Ingeniería Mecánica. Vol. 12. No.2, mayo-agosto de 2009, pag. 83-92 ISSN 1815-5944

Estudio del comportamiento de los recargues multicapas de depósitos soldados de fundición blanca al cromo

R. Collazo-Carceller, H López-Salinas

Recibido el 9 de diciembre de 2007; aceptado el 22 de abril de 2008

Resumen

Se determina la influencia de los parámetros Energía introducida (Hi), Número de capas (Nc) y Ancho del depósito (Ad), en la morfología y el incremento de la resistencia al desgaste abrasivo de capas depositadas sobre acero 1020 utilizando el electrodo de fundición blanca al cromo *UTP Ledurit* – 61. Empleando la microscopia óptica se identificaron y cuantificaron las fases presentes, analizando su efecto en el desgaste. Siendo determinante la influencia de la inclinación de las dendritas y su posición con respecto a 90° en el incremento de la resistencia al desgaste abrasivo. Se caracterizaron los posibles mecanismos de daño superficial provocado por desgaste abrasivo empleando la microscopia electrónica de barrido. Se propusieron modelos lineales para correlacionar la influencia de la cantidad, tamaño, dispersión de los carburos y el ángulo de inclinación de las dendritas, en el incremento de la resistencia al desgaste.

Palabras claves: morfología, desgaste abrasivo, parámetros de soldadura, dendritas, modelos.

Study of the hard facing weld behavior in deposits of white chromium steels.

Abstract

The influence of different parameters in layer morphology and abrasion resistance of Fe-Cr-C electrodes UTP Ledurit – 61 on steel 1020 was studied. Introduced Energy (Hi), Number of Layers (Nc), and Deposit Width (Ad) were the main parameters considered. The metallographic identification and quantification of metal phases and the determination of their effect in abrasion resistance were made with optical microscopy. The abrasive wear test characterized by scanning electron microscopy, defines a possible mechanism of surface damage. It was found that the angle formed between a normal line to the surface and the dendrite inclination is directly related with the increment of wear resistance. Lineal models that correlate wear resistance with quantity, size, and carbide dispersion and dendrite angle inclination were also developed.

Key words: morphology, abrasive wear, welding parameters, dendrites, modeling

1. Introducción.

La eficiencia en el trabajo de los equipos y agregados en ramas, como la minería, la agricultura, la industria azucarera, el transporte y otras, dependen en gran medida de la conservación de la forma, dimensiones y propiedades mecánicas de sus superficies de trabajo [1, 2 y 3]. Los procesos de recargue han jugado un papel muy importante en la restauración de un sinnúmero de piezas de estos mecanismos, debido a las amplias posibilidades que confiere al modificar la resistencia al desgaste de las superficies de trabajo de las piezas. La aplicación de estos procesos implica un favorable balance técnico-económico [4,5].

Aunque en la práctica se ha difundido el uso de aleaciones de recargue de alta resistencia, es aún insuficiente el conocimiento del efecto de los parámetros del proceso en la morfología en aras de incrementar la resistencia al desgaste [5]. En la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido, se utilizan aleaciones de recargue al Mn, Co, Ni y al Cr que es la más empleada actualmente por las ventajas que presenta desde el punto de vista técnico económico.

El incremento de la resistencia a la abrasión de las aleaciones de recargue de fundición blanca al cromo, guardan estrecha relación con las características morfológicas de estos depósitos, al variar la cantidad, tamaño y distribución de sus carburos, predominantemente del tipo M_7C_3 [4]. En estos, la presencia de la matriz dendrítica nos permitió valorar el efecto del ángulo de inclinación de las dendritas en el incremento de la resistencia al desgaste.

Las contradicciones entre los resultados obtenidos por diferentes autores [4], sobre la posible influencia de los parámetros del régimen tecnológico de recargue en la formación de los carburos, la dilución y las propiedades de los depósitos, es considerable, reflejándose en la actualidad en las investigaciones a escala mundial.

Las valoraciones de la influencia de los parámetros del proceso en muchos casos han sido dirigidas a aspectos funcionales, como la adherencia del depósito al material base, la porosidad, el acabado superficial, las salpicaduras, el coeficiente de depósito de los electrodos y el rendimiento. Estos análisis se han realizado, sin resaltar los aspectos morfológicos [6].

