



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

León Sevilla, Lisys Margarita; Gutierrez Pineda, Juan Carlos; Toro, Alejandro  
Relación microestructura resistencia al desgaste de recubrimientos duros ricos en cromo y tungsteno  
aplicados por soldadura electrica (SMAW)  
Dyna, vol. 71, núm. 144, noviembre, 2004, pp. 165-171  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614417>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

 redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# **RELACIÓN MICROESTRUCTURA RESISTENCIA AL DESGASTE DE RECUBRIMIENTOS DUROS RICOS EN CROMO Y TUNGSTENO APLICADOS POR SOLDADURA ELECTRICA (SMAW)**

LISYS MARGARITA LEÓN SEVILLA

Ingeniera Mecánica, Estudiante de Maestría en Materiales y Procesos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

JUAN CARLOS GUTIERREZ PINEDA

Ingeniero Mecánico, Estudiante de Maestría en Materiales y Procesos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

ALEJANDRO TORO

Grupo de Tribología y Superficies, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Recibido 21 de Septiembre de 2004, aceptado 30 de Septiembre de 2004, versión final 11 de Octubre de 2004

**RESUMEN:** Se comparó la microestructura y resistencia a la abrasión de recubrimientos duros depositados por soldadura sobre placas de acero estructural ASTM A36. Se utilizaron cinco electrodos comerciales, dos de bajo cromo, dos de alto cromo aplicados en una y dos capas y uno rico en tungsteno depositado en una capa. La resistencia al desgaste fue evaluada en una máquina de rueda de caucho y arena seca construida según la norma ASTM G65-80. Como material abrasivo se utilizaron partículas de sílice con índice de finura AFS 50-70. La caracterización de las microestructuras se realizó utilizando microscopía óptica y electrónica de barrido. Los resultados mostraron que el parámetro de resistencia a la abrasión no está directamente relacionado con dureza del material pero sí con el tipo, tamaño, forma, composición química y distribución de los carburos presentes en la matriz del recubrimiento. La mejor resistencia a la abrasión se obtuvo en depósitos con microestructura compuesta por carburos primarios (del tipo  $M_7C_3$  en recubrimientos ricos en Cr o del tipo MC,  $M_6C$  en recubrimientos ricos en W) en una matriz eutéctica.

**PALABRAS CLAVES:** Recubrimientos duros, Carburos dispersos, Resistencia a la abrasión

**ABSTRACT:** The microstructure and abrasive wear resistance of several hardfacing alloys were compared as a function of the chemical composition of the electrodes and the number of layers deposited onto ASTM A36 steel plates. High-Cr, low-Cr and high-W commercial electrodes were used, and the deposits were applied in one or two layers. Abrasive wear tests were performed in a dry sand-rubber wheel device, according to ASTM G65 standard. The abrasive used was silica with mean size AFS 50/70. Microstructure characterization was performed by using optical and scanning electron microscopes. The results showed that the abrasive wear resistance is not directly related to the bulk hardness of the materials tested, but it depends on the type, size, shape, chemical composition and distribution of hard second-phase particles dispersed in the metallic matrix. The best abrasion resistance was obtained in deposits with microstructure composed of primary carbides ( $M_7C_3$ -type in Cr-rich hardfacings or MC,  $M_6C$  in W-rich deposits) and eutectic matrix.

**KEY WORDS:** Hardfacing, dispersed carbides, abrasive wear resistance

## **1. INTRODUCCIÓN**

La forma en que un material es desgastado, su tiempo de vida útil y su reconstrucción, son temas en los cuales la industria y la academia deben pensar y estudiar con sumo cuidado ya que debido a tal deterioro, las empresas invierten miles de millones de USD, cerca de

un 3% del producto interno bruto (PIB) de los países industrializados y acentuándose mucho más en los países llamados del tercer mundo o subdesarrollados combatiendo dichos daños.

