

5. El lavado eficiente de la fase orgánica cargada se logra utilizando una solución lavadora con concentración aproximada de 20 g/L de cobalto.
6. La reextracción se realiza con una solución de ácido sulfúrico de 170 g/L en dos etapas de contacto.
7. Los extrayentes P 507 y PC 88A coinciden en su concentración en el solvente, el número de etapas necesarias para la extracción, lavado y reextracción, así como en las eficiencias obtenidas en extracción y reextracción por encima del 99,5 % en todos los casos.
8. En ambos, al lavar la fase orgánica cargada con una solución de cobalto se logran disminuir las concentra-

ciones de níquel coextraído, que constituye una impureza, incrementándose la concentración de cobalto en el extracto.

9. Los coeficientes son diferentes, el coeficiente de extracción del cobalto para el PC 88A es superior al obtenido para el P 507.
10. El factor de separación Cobalto/Níquel del PC 88A es mayor que el obtenido para el P 507.
11. Ambos extrayentes son altamente selectivos para el cobalto a valores de pH que van desde 4,5-6, no requieren incrementos de la temperatura para extraerlo y con ellos se pueden obtener licores de elevada pureza.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a las compañeras Sonia Verdecia Reyes y María Elena San Román Sebazo por su activa

participación y dedicación a este trabajo, así como a los compañeros del Laboratorio Analítico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMER, SEBASTIAN: "Aplicaciones de la extracción con disolventes a la hidrometalurgia", Rev. Metal. GENIM, Vol. 17, No. 1, 1987.
- ANDO, M., M. TAKAHASHI and T. OGATA: Separation of Cobalt from Nickel in NMC process. Hidrometallurgy Research, Development and Plant Practice Symposium, Atlanta, 1983, AIME, New York, 1982.
- DAIACHI CHEM. IND. Co. ; Ltd. PC 88A, a reagent for metal extraction. Technical Bulletin, 1983.
- GRANDA, O. y A. VALDES: Separación selectiva de los componentes metálicos contenidos en las soluciones sulfato amoniacales producto de la disolución de los sulfuros con extrayente ABF. Informe Técnico 20, CIPIMM, 1985.
- HABASHI, FATHI: Principles of Extractive Metallurgy. General Principles, Vol.1, 1969.
- MORENO, A., E. GARCIA y M.E. SAN ROMAN: "Separación de cobalto utilizando el extrayente japonés PC 88A". Simposio Internacional MINEMETAL'91, La Habana, Cuba, 1991.
- RITCEY GORDON, M. and A.W. ASHBROOK: Solvent Extraction. Principles and Applications to Process Metallurgy. Process metallurgy 1, Part I, ELSEVIER, 1984.
- ZELIKMAN, A.N., G.M. VOLDMAN y L.V. BELIAEVSKAYA: Teoría de los Procesos Hidrometalúrgicos, Metalurgia, 1975.
- FLETT, D.S: Solvent Extraction in Hidrometallurgy, ISEC'74.

**EMPRESA COMERCIAL
PARA LA INDUSTRIA
METALURGICA Y
METAL-MECANICA**

Dedicada a la atención de las ramas del desarrollo metal mecánico y geológico-minero ECIMETAL es una institución que brinda sus servicios en la realización de proyectos, estudios, suministros de equipos y materiales así como asistencia técnica para la instalación de plantas industriales, líneas tecnológicas, completamiento de plantas y entrenamiento de personal.



**COMMERCIAL
ENTERPRISE FOR
METAL-MECHANIC
AND METALLURGICAL
INDUSTRY**

Specialized in the development of geological-mining and Metal-Mechanic branches. ECIMETAL is an institution offering its services in the preparation of projects and studies, as well as in the supply of equipment, materials and technical assistance for the installation of industrial plants, technological lines, completion of plants and training of personnel.

