**X CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA “COMEC 2019”**

**Comportamiento de la composición de depósitos SAW bajo el efecto de la composición de fundentes obtenidos con escoria de acería**

***Behavior of the composition of SAW deposits under the effect of the composition of fluxes obtained with steel slag***

**Rodolfo Najarro Quintero1, Amado Cruz-Crespo2, Lorenzo Perdomo3, José Ramírez Torrez3**

1- 8- Rodolfo Najarro. Universidad Técnica de Cotopaxi-La Maná, Ecuador. E-mail: [ing.rnajarro@gmail.com](mailto:ing.rnajarro@gmail.com)

2- Amado Cruz-Crespo. Centro de Investigaciones de Soldadura, UCLV, Cuba. E-mail: [acruz@uclv.edu.cu](mailto:acruz@uclv.edu.cu)

3- Lorenzo Perdomo. Centro de Investigaciones de Soldadura, UCLV, Cuba. E-mail: [lperdomo@uclv.edu.cu](mailto:lperdomo@uclv.edu.cu)

4- José Ramírez Torrez. ACINOX Tunas, Ministerio de Industrias, Cuba. E-mail: [jose@acinoxtunas.co.cu](mailto:jose@acinoxtunas.co.cu)

**Resumen:**

En el trabajo se aborda el estudio del comportamiento de la composición de depósitos SAW bajo el efecto de la composición de fundentes obtenidos con escoria de acería. Son obtenidos depósitos con fundentes experimentales, cuyas composiciones responden a un diseño de experimentos tipo Mc Lean-Anderson. Las variables independientes del diseño son: La matriz (72,99 % de escoria de aceria; 20,44 % de ceniza de cascarilla del arroz y 6,57 % de fluorita), el grafito y el FeCrMn. Para cada uno de los depósitos, obtenidos con los fundentes del plan experimental, es determinada la composición química, que se corresponde a las variables dependientes: Contenido de carbono, contenido de cromo y contenido de manganeso. En base a los resultados son obtenidos los modelos y las superficies respuestas de tendencia de comportamiento del contenido de los elementos del depósito frente a las variables de composición del fundente. Se concluye que la composición de todos los depósitos obtenidos es apropiada para enfrentar el desgaste abrasivo, que el contenido de los elementos muestran en todos los casos un comportamiento cuadrático con respecto a la composición del fundente.

***Abstract:***

*The study addresses the behavior of the composition of SAW deposits under the effect of the composition of fluxes obtained with steel slag. Deposits are obtained with experimental fluxes; whose compositions respond to a design of Mc Lean-Anderson type experiments. The independent variables of the design are: The matrix (72.99% of steel slag, 20.44% of rice husk ash and 6.57% of fluorite), graphite and FeCrMn. For each of the deposits, obtained with the fluxes of the experimental plan, the chemical composition is determined, which corresponds to the dependent variables: carbon content, chromium content and manganese content. On the basis of the results, the models and surfaces are obtained response of the behavior trend of the content of the elements of the deposit against the composition variables of the flux. It is concluded that the composition of all the deposits obtained is appropriate to counteract abrasive wear, that the content of the alloy elements shows in all cases a quadratic behavior with respect to the composition of the flux.*

**Palabras Clave:** Recargue; SAW; Fundente; Escoria de Acería.

***Keywords:*** *Hardfacing; SAW; Flux; Steel Slag.*

**1. Introducción**

El recargue por Soldadura con Arco Sumergido es de frecuente aplicación en el enfrentamiento al desgaste, ya que brinda una amplia gama de posibilidades en cuanto a variación de la composición de los depósitos y en la alta productividad del proceso de deposición (Mendez y col., 2014; Tusek y Suban, 2013; Gulenç y Kahraman, 2003; Shan-Ping y col., 2004).

Prácticamente la totalidad de los fundentes para proceso SAW son fabricados en base a minerales naturales. No obstante, se reportan trabajos de empleo de escorias de soldadura de aceros por SAW, entre los cuales Singh y Pandey, (2009), que reportan el empleo de escorias de SAW como matriz de un fundente aglomerado para soldadura de unión de estructuras de acero. En publicaciones precedentes de algunos de los autores del presente trabajo (Cruz- Crespo et al., 2005; Cruz- Crespo et al., 2017), se utiliza como uno de los componentes de la matriz de un fundente para recargue por SAW, escorias del sistema SiO2- MnO, resultante de la soldadura por SAW de estructuras de acero.