Se conocen diversos modos de degradación de una superficie como lo son: deformación

plástica, agrietamiento, cambios estructurales, corrosión y desgaste, de este último se conocen varios tipos a saber: abrasivo, erosivo, erosivo-corrosivo, triboquímico.

El desgaste abrasivo en particular es un fenómeno complejo, ya que depende de múltiples variables del tribosistema como la geometría de las superficies en contacto, la temperatura del medio y de las superficies, las propiedades mecánicas de los materiales involucrados, entre otros. Éste ha sido un fenómeno ampliamente estudiado pero no así definido por las razones expuestas anteriormente. Diversos investigadores (Rabinowicz 1965, Zum Gahr 1987, entre otros), han intentado establecer una terminología única para el estudio de los mecanismos y causas del desgaste abrasivo, y algunos consensos se han logrado a partir de esas iniciativas.

En general, la abrasión es un proceso mediante el cual partículas duras o protuberancias son forzadas a moverse a lo largo de una superficie sólida y el desgaste abrasivo será entonces, el resultado de la acción del movimiento relativo de estas partículas y/o protuberancias con respecto a la superficie..

La abrasión es responsable por las pérdidas de masa por desgaste más acentuadas en sistemas productivos, y por consiguiente, es el fenómeno de desgaste que presenta mayor impacto dentro del gasto de las industrias. Cerca de un 50% de los daños causados se atribuyen al desgaste abrasivo, convirtiéndose en un problema digno a ser tenido en cuenta.

Como posible solución a tal problema, existe la posibilidad de reconstruir las partes dañadas por medio recubrimientos duros (aleaciones) depositados por soldadura, como una forma económica y rápida para enfrentar y dar una mayor vida útil a los elementos de máquinas sometidos a desgaste abrasivo, ahorrando así considerable tiempo y dinero en recambios y maquinados.

## 2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Materiales

Todos los recubrimientos fueron aplicados sobre platinas de acero estructural ASTM A36 de 300 mm de longitud, 35 mm de ancho y 3/8" (9.525 mm) de espesor; cuya composición química nominal se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición química nominal (en peso) del acero ASTM A36.

% C Máx	% Si Máx	% P Máx	% S Máx	% Cu Máx
0.25	0.4	0.04	0.05	0.20

Se estudiaron recubrimientos aplicados por proceso SMAW pertenecientes a dos familias de composición química (bajo y alto Cr y alto W), los cuales se seleccionaron a partir de informaciones sobre su uso en las industrias minera, metalmecánica y agrícola. La composición química y principales aplicaciones de los recubrimientos elegidos se presentan en la tabla 2.

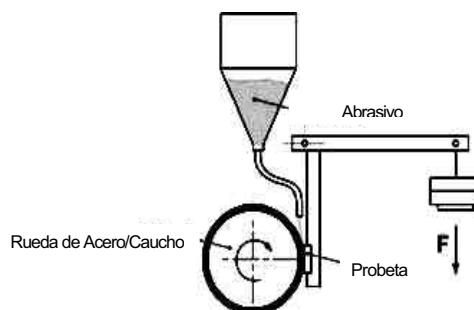
**Tabla 2.** Composición química recubrimientos.

Recubrimiento	Marca	Composición Química	Principales aplicaciones
<b>Gridur 7</b>	Messer-Gressheim	C:0.5% Cr:9.0% Si:1.7% Mn:0.4%	Elementos moldeadores, palas de orugas, maquinaria de movimiento de tierra sometida a abrasión e impacto.
<b>Citodur 600</b>	Oerlikon	C: 0.2%; Cr:7.0%; Mn: 0.2%; Si:0.1%	Dientes de palas mecánicas, drágas, elevadores, chapas de bulldózer, equipos para movimientos de tierra sometidos a impacto y abrasión
<b>Citodur V 1000</b>	Oerlikon	C:4.3% Cr:35% Mn: 1.1%	Reconstrucción de dientes de cargadores, excavadoras y bulldózer, cuchillas de excavadoras, molinos, barras batidoras, eslabones, cangilones de dragado o piezas fundidas en acero al manganeso ( <i>Hastfield</i> )
<b>CP 7007</b>	Eutectic-Castolin	C:3.8% Cr:33.5% Mn: 0.5% Si:0.6%	Cuchillas desbridadoras de caña de azúcar, tornillos de extrusión, elementos de trituración.
<b>Ultimium N 112</b>	Eutectic-Castolin	C:4.5% W:26% Mn:2,1	Labios de palas, transportadores de ceniza, raspadores, barrenadoras, herramientas de perforación, entre otras.
<b>RFeCr-Al</b>	Cuarepoti	C:4% Cr:30% Mn:1,5% Si:4%	Fabricación de elementos utilizados en la labranza agrícola; especialmente en la fabricación de discos de arado.

