

***EVALUACIÓN OPERACIONAL Y DE CONSUMO DE UN
ELECTRODO REVESTIDO CON NÚCLEO RECTANGULAR,
DESTINADO PARA EL RELLENO DE PIEZAS***

***OPERATIONAL AND CONSUMPTION EVALUATION OF A COATED
ELECTRODE WITH RECTANGULAR NUCLEUS, DESTINED FOR
BUILDING UP PIECES***

Pablo Oñoz Gutiérrez^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-8704-8450>
Juan Carlos de Zayas Rivero¹ <https://orcid.org/0000-0002-8738-9631>
Manuel Rodríguez Pérez² <https://orcid.org/0000-0002-4092-3470>
Jesús A. Fernández del Risco¹ <https://orcid.org/0000-0003-4476-2413>
Emerio Fadruga Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-1164-6662>

¹ Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas (CEEFPREP).
Facultad de Electromecánica. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Carretera
Circunvalación Norte km 5 ½, Camagüey, Cuba.

² Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad
Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuani km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Diciembre 6, 2019; Revisado: Febrero 3, 2020; Aceptado: Abril 3, 2020

RESUMEN

Introducción:

En la industria se presenta la problemática de recuperar piezas con grandes superficies desgastadas, para ello se aplica el relleno por soldadura manual por arco eléctrico, siendo la productividad baja al emplear electrodos cilíndricos de pequeños diámetros, operados con bajas intensidades de corriente.

Objetivo:

Evaluar el comportamiento operativo y de fusión de un electrodo revestido con núcleo de sección rectangular y revestimiento de rutilo.

Materiales y Métodos:

El revestimiento de rutilo se aplicó mediante el prensado en moldes. El desempeño operativo se evaluó de forma cualitativa aplicando un criterio de expertos. Además se determinaron los parámetros de consumo según la norma (ISO 2401-72, 1972). Se determinó experimentalmente el efecto del ancho del núcleo y la intensidad de corriente sobre los parámetros de consumo y la dilución. El procesamiento estadístico se realizó



Copyright © 2020. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Pablo Oñoz, Email: pablo.onoz@reduc.edu.cu



con el software *Statgraphics*.

Resultados y Discusión:

Los electrodos presentan buenas propiedades operativas al obtenerse excelente estabilidad del arco en 77,8 % de estos, excelente desprendimiento de la escoria en el 100 %, buen aspecto y sanidad del cordón en el 77 % y el 88,9 % respectivamente. El coeficiente de depósito promedio fue 0,16 g/A*min, la eficiencia de depósito 80,6 % y la dilución 30,5 %.

Conclusiones:

Los electrodos obtenidos mostraron buen comportamiento operativo durante las pruebas de soldadura, lo cual permite el proceso de relleno en piezas afectadas por desgaste. La dilución en el metal depositado por estos electrodos es menor que en los electrodos cilíndricos equivalentes, lo cual constituye una ventaja significativa en los procesos de recargue.

Palabras clave: dilución; electrodo revestido; propiedades operativas; relleno; soldadura manual.

ABSTRACT

Introduction:

There is a problem of recovering parts with large worn surfaces in industry. Filling is applied by manual electric arc welding for this, with low productivity when using small diameters cylindrical electrodes, operated with low current intensities.

Objective:

To evaluate operating and melting behavior of a coated electrode with a rectangular section core and a rutile coating.

Materials and methods:

Rutile coating was applied by pressing in molds. Operational performance was qualitatively evaluated by applying expert criteria. In addition, the consumption parameters were determined according to the standard (ISO 2401-72, 1972). The effect of core width and current intensity on consumption and dilution parameters was experimentally determined. Statistical processing was carried out with *Statgraphics* software.

Results and Discussion:

Electrodes have good operating properties as excellent arc stability is obtained in 77.8% of them, excellent slag detachment in 100%, good appearance and cord health in 77% and 88.9% respectively. The average deposition coefficient was 0.16 g/A*min, deposition efficiency of 80.6% and dilution of 30.5%.

