



Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad  
del Zulia  
ISSN: 0254-0770  
revistatecnica@gmail.com  
Universidad del Zulia  
Venezuela

T. Ortiz; A. Cruz-Crespo; M. Rodríguez  
Effect of welding passes number on the micro-abrasive wear performance  
of hardfacing welds obtained with an experimental coated tubular electrode  
Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería,  
Universidad del Zulia, vol. 42, núm. 1, 2019, pp. 18-24  
Universidad del Zulia  
Maracaibo, Venezuela

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=605766254004>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



# REVISTA TÉCNICA

## DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada  
que está indizada en las publicaciones  
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revencyt
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



# **Effect of welding passes number on the micro-abrasive wear performance of hardfacing welds obtained with an experimental coated tubular electrode**

**T. Ortiz\* , A. Cruz-Crespo , M. Rodríguez **

Centro de Estudio de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, CP 54 830, Santa Clara, Cuba.

\*Autor de Contacto: tortiz@uclv.cu

<https://doi.org/10.22209/rt.v42n1a03>

Recepción: 07/06/2018 | Aceptación: 02/10/2018 | Publicación: 31/12/2018

## **Abstract**

This paper discusses the effect of the amount of metal layers (passes) on the micro abrasive wear performance of hardfacing welds which has been obtained by the use of an experimental tubular electrode, identified as CIS-3. Functional dependences of abrasive wear resistance performance with the material microstructure and thence with its composition and amount of layers are analyzed. Wear resistance of metal coating is compared with an AWS EFeCr-A1A electrode, recommended for hardfacing under abrasive wear conditions. Conclusion has been drawn that the tested electrode is adequate for that application and also that the microstructure of weld metal varies from hypoeutectic white iron for a single metal layer up to hypereutectic one for three layers. On the basis of statistical processing of the wear craters measurement data it has been also concluded that in the case of micro abrasive wear characterization it is advisable to use the average crater diameter as reference of material wear resistance instead of wear volume.

**Keywords:** Hardfacing weld; tubular coated electrodes; abrasive wear; ball cratering test.

# **Efecto del número de pasadas sobre el desempeño al desgaste micro-abrasivo de depósitos de recargue obtenidos con un electrodo tubular revestido experimental**

## **Resumen**

En el presente trabajo se estudia el efecto del número de pasadas sobre el desempeño al desgaste micro-abrasivo de depósitos obtenidos con un electrodo tubular revestido experimental, identificado como CIS3. Son analizados los vínculos del comportamiento al desgaste con la microestructura, gobernada esta por la composición, en función del número de pasadas. Se realiza el estudio comparativo del desgaste, empleando como patrón de referencia un electrodo AWS EFeCr-A1A, recomendado para enfrentar el desgaste abrasivo. Se concluye que el electrodo experimental es adecuado para el recargue de piezas sometidas a abrasión y que, bajo el efecto del número de pasadas, el depósito pasa de una fundición hipoeutéctica para una pasada a una hipereutéctica en tres pasadas. Con base en el procesamiento estadístico de los resultados de la medición de la huella de desgaste se concluye, además, que en el ensayo micro-abrasivo es más conveniente utilizar, como magnitud de referencia en la evaluación de la resistencia al desgaste del material, el diámetro medio de la huella y no el volumen desgastado.

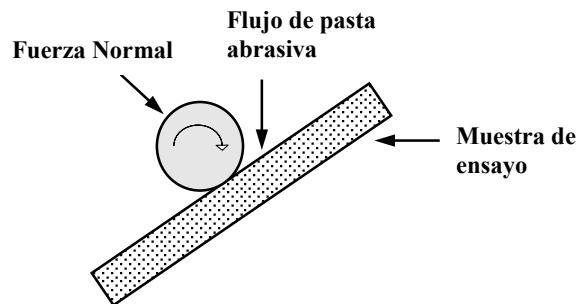
**Palabras clave:** Recargue duro; electrodo tubular revestido; desgaste abrasivo; ensayo micro-abrasivo con esfera rotativa.

