



CIENCIAS TÉCNICAS

Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba, 2020

Procesamiento pirometalúrgico de minerales y desechos sólidos industriales para la obtención de productos de utilidad industrial

Lorenzo Perdomo González ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-3425-1487>

Manuel Rodríguez Pérez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-4092-3470>

Rafael Quintana Puchol ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8861-0270>

Amado Cruz-Crespo ¹ <https://orcid.org/0000-0003-0227-9853>

István Gómez Ríos ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8468-6577>

Ismeli Alfonso López ² <https://orcid.org/0000-0001-7311-8614>

Odonel González Cabrera ³ <https://orcid.org/0000-0002-5121-5912>

Carlos René Gómez Pérez ¹ <https://orcid.org/0000-0001-5987-9230>

Arnaldo Herrera Artiles ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6109-3982>

¹ Universidad Central Marta Abreu. Villa Clara, Cuba

² Instituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México

³ Centro de Información y Gestión Tecnológica. Villa Clara, Cuba

*Autor de correspondencia: lperdomo@uclv.edu.cu

Palabras clave

carbotermia; aluminotermia; ferroaleaciones; consumible de soldadura; materiales abrasivos

RESUMEN

Introducción. Cuba cuenta con gran diversidad de minerales y de desechos sólidos industriales, los cuales pueden ser usados con el objetivo de convertirlos en materias primas para la obtención, mediante procesamiento pirometalúrgico, de materiales destinados a confeccionar componentes y productos de uso industrial, con un efecto ecológico positivo. **Métodos.** Se realizó el procesamiento pirometalúrgico, carbotérmico en horno eléctrico de arco y aluminotérmico en reactor de grafito, de minerales y residuales sólidos industriales, evaluándose los productos obtenidos en el desarrollo de nuevos materiales. **Resultados.** Mediante carbotermia se procesaron cromitas refractarias y pirolusita, y por aluminotermia, cascarillas de laminación, catalizadores agotados de la fabricación de ácido sulfúrico, cenizas de la combustión del petróleo, colas de la producción de níquel, pirolusita y cromitas refractarias mezcladas en diferentes combinaciones y proporciones, utilizándose en todos los casos virutas de aluminio como reductor. Se lograron aleaciones multicomponentes aptas para su uso como carga de aleación de consumibles de soldadura y recargue y en el caso de las cenizas, las aleaciones se obtuvieron en forma de granallas para su uso en operaciones de limpieza mecánica. Las escorias del procesamiento carbotérmico se usaron en la confección de matrices de fundentes de soldadura y las de aluminotermia para la obtención de polvos destinados a la fabricación de muelas abrasivas para el pulido de pisos y terrazas, dada su elevada dureza. Como conclusión los productos obtenidos del procesamiento pirometalúrgico de minerales y residuales sólidos industriales fueron evaluados en la fabricación de productos de utilidad industrial, lo que permite sustituir importaciones al país.



Pyrometallurgical processing of minerals and industrial solid wastes to obtain products of industrial usefulness

ABSTRACT

Keywords

carbothermia; aluminothermia; ferroalloys; welding consumable; abrasive materials

Introduction. Cuba has a great diversity of minerals and industrial solid wastes, which can have used with the objective of converting them into raw materials for obtaining materials destined to make components and products for industrial use, through pyrometallurgical processing, with a positive ecological effect. **Methods.** The pyrometallurgical processing, carbothermic in an electric arc furnace and aluminothermic in a graphite reactor, of minerals and industrial solid wastes were carried out, evaluating the products obtained in the development of new materials. **Results.** Refractory chromites and pyrolusite were processed by carbothermia and by aluminothermia, mill scale, spent catalysts from the manufacture of sulfuric acid, ashes from the combustion of oil, tails from the production of nickel, pyrolusite and refractory chromites, mixed in different combinations and proportions, using aluminum shavings as a reducer in all cases. Multicomponent alloys suitable for use as alloy filler for welding and surfacing consumables and recharging were achieved, and in the case of ashes, the alloys were obtained in shot form for use in mechanical cleaning operations. The slags from the carbothermic process were use in the manufacture of welding flux matrices, and the aluminothermic ones to obtain powders for the manufacture of abrasive wheels for polishing floors and terraces, given their high hardness. As a conclusion the product obtained from the pyrometallurgical processing of minerals and industrial solid wastes were evaluated in the manufacture of products applicable in industry, which allows for the substitution of imports to the country.