El recubrimiento RFeCrA1 (4% C; 30% Cr; 1.5% Mn; 4% Si), aplicado mediante llama oxiacetilénica, fue usado como material de comparación debido a su elevada resistencia a la abrasión verificada en condiciones de campo, en discos de arado para labranza primaria

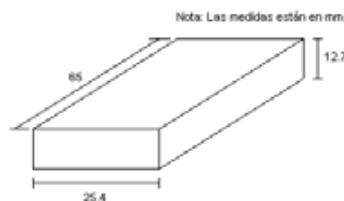
#### Ensayos de desgaste abrasivo

Los ensayos de desgaste abrasivo se llevaron a cabo en máquina de rueda de caucho y arena seca construida según norma ASTM G65-80, cuyo principio de funcionamiento se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema de principio de funcionamiento de la máquina ASTM G65-80.

Como probetas de ensayo fueron usados paralelepípedos de 25 x 65 x 12,7 mm, cortados de las placas en que se aplicó la soldadura (Fig. 2). De cada placa se descartaron 2 cm. en los extremos del cordón, y cada probeta fue inicialmente fresada y luego rectificada para garantizar una superficie plano-paralela para la realización de los ensayos.



**Figura 2.** Dimensiones de las probetas para ensayo de desgaste abrasivo mediante norma ASTM G65-80.

Se utilizó procedimiento tipo A para los recubrimientos con mayor resistencia a la

abrasión y tipo B para los menos resistentes cuyas condiciones se muestran en la tabla 3.

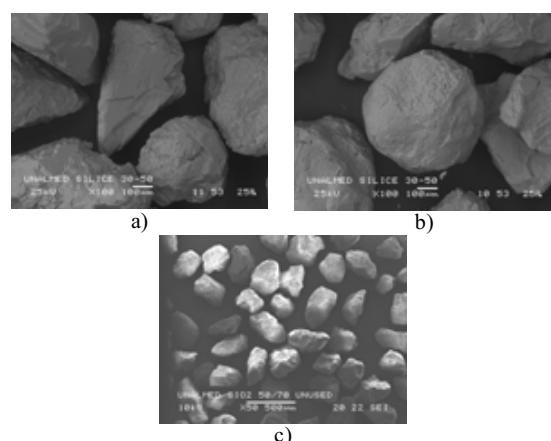
**Tabla 3.** Condiciones ensayo tipo A según norma ASTM G65-80.

Condiciones			
Procedimiento	Carga	Velocidad	Distancia de desgaste
A	130N	200 rpm	4309 m
B	130N	200 rpm	1436 m

Previamente a la realización de los ensayos las probetas fueron sometidas a un proceso de limpieza, para eliminar residuos de grasa u otro tipo de contaminación presente en la superficie como producto de la manipulación o del almacenamiento. El proceso de limpieza se realizó en varias etapas, a saber:

1. Lavado con agua jabonosa y esponja de polímero.
2. Limpieza con alcohol metílico.
3. Lavado en limpiador ultrasónico por 3 minutos a temperatura ambiente.
4. Secado con aire frío.