## Introducción

En el Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS) de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, se ha trabajado por décadas en el desarrollo de consumibles para recargue, específicamente de electrodos tubulares revestidos, los que han demostrado su factibilidad técnica en el recargue de piezas [1]. Este tipo de consumible constituye una alternativa ventajosa frente a los macizos sintéticos, en aspectos relacionados con la transferencia de elementos al depósito, la disminución del calor aportado, las facilidades constructivas para sistemas de alta aleación y un comportamiento operacional favorable para este tipo de consumible. Paralelo a lo anterior se ha trabajado en el CIS en el desarrollo de ferroaleaciones, a partir del procesamiento de materias primas cubanas y residuales industriales. Este es el caso de la ferroaleación multicomponente del sistema Fe-Cr-Mn-Si-C, obtenida a partir del procesamiento por reducción carbotérmica de minerales de cromita y pirolusita cubanas [2], la cual fue empleada como carga de aleación de un electrodo tubular revestido para recargue, denominado como CIS3, con diámetro 4 mm. Este nuevo material fue estudiado desde el punto de vista de su comportamiento operacional y el depósito sin dilución con él obtenido fue caracterizado metalográficamente [1]. Lo anterior arrojó que el material depositado está constituido por una fundición blanca hipereutéctica, aleada con Cr, Mn y Si, cuyos contenidos se enmarcan en las composiciones recomendadas para el recargue de piezas sometidas a desgaste abrasivo como mecanismo principal de deterioro, dadas por la norma AWS A5.13-2010 [3]. A partir de lo anterior se hace necesario completar la evaluación del electrodo CIS3 con la caracterización de la resistencia al desgaste de los depósitos con dilución de este consumible, lo cual se lleva a cabo comúnmente mediante ensayos de laboratorio.

En la última década se ha extendido el uso del método de ensayo micro-abrasivo con esfera rotativa, inicialmente empleado en la medición de espesores de revestimiento, para el estudio del comportamiento frente al desgaste abrasivo de aleaciones ferrosas [4]. Esto se debe a sus probadas ventajas, entre las que se encuentran la rapidez del ensayo, el pequeño tamaño de las zonas de estudio y por tanto de las muestras, así como el uso de equipamientos relativamente baratos.

Este ensayo consiste en generar desgaste en un cuerpo de prueba debido a la acción de rotación de una esfera sobre su superficie, con la participación de micropartículas abrasivas (figura 1), las cuales se suministran a la zona de ensayo mediante un sistema de alimentación por goteo. Las partículas están en forma de suspensión dentro de un volumen de líquido, formando una mezcla abrasiva de una concentración dada



**Figura 1.** Principio de funcionamiento del ensayo de desgaste microabrasivo con esfera rotativa libre.

Se ha demostrado la posibilidad de obtener modos de desgaste abrasivo de “dos cuerpos”, “tres cuerpos” y una combinación de ambos (para diferentes condiciones de carga/concentración de la pasta abrasiva), además de evidenciarse en algunas aplicaciones el desgaste abrasivo a alta tensión [4]. Por otra parte, el pequeño tamaño de las partículas abrasivas provoca que las huellas de desgaste presenten bordes definidos, con lo que se logra una alta precisión en la medición [5].

La eficacia de la utilización del ensayo micro-abrasivo con esfera rotativa en el estudio de depósitos de recargue base Fe de alta aleación, así como la posibilidad de diferenciar la resistencia a la abrasión entre materiales de propiedades similares, ha sido demostrada [6], comprobándose además que la fiabilidad de los resultados no se afecta a causa de defectos superficiales, tales como grietas y poros, típicos del recargue. El referido autor estudió el efecto de la dilución en la resistencia a la abrasión mediante la realización de perfiles de desgaste a los depósitos, lo que permitió evaluar el desempeño del consumible para diferentes números de pasadas y con ello optimizar el procedimiento de recargue. El control de la dilución es un factor determinante en el recargue, ya que define la cantidad de capas requeridas, la superficie cubierta y, por tanto, el gasto de consumibles para la realización del depósito, todo lo cual tributa a los costos del procedimiento. Se ha demostrado las ventajas del uso de electrodos tubulares revestidos, debido a la disminución de la dilución en el depósito de recargue [7]. En el presente trabajo se pretende evaluar el desempeño frente al desgaste de los depósitos de una, dos y tres pasadas, realizados con el nuevo electrodo tubular revestido CIS3, utilizando como referencia para este análisis un electrodo comercial AWS A5.13 EFeCr-A1A, destinado al recargue de superficies sometidas a desgaste abrasivo severo. Se empleará con ese fin el ensayo de desgaste micro-abrasivo con esfera rotativa libre.