**ENTREPRISE
COMMERCIALE
POUR L'INDUSTRIE
METALURGIE
ET METAL-MECANIQUE**

ECIMETAL est une institution consacrée au développement métal-mécanique et géologique-minier qui offre ses services dans la réalisation de projets, d'études, de fourniture des matériels et matériaux. D'autre part, ECIMETAL offre de l'assistance technique dans le montage des installations industrielles, les procédés technologiques, les compléments d'usines et les stages pour le personnel.

PRODUCCION DE NODULIZANTES BASE NIQUEL EN LA EMPRESA MECANICA DEL NIQUEL DE MOA

Ing. José A. Pons Herrera*
Ing. Roberto Cuza Urgellés**
Ing. Guido Guerrero Oquendo**
Ing. María C. Ramírez Pérez*

* Instituto Superior Minero Metalúrgico
** Empresa Mecánica de Níquel

RESUMEN: Se realiza un estudio de la tecnología actual de producción de nodulizantes base níquel y se propone una variante de producción con resultados prácticos y un ahorro considerable de energía eléctrica, garantizando la calidad y composición química del producto con una reducción de los pasos tecnológicos para su obtención. Se demuestra además, con la realización de las coladas experimentales que este tipo de nodulizante reporta excelentes resultados para la producción de hierro nodular.

ABSTRACT: A study of current nickel base nodulizer production technology is carried out and a production variant with practical results such as considerable power saving, and guaranteeing the chemical composition of the product with fewer production technological stages, is proposed. In experimental castings, the positive results obtained using this nodulizers to produce nodular iron were proven.

INTRODUCCION

Actualmente en el taller de fundición de la Empresa Mecánica del Níquel (EMN) se producen piezas de hierro fundido, bronce, aluminios y aceros con propiedades especiales, pero su equipamiento tecnológico permite la introducción de nuevas producciones que diversifican el uso del sinter de níquel obtenido en nuestras industrias, tal es el caso de los nodulizantes, muy empleados en la producción del hierro nodular.

Basado en la experiencia que existe sobre la obtención de nodulizantes, se ha desarrollado una tecnología capaz de perfeccionar su producción que puede ser aplicada en cualquier taller de fundición.

Los nodulizantes base níquel pueden constituir un renglón exportable de gran demanda en el mercado

internacional y lograr la producción de hierro nodular a gran escala nacionalmente. Para producir estos nodulizantes, existen las condiciones y el equipamiento tecnológico adecuado en el taller de fundición de la EMN de Moa.

El objetivo de este trabajo es mostrar las posibilidades que tiene la EMN para desarrollar de una forma estable la producción de nodulizantes e hierro nodular sin necesidad de invertir grandes recursos materiales.

En los últimos años ha surgido un gran interés por lo que se han desarrollado varias investigaciones en este sentido así como algunas producciones, incluyendo la obtención de la aleación madre, el nodulizante y el hierro nodular.

PRODUCCION DE LA ALEACION MADRE

Las prealeaciones o aleaciones madres están destinadas a introducir en la aleación, durante su fusión, los componentes de alta temperatura así como los fácilmente oxidables y evaporables. Su utilización permite disminuir las pérdidas y evitar el recalentamiento de la aleación durante la fusión.

Para lograr una correcta fusión en el crisol del horno, los materiales de carga deben ser sometidos a una preparación previa hasta lograr tamaños entre 8 y 25 mm con el objetivo de facilitar su fusión, disminuyendo el tiempo de la colada, el consumo de energía eléctrica y lográndose una mayor homogenización del producto obtenido así como la disminución de las pérdidas por evaporación.

El orden de carga de los materiales se realizó en forma de capas alternas de diferentes alturas, en de-

pendencia de la capacidad del horno, ya que de este modo se logra una mayor eficiencia y aprovechamiento del calor desprendido, el cual es absorbido por la carga metálica dada la alta resistencia eléctrica del sinter de níquel.