Conclusions:

Obtained electrodes showed good operating behavior during welding tests, which allows the filling process in parts affected by wear. Dilution in deposited by these electrodes metal is less than in equivalent cylindrical electrodes, which constitutes a significant advantage in recharge processes.

Keywords: dilution; coated electrode; operational properties; filling; manual welding.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de relleno tiene como propósito restablecer las dimensiones originales de una pieza, depositando un material con propiedades similares o mejoradas, que le permita extender su vida útil. Según (González y col., 2014), para este fin se emplean diferentes métodos de soldadura por arco eléctrico o por llama, siendo el relleno con electrodo revestido con núcleo macizo el de mayor aplicación en la recuperación de piezas.

En la industria de la soldadura es importante la productividad y se ha popularizado el uso de varios indicadores, tales como: la tasa de deposición, el factor de operación y la eficiencia de deposición, etc. (Mazuera y col., 2011). El incremento de la productividad en las operaciones de relleno con soldadura manual por arco eléctrico puede lograrse utilizando electrodos con alta razón de depósito. Otra forma de elevar la productividad en los trabajos de relleno de piezas, es incrementando el ancho del cordón que se deposita en cada pasada, lo que reduce el aporte de calor en la pieza y redundando en mejores propiedades mecánicas en el relleno.

En los talleres de reparación de equipos se presenta la problemática de recuperar piezas con grandes superficies desgastadas, tales como: ruedas guías, rodillos, ruedas dentadas, guijos, corona y acoplamientos de molinos cañeros. Con este fin se aplica el relleno por soldadura manual por arco eléctrico, siendo la productividad baja al emplear electrodos cilíndricos de pequeños diámetros, operados con bajas intensidades de corriente. La aplicación de electrodos revestidos en forma de cinta con núcleo de sección rectangular, permite aumentar el ancho del cordón y con ello la productividad del proceso.

Es importante señalar, que mediante el método de inmersión en los electrodos con un núcleo de sección rectangular, no se logra una capa uniforme lo cual se ha demostrado en otros trabajos, De Zayas (2017). Teniendo en cuenta este aspecto, en el trabajo se establece un procedimiento para el proceso de revestimiento de este tipo de consumible que consiste en prensar de forma manual el revestimiento al núcleo utilizando un molde. A partir de las consideraciones anteriormente señaladas, en el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento operativo y de fusión de un electrodo revestido con núcleo de sección rectangular y revestimiento de rutilo, cuyas ventajas lo hacen adecuado para el relleno de superficies planas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Características del núcleo y el revestimiento

Las dimensiones utilizadas en el núcleo del electrodo se indican en la Tabla 1. Estas dimensiones se han tomado teniendo en cuenta la sección transversal equivalente a los electrodos de diámetro 6,3; 7,9 y 8,7 mm, según (AWS, 2012) A5.1, (Jeffus, 2012). El espesor del revestimiento utilizado es de 1,5 mm por lado, considerando el espesor que se utiliza en los electrodos de rutilo de alto rendimiento empleados en los procesos de soldadura, los cuales garantizan estabilidad en la fusión del electrodo y permite aplicar la técnica de arrastre durante la fusión. La longitud de los electrodos utilizados es de 150 mm.

Tabla 1. Dimensiones de los electrodos

<i>Variantes</i>	<i>Dimensiones del núcleo (mm)</i>		<i>Revestimiento (mm)</i>	
	<i>Ancho</i>	<i>Espesor</i>	<i>Longitud</i>	<i>Espesor</i>
1	10	3	120	1,5
2	15	3	120	1,5
3	20	3	120	1,5

Las cintas para el núcleo se obtuvieron a partir de recortes de chapas de acero de bajo contenido de carbono tipo AISI 1020, determinado por análisis de composición química mediante el método de espectrometría. Para el revestimiento se empleó la mezcla de rutilo de importación utilizada en la fábrica de electrodos de Nuevitas en Camagüey, que responde a las exigencias de la norma (AWS, 2012) A5.1.