Fueron utilizadas partículas de sílice con granulometría media AFS 50/70 cuya morfología se muestra en la figura 3. El flujo de partículas sobre las superficies de desgaste fue de aproximadamente 310 g/min y se verificó que el abrasivo siempre estuviese formando una cortina uniforme según lo exige la norma ASTM G65-80.



**Figura 3.** Morfología de las partículas abrasivas. a) y b) Partículas de sílice a 100X; c) Silice a 50X.

Al final de cada ensayo las probetas fueron lavadas nuevamente en el limpiador ultrasónico y secadas bajo una corriente de aire frío; para la determinación de la pérdida de masa, ésta fue medida antes y después de cada uno de los ensayos realizados mediante una balanza con resolución de 0.0001g como lo exige la norma mencionada.

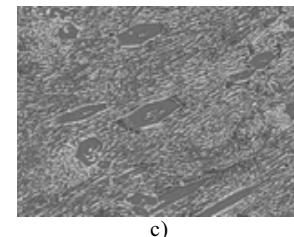
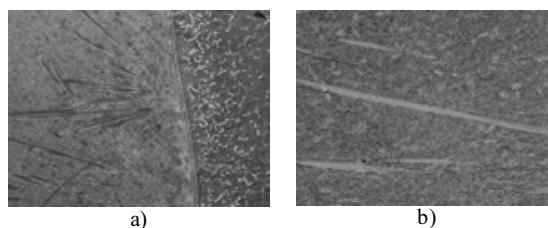
La determinación del número de revoluciones para cada uno de los ensayos se obtuvo a partir de la medición directa del disco y la correlación de dicho valor con el número de revoluciones tabulado en los anexos de la norma ASTM G65-80 para tal fin, que en la mayoría de los casos no excedió las 6300 rpm; los valores reportados como resistencia a la abrasión son el inverso de la pérdida de masa en función de la distancia de ensayo recorrida, expresados como  $(\text{mg}/\text{m})^{-1}$ .

El estudio de la microestructura y de las superficies desgastadas se realizó utilizando microscopía óptica y electrónica de barrido.

### 3. RESULTADOS

Tanto el depósito de Citodur 600 como el de Gridur 7 presentan microestructuras martensíticas. Según la proyección de la superficie *liquidus* del diagrama de equilibrio Fe-Cr-C, mostrado en la Figura 11, materiales con estas composiciones solidificarían como ferrita en condiciones de equilibrio, pero por las altas velocidades de enfriamiento asociadas al procedimiento de aplicación de los recubrimientos (SMAW), ocurre la transformación martensítica.

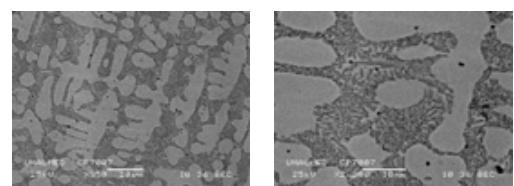
En la figura 4 se pueden apreciar las tres diferentes zonas presentes en el recubrimiento realizado con electrodo Citodur V1000 con una capa.



**Figura 4.** Microestructura Citodur V 1000 una capa a) Zona de crecimiento dendrítico, b) Zona de carburos alargados, c) Zona de carburos hexagonales.

Cerca de la intercara con el metal base se observa una estructura con crecimiento dendrítico (Fig. 4a) ocasionada por el rápido enfriamiento característico del proceso de soldadura; seguidamente se aprecia una zona en donde se encuentran carburos alargados del tipo  $M_2C_3$  (carburos primarios) inmersos en una matriz martensítica (Fig. 4b), los cuales no presentan una orientación preferente respecto a la intercara o a la superficie. Ya en la zona cercana a la superficie, los carburos no se presentan alargados sino con forma hexagonal y la matriz está compuesta por constituyente eutéctico (Fig. 4c).

