**XI CONFERENCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**XVIII SIMPOSIO DE SOLDADURA Y MATERIALES**

**Empleo de escorias en la obtención sustentable de fundentes para el recargue desde el concepto de la economía circular**

***Use of slag in the sustainable obtaining of fluxes for hardfacing from the concept of the circular economy***

**Katty Pilar Jadán Solís1, Amado Cruz-Crespo2, Rodolfo Najarro-Quintero3, Lorenzo Perdomo-González4, Alejandro Duffus5, Rafael Fernandez-Fuentes6**

1- Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Sociales, Económicas y Financiera, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo – Ecuador.

2- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [acruz@uclv.edu.cu](mailto:acruz@uclv.edu.cu)

3- Universidad Técnica de Cotopaxi-La Maná, Av. Los Almendros y calle Pujili sector La Virgen, La Maná – Ecuador. [Ing.rnajaro@gmail.com](mailto:Ing.rnajaro@gmail.com)

4- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [lperdomo@uclv.edu.cu](mailto:lperdomo@uclv.edu.cu)

5- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [aduffus@uclv.edu.cu](mailto:aduffus@uclv.edu.cu)

6- Centro de Investigaciones de Soldadura, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [rfernandez@uclv.edu.cu](mailto:rfernandez@uclv.edu.cu)

**Resumen:**

**Problemática:** La producción de fundentes para el recargue por soldadura por arco sumergido se basa en el consumo de minerales naturales. Sin embargo, existen escorias que pueden sustituir dichos minerales, propiciando la obtención sustentable de fundente. Las escorias del recargue son descartadas, aun cuando conservan las propiedades del sistema de óxido del fundente que les da origen.

**Objetivo(s):** Evaluar el empleo de escorias en la obtención sustentable de fundentes para el recargue de piezas por soldadura con arco sumergido, desde el concepto de Economía Circular.

**Metodología:** Se plantea un esquema conceptual, basado en el concepto de Economía Circular, para la obtención sustentable de fundentes para el recargue, usando escorias y concibiendo el retorno al servicio de piezas desgastadas o para fabricar piezas de mayor durabilidad. Se prevé el reciclado de la escoria generada en el recargue.

**Resultados y discusión:** Son abordados dos casos: 1. Obtención de un fundente para recargue, empleando escorias de la soldadura por arco sumergido; 2. Obtención de un fundente para recargue, empleando escorias de la producción de acero. Los fundentes obtenidos posibilitan el recubrimiento, para la rehabilitación de piezas desgastadas o para la fabricación de piezas más resistentes al desgaste. No se genera un nuevo residual en el recargue.

**Conclusiones:** Es validado el esquema conceptual, con enfoque de Economía Circular, en la obtención sustentable de fundentes para recargue con empleo de escorias, posibilitando la restitución al servicio de piezas desgastadas o la fabricación de piezas de mayor durabilidad y sin generar nuevo residual.

***Abstract:***

***Problem:*** *The production of fluxes for surfacing by submerged arc welding is based on the consumption of natural minerals. However, there are slags that can replace these minerals, promoting the sustainable production of flux. The slags from the hardfacing are discarded, even though they retain the properties of the oxide system of the original flux.*

***Objective:*** *Evaluate the use of slag in the sustainable production of fluxes for refilling parts by submerged arc welding, from the concept of Circular Economy.*

***Methodology:*** *A conceptual scheme is proposed, based on the concept of Circular Economy, for the sustainable obtaining of fluxes for hardfacing, using slag and conceiving the the return to service of worn parts or to manufacture parts with greater durability. The recycling of the slag generated in the hardfacing is planned.*

***Results and discussion:*** *Two cases are addressed: 1. Obtaining a flux for hardfacing, using slag from submerged arc welding; 2. Obtaining a flux for hardfacing, using slag from steel production. The fluxes obtained enable coating, for the rehabilitation of worn parts or for the manufacture of more wear-resistant parts. No new residual is generated on recharge.*

***Conclusions:*** *The conceptual scheme is validated, with a Circular Economy approach, in the sustainable obtaining of fluxes for hrardfacing with the use of slag, enabling the return to service of worn parts or the manufacture of parts with greater durability and without generating new waste.*

**Palabras Clave:** Economía Circular. Escoria. Fundentes. Recargue duro. SAW.

***Keywords:*** *Circular Economy. Slag. Fluxes. Hardfacing. SAW.*

**1. Introducción**

La concepción de la Economía Circular es abordada por varios autores como una solución viable en sectores altamente consumidores de recursos minerales naturales y generadores de grandes volúmenes de residuales (Guadagnino y col., 2018; Branca y col., 2020; Sithole y col., 2022). En un sentido más general, la Economía Circular se propone como la alternativa lógica y viable, que corrige los principales problemas de la linealidad y pretende conseguir que los productos, componentes y recursos en general mantengan su utilidad y valor en todo momento o lo que es lo mismo, residuos cero (Arroyo, 2018).