La fundición de la aleación madre se llevó a cabo en diferentes agregados, con el objetivo de determinar la asimilación de los principales elementos en la misma y conocer el comportamiento del revestimiento empleado. Para ello se realizaron diferentes ensayos, los cuales se describen a continuación:

El cálculo de la carga empleada en los cuatro ensayos realizados para la obtención de la aleación madre se muestra en la Tabla 1.

Como se puede apreciar de estos resultados, con la carga calculada se garantiza la composición química del nodulizante producido, el cual es comparable con los que se importan actualmente en el país.

Esta tecnología de fusión del nodulizante se emplea hasta el momento en el taller pero debido, entre otras cosas, al gasto considerable de energía se decidió modificarla mediante la introducción forzada del magnesio en la cuchara del vertido.

Por tanto, la tecnología de fusión utilizada actualmente consta de los siguientes pasos:

1. Cálculo de la cantidad de magnesio a inocular.
2. Preparación de los pedazos de magnesio con una masa de 10 kg y las tierras raras en tamaños de 2-5 mm.
3. Preparación y fijación de una tapa de acuerdo con el diámetro superior de la cazuela, con un orificio central de diámetro igual a 200 mm.
4. Calentamiento de la cazuela hasta una temperatura de 400-500 °C.
5. Incorporación de las tierras raras en el fondo de la cazuela.
6. Vaciado de la aleación madre fundida en el horno de inducción, libre de escoria y a una temperatura de

PRODUCCION DE HIERRO NODULAR

La producción de hierro nodular pertenece al grupo más joven de las fundiciones ferrosas, la cual se ha desarrollado ampliamente aumentando la variedad y calidad de las piezas fundidas, desplazando en gran medida a la fundición maleable de algunos campos de aplicación. Esto ha sido posible, entre otras cosas, por sus bajos costos de producción y sus excelentes propiedades mecánicas.

En Cuba se producen hierros nodulares empleando diferentes tipos de nodulizantes, la mayoría de ellos importados, sin embargo, con el empleo de pequeños recursos, en el taller de fundición de la EMN, es posible la producción de gran parte de los nodulizantes base níquel que se requieren.

Para conocer y comparar la calidad del nodulizante obtenido, se realizaron tres experimentos consistentes en la producción de hierro nodular empleando como hierro base el Vch 50-2, el cual posee una resistencia a la tracción de 490 MPa y un alargamiento relativo del 2%. Los resultados del cálculo de carga del hierro base aparecen en la Tabla 6.

La composición química del nodulizante empleado puede observarse en la Tabla 5.

Para la obtención del hierro nodular se empleó el método Sandwich, usando una cuchara de vertido de 500 kg de capacidad. Todo el proceso de nodulación e inoculación se llevó a cabo en la cuchara de vertido.

COMPORTAMIENTO DEL NODULIZANTE NI-Mg-Fe-tierras raras

En el primer ensayo se observó una baja asimilación del magnesio, encontrándose una concentración residual de 0,035%, esto estuvo dado por la alta temperatura del metal base (1500 °C) y el largo tiempo de exposición después de la inoculación (7 min). En la microestructura de la probeta

1200 °C, en la cuchara. Se recomienda que la cantidad de aleación madre no exceda de los 150 kg.

7. La aleación madre contenida en la cazuela se cubre con una capa de cloruro de sodio, con un espesor de 30-40 mm.
8. Por el orificio central de la tapa se introduce el magnesio con una lanza metálica.
9. Inmediatamente después de terminar la reacción, se retira la tapa y se vierte el nodulizante en las lingoteras.
10. Una vez que los lingotes estén fríos, se trituran hasta obtener tamaños entre 2-3 mm.