INTRODUCCIÓN

En Cuba existe disponibilidad de un grupo de minerales y desechos sólidos industriales los cuales no siempre son explotados adecuadamente. De acuerdo a las características particulares de las materias primas y de los residuales sólidos industriales, puede trazarse una adecuada concepción de procesamiento pirometalúrgico (carbotérmico o aluminotérmico), la cual permite la obtención de compuestos específicos con los que pueden fabricarse varios productos de uso industrial. La concepción de procesamiento se muestra en la figura 1.

Como resultado se propone una concepción para el procesamiento pirometalúrgico reductivo que permite procesar, con enfoque ecológico, una amplia gama de minerales y desechos sólidos industriales oxidados y no oxidados, obteniéndose nuevos productos de utilidad industrial que sustituyen importaciones.

Constituye un impacto y novedad científico técnica, la obtención de aleaciones con elementos esenciales tales como V, Cr, Mn, Si y C que han permitido el desarrollo de nuevos consumibles especiales para soldadura y recargue, granallas metálicas y escorias para el desarrollo de matrices cerámicas de fundentes de soldadura o de materiales abrasivos, a partir de materias primas cubanas principalmente, donde ninguno de

los nuevos materiales obtenidos es producido comercialmente en Cuba, procesándose mediante estos procedimientos, diversos minerales nacionales y desechos sólidos industriales. Durante el procesamiento pirometalúrgico por ambos métodos o combinación de ellos no se generan nuevos desechos sólidos, constituyendo un aporte a la preservación del medio ambiente. Además, el resultado puede impactar en el desarrollo local a partir del montaje de pequeñas instalaciones en los territorios, constituyendo un posible renglón exportable.

Los resultados de la concepción de procesamiento pirometalúrgico han sido aplicados básicamente en actividades de docencia e investigación de pre y postgrado, garantizándose por estos procedimientos las ferroaleaciones usadas en el Laboratorio de Materiales del Centro de Investigaciones de Soldadura para los consumibles desarrollados, facilitándose el abasto de las mismas sin necesidad de importarlas, permitiendo un ahorro considerable de recursos, lográndose independencia en las investigaciones.

El objetivo del trabajo es establecer una concepción que permita el procesamiento pirometalúrgico de minerales nacionales y desechos sólidos industriales, en función de obtener componentes esenciales para el desarrollo de productos de uso industrial que garanticen la sustitución de importaciones, con su consecuente contribución al medio ambiente.

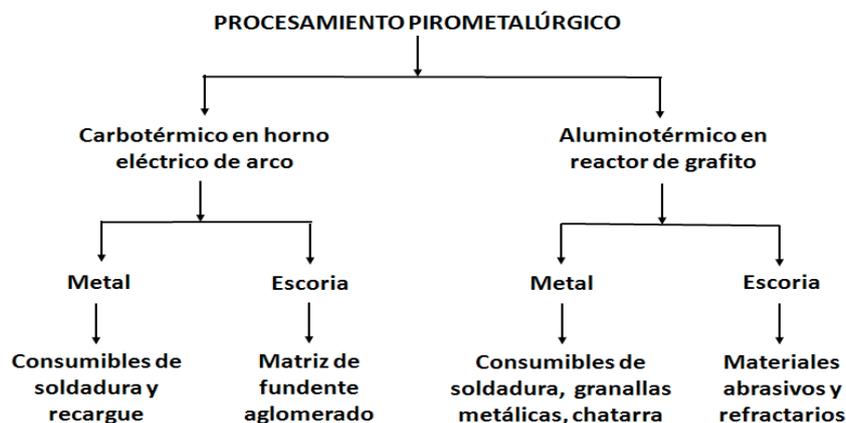


Fig. 1. Concepción establecida para el procesamiento pirometalúrgico reductivo.

MÉTODOS

Procesamiento carbotérmico

Las materias primas estudiadas fueron: cromitas refractarias, pirolusita y caliza (nacionales), así como fluorita y coque importados, pero de amplio uso en la industria siderúrgica. El procesamiento carbotérmico fue realizado en horno eléctrico de arco con crisol de grafito (figura 2), manteniendo los parámetros tecnológicos en 823 A y 35 V. La temperatura fue controlada con un pirómetro óptico, realizando el vertido entre 1500 °C y 1600 °C, sobre una piscina de granulación. La energía al horno fue suministrada por una fuente de corriente directa de 1000 A y 48 V en vacío. El vertido de la ferroaleación y la escoria se realizó en agua a temperatura ambiente. Las aleaciones obtenidas fueron trituradas hasta granulometrías entre 0,1 mm y 0,30 mm, para su uso como carga de aleación de consumibles de soldadura y recargue (fundentes para SAW y electrodos para SMAW) y las escorias fueron tinturadas hasta tamaño de grano menor que 0,1 mm para su uso como matriz de fundentes aglomerados.

Procesamiento aluminotérmico

Las materias primas fueron: cascarilla de laminación, catalizadores agotados de la fabricación de ácido sulfúrico, cenizas de la combustión del petróleo, colas de la producción de níquel, pirolusita, cromita refractaria y viruta de aluminio, todos minerales cubanos y desechos sólidos industriales.

El procesamiento aluminotérmico se realizó en un reactor de grafito de 2,2 L de capacidad, de fondo cónico y con un orificio en su parte inferior (figura 3). Las aleaciones obtenidas fueron trituradas hasta tamaño de grano entre 0,1 mm y 0,30 mm, para su uso como carga de aleación de consumibles de soldadura y las granallas metálicas fueron clasificadas en diferentes clases granulométricas. Las escorias fueron trituradas y clasificadas para la preparación de materiales abrasivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procesamiento carbotérmico permitió procesar diversos minerales metálicos y residuales oxidados, reducibles por



Fig. 2. Equipamiento para el procesamiento pirometalúrgico carbotérmico.

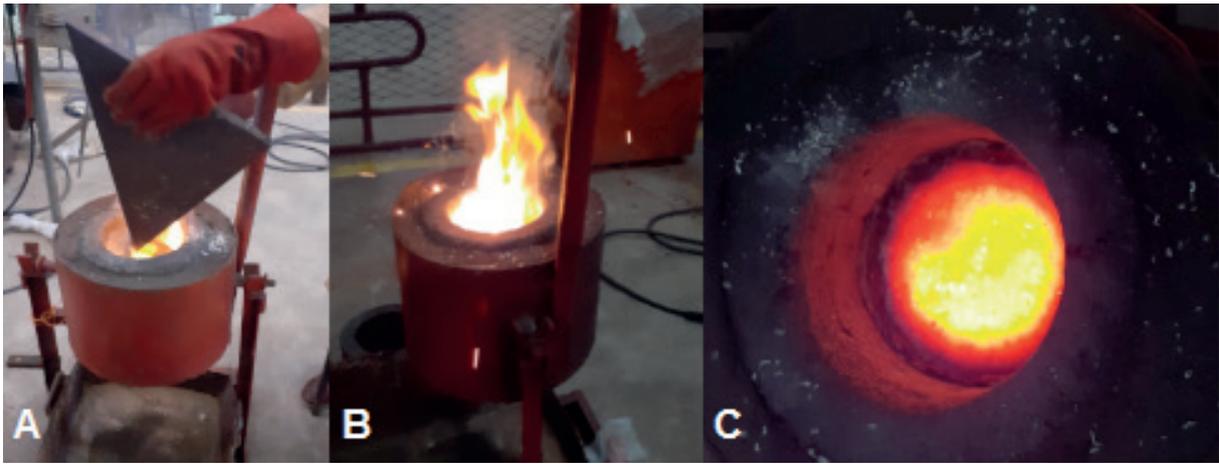


Fig. 3. Procesamiento aluminotérmico: A) Alimentación al reactor e ignición de la reacción, B) Autosostenimiento de la reacción, C) Enfriamiento.

el CO acorde a la reacción de Boudouard ($\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$), siendo la energía requerida por el proceso suministrada por una fuente externa de energía. Con la cromita refractaria se obtuvo una aleación de cromo de 50 % a 54 % de Cr y alto contenido de carbono y escorias, productos usados en la conformación de fundentes de soldadura automática por arco sumergido (SAW).⁽¹⁾ Por otro lado, el procesamiento, de una mezcla de cromita refractaria y pirolusita, permitió la obtención de aleaciones cromo-manganeso, siendo factible predecir la composición química de la aleación a obtener a partir de la concepción de la carga. Tales aleaciones son aplicables en la conformación de cargas de aleación de electrodos y fundentes especiales de recargue duro y las escorias son utilizadas para matrices de fundentes para SAW.^(2,3)

Estos fundentes son aplicables en el relleno superficial de piezas que trabajan en condiciones de desgaste abrasivo y ligero impacto, como los rodillos de buldócer.^(1,3) Fue demostrado que el procesamiento carbotérmico puede ser evaluado mediante la realización de balances de masa y energía.⁽⁴⁾

El procesamiento aluminotérmico, en reactor de grafito, permitió trabajar con una variada combinación de minerales y residuales sólidos industriales. En este proceso la energía requerida es generada por las reacciones químicas de oxidación-reducción, que ocurren durante el procesamiento pirometalúrgico, debiéndose generar una cantidad de calor superior a 650 cal/g.⁽⁴⁾ En todos los casos fue utilizada viruta de aluminio como reductor y las aleaciones obtenidas fueron generalmente de bajo contenido de carbono, dichas virutas se generan durante operaciones de corte o maquinado de aleaciones de aluminio.

Al procesar una mezcla de pirolusita y cascarilla de laminación, se obtiene una aleación de manganeso (entre 44 %

y 72 % de Mn).⁽⁵⁾ Si a la carga de cascarilla y pirolusita se le incorpora la cantidad adecuada de cromita refractaria, se obtiene entonces una aleación al Mn-Cr de alrededor de 59 % Mn y de 19 % Cr).⁽⁶⁾

En el caso de una carga compuesta por cascarilla de laminación y catalizador de V_2O_5 agotado, se obtiene una aleación del sistema Fe-V-Si (hasta 2 % de V y 20 % de Si), aplicables al recargue de una amplia gama de piezas, siendo factible evaluar el procesamiento mediante balances de masa y la determinación de los calores de reacción.^(7,8)

Las cargas compuestas por cascarilla de laminación y cenizas de la combustión del petróleo posibilitaron la obtención de granallas metálicas, caracterizadas por una composición de entre 2,8 % y 4,3 % de elementos de aleación y una dureza de 48 HRc, las que pueden ser usadas en operaciones de limpieza mecánica de superficies metálicas.^(9,10) En el caso de las colas de la producción de níquel por el proceso carbonato amoniacal se obtuvo una aleación base hierro con 4,8 % Cr y 1,2 % de Mn.⁽¹¹⁾ La carga más simple para el procesamiento aluminotérmico, compuesta por cascarilla, caliza y reductor, permitió la obtención de una aleación que puede ser usada como chatarra de alta calidad para la fabricación de aceros.⁽¹²⁾

En todos los casos, las escorias obtenidas del procesamiento aluminotérmico se caracterizaron por su alta dureza (dureza Mohs mayor e igual 7,5), debido a sus elevados contenidos de espinelas, donde las diferencias de composición entre unas y otras dependen de las características de la carga procesada, pero todas pueden ser utilizadas para la obtención de polvos, con los cuales pueden fabricarse muelas abrasivas.

Los polvos abrasivos obtenidos de las escorias del procesamiento aluminotérmico permiten cubrir una amplia gama de granulometrías para la fabricación de muelas abrasivas.

A modo de validación, se han fabricado muelas con el empleo de dichos polvos y cemento Portland P-350 como aglutinante. La evaluación de dichas muelas, en condiciones reales de trabajo, en el pulido de pisos y terrazos aportó resultados satisfactorios. En base a los resultados obtenidos, actualmente se trabaja en un proyecto para el montaje de planta piloto para la obtención de polvos abrasivos por procesamiento aluminotérmico en colaboración entre el Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS) de la Universidad Central de Las Villas y la Empresa de Materiales de la Construcción de Villa Clara. ⁽¹³⁾

Fue evaluado el desempeño de electrodos rutilicos con revestimiento periférico básico (Caliza más Fluorita) y adiciones metálicas (Fe-Cr-Mn y Mn metálico), obteniéndose que el electrodo experimental de mejor desempeño, presentó mayor resistencia del metal depositado que el AWS E6013 a causa de mayores contenidos de Mn y Cr aportados desde la ferroaleación, siendo la resistencia máxima del metal depositado de 526 MPa y la del AWS E6013 es de 478 MPa y el límite de fluencia del metal depositado con el electrodo experimental de 460 MPa y el del AWS E6013 de 401 MPa. ⁽¹⁴⁾

En el caso del electrodo básico con revestimiento periférico, compuesto de pirolusita, caliza más fluorita y ferrocromomanganeso, se logró un aumento de la profundidad de penetración del cordón y un perfil de este más estrecho, incidiendo positivamente sobre la fiabilidad de las uniones soldadas. ⁽¹⁵⁾

Por otro lado, fue evaluada la influencia de la posición relativa de la carga de aleación en los recubrimientos de electrodos, sobre la resistencia al desgaste abrasivo en depósitos obtenidos con electrodo simple y doblemente recubiertos. El Fe-Cr-Mn fue mezclado con FeCr y grafito, resultando la variante con las ferroaleaciones distribuidas homogéneamente

en todo el volumen del recubrimiento, factible de introducir directamente en las fábricas de producción de electrodos convencionales sin realizar modificaciones tecnológicas en las plantas. ⁽¹⁶⁾

Las aleaciones Fe-Mn fueron utilizadas en el desarrollo de electrodos tubulares revestidos de alto contenido de Mn (Hardfield), evaluándose el efecto del V y el Si, incorporado desde la aleación Fe-V-Si obtenida, sobre la microestructura de los depósitos realizados. Como resultado del trabajo se mejoran las propiedades de los cordones obtenidos, sobre todo las relacionadas con la resistencia al desgaste. ⁽¹⁷⁾ También se desarrollaron electrodos tubulares revestidos, utilizando aleaciones de FeCrMn, evaluándose la influencia de la adición de la aleación Fe-V-Si sobre el desgaste abrasivo de los depósitos obtenidos por soldadura, lográndose mejorar significativamente las propiedades de dichos depósitos. ⁽¹⁸⁾

Las aleaciones de FeSiV fueron utilizadas en diferentes proporciones de la carga de aleación en electrodos tubulares revestidos, lo cual permitió estudiar su influencia sobre la microestructura de fundiciones blancas hipoeutécticas, lográndose determinar su comportamiento para su uso en el recubrimiento superficial de piezas sometidas a desgaste de baja o moderada abrasión. ⁽¹⁹⁾ En la figura 4 se muestra una foto del equipamiento desarrollado por el CIS y usado para la fabricación de los electrodos tubulares a escala de planta piloto.

Con los consumibles desarrollados y evaluados es factible recuperar y fabricar una amplia variedad de piezas de la industria cubana.

Un resumen de las propiedades principales de los consumibles de soldadura evaluados con las ferroaleaciones usadas se muestra en la tabla 1.

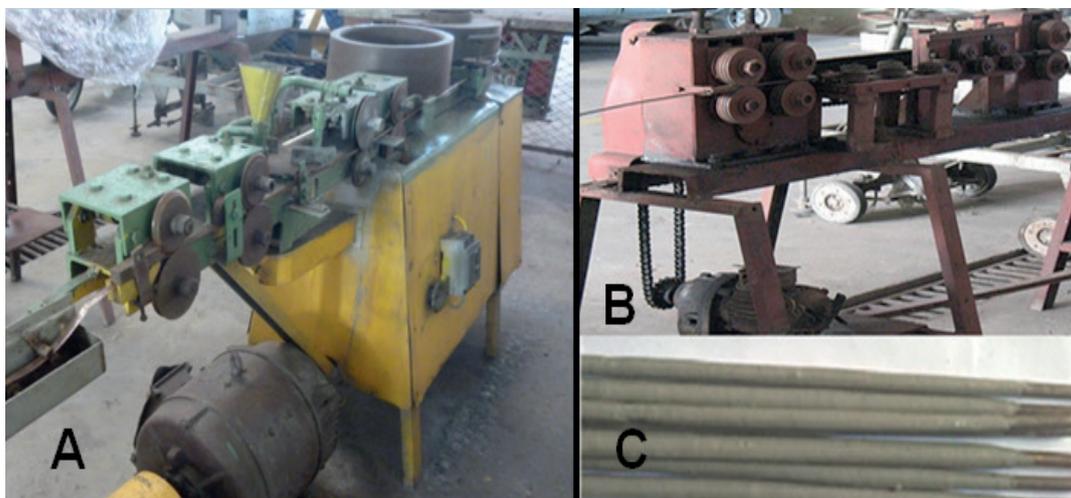


Fig. 4. Equipamiento para la fabricación de electrodos. A) Máquina para conformado del alambre tubular, B) Máquina para enderezar el alambre, C) Electrodos tubulares revestidos.

Tabla 1. Consumibles de soldadura y aplicaciones

| Consumible | Aleación usada | Composición del depósito (en %-m) | Aplicación |
|---|---------------------|--|---|
| Fundente aglomerado ⁽³⁾ | Fe-Cr-Mn-C | C: 1,76; Cr: 7,05; Mn: 3,03; Si: 1,47; P: 0,01 y S: 0,03 | Desgaste abrasivo con ligero impacto |
| Electrodo rutílico con revestimiento periférico ⁽¹⁴⁾ | Fe-Cr-Mn y Mn | C: 0,056; Cr: 0,46; Mn: 1,43; Si: 0,25; P: 0,011 y S: 0,009 | Aumento de la resistencia del metal depositado |
| Electrodo básico con revestimiento periférico ⁽¹⁵⁾ | Fe-Cr-Mn | - | Aumento de la fiabilidad (mayor penetración del cordón y perfil más estrecho) |
| Electrodos simple y doblemente recubiertos ⁽¹⁶⁾ | Fe-Cr-Mn y Fe-Cr | C: 0,938; Cr: 6,330; Mn: 3,716; Si: 2,663; P: 0,012; S: 0,023; Mo:0,007; Ni: 0,111 | Desgaste adhesivo |
| Electrodo tubular revestido Hadfield ⁽¹⁷⁾ | Fe-Mn y Fe-V-Si | C: 1,1; Mn: 12,3; V: 1,2; Si: 2,4 | Alto impacto |
| Electrodo tubular revestido ⁽¹⁸⁾ | Fe-Cr- Mn y Fe-V-Si | C: 2,4; Cr: 11,9; Mn: 4,0; V: 1,6 | Desgaste abrasivo |
| Electrodo tubular revestido ⁽¹⁹⁾ | Fe-Si-V | C: 3,27 - 3,31; V: 0,47 - 1,57; Si: 2,31 -3,82 | Desgaste abrasivo bajo o moderado |

Conclusiones

La caracterización química de las materias primas permite seleccionar adecuadamente la tecnología de procesamiento pirometalúrgico que debe ser aplicada. El procesamiento carbotérmico garantiza tratar, en horno eléctrico de arco, cualquier materia prima o mezclas de ellas y el aluminotérmico, en reactor de grafito, permite procesar óxidos de alta pureza o mezclas de estos con otros componentes, en dependencia de la cantidad de calor generada por unidad de masa.

El procesamiento carbotérmico permite obtener ferroaleaciones de alto carbono y escorias, usadas en el desarrollo de cargas de aleación de consumibles para soldadura y recargue y matrices de fundentes para el recargue duro, respectivamente.

El procesamiento aluminotérmico permite obtener aleaciones de bajo carbono, usadas en cargas de aleación de consumibles de soldadura o como granallas metálicas y escorias con alto contenido de alúmina para la fabricación de polvos abrasivos, usados en la producción de muelas para el pulido de pisos y terrazos.

La estrategia de procesamiento permite procesar minerales y desechos sólidos industriales, en función de obtener una amplia gama de productos de utilidad industrial, sin generar nuevos residuos sólidos contaminantes, constituyendo un aporte al desarrollo industrial local y a la preservación del medioambiente.

Agradecimientos

Alexis Delgado Gómez, MSc. Blas Misael Palmero Rodríguez, MSc. José R. Araño Rodríguez, MSc. Esther Miriam Hayle Cabrera, MSc. Francisco I. Laredo Pentón, MSc. Eduardo Rodríguez López, MSc. Daniel Molerio Moya, MSc. Miriela Chirino González, MSc. Yanelys Ríos Vizcaino y MSc. Kenia Sota Sol

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Perdomo González L, Quintana Puchol R, CruzCrespo A, et al. Obtención de componentes de fundentes para la soldadura por arco sumergido a partir de la reducción carbotérmica de cromitas refractarias. *Revista Técnica Ingeniería de la Universidad de Zulia*. [internet] 2017;40(1):42-51. Disponible en: <http://produccioncientificulz.org/index.php/tecnica/article/view/22585>
- Perdomo González L, Quintana Puchol R, Cruz Crespo A, et al. Obtención en horno eléctrico de arco de aleaciones del sistema Fe-Mn-Cr-C y escorias destinadas al desarrollo de consumibles de soldadura. *Minería y Geología*. [internet] 2018;33(1):92-107. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/mg/v34n1/mg07118.pdf>
- Cruz Crespo A, Perdomo González L, Quintana Puchol R, et al. 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*. [internet] 2019;24:e2424. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242019000100222&lng=en&nrm=iso
- Perdomo González L, Quintana Puchol R, Castellanos Estupiñan

- J, et al. Uso de los balances de masa y energía como herramienta para evaluar instalaciones experimentales en la producción de ferroaleaciones y escorias. Afinidad. [internet] 2009;LXVI:541. Disponible en: <file:///C:/Users/lperdomo/AppData/Local/Temp/277241-Article%20Text-379210-1-10-20140613.pdf>.
5. Perdomo González L, Quintana Puchol R, Gómez Pérez C, et al. Obtención simultánea de ferromanganeso y materiales abrasivos por reducción aluminotérmica usando pirolusita sin tostación previa y residuos sólidos industriales. Minería y Geología. [internet] 2015;31(2):95-112. Disponible en: <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/issue/view/115>
 6. Perdomo González L, Aranguiz Ruíz E, Cruz Crespo A, et al. Obtención por procesamiento aluminotérmico de aleaciones al manganeso-cromo para su empleo como carga aleante de un fundente aglomerado aleado, Conferencia Científica Internacional (COMEC). [internet] 2012. UCLV. Santa Clara, Cuba. Disponible en: <https://1library.co/document/q5mr0dij>
 7. Perdomo González L, Quintana Puchol R, Rodríguez Pérez M, et al. Recuperación del vanadio de los residuos catalíticos de la producción de ácido sulfúrico mediante aluminotermia. Centro Azúcar. [internet] 2016;43(2):43-56. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n2/caz05216.pdf>
 8. Perdomo González L, Quintana Puchol R, Rodríguez Pérez M, et al. Balances de masa y calores de reacción para evaluar la extracción de vanadio a partir de catalizadores agotados en el proceso de obtención de ácido sulfúrico. Tecnología Química. [internet] 2018;38(3). Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n3/rtq05318.pdf>
 9. Gómez Ríos I, Perdomo González L, Cruz Crespo A, et al. Procesamiento aluminotérmico de cascarilla de laminación con presencia de cenizas de fondo de la combustión del petróleo. Minería y Geología. [internet] 2018;34(4):504-18. Disponible en: <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg>
 10. Gómez Ríos I, Perdomo González L, Cruz Crespo A, et al. Alternativa de recuperación de elementos metálicos en residuos sólidos industriales. Centro Azúcar. [internet] 2019;46(2):35-44. Disponible en: <http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-2019/numero-2>
 11. Quintana Puchol R, Rodríguez Sosa E, Perdomo González L, et al. Concepción novedosa de la reutilización de los residuos sólidos de la industria hidrometalúrgica níquelífera cubana. Centro Azúcar. [internet] 2016;43(4):1-15. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n4/caz01416.pdf>
 12. Perdomo González L, Díaz Martínez J, Quintana Puchol R, et al. Obtención de aleaciones de hierro y escorias abrasivas y refractarias a partir del procesamiento aluminotérmico de cascarillas de laminación. XV Congreso Internacional de Reciclaje. 2018. Cuba Industria 2018. Ciudad Habana, Cuba.
 13. Felipe Saavedra, R. Desarrollo de materiales abrasivos mediante métodos pirometalúrgicos. Trabajo de Diploma. 2019. Facultad Ingeniería Mecánica e Industrial. UCLV. 2019: 58 p.
 14. Cruz Crespo A, Díaz CedrÉ E, Perdomo González L, et al. Desempeño de un electrodo rútilico para SMAW bajo el efecto de la composición de un revestimiento periférico aplicado. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. [internet] 2018;41(2):2-10. Disponible en: <http://pro->
[duccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/23487](http://pro-)
 15. Cruz Crespo A, Díaz CedrÉ E, Scotti A. Efecto de la pirolusita, la caliza+fluorita y el ferrocromomanganeso sobre el desempeño de un electrodo básico con revestimiento periférico. Minería y Geología. [internet] 2015;31(4):84-99. Disponible en: <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/1142/650>
 16. González Cabrera O, Gómez Pérez C, Perdomo González, et al. Comportamiento de la Resistencia al Desgaste entre Depósitos Obtenidos con Electrodo Simple y Doblemente Recubiertos. Revista Soldagem & Inspeção. [internet] 2017;22(1):87-98. Disponible en: http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/revistasasi/full/full_22_01_582.pdf
 17. Rodríguez M, Perdomo L, Béjar L, et al. Efecto del V y el Si sobre la microestructura de depósitos realizados con electrodos tubulares revestidos de alto contenido de Mn (Hadfield). Soldagem & Inspeção. [internet] 2017;22(3):249-57. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/si/2017nahead/0104-9224-si-0104-9224SI220303.pdf>
 18. Rodríguez Pérez M, Perdomo González L, Alfonso, I. Mejora de la resistencia al desgaste abrasivo de un revestimiento Fe-Cr-Mn-C mediante la adición de V. Revista Materia. [internet] 2019;24(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190001.0610>
 19. Rodríguez Pérez M, Perdomo González L, Escobedo J, et al. Análisis microestructural de revestimientos de fundiciones blancas hipoeutécticas con adiciones de Si y V. Revista de Metalurgia. Madrid, España. [internet] 2018. 1965;54(2):35-45. DOI: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.117>