2.2. Fabricación de los electrodos

Como se ha explicado, el proceso de revestimiento mediante el método de inmersión al utilizar un núcleo de sección rectangular no garantiza buena uniformidad en el espesor en todo el perímetro del consumible. Para solucionar este problema, se diseñó y fabricó un juego de moldes para prensar la mezcla del revestimiento al núcleo del electrodo.

Para la obtención del revestimiento la mezcla de rutilo fue homogenizada en un tambor rotatorio durante 30 min. Luego fue aglutinada con un 30 % (referido al 100 % de la masa seca) de silicato de sodio con módulo 2,8 y adiciones de agua. Una vez ensamblado el molde con el núcleo del electrodo en su interior, se introduce la mezcla en la cavidad mediante prensado hasta completar el llenado. Los electrodos (Figura 1) se secaron al aire por 24 h y en estufa por 2 h, a una temperatura de 180 °C.



Figura 1. Electrodo revestido con núcleo de sección rectangular: a) Núcleo de 10 mm de ancho, b) Núcleo de 15 mm de ancho, c) Núcleo de 20 mm de ancho

2.3. Evaluación del desempeño operativo de los electrodos en estudio

Para evaluar el comportamiento operativo de los electrodos, estos se sometieron a pruebas de soldadura con la técnica de arrastre sin oscilación del electrodo, empleando el régimen de soldadura mostrado en la Tabla 2. La soldadura se realizó por un soldador calificado utilizando como fuente de alimentación un rectificador tipo SPB 350, equipado con instrumentos de medición: voltímetro y amperímetro. El metal base empleado fue un acero AISI 1010 con las siguientes dimensiones: 100 x 50 x 10 mm.

Tabla 2. Régimen de soldadura empleado con los electrodos

<i>Variantes</i>	<i>Dimensiones del núcleo ancho-espesor (mm)</i>	<i>Intensidad de la corriente de soldadura (A)</i>	<i>Tipo de corriente y polaridad</i>	<i>Velocidad de soldadura (cm/min)</i>
1	10 x 3	200 ± 5	CDPN	18
2	15 x 3	250 ± 5	CDPN	16
3	20 x 3	300 ± 5	CDPN	15

Para cada variante de electrodo se realizó un cordón de 75 mm de longitud en tres probetas diferentes, con el objetivo de evaluar la estabilidad del arco, el desprendimiento de la escoria, la sanidad y aspecto del cordón.

En el Centro de Investigaciones de Soldadura se tiene experiencia en relación a la evaluación cualitativa del comportamiento operativo de electrodos para recargue. En este caso se ha aplicado la metodología empleada en otros trabajos a partir de la utilización de criterios de expertos, Herrera (2012). De acuerdo a la metodología, en la Tabla 3, se muestran las propiedades estudiadas para cada consumible y la evaluación que obtendría en cada caso, según su comportamiento.

En el presente trabajo participaron como expertos, tres especialistas en tecnología de soldadura con más de 20 años de experiencia.

Tabla 3. Criterios para definir la operatividad de los electrodos

<i>Propiedad</i>	<i>Excelente</i>	<i>Bien</i>	<i>Regular</i>	<i>Mal</i>
Desprendimiento de la escoria	Se desprende una vez terminada la soldadura	Se desprende fácilmente con golpes ligeros con la piqueta	Se desprende con golpes reiterados con la piqueta	La escoria queda atrapada al reiterar los golpes piqueta
Sanidad del cordón	No se aprecian defectos	Pocos defectos pequeños	Defectos grandes aislados o en colonias	Muchos defectos en todo el cordón.
Aspecto del cordón	El cordón es uniforme en ancho y altura	El ancho es uniforme y la altura presenta irregularidad	El ancho y la altura son irregulares	Cordón muy irregular y discontinuo
Estabilidad del arco	El arco arde estable y funde parejo el revestimiento	El arco es estable pero se producen salpicaduras	El arco arde con dificultad y el electrodo tiende a soldarse	El arco es muy inestable y se apaga a ratos, el electrodo funde mal