## Parte Experimental

Los depósitos de estudio se elaboraron con el electrodo tubular revestido CIS3, para lo cual fue empleada una corriente de 80 A. Se elaboraron depósitos de 1, 2 y 3 pasadas (figura 2), de los cuales se realizaron 5 réplicas. Como material base se emplearon chapas de acero AISI 1020 con dimensiones de 250 x 25 x 12 mm. Los depósitos fueron cortados transversalmente en la zona central para el estudio del desgaste.

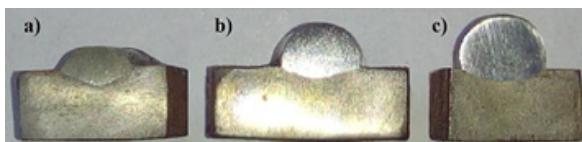


Figura 2. Depósitos de ensayo, con una pasada (a), dos pasadas (b) y tres pasadas (c)

El área de ensayo se ubicó en la zona central de cada pasada, en la cual fue también estudiada la microestructura mediante microscopía óptica. Con este fin, las muestras extraídas mediante los cortes transversales de los diferentes depósitos fueron desbastadas, pulidas y atacadas (reactivo Murakami), en correspondencia con las normas ASTM E3 - 11 (2011) y ASTM E407 (2015) [8, 9]. A partir de los coeficientes de dilución obtenidos en estudios previos de caracterización del electrodo tubular revestido CIS3 [10], fue estimada la composición química de cada pasada de los depósitos con dilución (tabla 1) al soldar con 80 A de corriente y fue calculado el carbono equivalente (CE) mediante la expresión 1, empleada previamente en la caracterización de materiales de similar sistema de aleación [7].

$$CE (\text{wt}\%) = \%C + 1/3(\%Si + \%P) - 0.03\%Mn \quad (1)$$

severo. Se comparó el comportamiento frente al desgaste de los depósitos de una pasada, considerando que esta es la condición más crítica desde el punto de vista de la dilución, y por consiguiente sobre la resistencia al desgaste abrasivo del material. En el catálogo del consumible comercial se declara una composición química para esa primera pasada de 2,1 % de C; 1,5 % de Mn; 0,50 % de Si y 15 % de Cr. En este caso se depositó con una corriente de 150 A, basado en la recomendación del fabricante.

Como material abrasivo para el ensayo fue empleada la alúmina, material este que posee una elevada dureza (2100HV0,2), mayor que las de la matriz, los carburos primarios y eutécticos que pueden formarse en el sistema de aleación bajo estudio. También las partículas de alúmina se caracterizan por su elevada angulosidad, mayor que la arena sílice y el cuarzo, lo que favorece la severidad del ensayo de desgaste. Fue utilizada una proporción de 6,4 g de alúmina por cada 98 ml de agua destilada con una velocidad de goteo de 1,3 ml/min, tomando como base experiencias previas [5]. El tiempo de ensayo fue de 5 min, la velocidad de rotación del eje de 70 rpm y fue aplicada una carga de 0,1 N. Las bolas utilizadas son de acero de rodamientos, clasificación AISI 420-C, con diámetro (db) de 25,4 mm y rugosidad superficial de 0,295  $\mu\text{m}$ .

Las huellas de desgaste en las superficies de estudio fueron medidas por medio de un microscopio óptico de bajo aumento, con una escala con sensibilidad de 0,01 mm acoplada al lente. Esta magnitud fue medida en los ejes vertical (dy) y horizontal (dx) de la escala, para posteriormente, a partir de su semisuma, calcular el diámetro medio de la huella de desgaste (dm). Los errores totales de estas mediciones se calcularon mediante la determinación de los errores casuales y sistemáticos, basado en el procedimiento desarrollado con este fin [11]. El error total de "dm", como magnitud indirecta, es la suma

Tabla 1. Composición química estimada de las capas de los depósitos del electrodo CIS3