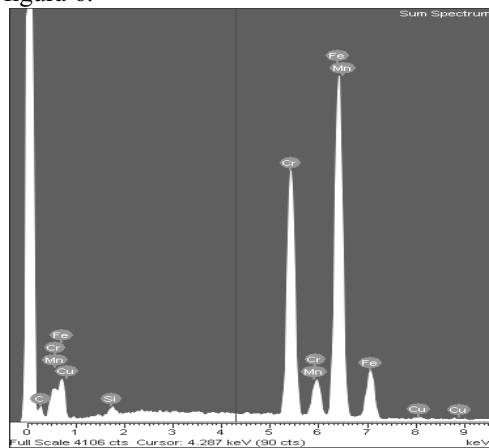
La figura 5 muestra la microestructura del recubrimiento CP 7007 depositado en una sola capa. Se observa una estructura compuesta por dendritas de austenita dentro de una matriz eutéctica y no se evidencia la presencia de carburos de ninguna clase en toda la zona recubierta.



**Figura 5.** Dendritas de austenita en matriz eutéctica. Recubrimiento CP 7007.

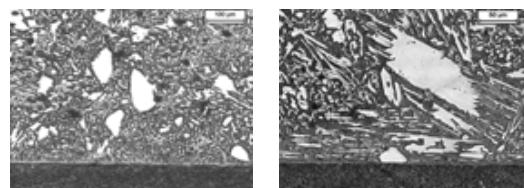
El espectro de emisión de rayos X obtenido en EDS para este recubrimiento muestra que el cromo y el hierro son los principales

elementos de aleación en el área recubierta figura 6.



**Figura 6.** Espectro EDS del recubrimiento CP 7007.

Con propósitos de comparación se estudió el recubrimiento RFeCr-A1, el cual tiene una composición química similar al Citodur V 1000 y al CP 7007 y es aplicado mediante proceso oxiacetilénico. A pesar que estos recubrimientos presentan composiciones químicas promedio muy similares, su microestructura y comportamiento frente a la abrasión difieren en gran medida. Estas diferencias se fundamentan, entre otras cosas, en que la dilución en el depósito RFeCr-A1 del metal base fue muy baja, como se puede inferir del perfil recto de la intercara entre el metal base y el recubrimiento figura 7.

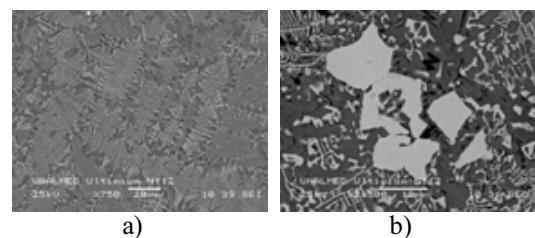


**Figura 7.** Microestructura del recubrimiento RFeCr-A1.

Este hecho favorece la formación de carburos primarios en toda la extensión del recubrimiento, los cuales le confieren a la microestructura muy buenas características frente a la solicitación durante el trabajo, aún en condiciones de una sola capa depositada.

La matriz observada es eutéctica y los carburos en algunos casos llegan a tener un tamaño medio superior a las 100  $\mu\text{m}$ .

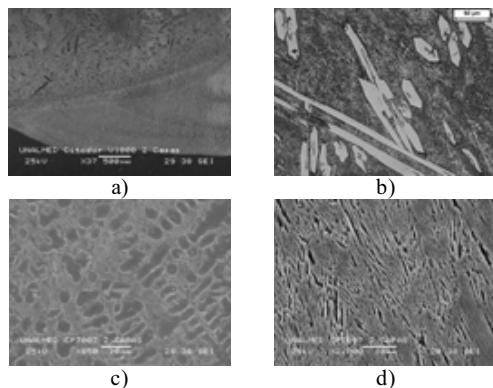
La observación metalográfica efectuada en el recubrimiento Ultimium N112 reveló una microestructura en la que se pueden apreciar carburos primarios del tipo MC (microdureza aproximada 2500 HV) rodeados a su vez por una red eutéctica con carburos del tipo  $\text{M}_6\text{C}$  (microdureza aproximada 1600 HV), los cuales adoptan una configuración geométrica comúnmente conocida como “espina de pescado” (*Fish bone*). La matriz del depósito es martensita con microdureza media 630 HV, correspondiente a la parte oscura que puede apreciarse en la Figura 8. Esta microestructura, típica de aceros de herramientas con contenidos elevados de W, V o Co, se presentó bastante homogénea en todo el recubrimiento.