2.4. Efecto del ancho del electrodo y la intensidad de corriente sobre los parámetros de consumo

Para evaluar la influencia del ancho del núcleo de los electrodos y la intensidad de corriente sobre el coeficiente de depósito, eficiencia de depósito referido al núcleo y la dilución, se utilizó un diseño de experimento factorial de tipo $N=3^k$, donde k constituye el número de factores (variables). Partiendo de esta expresión se calcularon la cantidad de combinaciones $N=3^2 = 9$ con tres réplicas para un total de 27 experimentos. Considerando como variables independientes: el ancho del núcleo (X_1) y la intensidad de corriente de soldadura (X_2). Según el tipo de diseño, estas variables poseen tres niveles: $X_1=20; 15; 10$ mm y $X_2=300; 250; 200$ A.

En este caso las variables dependientes en el diseño son: coeficiente de depósito (Y_1), eficiencia de depósito referido al núcleo (Y_2) y la dilución (Y_3).

Para determinar el comportamiento del coeficiente de depósito y la eficiencia del

depósito referido al núcleo se utilizó el procedimiento establecido en la norma (ISO 2401-72, 1972). Teniendo en cuenta lo señalado por esta norma se determinaron los siguientes indicadores para cada una de las variantes de electrodos:

- | | |
|--|--|
| Mn: masa del núcleo del electrodo (g) | Lc: longitud de la colilla (mm) |
| Le: longitud inicial del electrodo (mm) | Mbf: masa final del electrodo (g) |
| de: ancho del electrodo (mm) | Mfp: masa final de la plancha (g) |
| Mbi: masa inicial del electrodo (g) | Mu: masa unitaria del núcleo (g/mm) |
| Tbas: tiempo básico de soldadura (s) | Md: masa de metal depositado (g) |

Para la evaluación de la dilución, los cordones fueron cortados transversalmente con disco abrasivo en tres secciones. Estas se pulieron y atacaron con Nital al 3 % para revelar la macroestructura. Utilizando el programa *Imagen J*, se determinaron las dimensiones de las áreas de la zona fundida en el metal base (B) y del metal depositado (A). A partir de estos resultados se calculó la dilución (D), según la ecuación 1.

$$D = \left(\frac{A}{A+B} \right) * 100 \quad (1)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Desempeño operativo de los electrodos

La evaluación de las características operativas de los electrodos se realizó de forma cualitativa mediante el criterio de expertos de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3. La estabilidad del arco se comportó de excelente y bien en el 77,8 % de los experimentos (Tabla 4), el desprendimiento de la escoria resultó muy bueno asociado con la naturaleza del revestimiento de rutilo. Por otra parte el aspecto del cordón fue de excelente y bien en el 78 % de los experimentos, manifestándose dificultades en los electrodos de 15 y 20 mm de ancho debido a que la intensidad de la corriente de 200 A es insuficiente para mantener una fusión estable del electrodo y obtener un cordón uniforme en su geometría.