Elementos químicos	C	Cr	Mn	Si	P	S	CE
Metal de aporte sin dilución	3,17	14,20	4,31	2,58	0,017	0,009	3,91
Metal base sin dilución (AISI 1020)	0,2	0	0,45	0	0,018	0,009	-
1ra pasada	2,72	12,07	3,73	2,19	0,02	0,01	3,35
2da pasada	3,09	13,82	4,21	2,51	0,02	0,01	3,81
3ra pasada	3,14	14,08	4,28	2,56	0,02	0,01	3,87

Para la evaluación de la resistencia al desgaste de los depósitos obtenidos con el electrodo tubular CIS3 (diámetro 4 mm) fue empleada una máquina de ensayo micro-abrasivo con esfera rotativa libre, perteneciente al Laboratorio de Tribología del CIS. Fue utilizado como patrón de comparación de la resistencia al desgaste abrasivo un electrodo comercial macizo de la clasificación AWS A5.13 EFeCr-A1A (diámetro 4 mm), destinado al recargue de superficies sometidas a desgaste abrasivo

de los errores de las mediciones directas de dy y dx. Con el valor calculado del diámetro medio (dm) se obtuvo el volumen de desgaste (expresión 1).

$$Vm = \frac{3,14 \cdot dm^4}{32 \cdot db} \quad (1)$$

En este caso el error total de "Vm" fue calculado mediante la derivada parcial de "Vm" respecto a "dm".

## Resultados y Discusión

### Análisis del efecto de la dilución del depósito de recargue del electrodo CIS3 sobre la resistencia al desgaste abrasivo y la microestructura

Las huellas de desgaste obtenidas como resultado del ensayo mostraron apreciable nitidez en su contorno (figura 3), lo cual evidencia que los parámetros establecidos para el ensayo micro-abrasivo garantizaron que se alcanzara un régimen permanente de desgaste.

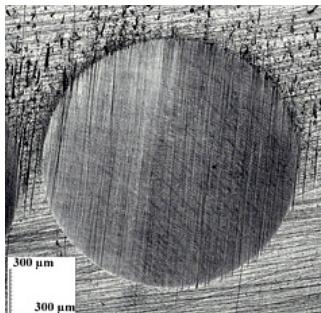


Figura 3. Imagen típica de la huella de desgaste, depósito de 1 pasada con el electrodo CIS3

A partir del análisis estadístico de la data experimental del diámetro de las huellas de desgaste en cada zona de estudio, se obtuvieron coeficientes de variación de esta medición menores al 4 %, los cuales en todos los casos son inferiores a los obtenidos en trabajos previos donde se evalúan depósitos de recargue de alta aleación [6]. Al comparar los errores en las magnitudes de diámetro medio de la huella (dm) y de volumen medio de desgaste en cada zona de estudio (Vm), se observa que son mucho mayores para esta segunda magnitud. Esto se debe a la propagación del error en la magnitud indirecta Vm, ya que es proporcional a la tercera potencia del error de dm. En la tabla 2 se ejemplifica lo anterior con los resultados de los errores totales ( $\Delta Y_{dm}$ ;  $\Delta Y_{Vm}$ ) y los valores porcentuales ( $\Gamma_{dm}$ ;  $\Gamma_{Vm}$ ) para las magnitudes antes planteadas, en el depósito de tres pasadas obtenido con el electrodo experimental CIS3. Como puede apreciarse las diferencias en los valores porcentuales del error para

dm y Vm son notables, siendo mucho mayores para Vm, lo cual lo convierte en un criterio menos preciso que el diámetro medio (dm) al estudiar el comportamiento frente al desgaste del material. Basado en lo anterior puede afirmarse que, en el caso del ensayo micro-abrasivo con esfera rotativa, resulta más preciso valorar el comportamiento relativo del material frente al desgaste a partir del análisis del comportamiento del diámetro medio de la huella de desgaste.

En la figura 4 se muestra el comportamiento frente al desgaste del material de los depósitos de una, dos y tres pasadas, obtenidos con el electrodo CIS 3, donde se aprecia que la resistencia al desgaste fue superior a medida que aumentó el número de pasadas, lográndose los valores máximos en el depósito de tres pasadas.