Con el empleo de esta tecnología fueron realizados varios experimentos, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 5b. Composición química de los nodulizantes obtenidos por la tecnología modificada

| Coladas | Composición química (%) | | | | | | | |
|---------|-------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | Ni | Co | Mn | Mg | Si | Cr | Cu | Fe |
| I | 50,6 | 0,12 | 0,10 | 12,6 | 12,7 | 0,023 | 0,078 | Resto |
| II | 52,3 | 0,19 | 0,14 | 14,5 | 14,4 | 0,054 | 0,009 | Resto |
| III | 55,6 | 0,12 | 0,23 | 15,6 | 17,2 | 0,064 | 0,004 | Resto |
| IV | 56,5 | 0,45 | 0,14 | 15,3 | 16,26 | 0,058 | 0,010 | Resto |

Las tres coladas experimentales se realizaron en un horno de inducción de una tonelada de capacidad con revestimiento básico, donde se fundió el hierro base y en una cuchara de vertido calentada a una temperatura de 400-500 °C. En la Tabla 7 se muestran los resultados finales de la obtención del hierro nodular.

TABLA 7. Resultados finales de los experimentos del nodulizante para la obtención del hierro nodular

| | I colada | II colada | III colada |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| % de nodulizante | 1 | 2 | 3 |
| % de FeSi 75 | 1 | 1,2 | 2 |
| Composición química final | | | |
| Carbono (%) | 3,27 | 3,4 | 3,35 |
| Silicio (%) | 2,66 | 2,88 | 2,9 |
| Manganeso (%) | 0,5 | 0,53 | 0,49 |
| Fósforo (%) | 0,04 | 0,07 | 0,05 |
| Azufre (%) | 0,012 | 0,014 | 0,011 |
| Níquel (%) | 0,54 | 1,06 | 1,53 |
| Magnersio (%) | 0,035 | 0,07 | 0,09 |
| Tiempo de inocula. | 7 min. | 3 -- 4 min. | 2 -- 3 min |
| Temp. de vaciado °C | 1 500 | 1 450 | 1 420 |
| Temp. de vertido °C | 1 390-1 410 | 1 370-1 390 | 1 380-1 390 |

sin atacar, como se muestra en la primera foto, se aprecia una pequeña nodulización con parte del grafito en forma de rosetas dispersas, lo que está fundamentado por el bajo por ciento de magnesio residual (0,035%) con respecto al mínimo exigido (0,05%).

TABLA 6. Resultados del cálculo de carga del hierro base

Cálculo de aleación
Composición nominal C=3,2-3,8% Si=1,5-1,7% Mn=0,3-0,3% P.10 S.04
Horno # 2

| Composición | Elementos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | C | | Si | | Mn | | P | | S | | N | | Mg | | Tr | | Al | |
| | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % | kg | % |
| Análisis deseado | 3,50 | 3,50 | 1,67 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,60 |
| Carga | 23 | 217 | 27 | 255 | 614 | 65 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 |
| Chatarra acero CT-3 | --- | --- | 75,0 | 1,420 | 40 | 0,007 | 0,05 | 0,009 | 0,03 | 0,005 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ferrocilicio 75 % | 99,00 | 3,465 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Residuos Electrodo | --- | 3,682 | --- | 1,675 | 62 | --- | --- | 0,379 | --- | 0,375 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Subtotal | --- | --- | --- | 6 | 10 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pérdidas | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Total | --- | 3,682 | --- | 1,58 | 56 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Desoxidantes | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Aluminio | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Calciosilicio CN-30 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

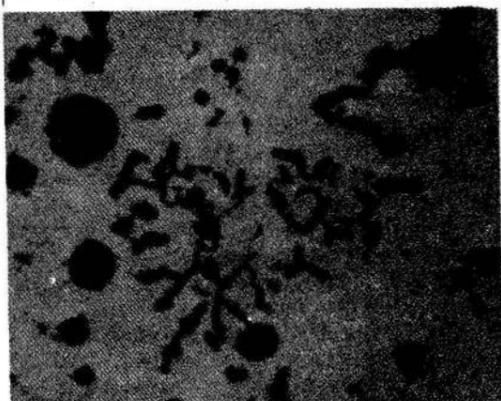


FIGURA 1. (x 400) Sin atacar la muestra.