Tabla 4. Desempeño operativo de los electrodos

<i>Experimentos</i>		<i>Estabilidad del arco</i>	<i>Desprendimiento de la escoria</i>	<i>Aspecto del cordón</i>	<i>Sanidad del cordón</i>
9	B=10 mm	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
18	Is=200 A	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
25	A=30 mm ²	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
1	B=10 mm	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
17	Is=250 A	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
22	A=30 mm ²	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
7	B=10 mm	Bien	Excelente	Bien	Excelente
14	Is=300 A	Bien	Excelente	Bien	Excelente
24	A=30 mm ²	Bien	Excelente	Bien	Excelente
5	B=15 mm	Regular	Bien	Regular	Bien
15	Is=200 A	Regular	Bien	Regular	Bien
23	A=45 mm ²	Regular	Bien	Regular	Bien
6	B=15 mm	Excelente	Excelente	Bien	Excelente

11	Is=250 A	Excelente	Excelente	Bien	Excelente
26	A=45 mm ²	Excelente	Excelente	Bien	Excelente
2	B=15 mm	Excelente	Excelente	Bien	Excelente
12	Is=300 A	Excelente	Excelente	Bien	Excelente
19	A=45 mm ²	Excelente	Excelente	Bien	Excelente
8	B=20 mm	Regular	Bien	Mal	Regular
10	Is=200 A	Regular	Bien	Mal	Regular
27	A=60 mm ²	Regular	Bien	Mal	Regular
4	B=20 mm	Excelente	Excelente	Bien	Bien
13	Is=250 A	Excelente	Excelente	Bien	Bien
21	A=60 mm ²	Excelente	Excelente	Bien	Bien
3	B=20 mm	Excelente	Excelente	Bien	Bien
16	Is=300 A	Excelente	Excelente	Bien	Bien
20	A=60 mm ²	Excelente	Excelente	Bien	Bien

B: ancho del núcleo; Is: intensidad de la corriente; A: área de la sección transversal del núcleo.

Como rasgo particular de los electrodos con núcleos de 15 y 20 mm de ancho, se observó desplazamiento del arco por la sección del núcleo y su fusión progresiva. En todos los casos se aplicó la técnica de arrastre sin oscilación del electrodo, ya que estos funden con retraso los bodes laterales, como se aprecia en las colillas de la Figura 2.

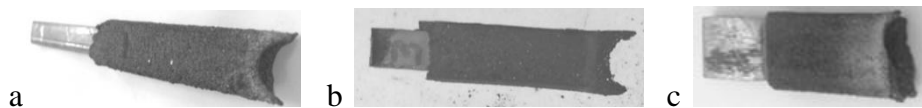


Figura 2. Colillas con diferentes anchos en el núcleo: a) 10 mm, b) 15 mm, c) 20 mm

De acuerdo a los resultados, se puede constatar, que la intensidad de la corriente ejerce una marcada influencia sobre el desempeño operativo de los electrodos, fundamentalmente sobre la estabilidad del arco y el aspecto del cordón. Al mismo tiempo en este electrodo se logra un funcionamiento estable del arco eléctrico con menores intensidades de corriente en comparación con los electrodos cilíndricos de sección equivalente. Según (AWS, 2012) A5.1 un electrodo de diámetro 6,3 mm (1/4”) requiere un rango de corriente de 250 a 350 A para su funcionamiento estable. Mientras un electrodo con núcleo rectangular con ancho de 10 mm, equivalente en sección transversal (30 mm²) al de diámetro 6,3 mm funciona de forma estable con una intensidad de corriente de 200 A (Tabla 4 experimentos 9; 18 y 25). En la medida que el ancho del núcleo se incrementa la intensidad de corriente requerida es mucho menor, en comparación con un electrodo de núcleo cilíndrico de sección equivalente.

3.2. Resultados del efecto del ancho del electrodo y la intensidad de corriente sobre los parámetros de consumo y la dilución.