Recibido: 30/06/2021

Aprobado: 12/09/2021

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

- Conceptualización: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez
- Análisis formal: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez, Dr. Sc. Rafael Quintana Puchol, Dr. Amado Cruz Crespo
- Investigación: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez, Dr. Sc. Rafael Quintana Puchol, Dr. Amado Cruz Crespo, MSc. István Gómez Ríos, Dr. Ismeli Alfonso López, Dr. Odonel González Cabrera, Dr. Carlos René Gómez Pérez, Dr. Arnaldo Herrera Artiles
- Metodología: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez, Dr. Sc. Rafael Quintana Puchol, Dr. Amado Cruz Crespo
- Recursos: Para la caracterización de los depósitos de soldadura se contó con el financiamiento del PREI de la DGAPA de la Universidad Autónoma de México, Instituto de Investigaciones de Materiales, Unidad Morelia.
- Supervisión: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez

- Validación: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez, Dr. Sc. Rafael Quintana Puchol, Dr. Amado Cruz Crespo, MSc. István Gómez Ríos, Dr. Odonel González Cabrera
- Visualización: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez, Dr. Sc. Rafael Quintana Puchol, Dr. Amado Cruz Crespo, Dr. Ismeli Alfonso López, MSc. István Gómez Ríos, Dr. Odonel González Cabrera, Dr. Carlos René Gómez Pérez, Dr. Arnaldo Herrera Artiles
- Redacción-borrador original: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez, Dr. Sc. Rafael Quintana Puchol
- Redacción-revisión y edición: Dr. Lorenzo Perdomo González, Dr. Manuel Rodríguez Pérez, Dr. Sc. Rafael Quintana Puchol, Dr. Amado Cruz Crespo

Financiación

Los recursos para el trabajo fueron asumidos por el presupuesto de la UCLV y apoyo de empresas. Además se contó con el apoyo del PREI de la DGAPA de la Universidad Autónoma de México para una estancia de investigación del Dr. Manuel en el Instituto de Investigaciones de Materiales, Unidad Morelia.

Cómo citar este artículo

Perdomo González L, Rodríguez Pérez M, Quintana Puchol R, Cruz Crespo A, *et al.* Procesamiento pirometalúrgico de minerales y desechos sólidos industriales para la obtención de productos de utilidad industrial. An Acad Cienc Cuba [internet] 2022 [citado en día, mes y año];12(2):e1118. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1118>

