas obtenidas a partir de cromita se escogieron 4 aceros con diferente contenido de carbono (tabla 2). De forma adicional, con similar propósito, se utilizó un hierro fundido con una matriz

perlítico - ledeburítica (tabla 2). La composición química en los materiales estudiados fue determinada mediante el equipo de análisis espectral marca Spectrolab, de fabricación alemana, con la excepción del contenido de carbono y de azufre en el hierro fundido, que fueron determinados mediante el método gasovolumétrico.

**Tabla 2.** Composición química de los materiales utilizados.

Material	Elementos (%).						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
AISI 1015	0.15	0.14	0.33	0.62	0.15	0.018	0.032
AISI 1045	0.46	0.24	0.6	0.18	0.13	0.022	0.031
AISI 1055	0.54	0.3	0.65	0.06	0.08	0.027	0.08
AISI W 108	0.76	0.38	0.2	0.19	0.05	0.005	0.009
Hierro fundido	3.0	2.35	1.02	0.14	0.17	0.08	0.222

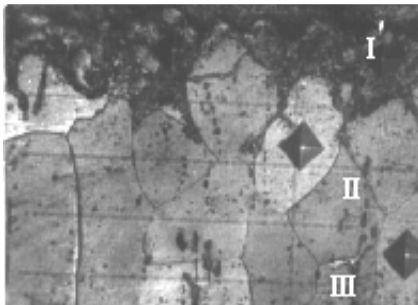
Las probetas fueron elaboradas de forma cilíndrica, con valores de rugosidad superficial de 1,6 Ra. Como método de saturación por difusión se utilizó la variante aluminotérmica, por lo que fue necesario reducir el óxido de Cr; para ello se utilizó aluminio en polvo en forma estequiométrica. Después de ejecutada la reducción se adicionó a la mezcla, en calidad de activador 1 % de NH<sub>4</sub>Cl.

La saturación por difusión fue realizada en un horno de fabricación rusa modelo CHO-3.6.0/10M1, con una precisión en la medición de la temperatura de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Una vez concluidos los experimentos se procedió a la extracción, limpieza, seccionado, pulido y ataque de las probetas con el objetivo de facilitar la ejecución de los análisis metalográficos. Los mismos fueron realizados en el microdurómetro de fabricación rusa marca PMT-3, con una carga de 20 g.

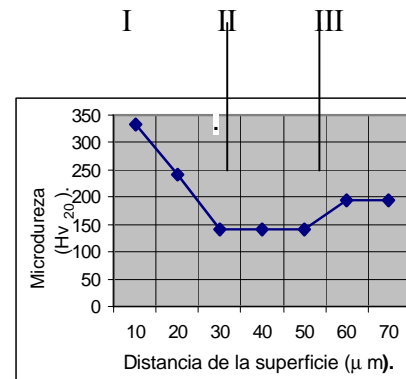
## 3. Resultados experimentales

### Caracterización metalográfica

Durante el análisis metalográfico de las capas cromadas base acero AISI 1015 éstas se revelan de color oscuro (zona I, figura 1), apreciándose de forma nítida difusión en los límites de grano, fenómeno que debe encontrarse vinculado a los elevados niveles de energía de activación necesaria para que se produzca la difusión volumétrica del cromo y (o) al mecanismo de difusión de dicho elemento, lo que coincide con un mayor número de defectos en las zonas ocupadas por los límites de grano [1]. La microdureza en la capa difusiva oscila entre 274 y 320 Hv<sub>20</sub> (zona I, figura 2). Posteriormente aparece una zona ferrítica (zona II, figuras 1 y 2), con valores de microdureza de  $\approx 180$  Hv<sub>20</sub> y por último el núcleo ferrítico perlítico (zona III, figuras 1 y 2).