Según la matriz experimental para el tipo de diseño se obtiene los resultados que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de las variables dependientes según el diseño experimental $N=3^2$

<i>Experimentos</i>	<i>X₁: Ancho del núcleo (B), mm</i>	<i>X₂: Intensidad de la corriente (I), A</i>	<i>Y₁: Coeficiente de depósito (Cd), g/A*min</i>	<i>Y₂: Eficiencia de depósito (Ed), %</i>	<i>Y₃: Dilución (D), %</i>
1	2	3	4	5	6
1	15	200	0,14	85,6	18,4
2	10	200	0,13	85,3	19,6
3	15	250	0,16	79,4	31,9
4	20	250	0,16	81,6	29,1
5	10	300	0,16	77,5	29,1
6	10	250	0,15	81	33,4
7	15	300	0,17	74,9	38,8
8	20	300	0,17	76,8	36,5
9	15	300	0,17	76,5	39,8
10	20	250	0,16	80,6	30,8
11	10	200	0,13	86,7	22,5
12	10	300	0,16	77,9	48,4
13	10	250	0,15	84	32,3
14	20	300	0,17	77,8	35,8
15	15	250	0,16	78,3	32,6
16	15	200	0,14	87,3	20,3
17	20	200	0,15	85	16,8
18	15	200	0,14	85,6	18,4

1	2	3	4	5	6
19	10	200	0,13	85,3	19,6
20	15	250	0,16	79,4	31,9
21	20	250	0,16	81,6	29,1
22	10	300	0,16	77,5	29,1
23	10	250	0,15	81	33,4
24	15	300	0,17	74,9	38,8
25	20	300	0,17	76,8	36,5
26	15	300	0,17	76,5	39,8
27	20	250	0,16	80,6	30,8

El procesamiento de los resultados experimentales se realizó utilizando el software Statgraphics. Para el coeficiente de depósito se obtiene la ecuación (2) con $R^2 = 91 \%$:

$$Cd = 4 + 0,09 * B + 0,02 * I \quad (2)$$

A medida que se incrementa el ancho del núcleo la sección transversal del electrodo aumenta y el arco eléctrico funde una mayor cantidad de metal por cada pasada del electrodo, propiciando que el ancho del cordón sea superior al del núcleo. De igual forma la intensidad de la corriente al incrementarse desde 200 a 300 A provoca la fusión de una mayor cantidad de metal haciendo que se deposite más metal de aporte.

Para la eficiencia de depósito se obtiene la ecuación (3) con $R^2 = 88 \%$:

$$Ed = 104 + 0,15 * B - 0,08 * I \quad (3)$$

El incremento del ancho del núcleo de los electrodos manifiesta una influencia positiva

sobre la eficiencia de depósito, el incremento de este se refleja en un aumento de la eficiencia a partir de aportar mayor cantidad de metal. La corriente ejerce una acción contraria, debido a que el incremento de esta provoca salpicaduras y evaporación del metal por tanto hay más pérdidas y la eficiencia tiende a disminuir.

3.2.1. Comportamiento de la dilución

De acuerdo con la metodología experimental se realizaron las mediciones y cálculos que permitieron obtener los resultados de la dilución mostrados en la Tabla 5. Con ayuda del programa Statgraphics Centurion XV se procesaron los resultados y se obtuvo la ecuación de regresión (4) con $R^2 = 87\%$:

$$D = -12 - 0,5 * B + 0,19 * I \quad (4)$$

De acuerdo a los datos aportados en la Tabla 5 el coeficiente de dilución (D) tiene una tendencia creciente con el incremento de la corriente de soldadura para un mismo ancho de electrodo. Esta tendencia se modifica al variar el ancho de los electrodos manteniendo constante la corriente de soldadura, siendo decreciente, debido a que la densidad de corriente disminuye y por tanto el efecto penetrante del arco se reduce.

Uno de los resultados más importantes obtenidos en la investigación ha sido que al emplear electrodos con sección rectangular, la dilución es inferior a la obtenida con electrodos convencionales. En la figura 3a, se muestra la sección transversal de un depósito de recargue realizada con un electrodo DIN E60-10Z de diámetro 4 mm (Cruz y col., 2009), donde se obtiene un coeficiente de dilución de 59,36 %, independientemente de que la intensidad de corriente es de 160 A. Este coeficiente de dilución es mucho mayor que el logrado con el electrodo con núcleo de sección rectangular (36,5 %) con ancho de 20 mm y una intensidad de 300 A, como se aprecia en la figura 3b.

