

Titulo: La dilución como función de la corriente en depósitos de electrodos tubulares para recargue duro de componentes de la industria del azucar.

~~Title: Dilition as funcion of welding corrent in deposits of tubular coated electrodes for hardfacing of sugar industry component's.~~

Autores: Cruz-Crespo Amado*, Scotti Américo, Rodríguez-Pérez Manuel*, Ortiz-Méndez Tamara***

***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 la geometría de depósitos 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 d"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). El Coeficiente de Dilución es obtenido a partir de las relación del área de penetración y el área fundida total. La composición de los elementos de aleación en los depósitos es obtenida partiendo de la dilución.

Palabras claves: Electrodo tubular revestido, Recubrimiento duro, Soldadura.

ABSTRACT

It is carried out the determination of geometry of deposits of coated tubular electrodes for hardfacing of pieces in sugar industry. Two versions of coated tubular electrodes (ferroalloy particle size in the soul d"0,1 mm and in the range of 0,1- 0,25 mm) are evaluated. This study is made in com-

parative way, using the DIN E60-10 commercial coated electrode, which has same diameter (4mm) and same application (hardfacing, widely applied in sugar industry) as this studied. The Coefficient of Dilution is obtained as the ratio of penetration area and total fused area. Starting of the dilution is obtained the composition of de alloying elements in the deposits.

Keywords: Coated tubular electrode, Hardfacing , Welding.

1. Introducción

El sector azucarero constituye uno de los mayores consumidores de consumibles de soldadura para el recargue, dado fundamentalmente por las condiciones severas de servicio que se imponen a los componentes¹. En sentido general predomina la abrasión como mecanismo de desgaste, no solo en este sector, sino en otras ramas como la agricultura, la minería, la construcción, entre otros. Por tanto, la búsqueda de soluciones que atenúen este tipo de desgaste sigue siendo una prioridad de las estrategias de desarrollo, en lo cual la obtención y evaluación de consumibles que respondan a estos propósitos tiene una singular importancia, al sentar premisas para la posible sustitución de importaciones.

Un electrodo obtenido en base a materias primas cubanas y técnicamente viable de producir en las condiciones de las instalaciones del Centro de Investigaciones de Soldadura para satisfacer un nivel dado de demanda comercial, como es el caso de los electrodos tubulares revestidos del sistema aleante Fe-Cr-Mn^{1,2}, se erige como una solución concreta que da respuesta a los lineamientos trazados en el país para la sustitución de importaciones y el logro paulatino de la independencia tecnológica.

Si bien es cierto que las especificaciones de normas sobre electrodos de recargue solo se refieren a la composición del metal depositado³, la mayoría de los fabricantes en sus catálogos reportan datos sobre los parámetros de consumo (particularmente el rendimiento) y parámetros de soldadura (rango de corriente, polaridad)⁴, mientras que otros aspectos (tasas de deposición y de consumo, comportamiento específico a diferentes corrientes, dilución a diferentes corrientes, transferencia metálica, entre otros) no son reportados, pero evidentemente disponer de ellos permite una toma de decisión criterial más rigurosa sobre el desempeño de un electrodo frente a aplicaciones concretas^{4,5}. En tal sentido, el presente trabajo se enfoca hacia el comportamiento del Coeficiente de Dilución en función de la variación de corriente de soldadura en un rango determinado, toda vez que en el recargue superficial este parámetro desempeña un papel definitorio, del cual depende inequívocamente la calidad del depósito y en consecuencia la durabilidad del componente en las condiciones de servicio^{6 y 7}. Son antecedentes de este trabajo publicaciones precedente de los

autores^{1,2,4 y 5}, donde se abordan la obtención de los electrodos objeto de estudio, el comportamiento de estos en cuanto a los parámetros de consumo en función de la corriente, la variación de las propiedades de depósitos obtenidos con dichos electrodos para una corriente de soldadura media de 110 -120 A en función de la variación del espesor de las chapas de metal base.

1. 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 trabajo². Previo a este trabajo, y como ya fue referido, fueron determinados los parámetros de consumo de los electrodos². 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 d" 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 Uberlandia⁸. 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. A los depósitos obtenidos le fueron realizados cortes transversales con disco abrasivo para la determinación de la geometría de los cordones. Las secciones (2 por cordón) fueron preparadas y

atacadas con Nital al 3 % para rebelar sus dimensiones, las cuales fueron determinadas en un microscopio óptico acoplado a una computadora para el registro digital de la imagen. A partir de las áreas determinadas de los cordones fue calculada la dilución para los diferentes valores de corriente.