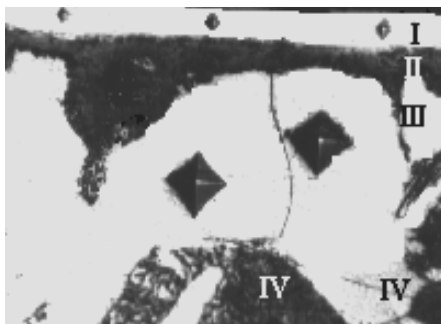
**Fig. 1.** Capa cromada en acero 1015.  
Régimen de exposición 1000 °C – 4 h.  
X 400.



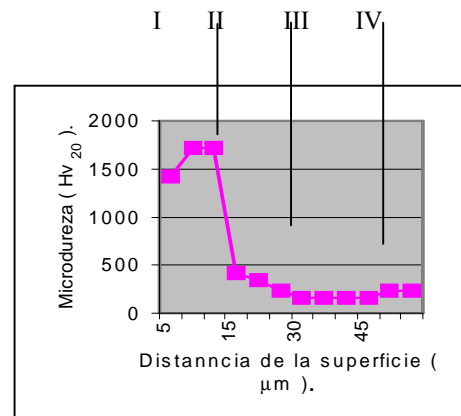
**Fig. 2.** Perfil de microdureza en el  
acero 1015 cromado.  
Régimen de exposición 1000°C – 4 h.

La morfología de las capas cromadas, utilizando cromita refractaria como fuente aportadora de cromo, en los aceros AISI 1045 y 1055 varía substancialmente en comparación con las obtenidas en el acero 1015. Es apreciable, durante el análisis micrográfico, una primera zona de color blanco brillante en la que atendiendo a los altos valores de microdureza presentes (1400 - 1715 Hv<sub>20</sub>, zona I, figuras 3 y 4) debe corresponder a carburos complejos de Cr - Fe, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por diferentes

autores [3, 4, 7] en procesos de cromado base aceros con un contenido de carbono superior al 0,17 %. Luego aparece la zona de transición (zona II, figuras 3 y 4) con microdurezas entre 220 y 300 Hv<sub>20</sub>, distinguiéndose por una difusión preferente por los límites de grano y por su irregularidad. Posteriormente aparece una zona ferrítica (zona III, figuras 3 y 4) y el núcleo ferrítico - perlítico característico de éstos aceros en estado recocido.



**Fig. 3.** Capa cromada en acero 1055 empleando cromita.  
Régimen de exposición 1000°C – 4h.



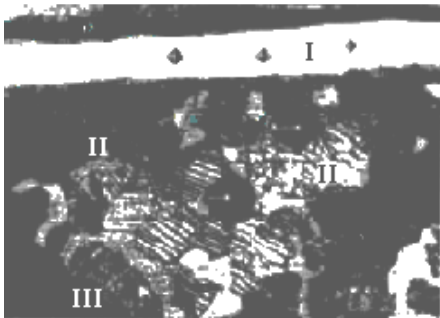
**Fig. 4.** Perfil de microdureza del acero 1055  
cromado.  
Régimen de exposición 1000°C – 4h.

Durante el análisis metalográfico de las capas cromadas obtenidas en el acero W 108, se pudo apreciar al borde, una

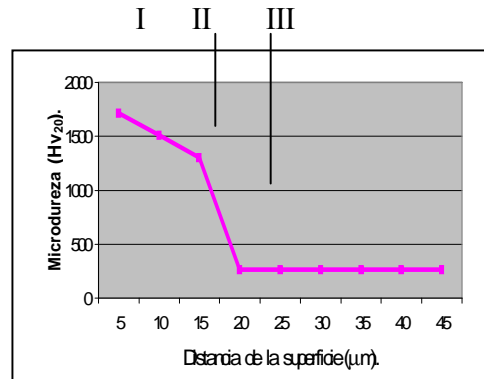
capa de carburos de color blanco, con valores de microdureza entre 1400 y 1715 Hv<sub>20</sub> (zona I, figuras 5 y 6).

Luego aparece el núcleo con inclusiones de ferrita no propias de éste acero (zona II, figuras 5 y 6) (inclusiones de color blanco dentro de la matriz de color oscuro). Es de

resaltar que no se revela de forma clara la zona de transición y que no es apreciable la zona ferrítica.



