

Título: Influencia de la Corriente de Soldadura sobre los parámetros de consumo de electrodos tubulares para recargue de piezas de la industria del azucar

Title: Influence of the welding current on the consumption parameters of tubular electrodes from hardfacing of pieces in sugar industry

Autores: Amado Cruz Crespo*, Américo Scotti**, Manuel RodríguezPérez Manuel*, Tâmara Ortiz Méndez*

**Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba*

**Laboratorio para Desenvolvimento de Processos de Soldagem (LAPROSOLDA), Universidade Federal de Uberlândia, Brasil*

acruz@uclv.edu.cu

Resumen

Se aborda la determinación de parámetros de consumo de electrodos tubulares revestidos para recargue duro de piezas de la Industria Azucarera. Son evaluadas dos variantes de electrodos tubulares revestidos (electrodo con ferroaleación en el núcleo $\leq 0,1$ mm y con ferroaleación 0,1- 0,25 mm). El estudio se hace de manera comparativa con el electrodo comercial DIN E60-10 Z, de igual aplicación (recargue duro, ampliamente aplicado en el sector azucarero) y de igual diámetro (4 mm). A partir de los resultados se establecen los criterios del mejor rango operacional del electrodo en cuanto a corriente de soldadura para su mayor eficiencia en la aplicación.

Palabras claves: Electrodo tubular revestido, Recubrimiento duro.

ABSTRACT

It is carried out the determination of consumption parameter of coated tubular electrodes for hardfacing of pieces in sugar industry. Two versions of coated tubular electrodes (ferroalloy particle size in the soul $\leq 0,1$ mm and in the range of 0,1- 0,25 mm) are evaluated. This study is made in comparative way, using the DIN E60-10 Z commercial coated electrode, which has same diameter (4mm) and same application (hardfacing, widely applied in sugar industry) as this studied. Starting from the results, the best operational range for this electrode is established, in that referred to welding current, looking for the biggest efficiency in the application.

Keywords: Coated tubular electrode, Hardfacing.

1. Introducción

Los electrodos revestidos para recargue duro por SMAW han demostrado tener una amplia demanda por las probadas ventajas del proceso en cuanto a versatilidad y relativa sencillez tecnológica, siendo la Industria Azucarera a nivel mundial, uno de los sectores de mayor aplicación de este proceso, tanto en la soldadura como en el recargue.

La adición de elementos de aleación y desoxidantes, por el revestimiento resta espacio a los elementos destinados a garantizar propiedades tecnológicas de soldadura (estabilizadores de arco, formadores de escoria y gases, entre otros) ^{1, 2 y 5}. Por tanto, los fabricantes de electrodos hacen un balance, donde la composición del depósito a obtener se convierte en una condición inviolable, ya que esta gobierna la microestructura y las propiedades, como se ha demostrado por ^{2 y 5}.

El electrodo tubular revestido para recargue por SMAW podría garantizar altos niveles de aleación del depósito con un elemento dado, a la vez que posibilitaría reducir el factor de revestimiento (relación del diámetro total del electrodo y el diámetro del alma del mismo). O sea que algunas de los dilemas referidos encima para los tradicionales electrodos revestidos de recargue duro son enmendados con esta concepción diferente de electrodos para recargue duro ⁵. Ello, unido a una mayor densidad de corriente para igual diámetro, frente a un electrodo revestido tradicional, constituye un aspecto atractivo para el desarrollo de electrodos de tales características para responder a circunstancias concretas de aplicación, como ya fue apuntado por algunos investigadores ^{4 y 5}. Por otra parte, en la práctica industrial se reporta la existencia de productos de tales características en el mercado, siendo el electrodo tubular revestido STOODY-31 ejemplo de esto ⁷.