En los procesos de soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido no ha sido estudiado con profusión, la influencia de la energía introducida en los cambios morfológicos y su relación con el incremento de la resistencia al desgaste abrasivo. Por otra parte son insuficientes los trabajos, donde se relacionen la influencia del número de capa, en los cambios morfológicos [7, 8, 4]. El conocimiento sobre la influencia del ancho del depósito y el número de capas, en el efecto del ángulo de inclinación de las dendritas es insuficiente [3]. Las características del deterioro superficial, causado por los mecanismos de deformación plástica y desprendimiento frágil, guardan una estrecha relación, con las morfologías presentes al variar los parámetros del proceso [3].

En este trabajo se realizó el estudio de la influencia de los parámetros del régimen de recargue, energía introducida (Hi), número de capas (Nc) y ancho del depósito (Ad), en los cambios morfológicos de depósitos de fundición blanca al cromo y su efecto en el incremento de la resistencia al desgaste abrasivo.

2. Experimentación.

En la soldadura de recargue se empleó el electrodo de revestimiento básico, de diámetro 4 mm y 450 mm de longitud. El electrodo producido por la firma UTP marca Ledurit – 61 de composición química de 3,5% C, 1,0% Si, 35,0% Cr y resto de Fe es certificado por la norma [9]. Se utilizó un rectificador SUPERBANTAM 400 DC de la firma sueca ESAB, con un rango de corriente de 60 – 400 (A) y una tensión máxima en vacío de 80 volt.

Para lograr reproducir de forma confiable las condiciones del régimen de soldadura manual, se empleó un soldador certificado y rigurosamente entrenado. Se utilizaron los parámetros de soldadura, en los rangos siguientes, intensidad de corriente de 100 – 150 (A), voltaje de 23 (volt), velocidad de 10,10 – 13,50 (cm/s), energía introducida de 13,00 – 16,00 (kJ/cm), número de capa de 1- 3 y ancho del depósito de 16 – 50 (mm).

La energía introducida se calculó empleando la fórmula siguiente [6].

$$Hi \equiv \frac{V * A * S}{L} \text{ J/cm} \quad (1)$$

Donde:

V: Voltaje (Volt).

A: Intensidad (A).

S: Tiempo de combustión del electrodo.

L: Longitud del electrodo (cm).

El tiempo de combustión y la longitud del depósito se determinaron, promediando diez ensayos, en los cuales se fundía el electrodo y se medía la longitud del depósito y el tiempo consumido en fundir el electrodo.

Se empleo un diseño factorial de 3^3, de tres variables y tres niveles, para correlacionar el efecto de los parámetros, Energía introducida, Número de capas y Ancho del depósito, en el desgaste abrasivo, cuyos niveles se indican en la matriz de experimento de la Tabla No. 1.

Los ensayos de desgaste se realizaron en una máquina de desgaste abrasivo de plato horizontal [3] representada en la figura 1.

Tabla No. 1. Matriz de experimento.

Niveles	Energía introducida. (kJ/cm)	Número de capa.	Ancho del depósito. (mm)
+	16,00	3	50
0	14,87	2	25
-	13,00	1	16

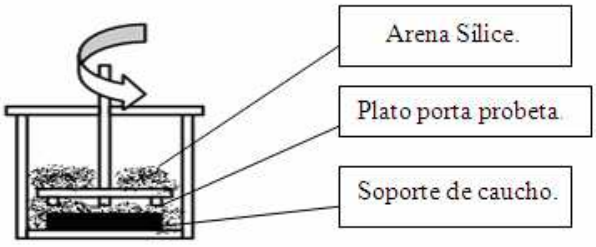


Figura 1. Máquina de desgaste abrasivo

Se depositaron las capas sobre planchas de acero AISI 1020 [7] de dimensiones de 100x200x15 mm. A partir de estas fueron confeccionadas las probetas para el ensayo de desgaste abrasivo cortadas transversalmente al depósito, con dimensiones de 15x10x10 mm. La arena sílice empleada fue de granulometría de 400 µm, la cual se encontraba entre ellas y el soporte de caucho (Figura 1).

El ensayo de desgaste se realizo con una carga de 50 N con 500 r.p.m en intervalos de 20 minutos. El ensayo desgaste se realizó en cuatro intervalos de 20 minutos, midiendo el peso de la muestra en cada uno de estos. La carga fue determinada con un sensor marca TOSHIBA y la frecuencia se midió con un tacómetro PHILIPS. En cada uno de los intervalos se determinó la pérdida de masa, con una balanza digital marca SALTORIUS con una precisión de diez milésimas de gramo. Se reporta como valor de desgaste el promedio de tres mediciones al culminar el tiempo de 80 minutos.