1. Resultados y discusión

La geometría de los cordones está muy vinculada a la regularidad de los mismos en cuanto a apariencia. Fue observada una gran irregularidad en el aspecto de los cordones en el caso de los electrodos comerciales DIN E60-10 Z, sobre todo para bajas corrientes, presumiblemente causada por una transferencia metálica en gotas voluminosas. Estos problemas de irregularidad traen consigo dificultades para establecer las dimensiones de los cordones, no obstante para establecer una tendencia no impide que se haga una evaluación a partir de la realización de cortes por zonas del cordón que puedan ser representativas de un comportamiento medio. En la Tabla 1 se dan los resultados medios de las dimensiones de los cordones (penetración (hp), ancho (B) y refuerzo (hr)), los valores de coeficiente de dilución (D), determinado este último en base a las áreas del área de penetración y el área de refuerzo ($D=A_p/(A_p+A_A)$). En base al coeficiente de dilución fue determinada la composición química de cada uno de los depósitos obtenidos, mediante la expresión: $\%E=\%E_B \cdot D+(1-D) \cdot \%E_A$, donde $\%E_B$ es el contenido del elemento en el metal base y $\%E_A$ es el contenido del elemento en el material de aporte. Para la determinación de la composición química de cada uno de los depósitos, reportada también en la Tabla 1, se partió de la composición química del depósito sin dilución (entendida como contenido de los elementos en el material de aporte), reportada por los autores en un trabajo previo² (C-3,27 %; Cr-12,34 %; Mn-4,09 %; Si-2,78 %).

Tabla 1. Geometría de los cordones y coeficiente de dilución para diferentes valores de corriente.

Electrodo	<i>I_{reg}</i> (A)	<i>hp</i> , (mm)	<i>B</i> , (mm)	<i>hr</i> , (mm)	<i>D</i> , (%)	C	Cr	Mn	Si
DIN E 10-60Z	80	1,30	6,44	3,12	20,03	2,66	9,87	3,37	2,26
	100	1,39	7,18	3,08	24,71	2,51	9,29	3,20	2,14
	120	2,44	10,42	2,49	46,03	1,88	6,88	2,44	1,59
	140	2,66	10,81	2,83	43,82	1,92	6,93	2,52	1,65
	160	3,39	13,15	2,21	59,36	1,45	5,01	1,96	1,25
	200	4,48	15,43	1,63	70,43	1,11	3,65	1,56	0,96
CIS (0,1-0,25 mm)	80	0,58	7,16	2,85	14,45	2,83	10,56	3,57	2,41
	100	1,98	12,29	2,64	39,47	2,06	7,47	2,67	1,76
	120	1,55	14,31	2,75	30,99	2,32	8,52	2,98	1,98
	140	2,68	11,61	3,32	36,13	2,16	7,88	2,79	1,85
Electrodo CIS (≤ 0,1 mm)	80	0,62	9,84	3,32	15,87	2,78	10,38	3,52	2,37
	100	1,71	12,03	2,33	38,52	2,09	7,59	2,71	1,79
	120	2,15	13,43	3,49	33,05	2,26	8,26	2,90	1,93
	140	3,00	12,21	3,45	41,60	1,99	7,21	2,60	1,71

Desde el punto de vista de la soldadura de recargue, lo más importante es minimizar la dilución, ya que lo fundamental es reducir la pérdida de elementos de aleación y en consecuencia empeoramiento de las propiedades. En la Figura 1, puede verse el comportamiento de la dilución con la corriente y con la tasa de deposición (los valores de tasa de deposición en función de la corriente fueron reportados por los autores en un trabajo precedente⁴). Es bien visible que en el caso de la corriente, en los valores bajos hay una alta similitud para los tres electrodos. Ya por encima de los 100 A hay un detenimiento en el crecimiento de la dilución para los tubulares experimentales, mientras los comerciales DIN E60-10 Z muestran un crecimiento prácticamente lineal (ver Figura 1 (a)). Si el análisis se hace con respecto a la tasa de deposición que indudablemente es mucho más objetivo (ver Figura 1 (b)), entonces se observa de manera evidente que el electrodo comercial DIN E60-10 Z presenta mayor valor de dilución

que los tubulares experimentales en todo el rango evaluado con una tendencia creciente, mientras los experimentales alcanzan un momento en que crece la tasa de deposición al variar la corriente sin variar la dilución. El comportamiento de los elementos de aleación en los depósitos (ver Tabla 1) está en correspondencia con el comportamiento de la dilución.

Como se ha planteado arriba, los electrodos comerciales DIN E60-10 Z presentan dificultades en cuanto a la regularidad de los cordones, sobre todo para bajas corrientes. De otro lado, frente a los tubulares experimentales presentan menores tasas de deposición para iguales valores de corriente, según se reporta por los autores en un trabajo anterior⁴, esto constituye un síntoma de posibilidad de operar con menores valores de corriente de soldadura a los electrodos tubulares que al comercial DIN E60-10 Z y en consecuencia conseguir para una misma tasa de deposición una menor dilución y consecuentemente menor pérdida de elementos de aleación.