2. Materiales y métodos

En el trabajo fueron utilizados dos tipos de electrodos experimentales tubulares revestidos de 4 mm de núcleo y 430 mm de longitud, obtenidos en un trabajo precedente de algunos de los autores del presente trabajo ³. Ambos electrodos experimentales en esencia son similares, con revestimiento básico (compuesto de fluorita, caliza, grafito y los aportes de SiO₂ y Na₂O del aglutinante), factor de revestimiento de 1,5 y solo se diferencian en la granulometría de la ferroaleación de FeCrMn empleada como carga aleante en el núcleo (el electrodo denominado CIS 1, con tamaño de grano de la carga aleante entre 0,1 mm y 0,25 mm, y el CIS 2, con granos $\leq 0,1$ mm de la ferroaleación). Dicho estudio se realizó utilizando como referencia un electrodo comercial de igual diámetro nominal y aplicación, clase *DIN E60-10 Z*, 350 mm de longitud, revestimiento básico, factor de revestimiento de 2,25.

Para evitar la interferencia del soldador los depósitos fueron realizadas, sobre planchas de acero AISI 1020 de 250 x 25 x 8 mm en posición plana, por un simulador que mantiene invariable la velocidad de avance, 10 cm/min, y una longitud de arco constante, los cuales son preestablecidos. Dicho simulador

fue desarrollado en LAPROSOLDA de la Universidad Federal de Uberlandia ⁶. La corriente de soldadura (CC+) fue variada de 80 A a 140 A a razón de 20 A y en el caso del comercial fueron realizados además ensayos a 160 A y 200 A, ya que el fabricante recomienda hasta 200 A. En todos los ensayos se buscó mantener una longitud de arco corto como si fuera aplicado por un soldador y el electrodo fue colocado con un ángulo de 105° en relación a la línea de soldadura, en la dirección halando el cordón.

Las chapas de metal base y los electrodos fueron pesadas antes de la realización de los ensayos. Después de cada ensayo fue pesada la colilla del electrodo y la plancha con el depósito, para de este modo determinar la masa de metal depositada. Con los datos obtenidos fueron determinadas las de Consumo y Deposición; así como el rendimiento.

3. Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados ilustrados en las Figuras 1 y 2, se observa, como era esperado, que con el aumento de la corriente hay una tendencia al aumento de la tasa de consumo y deposición y que las mayores tasas son observadas para los electrodos con alma tubular (justificable por la menor área metálica de la sección transversal, pero considerando que el relleno del núcleo, aunque es de ferroaleación, no conduce la corriente eléctrica), siendo poco significativa la influencia de la granulometría de la ferroaleación, mostrando una caída evidente por encima de los 120 A. Una explicación a esto para la tasa de consumo, podría estar en un calentamiento excesivo del electrodo tubular a partir de 120 A por el efecto Joule, que lleva a que su revestimiento alcance altas temperaturas en casi toda su longitud, y no solamente en su punta en contacto con el arco, suficientes para la descomposición de la caliza, cerca de los 800 °C. Como el proceso es de carácter fuertemente endotérmico, un mayor consumo energético es demandado para mantener la tasa de consumo creciente. Además, la fluorita del revestimiento de la parte superior del electrodo se funde anticipadamente, por ser un componente de bajo punto de fusión, y desciende hasta la punta del electrodo incorporando a la región anódica los iones F⁻ que, por ser voluminosos, hacen un efecto de apantallamiento al paso de los electrones, disminuyendo el calentamiento en la punta del electrodo y con ello la fusión del mismo. Como resultado de lo planteado hay una serie de factores concatenados que llevan a modificar el comportamiento creciente de la tasa de fusión a pesar de haber aumentado la corriente. Por estos datos, todo indica que la corriente máxima de aplicación de los electrodos tubulares, con esta formulación y diámetro, es 120 A.

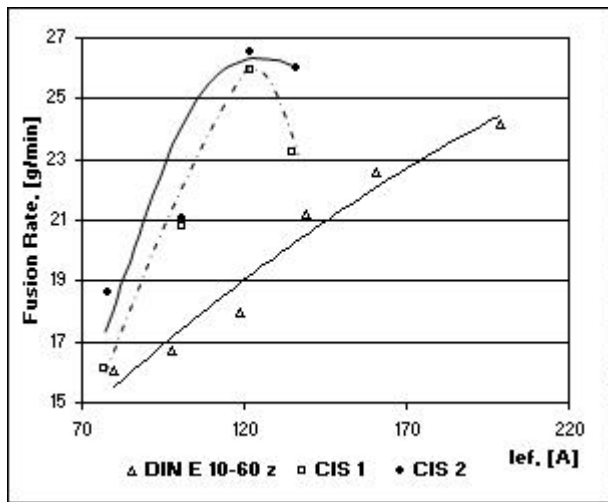


Figura 1. Variación de la tasa de consumo con la variación de la corriente de soldadura.