Las probetas para el análisis químico y morfológico fueron cortadas en una máquina electro erosiva con refrigeración de agua, con dimensiones de 10x10x5 mm de la sección transversal del depósito. Siendo desbastadas mecánicamente con papel hasta grado 600 y pulidas con pasta de diamante 0,25 µm, siendo atacadas químicamente con reactivo Murakamy, para su observación al microscopio óptico.

Se empleó un microscopio óptico, marca OLYMPUS con aumento de 600x. La medición de la microdureza se realizó con un durómetro digital marca SHIMADZU de precisión 0.001. Esta se realizó en el plano transversal a la superficie de ensayo del cordón, realizando cinco identaciones en el centro de cada una de las capas, con una carga de 30g, reportándose su promedio como valor de dureza de la capa. También se realizó la medida de microdureza en cada una de las fases presentes en los depósitos analizados utilizando una carga de 5g, durante 10 segundos.

El análisis químico se realizó por fluorescencia de rayos X, empleando un equipo EDAX modelo XL – 30, bajo las condiciones de 130 – 25 (W) y un área de 10 mm^2 por capa.

Después de identificar las fases y estructuras presentes en los depósitos de fundición blanca al cromo, fue necesario cuantificar la cantidad, tamaño y dispersión de los carburos y el ángulo de inclinación de las dendritas respecto a la posición de 90^0, para lo cual se utilizó un calibre graduado,

colocándose este en el portaobjeto del microscopio, visualizando un área de 1mm^2 a 600x. Se seleccionaron tres campos visuales por capa, para realizar el conteo de toda la población en cada imagen. Para el tamaño de los carburos y su dispersión se adicionaron dos campos más, dada la necesidad de aumentar el área a evaluar [12]. En la determinación de la dispersión, se fijó el carburo más cercano al centro de la imagen, como referencia del resto de los carburos a partir de donde se midió la posición. En estas mediciones se utilizó el software Imagen Tool [10], el cual permitió acoplado al programa EXCEL [11], determinar la cantidad, tamaño y dispersión de los carburos primarios y secundarios.

Para medir el ángulo de inclinación de las dendritas se emplearon cinco campos por capa. Se realizó la medición [3] de acuerdo con la figura 2:

- Se traza una línea en dirección coincidente con la interfase material base - depósito (línea 1). Esto garantiza la posición de una referencia estándar para realizar la medición.
- Se traza otra línea que coincida con el eje longitudinal de la dendrita (línea 2) y que corte a la línea de referencia.
- Se mide el valor del ángulo entre las dos líneas indicadas anteriormente, que denominaremos α ángulo de inclinación de la dendrita.
- Se traza la perpendicular a la línea de referencia (línea 3) y se calcula cuanto difiere α de la posición de 90 ° a lo que denotamos como β ángulo de posición.

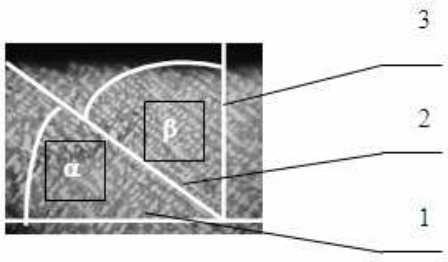


Figura 2. Medición de la inclinación de las dendritas.

Para establecer la correlación entre los aspectos morfológicos y los parámetros de recargue, se utilizaron modelos lineales en su influencia en el desgaste abrasivo. Las correlaciones de los parámetros tecnológicos en la resistencia al desgaste se presentan a través del diagrama de pareto y la respuesta optimizada.

Para evaluar los posibles daños superficiales a través de los mecanismos de deformación plástica, desprendimiento de partículas y su relación con la morfología, se prepararon probetas de 10x10x5 mm, a partir de la sección transversal del depósito, para ser observadas en el microscopio electrónico de barrido Philips XL 20, con aumentos de hasta 520 y 480x. En cada parada la rugosidad superficial Ra se determinó en la cara superior del cordón de soldadura, transversal al sentido del abrasivo. Siendo medida con un rugosímetro digital marca MITUTOYO, de precisión hasta 0,001; para evaluar su relación con los cambios morfológicos.

3. Resultados y discusión

3.1 Morfología de los depósitos.

Al observar por microscopía óptica los depósitos obtenidos en las distintas capas, variando la energía introducida y el ancho del depósito, se presentaron en todas las variantes analizadas una estructura de dendritas y carburos primarios y secundarios figura 3. El valor de dureza de la matriz dendrítica fue de 370 Hv y el de los carburos tipo M_7C_3, de 1498 Hv. Estos valores de dureza se corresponden con una estructura dendrítica con presencia de carburos de cromo en depósitos de fundiciones blancas de composición similar a la reportada en el electrodo Ledurit – 61 [12].