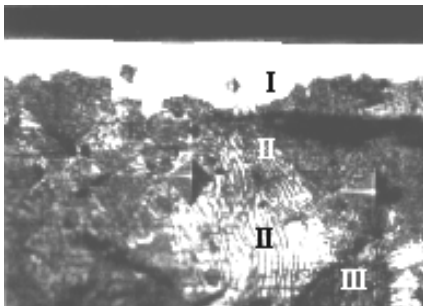
**Fig. 5.** Capa cromada en acero W108. Régimen de exposición 1000°C - 4 h. 400X.



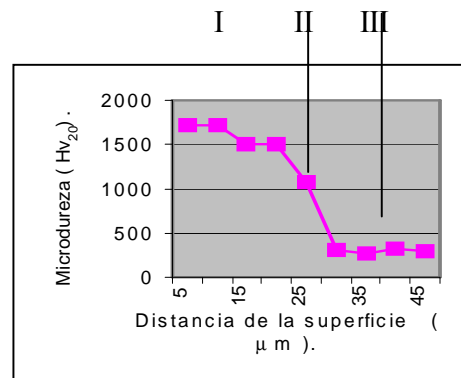
**Fig. 6.** Perfil de microdureza de capa cromada en acero W108. Régimen de exposición 1000 °C - 4 h.

En el análisis metalográfico de las capas cromadas base hierro fundido también es apreciable una zona de carburos de cromo (zona I, figuras 7 y 8) con valores de microdureza entre 1200 y 1715 Hv<sub>20</sub>. Luego aparece una zona perlítica con microdureza entre 210 y 300 HV<sub>20</sub> (zona II, figuras 7 y 8) y por último el núcleo con una matriz perlítica e inclusiones de grafito propias de un hierro fundido gris. La

ausencia de grafito en la zona II debe estar vinculada a la difusión del carbono desde este lugar hacia la capa de carburos. Un fenómeno análogo debe ser el responsable de la formación en los aceros 1045 y 1055 de la zona ferrítica y de la aparición de esta fase en el acero W 108.



**Fig. 7.** Capa cromada a partir de cromita en el hierro fundido estudiado. Régimen de exposición 1000 °C - 4h. 400X.



**Fig. 8.** Perfil de microdureza de capas cromadas en el hierro fundido estudiado. Régimen de exposición 1000 °C -4h.

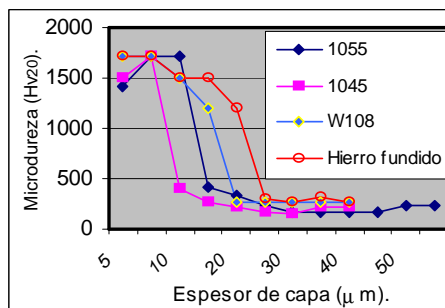
### Efecto del contenido de carbono en el metal base sobre el espesor y la microdureza de las capas

El contenido de carbono en el metal base posee una influencia significativa sobre la morfología, la composición física y la microdureza de las capas cromadas utilizando

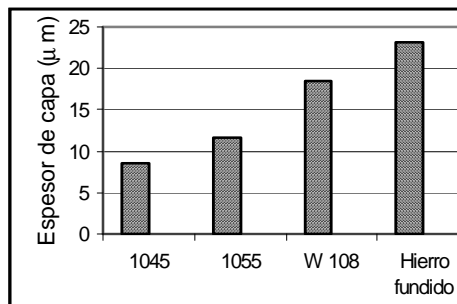
cromita. Las capas de carburos, obtenidas en los materiales estudiados, poseen una microdureza con una magnitud superior en 5-7 veces a las presentadas por éstos antes de aplicarles el tratamiento. En la sección transversal de la zona ocupada por carburos la microdureza no posee un comportamiento homogéneo (figura 9), reforzándose esa tendencia en el hierro fundido.