La producción de consumibles para la soldadura y en particular para la producción de fundentes para el recargue de piezas por arco sumergido ha estado caracterizada por el consumo de recursos minerales naturales (Quintana-Puchol y col., 2011). Sin embargo, se han realizado estudios dirigidos al diseño de procesos de obtención de ferroaleaciones, donde, tanto la aleación como la escoria son concebidos como semiproductos para la obtención de un fundente para el recargue de piezas (Cruz-Crespo y col., 2019). También, se han realizado estudios de utilización de escorias de la unión por soldadura por arco sumergido de elementos de acero, en la obtención de un nuevo fundente para el recargue por arco sumergido de componentes desgastados o para la fabricación por recargue de piezas nuevas (Cruz-Crespo y col., 2017); así como del empleo de escorias de afino del acero en horno cuchara para la obtención de un fundente de recargue de piezas sometidas a abrasión (Najarro y col., 2018). El hecho de que los fundentes para recargue sean destinados a recuperar piezas desgastadas para restituirle su capacidad de trabajo y alargar su vida útil o a fabricar piezas nuevas de alta durabilidad, lleva implícito el concepto de la Economía Circular. Si el fundente es fabricado a base de escorias (residuo sólido), el enfoque de Economía Circular se enfatiza. No obstante, a los estudios realizados con vistas a la búsqueda de sostenibilidad, hasta el presente no se ha sistematizado el enfoque de la Economía Circular, quedando aun aristas de potencialidades no abordadas.

Se añade a lo anterior, que la utilización de una escoria implica también aprovechar la energía que fue consumida en la formación de los silicatos que la componen. De igual modo, la rehabilitación de una pieza desgastada lleva inmerso el ahorro de energía y recursos necesarios para la fabricación de una pieza nueva de repuesto. El recargue posibilita reincorporar al servicio piezas desgastadas o fabricar piezas nuevas de mayor durabilidad.

En base a lo planteado, el presente trabajo tiene como objetivo, evaluar, con enfoque de Economía Circular, la obtención sustentable de fundentes a partir de escorias para el recargue por soldadura por arco sumergido.

**2. Metodología**

**2.1 Esquema conceptual de obtención sustentable de fundentes para recargue con empleo de escorias**

En la Figura 1 se muestra el esquema conceptual, con enfoque de Economía Circular, en la obtención sustentable de fundentes para recargue de piezas descartadas por desgaste. Se concibe la obtención de fundente a base de escorias y residuales de otras producciones, utilizando como carga de aleación ferroaleaciones. El fundente es utilizado en la rehabilitación y fabricación de piezas por recargue. Se concibe el retorno de la escoria de recargue al propio proceso de recargue.

En correspondencia con el esquema de la Figura 1, es valorada la obtención de dos fundentes para recargue de piezas desgastadas por abrasión, empleando escorias y residuales de otras producciones, así como FeCrMn en calidad de carga de aleación (Cruz-Crespo y col., 2017; Najarro y col., 2018). La mezcla de componentes de la matriz y de carga de aleación es aglomerada por peletización con empleo de silicato de sodio. Con los fundentes obtenidos se obtienen y caracterizan depósitos, para evaluar el desempeño para el recargue de piezas sometidas a abrasión. Los referidos trabajos no concibieron el retorno de la escoria del recargue al propio proceso que le da origen, lo cual se introduce como un elemento nuevo (Figura 1). Lo anterior se sustenta en que las escorias generadas conservan las propiedades esenciales del sistema de óxidos mayoritarios (Cruz-Crespo y col., 2017; Najarro y col., 2018).

Ferroaleación

Fundente

Procesamiento por aglomeración

Recargue de piezas

Escorias y otros residuales de otras producciones

Molienda y tamizado de las escorias del recargue

Retorno al recargue de piezas desgastadas como fundente fundido para capa de reconstrucción

Retorno al recargue de piezas mezclado en un determinado por ciento con el fundente de recargue duro

**Figura 1.** Esquema conceptual de la obtención sustentable de fundentes para recargue

con empleo de escorias

**3. Resultados y discusión**

En la Figura 1, se muestra la obtención sustentable de fundente a base de escorias y residuales de otras producciones. El fundente es concebido para el recargue de rehabilitación de piezas que salen de servicio por desgaste abrasivo, alargando el ciclo de generación de chatarra; o para la fabricación de piezas nuevas de mayor resistencia al desgaste. El empleo de residuales como materias primas de partida y el retorno de piezas descartadas al servicio, junto al retorno de la propia escoria del recargue (Residual cero), validan el carácter de Economía Circular.

En la obtención de un fundente, empleando escorias de la soldadura por arco sumergido de uniones de aceros al carbono (Cruz-Crespo y col., 2017), al enfatizar en el enfoque de la Economía Circular, podría ser considerada la sustitución de la caliza (de alto contenido de CaCO3) por polvos de mármol, generados como residual durante el corte de piezas de este mineral (Jerez-Pereira y col., 2007). En igual sentido, podría ser valorado el empleo de cascarones de huevos de gallinas (de alto contenido de CaCO3), provenientes de comedores de escuelas, de entidades laborales, de panaderías y dulcerías, etc.