**Figura 8.** Microestructura del recubrimiento Ultimiun N112 - 1 capa. a) Vista general, b) Carburos de tipo  $\text{M}_6\text{C}$  (*fish bone*) y MC en matriz martensítica.

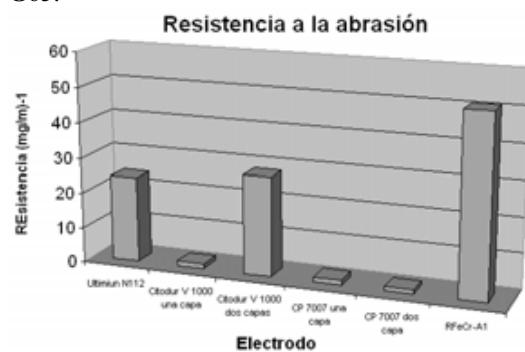
En las segundas capas depositadas, la microestructura obtenida fue de carburos con mayor tamaño distribuidos homogéneamente y sin una orientación preferente. Las mediciones realizadas en depósitos de Citodur V1000 muestran que en la primera capa el porcentaje de cromo en el recubrimiento tiene un valor promedio de 23% en peso mientras que en la medición de las probetas con dos capas de recubrimiento el porcentaje de cromo por peso llegó a ser de un 30%. En la figura 9 se muestra la microestructura de la segunda capa de los depósitos Citodur V 1000 y CP 7007. Los carburos de cromo presentes tienen en general un tamaño mayor que los de la

primera capa, y la transición entre una capa y otra está caracterizada por una variación microestructural significativa, ya que se observan desde acumulaciones de carburos con tamaño cercano a 1  $\mu\text{m}$ , hasta carburos individuales con tamaño medio de más de 100  $\mu\text{m}$ . la matriz es en algunas regiones eutéctica y en otras martensítica, y en el recubrimiento CP 7007 aún persisten las dendritas de austenita, en especial en la región de la intercara entre las dos capas aplicadas.



**Figura 9.** Microestructuras de los recubrimientos aplicados en dos capas; a) Transición entre primera y segunda capas, Citodur V 1000; b) Segunda capa cerca de la superficie, Citodur V 1000, c) Segunda capa en región próxima a la primera capa, CP 7007, d) Segunda capa en región próxima a la superficie, CP 7007.

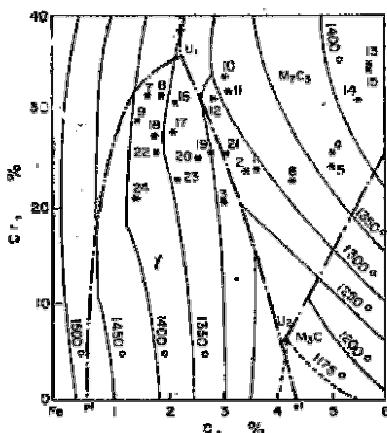
En la figura 10 se presenta de manera gráfica la respuesta de los diferentes recubrimientos ensayados en la prueba según norma ASTM G65.