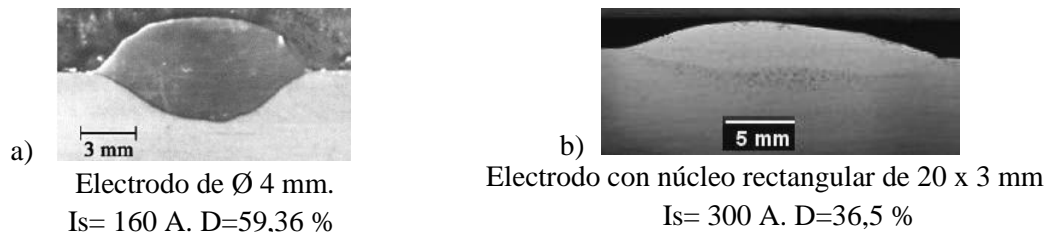


Figura 3. Comparación del coeficiente de dilución en electrodos revestidos con núcleo cilíndrico y electrodos con núcleo rectangular

4. CONCLUSIONES

1. La utilización de moldes para el proceso de revestido durante la fabricación de electrodos de sección rectangular garantiza un espesor uniforme del revestimiento, lo cual no es posible con el método de inmersión.
2. Los electrodos con núcleo rectangular mostraron buen comportamiento operativo durante las pruebas de soldadura, lo cual permite el proceso de relleno por soldadura en piezas afectadas por desgaste.
3. La dilución en el metal depositado por los electrodos con núcleo de sección rectangular es menor que en el caso de electrodos cilíndricos equivalentes, lo cual constituye una ventaja significativa en los procesos de recargue.

REFERENCIAS

- AWS., American Welding Society., Specification for carbon Steel electrodes for shielding metal arc welding., AWS A5.1/A5.1M, 2012.
- Cruz, A., Scotti, A., Rodríguez, M., & Ortiz, T., La dilución como función de la corriente en depósitos de electrodos tubulares para recargue duro de componentes de la industria del azúcar., *Centro Azúcar*, Vol. 36, No. 3, 2009, pp. 98-103.
- De Zayas, J., Electrodo plano para la recuperación de piezas mediante soldadura SMAW., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”, Cuba, 2017.
- González, O., Gómez, C.R., Quintana, R., Perdomo, L., Miguel, J.V., & López, R.L., Alternativa de doble recubrimiento para electrodo destinado al proceso de relleno manual con arco eléctrico., *Ingeniería Mecánica*, Vol. 17, No. 3, 2014, pp. 245-254.
- Herrera, T., Evaluación de un electrodo tubular revestido para la soldadura subacuática mojada., Tesis presentada en opción al título de Máster en Ingeniería Mecánica, mención Soldadura., Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2012.
- ISO 2401-72., ISO TC 44., International Organization for Standardization (ISO): Technical Committee., Covered Electrodes., Determination of the Efficiency metal recovery and the deposition coefficient., Ginebra: Ed. ISO, 1972.
- Jeffus, L., *Welding: Principles and applications.*, 7^a edition, Albany, NY, USA: Delmar Publishers Inc, 2012, pp. 684-685.
- Mazuera, D., Suárez, J., & Giraldo, J.E., Estudio de productividad en la soldadura del acero MIL A 46100 con los procesos GMAW y SMAW., *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, No. 59, junio, 2011, pp. 66-74.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen de conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Pablo Oñoz Gutiérrez. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- M.Sc. Juan Carlos de Zayas Rivero. Participó en el estudio y la corrida de los datos en el Software Statgraphics Centurion XV.
- Dr.C. Manuel Rodríguez Pérez. Participó en la escritura y corrección del artículo.
- M.Sc. Jesús A. Fernández del Risco. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- M.Sc. Emerio Fadruga Hernández. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.