El metal depositado con el fundente reportado por Cruz-Crespo y col., (2017), presenta una composición, microestructura y dureza, que lo hacen apropiado para el trabajo en condiciones de desgaste abrasivo.

En el trabajo relacionado a la obtención de un fundente para recargue, empleando escorias de afino del acero y cenizas de la combustión de cascarilla del arroz (Najarro y col., 2018), se puede enfatizar en el enfoque de Economía Circular, si se valora la posibilidad de empleo de otras cenizas de combustión de biomasa; por ejemplo, de la combustión del bagazo en calderas de centrales azucareros o de la paja de la caña. En un sentido aún más evidente de la producción sustentable de fundente desde la concepción de Economía Circular, se puede valorar la sustitución del grafito en la carga del fundente para aportar carbono al metal depositado por finos residuales de la clasificación del carbón vegetal (producido en Cuba a base de marabú, planta que se considera invasora).

El fundente obtenido en este caso posibilita la obtención de un metal depositado, cuya composición, microestructura y dureza lo hacen adecuado para el trabajo al desgaste abrasivo de piezas (Najarro y col., 2018).

**4. Conclusiones**

1- Se valida un esquema conceptual, con enfoque de Economía Circular, de la obtención sustentable de fundentes para recargue con empleo de escorias y que propicia la rehabilitación de piezas desgastadas o la fabricación de piezas de mayor durabilidad con retorno de la escoria del recargue.

3- Los casos de estudio valorados confirman el carácter de Economía Circular de la obtención sustentable de fundente para recargue a partir de escorias, al tiempo que se encuentran otras potencialidades de sustitución de materias primas por residuales para enfatizar aún más en dicho carácter de Economía Circular.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Arroyo, F.R., La Economía Circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo., INNOVA Research Journal, Vol. 3, No. 12, 2018, pp. 78-98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6828555>
2. Branca, T.A., Colla, V., Algermissen. D., Granbom, H., Martini, U., Morillon, A., Pietruck, R., & Rosendahl, S., Reuse and Recycling of By-Products in the Steel Sector: Recent Achievements Paving the Way to Circular Economy and Industrial Symbiosis in Europe., Metals, Vol. 345, No. 10, 2020, pp. 2-18. <https://doi.org/10.3390/met10030345>
3. Cruz-Crespo, A., Perdomo, L., Fernández, R., y Scotti, A., Composición química y microestructura del metal depositado con fundentes obtenidos con empleo de escorias del sistema MnO-SiO2-CaO., Centro Azúcar, Vol. 44, No. 3, 2017, pp. 43-52. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000300005>
4. Cruz-Crespo, A., Perdomo-González, L., Quintana-Puchol, R., y Scotti, A., Fundente para Recargue por Soldadura con Arco Sumergido a Partir de Ferrocromo-manganeso y Escoria de la Reducción Simultánea de Cromita y Pirolusita., Soldagem & Inspeção, Vol. 24, 2019, e2424, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI24.24>
5. Guadagnino, P., Cantone, L., Conte, P., Pocina, G., Matarazzo, A., & Bertino, A., Techniques of reuse for slags and flakes from the steel industry: a circular economy perspective., Procedia Environmental Science, Engineering and Management, Vol. 5, No. 2, 2018, pp. 93-99. <http://www.procedia-esem.eu/pdf/issues/2018/no2/11_Guadagnino_18.pdf>
6. Jerez-Pereira, R., Cruz-Crespo, A., Quintana, R., y Perdomo, L., Aprovechamiento de escorias de fundición de empresas del sector azucarero en la obtención de matriz de un fundente aglomerado para recuperación de piezas del propio sector., Centro Azúcar, Vol. 34, No. 2, 2007, pp. 43-49. <http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/555>
7. Najarro, R., Cruz-Crespo, A., Perdomo, L., Ramírez Torrez, J., y López, R.J., Potencialidades de las escorias de afino del acero en la obtención de un fundente para recargue por soldadura., Centro Azúcar, Vol. 45, No. 4, 2018, pp. 32-40. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000400004>
8. Quintana-Puchol, R., Gómez-Pérez, C.R., Cruz-Crespo, A., y Perdomo-González, L., Evaluación de Matrices Vítreas del Sistema SiO2-Al2O3-CaO-MgO para Fundentes Aglomerados a través la Basicidad Óptica y Criterios estructuro-químicos., Soldag. insp., Vol. 16, No. 2, 2011, pp. 137-145. <https://www.scielo.br/j/si/a/KcpttTsRS7ch5njXNwGx4WN/?lang=es&format=pdf>
9. Sithole, N.T., Tsotetsi, N.T., Mashifana, T., & Sillanpaa, M., Alternative cleaner production of sustainable concrete from waste foundry sand and slag., Journal of Cleaner Production, Vol. 336, 2022, 130399, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130399>