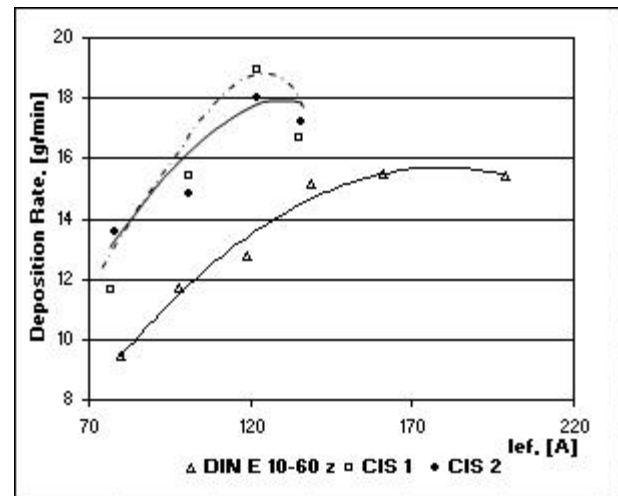


Figura 2. Variación de la tasa de deposición en función de la corriente de soldadura.

Entretanto, observando con más detalle la relación entre corriente y rendimiento de deposición (ver Figura 3), se observa que este último es un poco superior para el electrodo CIS (0,1-0,25 mm), para el cual no se manifiestan variaciones significativas en el rango de corriente evaluado, estando en todos los casos en el entorno de 72-74 % (pero se observa una tendencia a tener un punto máximo en el entorno de los valores de 100 A). Ya el electrodo CIS ($\leq 0,1$ mm), que, como fue planteado, solo se diferencia del anterior en la granulometría del núcleo, presenta un comportamiento diferente. Este electrodo muestra un valor de rendimiento de deposición descendiente de manera lineal con el aumento de la corriente. Este comportamiento puede estar asociado a una mayor superficie total de partícula de la ferroaleación en el núcleo y por tanto se requiere de una menor energía para su fusión e interacción que para el caso del electrodo con mayor tamaño de partícula de la carga aleante. Este hecho que favorece el rendimiento, o se torna inexpresivo, para corriente más bajas (para 80 A), hace un efecto negativo para mayores corrientes, llevando a una mayor oxidación y pérdidas (humos) de los elementos de la ferroaleación en el núcleo, disminuyendo por tanto su incorporación al depósito metálico.

En cierto modo, lo planteado encima explica el comportamiento del rendimiento del electrodo CIS (0,1- 0,25 mm). En el rango de bajas corrientes (80-100 A), el aporte energético del arco aún no ha alcanzado el óptimo valor frente a la superficie total de partículas del núcleo y, por tanto, no se consigue el mayor grado de interacción e incorporación al depósito. Para corrientes altas (> 120 A), sucede, entonces, que la energía entregada es superior a la que se precisa para una adecuada fusión e

interacción de la ferroaleación de acuerdo a su tamaño de grano y se elevan las pérdidas asociadas a una mayor oxidación y volatilización de los componentes.

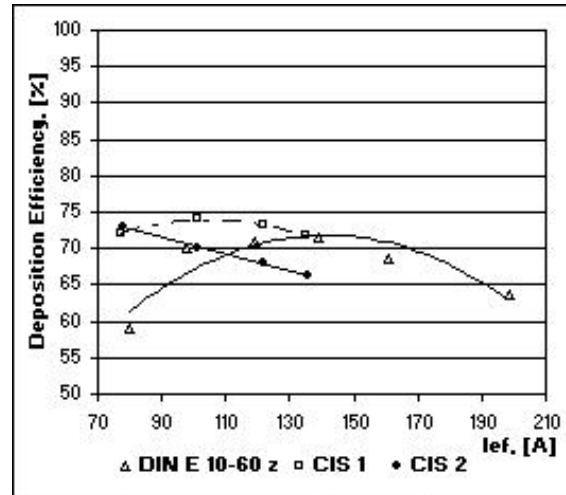


Figura 3. Comportamiento del rendimiento real de los electrodos con la variación de la corriente.