Para los menores valores de energía introducida de 13,00 kJ/cm, ancho del depósito 50 mm y una capa, se presentaron 15 carburos primarios, de tamaño medio de (447,91 μm^2) y (4,60 μm) de dispersión. Presentándose para estos mismos valores un promedio de (265) carburos secundarios, disminuyendo su tamaño medio a (5,7 μm^2), con la mayor dispersión, promedio de (9,73 μm)

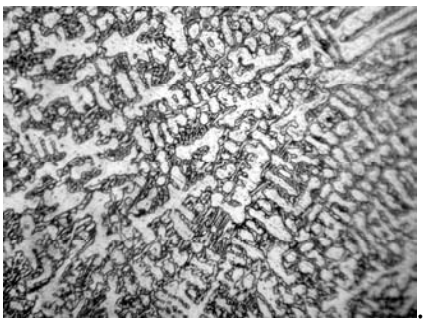


Figura 3. Estructura del depósito realizado con electrodo *Ledurit* – 61.

Para mayores valores de energía introducida de 14,87 kJ/cm y ancho del depósito de 25 mm, en la medida que aumenta el número de capa, se incrementa la cantidad de carburos primarios de (11), (96) y (144), con una dispersión promedio de (4,70µm), (4,86 µm) y (5,31 µm). Siendo el incremento del tamaño medio más pronunciado entre la primera capa (276,18 μm^2) y la capa dos de (460,30 μm^2), mientras que en la tercera capa tiene su valor en (459,41 μm^2), por lo que no se produce un aumento de tamaño de los carburos. La cantidad de carburos secundarios se comportan de manera diferente al disminuir estos cuando se deposita una segunda capa (288), al ser comparado con la primera capa (321), mientras que en tercera capa alcanzan su mayor valor (452) donde, se produce un incremento notable en la cantidad de estos carburos. El tamaño disminuye desde (12,92 μm^2), (8,94 μm^2), hasta (6,19 μm^2) donde la dispersión media también experimento una reducción de (9,29 µm), (8,14 µm) y (6,63 µm), según aumenta el número de capas.

Para los máximos valores de energía introducida 16,00 kJ/cm y 50 mm de ancho del depósito, se observa un aumento de la cantidad de carburos primarios en la medida que aumenta el número de capas desde (16), (43) y de (116) carburos. Para estos mismos valores en los parámetros del proceso, se observó un aumento en el tamaño de los carburos primarios desde (337,26 μm^2), (368,24 μm^2) y (525,80 μm^2). Mientras la dispersión media de estos carburos se mantiene en (4,60 µm); (5,66 µm); y (4,07 µm) sin cambios significativos con el incremento del número de capas.

Se observa también, un aumento de la cantidad de carburos secundarios en la medida que aumenta el número de capa desde (138), (392), hasta (640). Para estos mismos valores en los parámetros del proceso, se observó una disminución en el tamaño de los carburos secundarios desde (6,63 μm^2), (5,31 μm^2), hasta (4,33 μm^2). La dispersión de estos carburos se mantiene sin cambios significativos en sus valores siendo de (3,71 µm) (5,48 µm) y (4,69 µm), según aumenta el número de capas.

Para valores de energía introducida de 13,00 kJ/cm, 50 mm de ancho del depósito y una capa, las dendritas presentan un ángulo de posición β alejado en $+22^0$. Con valores de 14,87 kJ/cm y 25 mm, en la primera y segunda capa, las dendritas se alejaron menos de la posición de 90^0, siendo para estos casos β de $+12^0$ y $+7^0$ respectivamente y tercera capa la dendrita se aleja considerablemente de la posición de 90^0 con β de $+58^0$. Esto demuestra que demuestra, que en la medida que aumenta el número de capas aumenta la posibilidad de que la dendrita se incline más por el efecto de disminuir el gradiente térmico ver Figura 4.

Al utilizar el mayor nivel de energía 16,00 kJ/cm y el mayor ancho del depósito 50 mm se observó un aumento gradual del ángulo de inclinación de la dendrita con el aumento del número de capas, con β de $+4^0$, $+27^0$ y $+70^0$. Esto reafirma que con el aumento del número de capas se provoca una mayor inclinación de las dendritas. El efecto del acercamiento o alejamiento de las dendritas está asociado al efecto del gradiente térmico en función del número de capas. Cuando aumenta este, el gradiente disminuye y las dendritas se alejan de la posición de 90^0 ver Figura 4.