**Figura 10.** Resistencia a la abrasión de los recubrimientos ensayados.

#### 4. DISCUSIÓN

Es interesante notar que, según la proyección de la superficie *liquidus* del diagrama de equilibrio Fe-Cr-C mostrado en la figura 11, tanto el recubrimiento Citodur V 1000 como el CP 7007 deberían presentar una microestructura compuesta por matriz eutéctica y carburos primarios del tipo  $M_7C_3$ . Sin embargo, la observación metalográfica en las primeras capas depositadas revela que el efecto de la alta dilución entre el recubrimiento aplicado y el metal base, así como las condiciones de enfriamiento obtenidas en condiciones reales, llevaron a una microestructura diferente y más heterogénea. En el caso del CP 7007 por ejemplo, la precipitación de carburos primarios fue prácticamente inhibida en su totalidad, promoviendo la solidificación dendrítica de austenita primaria para el caso de la primera capa, en la aplicación de la segunda capa desaparece la austenita primaria y el recubrimiento obtenido es totalmente eutec. En el Citodur V 1000 no todo el depósito exhibió precipitación de carburos primarios, y en algunas regiones la matriz encontrada fue martensita.



de los carburos M<sub>6</sub>C llamados *fish bone* fue favorecida debido a los altos gradientes de temperatura asociados al proceso de deposición en vez que los carburos primarios del tipo MC que aunque se evidencia su presencia, no es tan marcada como los carburos antes mencionados.

En los recubrimientos aplicados en dos capas, se evidenció un incremento en la resistencia a la abrasión por la acción de la disminución de la dilución del metal base en el recubrimiento y por ende se evidencia una refinación de la microestructura, que para el caso del Citodur V1000 los carburos encontrados fueron de mayor tamaño (Fig. 10) que los observados en la primera capa, por consiguiente la resistencia a la abrasión fue mucho mayor debido a que estos tienen un mayor efecto de frenado frente a la acción de las partículas abrasivas sobre la superficie, evitando que penetren en la matriz del recubrimiento y la subsiguiente remoción de material en forma de virutas o la formación de proas; de otros lado, la resistencia a la abrasión fue incluso mayor que la evidenciada por los carburos de tungsteno.

## 5. CONCLUSIONES

Al efectuar depósitos de una sola capa de recubrimiento se obtiene mucha dilución del material base en el recubrimiento, generando características muy heterogéneas del mismo y presentando bajos niveles de resistencia al desgaste abrasivo.

El uso de una segunda capa de recubrimiento se puede mejorar, en muchos casos, la resistencia al desgaste abrasivo de la superficie.

Los recubrimientos ricos en cromo con carburos primarios en matriz eutéctica presentaron mejor resistencia al desgaste abrasivo que aquellos en los que la matriz estuvo compuesta por constituyente eutéctico y austenita.

El recubrimiento Ultimium N112, rico en tungsteno, presentó elevada resistencia al desgaste debido principalmente a la tenacidad de los carburos de tipo M<sub>6</sub>C formados en la microestructura, los cuales mostraron alta capacidad de deformación y resistencia al corte.

## REFERENCIAS

- [1] ASM HANDBOOK. Friction, Lubrication and Wear Tecnology. Volume 18. 1992, p 176- 192.
- [2] HUTCHINGS, I. M. Tribology Friction and Wear of Engineering Materials. Cambridge, 1992, p 133- 171.
- [3] RABINOWICZ, E. Friction and Wear Materials. New York; John Wiley & Sons, Inc, 1965, 167-172.
- [4] RICHARDSON, R.C.O The Wear of Materials by relatively soft abrasives. Wear, 11 1968, p 245-275.
- [5] ASTM G65-80 Standard practice for Conducting dry sand / rubber abrasion test.
- [6] ZUM GAHR, KARL-HEIZ, Microstructure and Wear of Materials. Amsterdam; Elsevier, 1987. p. 80-350.
- [7] ZUM GAHR, K. H. and Eldis, G. T. Abrasive Wear of White cast irons. Wear, 64. 1980, p 175 – 194.
- [8] DE SAIRRE BÁLSAMO, P. S. A. Scotti y J. D. BIASOLI DE MELLO, Interpretación de la microestructura de recargues duros depositados por soldadura utilizando la superficie de liquidus de diagramas Fe-Cr-C, Revista de Soldadura, CENIM, Vol 25, Nº4, 199-207. 1995.