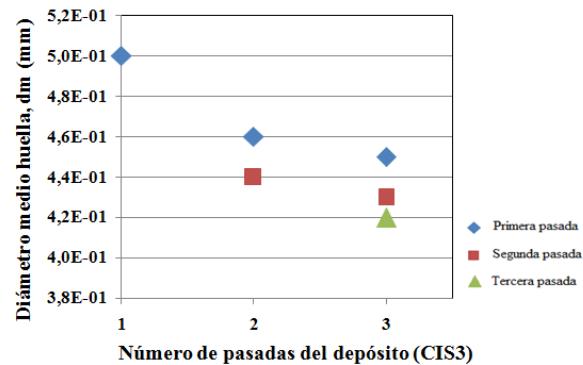


Figura 4. Comportamiento del desgaste en los depósitos del electrodo experimental CIS3

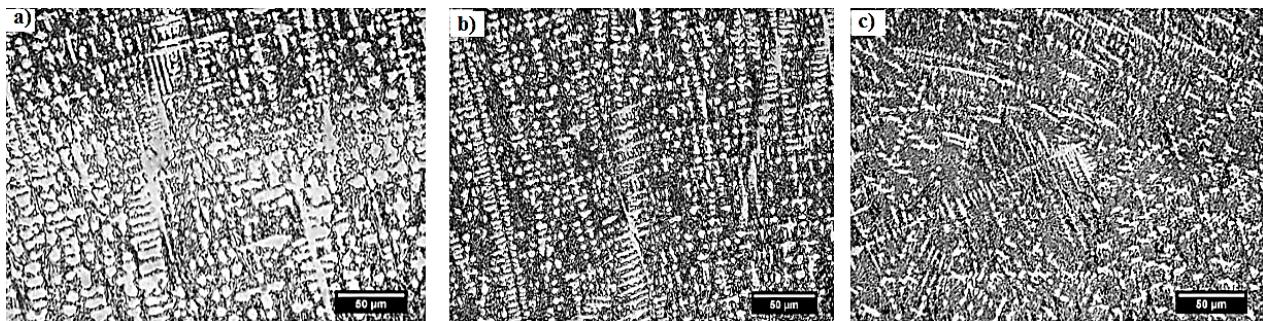
En la figura 5a se muestra una imagen representativa de la microestructura de la región central de la sección transversal del depósito de una pasada. En ella se observan dos zonas, una clara y una oscura. En base a la composición estimada de la primera pasada (tabla 1), este material se corresponde con una fundición blanca aleada hipoeutéctica. La morfología de la microestructura es una mezcla de los modos de solidificación columnar y equiaxial dendríticos, típica de la cristalización a elevados grados de subenfriamiento, propia de los depósitos de recargue [12]. Basado en la composición, es de esperar que las zonas se correspondan con austenita como fase de solidificación primaria (zona clara) y mezcla

Tabla 2. Errores en las mediciones del diámetro medio de la huella y del volumen de desgaste del depósito de tres pasadas realizado con el electrodo CIS3

Pasadas	dm (mm)	$\Delta X_t dm$ (mm)	$\Gamma_{dm}$ (%)	Vm (mm <sup>3</sup> )	$\Delta Y_t Vm$ (mm <sup>3</sup> )	$\Gamma_{Vm}$ (%)
1ra	0,449	0,009	2,08	0,000157	0,000013	8,37
2da	0,428	0,011	2,47	0,000130	0,000013	9,86
3ra	0,417	0,011	2,57	0,000117	0,000012	10,28

eutéctica (zona oscura). Varios investigadores reportan la obtención de microestructuras con semejante morfología en depósitos de recargue compuestos por fundiciones blancas aleadas [13]. En este caso, debido a la dilución con el metal base, el depósito se empobrece de carbono y de elementos de aleación, lo que provoca que la fase de solidificación primaria sea la que cubra gran área del campo.

En las figuras 5b y c se muestra el depósito de dos pasadas, donde se aprecia que con el aumento del número de pasadas continúa apareciendo una microestructura con morfología hipoeutéctica, lo cual es coherente con los resultados de composición química estimados (tabla 1). Se observa, además, que comienza a prevalecer la fase eutéctica, sobre todo en la segunda pasada (figura 5c), debido al menor efecto de la dilución, así como una mayor formación de carburos eutécticos, reflejándose en el aumento del área cubierta por la zona oscura.



**Figura 5.** Microestructura de los depósitos del electrodo experimental CIS3, a) zona central del depósito de una pasada, b) zona central de la primera pasada del depósito de 2 pasadas, c) zona central de la segunda pasada del depósito de 2 pasadas.