El efecto de que al inclinarse las dendritas se mejoran la resistencia al desgaste responde a que en la medida que estas se inclinen más, estarán mejor protegidas por los carburos del efecto del desgaste abrasivo. En la medida que las dendritas se aproximen a 90 °, se sitúan en una posición donde los carburos no pueden realizar la acción de protección, quedando entonces más desprotegidas y se aceleraría el proceso de desgaste abrasivo en estas condiciones.

La interrelación en el sistema dendrita + carburos, permitiría obtener morfologías donde existan una mayor coherencia, dada por la organización e interpenetración de las dendritas lo que mejoraría la coherencia con los carburos presentes en este sistema, donde las dendritas aparecen con mayor inclinación. Al girar las dendritas aproximándose a 90 °, perdiendo la inclinación y situándose casi perpendicularmente se produce una pérdida en la posibilidad de interrelación entre ellas, dejando de estar interpenetrada posibilitando una pérdida de coherencia en el sistema dendritas – carburos, lo que facilita el proceso de desgaste en estas condiciones (Figura 4).

3.2 Efecto de la Morfología en la resistencia al desgaste abrasivo.

Para valores de energía introducida de 14,87 kJ/cm y 25 mm de ancho del depósito se observa que con el aumento del número de capa, aumenta la cantidad de carburos primarios 144 y su tamaño 459,41 μm^2. Mientras esto ocurre se observa un aumento de la cantidad de carburos secundarios 452 y una disminución en su tamaño 6,19 μm^2. Alcanzando bajo estas mismas condiciones las mayores desviaciones en los ángulos de inclinación de las dendritas. Esto provoca para estos niveles que se mejore la resistencia al desgaste, en la medida que se aumenta el número de capas. Alcanzando para esta variante una pérdida de masa de 0,4143 g.

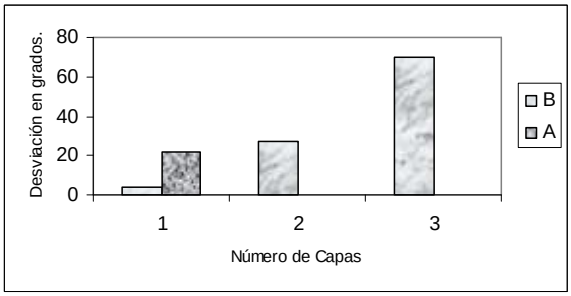


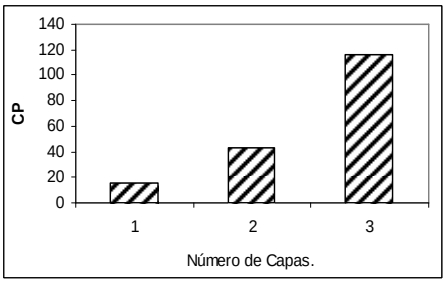
Figura 4. Efecto del incremento de la Energía introducida (A- 13 y B- 16 kJ/cm) y del número de capas en el ángulo β de desviación de las dendritas de la posición de 90°.

Para valores de energía introducida de 16,00 kJ/cm y 50 mm de ancho del depósito, se observa un incremento en la cantidad de carburos primarios de 116 y su tamaño 525,80 μm^2. Los carburos secundarios aumentan a (640) con una disminución en su tamaño de (4,33 μm^2), en la medida que aumenta el número de capa observándose, la mayor desviación en los ángulos de inclinación de las dendritas. El comportamiento de la dispersión no provoca un efecto significativo en el incremento de la resistencia al desgaste. Alcanzando para esta variante la menor pérdida de 0,3201 g.

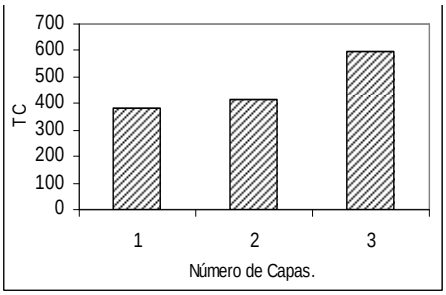
El efecto de presentarse mayor cantidad de carburos, responde al aumento de la composición química, derivado del uso de tres capas y el empleo de la mayor energía introducida, con el mayor ancho del depósito, que permite un aumento del tiempo de calor latente en el depósito, trayendo consigo mayor cantidad de carbono segregado para la formación de carburos y sus crecimientos bajo el efecto de la coalescencia de estos. Por lo que la combinación morfológica, que se obtiene como resultado del uso de los mayores valores en los parámetros del proceso, provoca los mayores incrementos en la resistencia al desgaste, figura 5 a, b, c y d.