Para el electrodo DIN E60-10 Z se observa un menor valor del rendimiento para 80 A, que podría estar asociado con las dificultades operacionales de este electrodo para corrientes tan bajas y con la posibilidad de una transferencia incompleta de los elementos de aleación presentes en el revestimiento por falta de energía para garantizar su participación real en la interfase metal-escoria. Es preciso considerar en primer orden el mayor factor de revestimiento de este electrodo que indudablemente requiere de mayor aporte energético para su calentamiento y fusión. A esto se añade la demanda energética asociada a la disociación del carbonato de calcio que tiene lugar en el entorno de los 800 °C. Ya para valores mayores de corriente vuelve a haber una disminución del rendimiento real del electrodo, esta vez asociada hipotéticamente con una mayor pérdida de elementos de aleación por un mayor aporte térmico. De este modo, al igual que para el electrodo CIS (0,1- 0,25 mm) hay un rango de corriente con un rendimiento más alto (en este caso de 120-140 A) que puede ser valorado como un síntoma de una mejor zona de operación de este electrodo.

4. Conclusiones

Si unificamos lo planteado arriba, queda claro que la concepción de fabricación de electrodos para soldadura manual (SMAW) para revestimiento duro a través del alma tubular presenta desde el punto de vista de los parámetros de consumo frente al comercial utilizado como referencia.

- Existe un rango de corriente útil para cada concepción de electrodo en el que el comportamiento es característico, y hasta la granulometría del polvo de la ferroaleación afecta los valores del rango (así no se puede comparar el desempeño de las diferentes concepciones en un mismo

valor de corriente, sino que se debe trabajar en una intersección de buenas condiciones);

- Los electrodos tubulares tienen más capacidad de producción que los convencionales;

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a CAPES (Brasil) y al MES (Cuba) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo en el marco del Proyecto CAPES/MES CUBA 15/2005. También agradecen a la empresa ESAB de Brasil, por la aportación del electrodo comercial para realizar las comparaciones.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] AWS, Specification for Surfacing Electrodes for Shielded Metal Arc Welding, AWS A5.13-2000 (SFA 5.13-2001), Part C, Section II, 2000, 29p.
- [2] BÁLSAMO, P.S.S.; SCOTTI, A. & MELLO, J.D.B., Interpretación de la Microestructura de Recarques Duros Depositados por Soldadura Utilizando la Superficie de Líquidos de Diagramas Fe-Cr-C. Rev. Soldadura, 25 (4), 1995, CENIN, Madrid, pp. 199-207 (ISSN 0048-7759).
- [3] CRUZ, A., Obtención de un fundente aglomerado aleado y un electrodo tubular revestido con el empleo de FeCrMn y escoria de la reducción carbotérmica de minerales, Congreso da Sociedade Brasileira de Soldagem, Belo Horizonte, Oct. 2006.
- [4] GARCIA DA SILVA, H., Desenvolvimento de Eletrodo Tubular para Soldagem Manual ao Arco Elétrico, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001, 100 p.
- [5] RODRÍGUEZ, P. M. Electrodo tubular revestidos para el Relleno Superficial de Centralizadores, Estabilizadores y Piezas Sometidas a Condiciones de Desgaste Similares. Disertación de Tesis Doctoral: UCLV, Santa Clara, 1992.
- [6] SOUZA, M.S., GADOTTI, I, & SCOTTI, A. Um Banco de Ensaio para Avaliar Eletrodos Revestidos, XIII Cong. Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM – II Cong. Ibero Americano de Engenharia Mecânica – CIDIM, Belo Horizonte, MG, Dez 1995, ABCM, pp. 1-4.
- [7] STOODY, Product Selection Guide: Build-Up and Hardfacing Electrodes and Wires, Form No 2102A (1/03), STOODY Company, Printed in USA, 40 p.