En cuanto a resistencia al desgaste de estos depósitos del electrodo experimental CIS3, los resultados más bajos se observan en los de una sola pasada, aumentando notablemente la resistencia en el de dos pasadas (figura 4). Al comparar esto con la microestructura (figura 5), para iguales condiciones de ensayo, se aprecia que existe una relación entre ambas variables respuestas, ya que existe una marcada diferencia del área cubierta por dentritas claras, correspondiente a la matriz metálica, siendo esta apreciablemente mayor en el depósito de una pasada. Dada las características de la matriz, de menor resistencia mecánica que la mezcla eutéctica, debe esperarse que en el depósito donde prevalezca la primera se muestre una menor resistencia al desgaste abrasivo.

Otros autores han obtenido un comportamiento semejante en depósitos de recargue [14] lo cual se explica debido al efecto de los carburos eutécticos como barreras a la deformación del material.

En el caso del depósito de tres pasadas aumentan

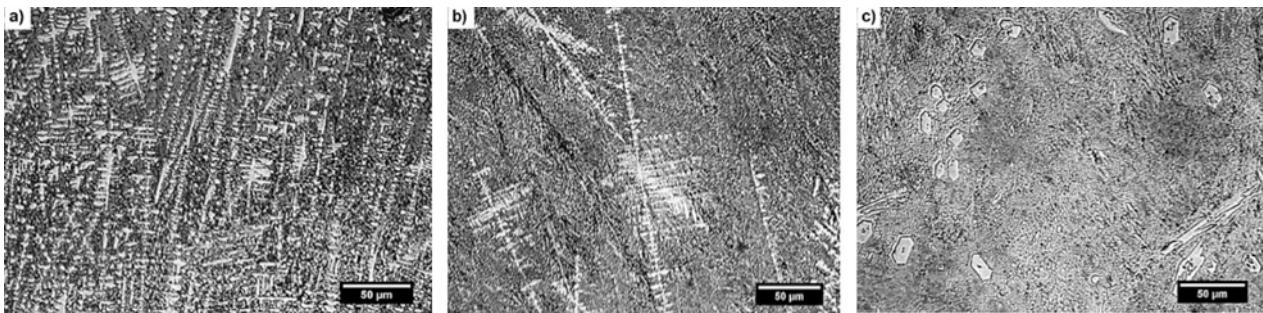
las diferencias entre la microestructura de las diferentes zonas del depósito. En las primeras dos pasadas (figura 6a y b) se mantiene la microestructura hipoeutéctica, aunque en la segunda pasada ya queda muy poca austenita como fase de solidificación primaria. Esto se debe a que en esta zona ocurre una mezcla con la tercera capa, aumentando así los contenidos de carbono y de elementos de aleación, por lo que la formación de carburos eutécticos es mayor.

En la tercera pasada (figura 6c) se observan dispersos micro constituyentes tipo carburos primarios, de fácil identificación debido a su sección transversal hexagonal y algunos de ellos alargados en forma de espinas, semejante a los reportados como carburos del tipo  $M_7C_3$  en estudios de caracterización de fundiciones blancas aleadas [15]. Esto demuestra que para esta pasada la dilución con el metal base es mínima, obteniéndose en ella una composición química que permite la formación de

carburos como fase de solidificación primaria.

Al analizar la microestructura obtenida respecto al carbono equivalente del material en la tercera pasada, menor de 4,2 %, pudieran apreciarse contradicciones. Sin embargo, la causa de lo anterior puede estar relacionada con la metaestabilidad impuesta por el proceso de soldadura [16], debido a las elevadas velocidades de enfriamiento que experimenta el metal de los depósitos de soldadura, lo que provoca que la estructura que se obtiene es muy alejada a la de equilibrio. En la caracterización de depósitos de recargue con composición química cercana a la obtenida en la tercera pasada con el electrodo CIS3 han sido obtenidos resultados similares [17], es decir, una microestructura del depósito hipereutéctica, constituida por carburos primarios del tipo  $M_7C_3$  y mezcla eutéctica, lo cual apoya la valoración realizada.