En la primera capa, para cualquiera de los valores de energía introducida, con el aumento del ancho del depósito, se produce un deterioro de la resistencia al desgaste, siendo más pronunciado este deterioro con el aumento del valor de energía introducida.

Se denota que para la primera capa, incluso para un mismo ancho del depósito, la resistencia al desgaste empeora con el aumento del valor de energía introducida. En segunda y tercera capa, se presenta un aumento de la resistencia al desgaste con el aumento del ancho del depósito, para cualquiera de los valores de energía introducida. Ocurriendo, que para un valor de capa (segunda o tercera) y un valor dado de ancho del depósito (16, 25 o 50 mm), se produce el incremento de la resistencia al desgaste con el aumento de la energía introducida, ver figura 6.



a)



b)

Figura 5. Comportamiento de la Morfología de los Carburos Primarios, para los mayores valores de Energía Introducida 16,00 kJ/cm, Ancho del Cordón 50 mm, según el número de capa. CP Cantidad de Carburos Primarios, TC Tamaño de Carburos Primarios.

3.3 Efecto de los parámetros de recargue Hi, Nd y Ad en el desgaste abrasivo.

El comportamiento de la influencia de los parámetros del régimen de recargue mostró que la resistencia al desgaste se incrementa para los mayores valores de Hi, Nd y Ad, al presentar una morfología con la mayor cantidad de carburos primarios de mayor tamaño. Los carburos secundarios aumentan siendo más pequeños y menos dispersos, presentando las dendritas la posición más alejada de 90^0.

3.4 Influencia de los parámetros de recargue en el deterioro superficial.

En la figura 7 se muestran imágenes de microscopía electrónica de barrido de zonas características de la superficie, producto del proceso de desgaste abrasivo. Donde se muestra que para valores de energía introducida de 13 kJ/cm, una capa y 50 mm de ancho del depósito (A), se presentan huellas en la superficie de desprendimiento de pequeños fragmentos provocando altos valores de desgaste. Para valores de energía introducida de14, 87 kJ/cm, tres capas y 25 mm de ancho del depósito (B), se presentan surcos más profundos y ralladuras, provocando menor desgaste. Para mayores niveles de energía introducida, de 16,00 kJ/cm, tres capas y 50 mm de ancho del depósito (C), los surcos son menos profundos y se marcan menos las ralladuras, disminuyendo el desgaste.

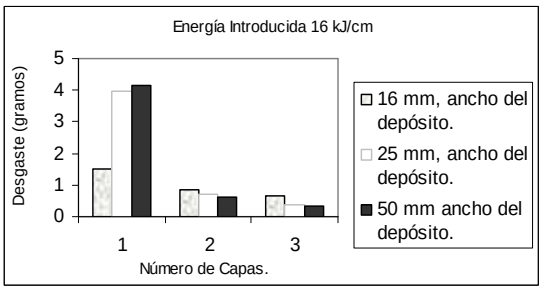
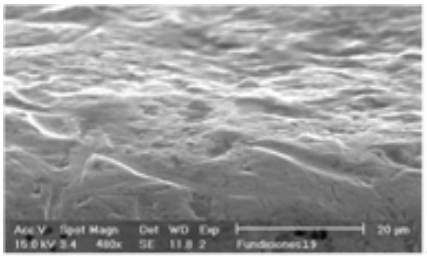
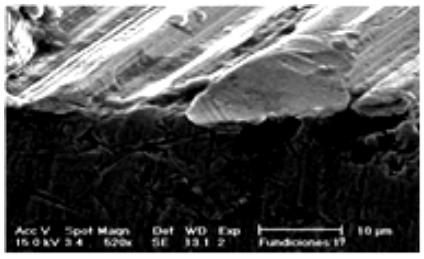


Figura 6. Efecto de la energía introducida, número de capa y ancho del depósito en la resistencia al desgaste abrasivo de los depósitos con electrodo UTP Ledurit – 61.


a)


b)

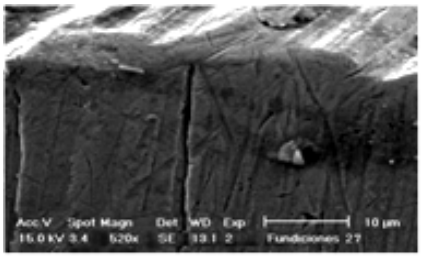

c)

Figura 7. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de zonas característica de las superficies deterioradas en el proceso de desgaste abrasivo.