En los ensayos 2 y 3, al variarse los porcentajes del nodulizante y ferrosilicio 75 % empleados, se observó una buena asimilación del magnesio con un contenido residual del 0,07-0,09 %. En la microestructura de la probeta sin atacar (foto 2) se aprecia una nodulación efectiva, uniforme y con presencia de nódulos correctamente distribuidos.

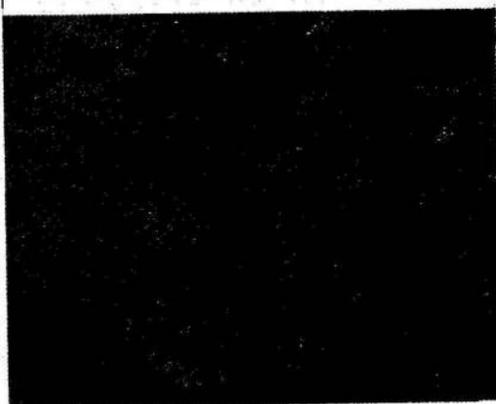


FIGURA 2. (x 400) Sin atacar la muestra.

En los ensayos mecánicos realizados a las probetas según las normas cubanas, se obtuvieron valores promedio de 500-520 MPa de resistencia a la tracción y 2,2 % de alargamiento relativo.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se demuestran las posibilidades que existen en el taller de fundición de la EMN para producir, con calidad, los nodulizantes base níquel que necesita el país, ya que se cuenta con el equipamiento indispensable, el personal calificado y la materia prima fundamental (sinter de níquel). Además, la cantidad de nodulizantes que se necesita para producir el hierro nodular con altas propiedades

de mecánicas no excede del 3 - 4 % de la carga según las condiciones del taller.

La producción del nodulizante por la tecnología actual tiene un costo de \$ 4 016,92, mientras que con la tecnología propuesta el costo es de \$ 3 982,37, lo que significa un ahorro de \$ 34,55 por cada tonelada fundida.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVAREZ, M.M.: "Control de la calidad del hierro nodular en el método Sandwich. Moldeo y fundición", Ashland de México, No. 57, p. 13-21, 1989.
- BIEDERMANN, A. y M. HASSENKJEFF: Tratado Moderno de Fundición del Hierro y el Acero, Ed. Ciencia y Técnica, La Habana, 1957.
- CAPELLO, E.: Tecnología de Fundición, Ed. Gustavo Gilí, Barcelona, 1971.
- Colectivo de Autores: "El hierro nodular, una experiencia en Holguín", Técnica Popular, No. 5, p. 2-13, 1989.
- GULIAEV, A.P.: Metalografía, Tomos I y II, Ed. Mir, Moscú, 1978.
- Handbook, A.S.M.: Metals reference, 2da. edición, Ed. American Society for Metals, 1982.
- JIMUCHIN, F.F.: Nerschabeioshie stali, Mockba, 1967 (en ruso).
- KARSAY, S.I.: "Fundición con esferoidal I". Producción, p. 15-21, 1976.
- : "Fundición con grafito esferoidal III". Alimentación y Mazarota, p. 18-24, 1976.
- KOSMIN, B.A. y A.I. SAMAJOTKI: Metalurgia, Metalografía y Materiales de Construcción, Ed. Mir, Moscú, 1986.
- KUDRIN, V.S.: Metalurgia del Acero, Ed. Mir, Moscú, 1987.
- LASHERAS, J.M.: Tecnología del Acero, 2da. edición, Ed. Zaragoza, España, 1967.
- Literatura sobre hierro nodular de la firma FOSECO.
- Normas Gost 2176-77, Propiedades especiales de los aceros aleados.
- Normas cubanas: 04-03-73
04-01-72
- Norma ASTM E 407-89.
- Norma UNI 3244 y 3245.
- RODRIGUEZ, M.M.: Control de la calidad del hierro nodular en el método Sandwich, Moldeo y Fundición", Ashland de México, No. 57, p. 13-21, 1989.
- SALCINES, C.M.: Tecnología de fundición, Tomo I, Ed. Ciencia y Técnica, La Habana, 1981.
- TITOV, N. y Y.A. STEPANOV: Tecnología del proceso de fundición, Ed. Mir, Moscú, 1987.