Por otra parte, las escorias de obtención de acero se caracterizan por la presencia mayoritaria del sistema cuaternario CaO-SiO2-MgO-Al2O3. El mayor uso de estas escorias ha estado enfocado en aplicaciones de la construcción civil. Las escorias negras (las del proceso de oxidación), por sus relativamente altos contenidos de Fe2O3 y de P2O5, son poco viables para la elaboración de fundentes. Sin embargo, las escorias blancas (escorias del proceso de afino del acero), al prácticamente no contener Fe2O3 y P2O5, son altamente adecuadas como materia prima para la elaboración de un fundente para SAW. En un estudio precedente de los autores del presente trabajo, fue validado el empleo de las escorias de afino del acero como componente de la matriz de un fundente para recargue por SAW (Najarro-Quintero et al. 2018). En dicho estudio fue variada la proporción de silicato de sodio en la aglomeración de la mezcla y su efecto sobre las propiedades y desempeño del fundente. El presente trabajo, da continuidad al referido estudio al plantearse como objetivo establecer relaciones cuantitativas entre las variables de composición del fundente y la composición química de la aleación depositada por SAW, mediante un estudio en base a un diseño experimental de mezclas para una región restringida.

**2. Metodología**

Para el desarrollo del fundente se aplicó un diseño de experimentos de tipo Mc Lean- Anderson. Se consideraron como variables, la matriz (X1), el grafito (X2) y el FeMnCr (X3). En el fundente, el grafito y el FeCrMn constituyen el sistema de aleación. La matriz experimental (Tabla 1) fue obtenida de la siguiente forma: De la matriz completa (12 combinaciones posibles de variables), luego de aplicar la condición de normalidad ∑Xi= 100 % y eliminar los puntos con variables fuera de rango; así como al considerar los puntos experimentales coincidentes solo quedaron 4 experimentos válidos (a, b, c, d). Entre estos puntos fueron añadidos 4 nuevos (ab, bc, cd, da) y uno en el centro (abcd).

Tabla 1. Matriz experimental

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Exp | X1 | X2 | X3 |
| a | 88 | 7 | 5 |
| b | 88 | 2 | 10 |
| c | 78 | 2 | 20 |
| d | 78 | 7 | 15 |
| ab | 88 | 4,5 | 7,5 |
| bc | 83 | 2 | 15 |
| cd | 78 | 4,5 | 17,5 |
| da | 83 | 7 | 10 |
| acbd | 83 | 4,5 | 12,5 |

Para la obtención de cada fundente experimental, primeramente fue conformada la matriz, cuya relación de componentes (72,99 % de escoria blanca del horno cuchara de ACINOX Las Tunas, 20,44% de ceniza de la combustión de cascarilla de arroz y 6,57 % de fluorita) fue definida en un estudio precedente (Najarro-Quintero et al. 2018). Los componentes de la matriz fueron llevados a una granulometría inferior a 0,25 mm; mientras el FeCrMn y el grafito fueron triturados y tamizados en un rango entre 0,1 mm y 0,25 mm.

Las cargas, correspondientes a cada fundente experimental (Tabla 1), fueron dosificadas por pesaje en una balanza técnica para cargas de 1 kg. Para garantizar la homogeneidad de las cargas, estas fueron mezcladas en un mezclador de tambor giratorio durante 30 minutos. La aglomeración se realizó por peletizado, utilizando como aglutinante silicato de sodio en una proporción de un 30 % de la masa seca. Los fundentes obtenidos fueron secados al aire, luego fueron tamizados a una granulometría entre 0,25 mm y 2,0 mm, finalmente fueron calcinados en un horno mufla a 350 oC durante120 min.

Con los fundentes obtenidos se realizaron depósitos sobre chapas de acero AISI 1020, de dimensiones 150x80x8 mm. Fue utilizado alambre electrodo EL12 de 3 mm, con una corriente de 300 A, un voltaje de arco de 35 V, una velocidad de soldadura 43,2 m/h y una longitud libre de 20 mm. Fueron realizados tres cordones solapados, de tal modo que cubriese un área suficiente para la realización posterior del análisis químico.

De cada depósito fue extraída una muestra, mediante cortes transversales en una tronzadora metalográfica. Las probetas fueron desbastadas por la parte superior del depósito, de tal modo que se obtuvo en cada caso un área plana suficiente para la incidencia del arco en el análisis espectral de emisión atómica. La composición química fue determinada en un equipo de Análisis Espectral por Emisión Atómica.

**3. Resultados y discusión**

Los resultados de composición química media de los elementos fundamentales de los depósitos, obtenidos con los fundentes del plan experimental de la tabla 1, se muestra en la tabla 2.