3.5 Modelado del efecto de los cambios morfológicos en la resistencia al desgaste abrasivo.

Las variables independientes cantidad, tamaño, dispersión de los carburos primarios y secundarios y el ángulo de inclinación de las dendritas se correlacionan por separado con la resistencia al desgaste abrasivo. En la figura 8 se presenta la correlación del desgaste con la cantidad y tamaño de los carburos primarios, donde se manifiesta, que con el aumento de la cantidad de carburos primarios y de sus tamaño, disminuye el desgaste, siendo el primero de ellos estadísticamente significativo. Otro aspecto verificado en este ensayo fue la influencia positiva del ángulo de inclinación de las dendritas, que con el aumento de su desviación y el de la dispersión de estos carburos, incrementa la resistencia al desgaste.

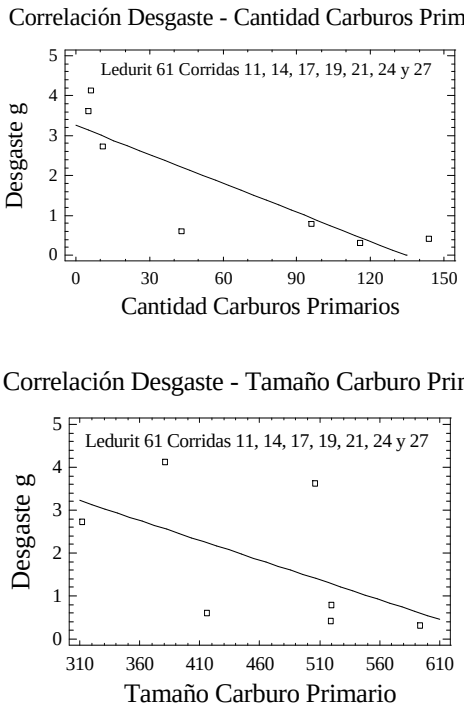


Figura 8. Correlación del desgaste con la cantidad, tamaño y dispersión de los carburos primarios

En la figura 9 se presenta la correlación del desgaste con la cantidad, tamaño de los carburos secundarios, donde se manifiesta, que con el aumento de la cantidad de carburos secundarios, de la disminución de sus tamaños, disminuye el desgaste, siendo el primero de ellos estadísticamente significativo.

Otro aspecto verificado en este ensayo, fue la influencia positiva del aumento de la dispersión de estos carburos, en la resistencia al desgaste.

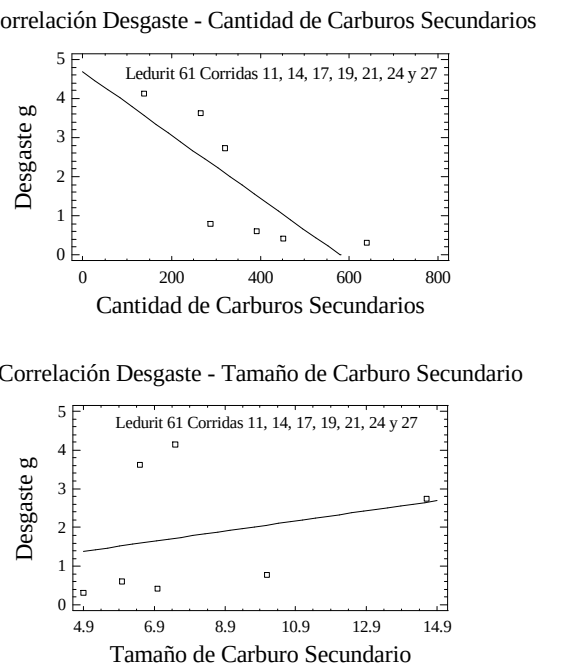


Figura 9. Correlación del desgaste con la cantidad y tamaño de los carburos secundarios.

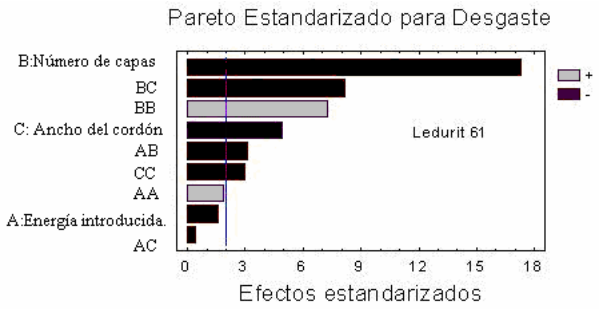


Figura 10. Efectos estandarizados del Diagrama Pareto.