También el contenido de carbono en el metal base posee una influencia significativa sobre el espesor de las capas cromadas a partir de cromita (figura 10). En el caso de las capas de carburos obtenidas en los aceros estudiados y en el

hierro fundido es apreciable un incremento de su espesor de forma paralela al aumento del contenido de carbono. Al comparar los espesores de las capas de carburo de cromo alcanzadas en el acero 1045 con las obtenidas en el 1055 y en el W 108 se produce un incremento de 1,39 y de 2 veces respectivamente (figura 10). Este comportamiento debe encontrarse relacionado con el incremento del coeficiente de difusión del carbono en la austenita, ya que el mismo, en condiciones de exposición isotérmicas, depende en gran medida de la concentración de este elemento en el metal base.



**Fig. 9.** Influencia del contenido de carbono en el metal base en la microdureza de las capas cromadas obtenidas a partir de cromita.  
Régimen de exposición 1000 °C – 4 h.



**Fig. 10.** Influencia del contenido de carbono en el metal base sobre el espesor de las capas cromadas obtenidas a partir de cromita.  
Régimen de exposición 1000 °C – 4h.

## 4. Conclusiones

1. El contenido de carbono en el metal base posee una influencia significativa sobre la morfología, espesor y microdureza de las capas cromadas obtenidas a partir de la cromita refractaria estudiada.
2. Los valores de microdureza alcanzados en las capas cromadas en aceros AISI 1045, 1055, W 108 y en el hierro fundido coinciden con los niveles de microdureza reportados por varios autores para fases de carburos de cromo - hierro.
3. El incremento en las dimensiones de las capas de carburos de forma paralela al aumento del contenido de carbono en el metal base, se encuentra vinculado, en gran medida, al incremento del coeficiente de difusión de este elemento en la austenita.

## Bibliografía

1. Bokshstein, B. S.: *Difusión en metales*, Editorial MIR, Moscú, 1978.
2. Cotok, O. K.: *Reforzamiento superficial de los elementos de máquina por el método químico - térmico*. Editorial Mashinostroyeniye, Moscú, 1958.
3. Dubinin, G.N y otros: “*Cromado de los aceros para rodamientos con el objetivo de incrementar la duración de estos*”, Revista Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales No. 12, 1986, pp. 5-10.
4. Ebtuxob, B. N.: *Características y propiedades de las capas cromadas a partir de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*. Revista Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales No. 1, 1985.
5. Jorochailov, V: *Teoría y tecnología del tratamiento superficial del acero*. Editorial Ciencia y Técnica, La Habana, 1972.
6. Kujariyev, B. C.: “*Aplicación del tratamiento químico térmico en la industria*”, Revista Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales No. 3, 1987.
7. Lajtin, Yu; B. Arzamazov: *Tratamiento químico térmico de los metales*. Editorial MIR, Moscú, 1987.

8. Voronkov, A.: “*Conferencia sobre el método de recubrimiento por difusión superficial*”, Planta Mecánica, 1992.

---

## Metallographic characterization of diffusion chromized layers

### Abstract

In this work, a valorization of the influence of base metal carbon contents in the morphology, microhardness and depth of the chromium diffusive layers, obtained from Cuban refractory chromites was realized. For this purpose a low – carbon – steel 1015 ( AISI ), two medium carbon steel contents 1045 and 1055 ( AISI ) and a high carbon steel contents W 108 ( AISI ). Furthermore, a cast iron with a perlitic matrix was selected.

**Key words:** Diffusion chromized, deposition, chromites, layer.

# II Encuentro Internacional de Informática, Matemática y Dibujo para la Ingeniería Mecánica



Septiembre 12 - 15, 2000, La Habana, Cuba

---

### TEMAS PRINCIPALES

---

Didáctica de la Ingeniería Mecánica, Matemática Aplicada, Informática, Dibujo y Técnicas de CAD, Relación entre la Universidad y la Empresa, Creación de Valores en el Estudiantado.

---

---

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