A partir del procesamiento de los datos de las tablas 1 y 2, con el empleo del software STATGRPHICS, se obtuvieron las ecuaciones de regresión (1), (2) y (3) para el comportamiento de los contenidos de carbono, cromo y manganeso en el depósito, en función de las variables de composición del fundente. Para los tres elementos del depósito considerados respuestas, el comportamiento es cuadrático con un alto ajuste de los modelos: R2ajustada= 95,08 % para el carbono, R2ajustada= 97,28 % para el cromo y R2ajustada= 95,52 % para el manganeso. Las gráficas de superficies respuestas, correspondientes a las ecuaciones de regresión (Figuras 1, 2 y 3), permiten visualizar mejor la tendencia de comportamiento. Se observa, como era esperado, que a medida que aumenta el contenido de grafito en el sistema de aleación del fundente tiende a aumentar el contenido de carbono en el metal depositado. De igual modo, los contenidos de cromo y manganeso en los depósitos tienden a ser mayores en la medida que crece el contenido de FeCrMn en el fundente.

Tabla 2. Composición de los depósitos, en % masa

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Fundente | C | Mn | Cr | Si |
| a | 2,53 | 1,00 | 0,38 | 1,26 |
| b | 0,77 | 2,87 | 0,95 | 2,59 |
| c | 1,55 | 4,80 | 1,34 | 1,43 |
| d | 2,83 | 3,92 | 1,07 | 2,29 |
| ab | 2,01 | 1,87 | 0,73 | 2,36 |
| bc | 1,00 | 3,71 | 1,11 | 2,11 |
| cd | 2,09 | 5,05 | 1,40 | 3,06 |
| da | 2,50 | 2,33 | 0,73 | 2,16 |
| abcd | 1,79 | 3,67 | 1,12 | 2,33 |

C = 1,14\*Matriz + 2,8205\*Grafito + 1,4825\*FeCrMn + 4,095\*Matriz\*Grafito - 1,782\*Matriz\*FeCrMn + 3,726\*Grafito\*FeCrMn, (1)

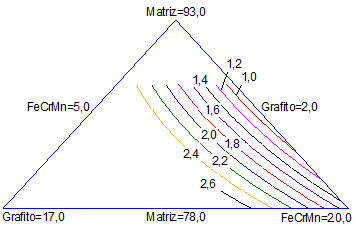


Figura 1. Contenido de carbono en el depósito (%), en función de los contenidos (%) de matriz, grafito y FeCrMn en el fundente.

Cr = 0,682556\*Matriz - 3,11944\*Grafito + 1,34456\*FeCrMn + 4,2315\*Matriz\*Grafito + 0,0615\*Matriz\*FeCrMn + 5,556\*Grafito\*FeCrMn (2)

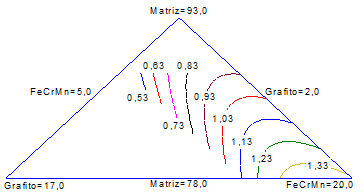


Figura 2. Contenido de cromo en el depósito (%), en función de los contenidos (%) de matriz, grafito y FeCrMn en el fundente.

Mn = 1,18451\*Matriz- 9,59349\*Grafito+ 4,80751\*FeCrMn+ 14,9619\*Matriz\*Grafito + 1,2993\*Matriz\*FeCrMn+ 18,0996\*Grafito\*FeCrMn- 8,5428\*Matriz\*Grafito\*FeCrMn (3)

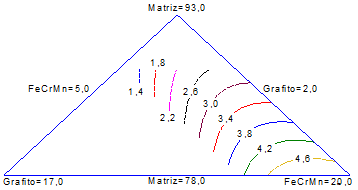


Figura 3. Contenido de manganeso en el depósito (%), en función de los contenidos (%) de matriz, grafito y FeCrMn en el fundente.

Si la composición química de la tabla 2 fuera recalculada solo al sistema ternario Fe-Cr-C (Figura 4), se evidencia que en todos los depósitos la cristalización primaria de la posa de fusión ocurre con la formación de austenita. En el enfriamiento ulterior en el estado sólido, con altas tasas de enfriamiento, propias de un proceso de recargue por soldadura, la austenita se transforma en martensita. El cromo y el manganeso, que son formadores de carburos, desplazan las curvas de transformación isotérmica de la austenita hacia la derecha, al tiempo que hacen descender el punto de inicio de la transformación martensítica, provocando la aparición de austenita residual.