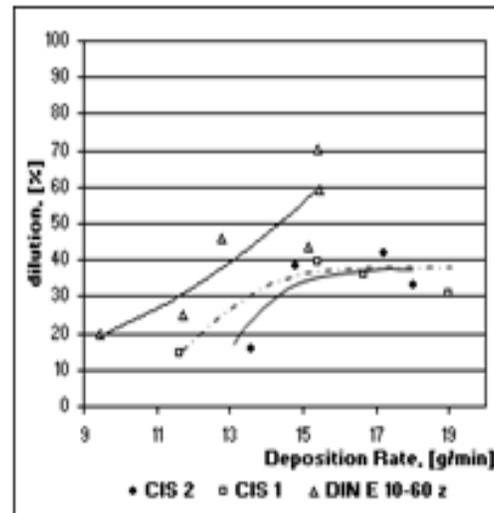
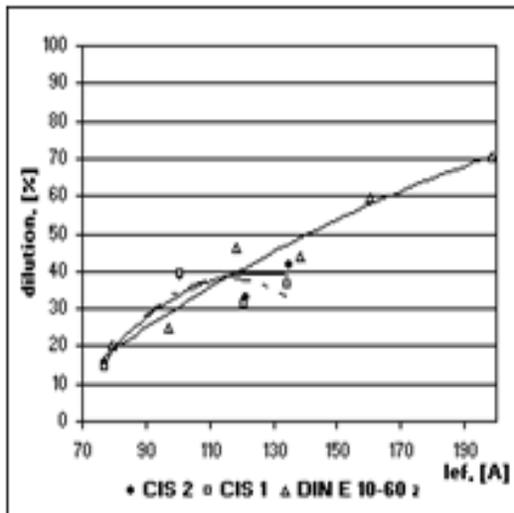


Figura 1. Variación del coeficiente de dilución con la corriente (a) y la tasa de deposición (b).
(La Tasa de Deposición fue tomada de un trabajo previo de los autores ⁴).

Conclusiones

En base a 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 la Dilución diferencias frente al comercial utilizado como referencia:

- a) Para una misma tasa de deposición, consecuentemente produciendo dimensiones de los cordones similares para una velocidad de soldadura dada, es necesario usar mayores valores de corriente para el convencional que para el tubular (mayor energía de soldadura y consecuentemente mayores problemas de tensiones térmicas);
- b) Al comparar cordones con dimensiones similares, que es lo que importa en la práctica, la dilución de los electrodos tubulares revestidos es menor, favoreciendo la transferencia de elementos aleantes en el depósito (principalmente en la primera pasada);
- c) La corriente de soldadura mostró ser el factor gobernante en la penetración (la concepción de electrodo no la afecta), ya que para las mismas corrientes la penetración fue prácticamente la misma.

. Agradecimientos

Los autores agradecen a CAPES (Brasil) y al MES (Cuba) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo cooperativo, en el marco del Proyecto CAPES/MES 15/2006. También agradecen a la empresa ESAB de Brasil, por la aportación del electrodo comercial para realizar las comparaciones.

6. Referencias bibliográficas

- [1] ORTIZ, TAMARA, CRUZ-CRESPO, A., RODRIGUEZ M., Electrodo tubular revestido para la recuperación de Piezas sometidas a desgaste abrasivo em el sector azucarero. Centro Azucar 34(2), 2007, 31-36 pp.
- [2] CRUZ-CRESPO, A., PERDOMO L., RODRIGUEZ 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, Congreso da Sociedade Brasileira de Soldagem, Belo Horizonte, Oct. 2006.
- [3] AWS, Specification for Surfacing Electrodes for Shielded Metal Arc Welding, AWS A5.13-2000 (SFA 5.13-2001), Part C, Section II, 2000, 29p.
- [4] CRUZ-CRESPO, A., ORTIZ, TAMARA, RODRIGUEZ M. y SCOTTIA., Influencia de la Corriente de Soldadura sobre los parámetros de consumo de electrodos tubulares para recargue de piezas de la industria del azucar. Centro Azúcar 35 (2), 2008, 62-70 pp.
- [5] ORTIZ, TAMARA, CRUZ-CRESPO, A., RODRIGUEZ M., Evaluación de depósitos de electrodos tubulares CIS1 con vistas al recargue de cuchillas cañeras. Centro Azúcar 35 (1), 2008, 62-70 pp.
- [6] BÁLSAMO, P.S.S., SCOTTI, A. Y 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).
- [7] RODRÍGUEZ, 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.
- [8] 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.
- [9] GARCIA DA SILVA, H., Desenvolvimento de Eletrodo Tubular para Soldagem Manual ao Arco Elétrico, Disertação de Mestrado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001, 100 p.