La respuesta optimizada del modelo figura 11 para minimizar el desgaste abrasivo con el valor óptimo de 0.11 g se presentó para el máximo valor de energía introducida, número de capas y ancho del depósito

Respuesta Optimizada

Meta: minimizar Desgaste

Valor Optimo = 0.111058

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Calor Introducido	13.0	16.0	16.00
Numero de Capas	1.0	3.0	3.0
Ancho del Cordon	16.0	50.0	50.0

Figura 11. Respuesta optimizada.

4. Conclusiones.

- Con el aumento de la cantidad de carburos primarios y secundarios, el aumento de tamaño de los carburos primarios y la disminución en los secundarios, con el aumento de la dispersión en ambos carburos, disminuye el desgaste. Siendo el aumento de la cantidad de los carburos el efecto que más incrementa la resistencia al desgaste abrasivo.
- Las dendritas favorecen el incremento de la resistencia al desgaste al aumentar su inclinación respecto a 90^0.
- Se observa un efecto positivo de los parámetros del proceso en la disminución del desgaste con el empleo de los mayores niveles de energía introducida, ancho del depósito y numero de capas.

5. Referencias.

1. **ÁLVAREZ, E.** "Tribología". *Revista Ciencia y Técnica*. Marzo 1997. vol. XV, p. 31 - 35.
2. **BARROS, F. O.** *Testes de avaliação de corpos moedores. Seminário sobre Materiais Resistentes Ao Desgaste.* Uberlândia, MG, Brasil: ABM e Universidade Federal de Uberlândia, 1991, 570 p.
3. **COLLAZO CARCELLER, R.** *Influencia de los Parámetros del Régimen de Recargue en la Morfología de los Depósitos de Acero y Fundición Blanca al Cromo y su incremento en la Resistencia al Desgaste Abrasivo.* Tesis Doctoral, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" - ISPJAE, La Habana. 2007.
4. **KOTECKI, D. J. y OGBORN, J. S.** *Abrasion Resistance of Iron – Based Hardfacing Alloys*. The Lincoln Electric Co. Journal Welding Research. 269 - 677 p. En *AWS 74, Th. Anual Meeting* Houston. Texas. EU. April 25 - 29, 1993.
5. **MARTÍNEZ PÉREZ, F. y CASTAÑEDA SEGARRA, R.** "Fundamentos Teóricos del Desgaste Abrasivo". *Revista de Construcción de Maquinaria*. Editorial ISPJAE. Mayo - Agosto 1983. vol. VII.
6. *Manual de Productos de Soldadura.* UTP, 2001.
7. **NC.** *Ensayo de desgaste abrasivo en aceros.* La Habana: NC 04-79:87, 1987.
8. **NOBLE, D. N.** "Abrasive wear resistance of hardfacing welds deposits. Metal Construction". *Journal Metal Construction*. Septembre 1985. p. 2-8.
9. **DIN**. *Composición del electrodo UTP Ledurit 61.* DIN 855E10-UM-60-9.
10. *Program Image Tool for Windows Version 3.00.* University of Texas Health Center in San Antonio (UTHSCSA), 2002.
11. *Program Microsoft Excel 2003.* Microsoft Corporation, 2003.
12. **RODA VÁZQUEZ, C. y LOUREIRO, A**. "Comportamiento frente al desgaste abrasivo de las aleaciones con tendencia a la formación

de carburos aplicadas por soldadura". Universidad de La Coruña. Escuela Politécnica Superior de Ferrol. Mayo 2000. vol. 134, p. 1-7.

13. **SAIRRE BÁLSAMO, P. S. y ARIZA GONCALVES, R**. Resistência a abrasão de revestimentos de solda utilizados em manutenção. En *XIX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem. Águas de São Pedro. SP. Brasil. Outubro 1993*. p. 425 - 439.
14. **SAIRRE BÁLSAMO, P. S.; SCOTTI, A.,** *et al.* " Interpretación de la microestructura de recargues duros depositados por soldadura utilizando la superficie de líquidos de Diagramas Fe – Cr – C". *Revista CENIM*. 1995. p. 199 - 207.
15. **UNDERWOOD, E. E.** *Metallography structure and phase diagrams. Applications of Quantitative Metallographic.* 1983. 37-47 p. Metals Handbook. ASM. Vol. 8.

R. Collazo Carceller, H López Salinas.

Departamento de Tecnología de Construcción de Maquinara. Facultad de Ingeniería Mecánica
Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" – CUJAE
Calle 114 #11901 e/119 y 127. Marianao. La Habana. CP 19390. Cuba.
Fax: (537) 260 2267
E-mail: collazopepe452003@yahoo.com