En este depósito de tres pasadas se obtienen los mejores resultados de resistencia al desgaste (figura 4). Esto se debe a la influencia positiva de los carburos



**Figura 6.** Microestructura del depósito de tres pasadas del electrodo CIS3, a) zona central de la primera pasada, b) zona central de la segunda pasada, c) zona central de la tercera pasada.

primarios en esta propiedad del material, dado el papel de estos micro constituyentes como barrera ante al efecto del abrasivo sobre la matriz de menor resistencia mecánica [18]. Sin embargo, la diferencia entre los resultados de resistencia al desgaste entre la segunda y tercera pasadas del electrodo CIS3, disminuye con respecto a la diferencia entre la primera y segunda pasadas. Al analizar la microestructura del depósito de tres pasadas (figura 6c) se observa que prevalece el área constituida por mezcla eutéctica, ya que los carburos que se obtienen son pequeños y escasos, por lo que su presencia no tiene una marcada influencia en la resistencia al desgaste del material.

#### Análisis comparativo de la resistencia al desgaste de depósitos del electrodo CIS3 y del comercial de referencia

Los resultados del ensayo micro-abrasivo en el depósito de una pasada del electrodo comercial con clasificación AWS A5.13 EFeCr-A1A, muestran un diámetro medio de la huella de 0,487 mm. Al compararlo con el diámetro medio de la huella de 0,503 mm del electrodo experimental CIS3 para iguales condiciones, se obtiene que la diferencia relativa es inferior al 10 % (referido al electrodo comercial). Lo anterior evidencia que, para esta pasada donde es mayor el efecto de la dilución con el metal base, el electrodo experimental CIS3 muestra una resistencia al desgaste comparable a la de un electrodo comercializado para el recargue de superficies sometidas a desgaste abrasivo. Esta semejanza en el comportamiento frente al desgaste abrasivo de materiales con composición química diferente permite comprobar que en las propiedades del depósito de recargue van a influir diversos factores, además de la composición química. En este caso debe considerarse la diferencia entre las corrientes de soldadura que emplean ambos consumibles, mucho mayor para el electrodo comercial (140 A) que para el experimental CIS3 (80 A). Esto ocasiona un menor aporte de calor en el depósito

de este último, lo que disminuye la dilución con el metal base, favoreciendo la aleación del depósito. Por otra parte, el menor aporte de calor del electrodo CIS3 implica un menor volumen de metal fundido y con ello mayores gradientes de enfriamiento, aspecto este ventajoso para la formación de una estructura eutéctica fina [12], que aporta altas propiedades de resistencia mecánica y al desgaste abrasivo. Ambos aspectos fundamentan la semejanza en el comportamiento frente al desgaste abrasivo de los materiales de aporte ensayados.

## Conclusiones

El número de pasadas (la dilución) tiene un marcado efecto en el comportamiento frente al desgaste abrasivo, condicionado por el efecto sobre la composición y la microestructura que va desde una fundición blanca hipoeutéctica a una hipereutéctica, en los depósitos del electrodo tubular revestido CIS3. Los resultados de resistencia al desgaste de los depósitos de dos y tres pasadas son superiores en un 15 y 20 % respectivamente, a los de una pasada.

La magnitud del diámetro medio de la huella de desgaste obtenido mediante el ensayo micro-abrasivo por esfera rotativa permite una valoración de la propiedad de resistencia al desgaste abrasivo del material bajo estudio más precisa que el volumen de desgaste, como resultado de una menor propagación del error.

El electrodo tubular revestido CIS3 es viable de aplicación en el recargue de superficies sometidas a desgaste abrasivo, ya que muestra resultados de resistencia en el orden del 90 % del obtenido con un electrodo comercial de referencia (clasificación AWS A5.13 EFeCr-A1A).

## Referencias Bibliográficas

- [1] Ortiz T. M., Cruz-Crespo A., Rodríguez M.:

- "Caracterización de depósitos de un electrodo tubular del sistema Fe-Cr-Mn-Si-C destinado al recargue de piezas sometidas a desgaste abrasivo". Revista Centro Azúcar, Vol. 44, No. 3 (2017) 93-100.
- [2] Cruz-Crespo A., Perdomo L., Pérez M. R., Fernández R., Ortiz T. M.: "Obtención de un fundente aglomerado aleado y un electrodo tubular revestido con el empleo de FeCrMn y escoria de la reducción carbotérmica de minerales". Memorias de XXXII Congreso da Sociedade Brasileira de Soldagem (CONSOLDA). 8va edición. Belo Horizonte, 2006.
- [3] AWS. "Specification for Surfacing Electrodes for Shielded Metal Arc Welding". AWS A 5.13/A 5.13M:2010. 5ta Ed., AWS Pub., Miami, 2010.
- [4] Cozza, R. C: "Análise sobre a reprodutibilidade de resultados e fragmentação de partículas abrasivas em ensaios ball-cratering". *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, Vol. 10, No. 2 (2013) 103-111.
- [5] Silva F.J.G., Casais R.B., Martinho R.P., Baptista A.P.M: "Role of abrasive material on micro-abrasion wear tests". *Wear*, Vol. 271 (2011) 2632-2639.
- [6] Oliveira D. L., Gallego J., Ventrella V. A: "Análise da resistência ao desgaste em revestimento duro aplicado por soldagem através de esfera fixa rotativa". Memorias de 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Cuiabá, Brasil, 2014. ISBN 1519-4787.
- [7] Morsy M, El-Kashif E: "The effect of microstructure on high-stress abrasion resistance of Fe-Cr-C hardfacing deposits". *Weld World*. Vol. 58 (2014) 491-497.
- [8] ASTM. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E3-11. 2da Edición. Pennsylvania: Ed ASTM International, 2011.
- [9] ASTM. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. ASTM E407-07. 2da Edición. Pennsylvania: Ed. ASTM International, 2015.
- [10] Ortiz Méndez T. "Desarrollo de un electrodo tubular revestido a partir de una ferroaleación del sistema Fe-Cr-Mn-Si-C para el recargue de piezas sometidas a desgaste abrasivo". Tutores: Dr Amado Cruz crespo, Dr Manuel Rodríguez Pérez. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV, Santa Clara, 2018.
- [11] Preobrazhensky V.: "Measurements and Instruments in Heat Engineering", Mir Pub., Moscow, 1980.
- [12] Kuo, S.: "Welding metallurgy". 2nd edition. John Wiley & Sons Pub., New Jersey, 2003.
- [13] Collazo-Carceller R.; López-Salinas H, Díaz-Romero A. "Propuesta para la recuperación de los machetes Zuazaga de los centrales azucareros con electrodos de acero al cromo". *Rev. Ingeniería Mecánica*. Vol. 12, No.3 (2009) 23-30.
- [14] De Mello R. V., Villani P: "Estudo Comparativo da Resistência ao Desgaste Abrasivo do Revestimento de Três Ligas Metálicas Utilizadas na Indústria, aplicadas por Soldagem com Arames Tubulares". *Soldagem Insp.* Vol. 14, No. 4 (2009) 329-335.
- [15] Méndez, P F., Barnes N., Bell K., Borle S., Gajapathi S., Guest S., Izadi H., Kamyabi A., Wood G.: "Welding processes for wear resistant overlays". *Journal of Manufacturing Processes*. Vol. 16 (2014) 4-25.
- [16] Kenchi Reddy K. M., Jayadeva, C. T. "The Effects of Welding Processes and Microstructure on 3 Body Abrasive Wear Resistances for Hardfacing Deposits". *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. Vol. 3, No. 12 (2014) 35-44.
- [17] Singla Y.K., Chhibber R., Arora N.: "On the Microstructure and Wear Behavior of Fe-xCr-4Mn-3C Hardfacing Alloys". *Transactions of the Indian Institute of Metals*. Vol 70, No 6 (2016) 1555-1561.
- [18] Liu S., Zhou Y. F., Xing X. L., Wang J. B., Gao Y. K., Yang Y. L., Yang Q. X.: "Low Stress Abrasion Behaviors of FeCrC (1.4~5.6 wt%) Hardsurface Coatings". *Welding Journal*, Vol. 95 (2016) 325-330.



UNIVERSIDAD  
DEL ZULIA

---

## **REVISTA TECNICA**

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

**Vol. 42. N°1, Enero - Abril 2019, pp. 02 - 45**

---

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2018, por el **Fondo Editorial Serbiluz, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela***

[www.luz.edu.ve](http://www.luz.edu.ve)  
[www.serbi.luz.edu.ve](http://www.serbi.luz.edu.ve)  
[produccioncientifica.luz.edu.ve](http://produccioncientifica.luz.edu.ve)