En la tabla 2 se observa que todos los puntos experimentales se corresponden con composiciones de depósitos adecuados para enfrentar el desgaste abrasivo (AWS A5.13, 2000). De acuerdo con la fuente citada, el depósito EFe5 se caracteriza por una microestructura de martensita y austenita residual y la composición química siguiente: C-0,3-0,8 %; Si-0,9 %; Mn-1,5-2,5 %; Cr-1,5-3,0 %.

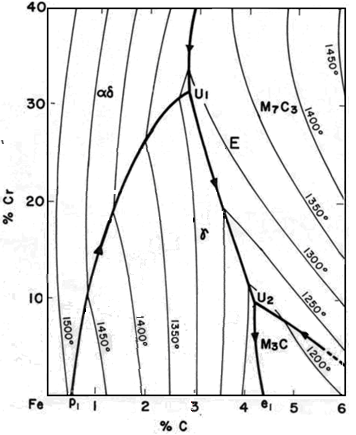


Figura 4. Superficie líquidus¨ del diagrama Fe-Cr-C (Albertin et al, 2011).

**4. Conclusiones**

1. Se confirma que las escorias del proceso de afino del acero, junto a la ceniza de cascarilla del arroz como aditivo, son viables de emplear como componentes de la matriz de fundentes aglomerados aleados para recargue por proceso SAW.
2. Los contenidos de carbono, cromo y manganeso en el depósito, en función de los contenidos de matriz, grafito y FeCrMn en los fundentes muestran una dependencia cuadrática, con alto ajuste de los modelos de regresión. El grafito en el fundente gobierna el contenido de carbono en los depósitos, mientras los contenidos de cromo y manganeso son gobernados por el contenido de FeCrMn en el fundente.
3. La composición de los depósitos obtenidos con los fundentes experimentales se corresponden con aleaciones propias para el enfrentamiento al desgaste abrasivo. En correspondencia con la composición y las condiciones de enfriamiento, estos depósitos se caracterizan por una microestructura de martensita con austenita residual.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Gulenç, B. and Kahraman, N. Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process. Materials and Design 24 (2003) 537–542. doi:10.1016/S0261-3069(03)00082-7
2. Mendez, P. F., Barnes, N., Bell, K., Borle, S. D., Gajapathi, S. S., Guest, S. D., Izadi, H., Gol, A. K., Wood, G. Welding processes for wear resistant overlays, Journal of Manufacturing Processes 16 (2014) 4–25. http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.06.01
3. Shan-Ping, L., Oh-Yang, K., Tae-Bum, K. and Kwon-Hu, K. Microstructure and wear property of Fe–Mn–Cr–Mo–V alloy cladding by submerged arc welding. Journal of Materials Processing Technology 147 (2004) 191–196
4. Tusek, J. and Suban, M. High-productivity multiple-wire submerged-arc welding and cladding with metal-powder addition. Journal of Materials Processing Technology, 133 (2003) 207–213.
5. Singh, K. and Pandey, S. Recycling of slag to act as a flux in submerged arc welding., Resources, Conservation and Recycling, Vol. 53, 2009, pp. 552–558.
6. Cruz-Crespo, A., Quintana Puchol, R., García, L.L., Perdomo, L., Jiménez, G., Gómez, C.R., Alguacil, F.J. and Cores, A. Empleo de escorias de soldadura del sistema MnO-SiO2 para la obtención de un nuevo fundente aglomerado aleado. Revista de Metalurgia, Vol. 41, No 1, 2005, pp. 3-11
7. Cruz-Crespo, A., Perdomo González, L., Fernández, R., Scotti, A. Composición química y microestructura del metal depositado con fundentes obtenidos con empleo de escorias del sistema MnO-SiO2-CaO. Vol 44, No 3, 2017, pp. 43-52. <http://centroazucar.uclv.edu.cu>
8. Najarro-Quintero, R., Cruz-Crespo, A., Perdomo-Gonzalez, L., Ramirez-Tórrez, J., Orbea-Jiménez, M. Empleo de escorias de horno cuchara y de cenizas de paja de arroz como componentes de un fundente para recargue por soldadura. Minería y Geología, Vol.34, No 3, 2018, p. 331-344.
9. Albertin, E., Neto, F. B., Teixeira, I. O. Adequação da composição química e do tratamento térmico de ferros fundidos de alto cromo utilizando termodinâmica computacional. Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, Vol. 8, No. 4, 2011, pp. 223-229.
10. AWS, A5.13, Specification for surfacing electrodes for Shielded Metal Arc Welding., 2000, pp. 303-324.