APLICACION DE LAS TECNICAS DE COMPUTACION AL ESTUDIO CINETICO DE REACCIONES HOMOGENEAS IRREVERSIBLES

Lic. Jorge Arce Molina
Ing. Miguel Garrido Rodríguez
Lic. Carlos Izaguirre Bonilla

Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN: El presente trabajo muestra la metodología a seguir para obtener la ecuación de velocidad de reacciones homogéneas irreversibles por los métodos diferencial e integral de análisis de datos.

Se realiza un programa con la metodología de ambos métodos que puede ser utilizado tanto en la actividad docente como en la resolución de problemas durante la investigación.

ABSTRACT: In the present paper the methodology to be followed in order to obtain the kinetic equation of irreversible homogeneous chemical reactions for the integral and differential methods in the analysis of data is shown.

A program with the methodology of both methods was done that can be used as means of teaching activities and in solving problems in research works.

INTRODUCCION

Gran importancia ha adquirido el empleo de medios técnicos modernos para la enseñanza, al extremo de convertirse conjuntamente con los métodos en uno de los componentes fundamentales de la didáctica.

Desde la aparición de las computadoras en los centros de enseñanza superior, se utilizan como equipo de soporte ideal para la materialización de los sistemas de enseñanza programada. El rápido desarrollo de la informática permitió la aparición de lenguajes más evolucionados, unido a esto, las posibilidades de graficar en la pantalla representaron un salto cualitativo que permitió poder utilizar las técnicas de computación

como instrumento de enseñanza y aprendizaje muy variado.

Como es conocido, los medios de enseñanza son el soporte de los métodos de enseñanza por lo que se convierten en instrumento eficaz para la adquisición de habilidades prácticas por parte de los estudiantes y conlleva a la necesidad de que el estudiante sepa qué quiere y a qué debe llegar, expresando esto en término deductivo por lo que se hace necesario una estructuración lógica del pensamiento, a ello puede contribuir la utilización de esquemas lógicos, métodos de cálculo y metodología de solución de determinados problemas que se muestran en este trabajo.

DESARROLLO

En los sistemas homogéneos a volumen constante la velocidad de reacción referida a un reactivo i está dada por:

$$r_i = - \frac{dc_i}{dt} \quad (1)$$

Por otra parte es conocido que la ecuación cinética de velocidad para una reacción dada es la expresión matemática que relaciona la velocidad de reacción (r_i) con las propiedades de estado del sistema reaccionante, es decir, temperatura, presión y composición.

$$r_i = f(\text{temperatura}) f(\text{presión}) f(\text{composición}) \quad (2)$$

Para una reacción general a T y V constante:



donde:

$$r_A = - \frac{dC_A}{dt} = k C_A^a \cdot C_B^b \cdot C_C^c \quad (4)$$

k : velocidad específica de la reacción o constante de velocidad

C_A, C_B, C_C : concentraciones de A, B y C respectivamente

a, b, c : orden de reacción con respecto a A, B y C

r_A : velocidad de reacción

Pero:

$$k = k^0 \cdot e^{-E/RT} \quad (5)$$

donde:

k^0 : factor frecuencia

E : energía de activación de la reacción

T : temperatura

R : constante universal de los gases

Esta ecuación se conoce como ecuación de Arrhenius y permite analizar la influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción.