

# **Obtención de ferromanganeso alto carbono y escoria para el desarrollo de materiales para soldar**

## **Obtention of Carbon-Bearing Ferromanganese and Slag for the Development of Welding Materials**

**Amado Cruz Crespo<sup>1</sup>**  
**Rafael Quintana Puchol<sup>2</sup>**  
**Lorenzo Perdomo González<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Investigador del Grupo de Materiales para Soldar. Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu".

<sup>2</sup>Investigador titular. Doctor en Ciencias Técnicas. Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu".

<sup>3</sup>Investigador Agregado, Máster en Ciencias Técnicas. Centro de Investigaciones de Soldadura, Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu".

**RESUMEN:** En el presente trabajo se realiza un análisis de la posibilidad de empleo de pirolusita en el desarrollo de aleaciones al manganeso y escorias con un sistema de óxidos MnO-SiO<sub>2</sub>-CaO con características propias para el desarrollo de fundentes para la soldadura automática para arco sumergido (SAAS.) A partir de la composición química del mineral de manganeso se realizan los cálculos del proceso de reducción con el empleo de la tecnología sin fundente en presencia de coque como reductor, obteniéndose las adecuadas composiciones y las propiedades de los productos del proceso. Se realiza una corrida experimental de obtención de ferromanganeso con adiciones de dolomita, caolín y fluorita como correctores de la escoria. Se conforma una matriz de fundente para arco sumergido con la escoria y se le evalúan las propiedades tecnológicas de soldadura.

**Palabras claves:** Ferromanganeso, soldadura bajo arco sumergido, fundentes, minerales de manganeso, escoria.

**ABSTRACT:** In this work it is made an analysis based on the possibility of using pirolusite to obtain manganese alloys and slags with a system of oxide MnO-SiO<sub>2</sub>-CaO with proper characteristics to develop fluxes used in submerged arc welding (SAW). In regard with the chemical composition of the manganese minerals, calculations of the reduction process are made with the use of non-flux technology in the presence of ke as a reductor, obtaining thus the right compositions and properties of the process products. An experiment is carried out to obtain ferromanganese with the addition of dolomite, kaolin and fluorspar as modifiers of the slag. A matrix of flux is prepared for the submerged arc welding with the slag and its technological welding properties are assessed.

**Key words:** Ferromanganese, Submerged arc Welding, Fluxes, Manganese Ore, Slag.

### **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de materiales para soldar está inevitablemente relacionado con el empleo de aleaciones al manganeso. Este, en su carácter de componente de la carga aleante tiene funciones metalúrgicas específicas (desoxidación, desulfuración, aleación del depósito, entre otras), que garantizan los requerimientos de composición química, estructura y propiedades mecánicas de los depósitos de soldadura.

Tanto en la fabricación de electrodos tubulares (sobre todo en aquellos casos donde se persiga la obtención de un producto con determinada resistencia al impacto), como en la obtención de fundentes aglomerados aleados para relleno superficial de piezas sometidas al desgaste abrasivo y al impacto, se requiere del empleo de FeMn de alto carbono luego de un costoso proceso de trituración y molienda. Esto último puede ser resuelto mediante un proceso de choque térmico durante el vertido de la ferroaleación, lo cual provoca una alta fragilidad de esta, además del granulado de la escoria y la fácil separación de los productos (Perdomo 1997; Gómez 1995).

Debido a la versatilidad de uso de los fundentes fundidos de alta sí-

lice y alto manganeso, estos han sido los más utilizados en la *soldadura automática por arco sumergido* (SAAS) de aceros de bajo contenido de carbono y baja aleación (Podgayeskii, 1988). Entre esta clase de fundentes encontró gran difusión en la industria cubana el AH-348 y sus homólogos. El posible empleo de los residuales (escorias) del proceso de obtención de ferromanganeso alto carbono como componente en el desarrollo de materiales para soldar, constituye una alternativa de solución a la demanda de fuentes de materias primas para la obtención de fundentes con las características antes mencionadas, además del consecuente ahorro energético y de insumos compartidos proporcionalmente entre los productos (escoria y ferroaleación) por el reaprovechamiento del residual sólido y, en consecuencia con esto, la favorable merma del impacto ambiental que constituye un problema a resolver en este tipo de industria ( Polechuk 1991).

El objetivo que se persigue en este trabajo es conjugar en un mismo proceso la obtención de ferromanganeso con alto contenido de carbono propio para su empleo en la carga aleante de materiales para soldar y una escoria de alta sílice y alto manganeso que sirva para la conformación matricial de un fundente para la soldadura y recargue bajo arco sumergido.

El empleo de una tecnología de obtención de ferromanganeso que permita cubrir, con instalaciones de pequeño formato y de accesible construcción y montaje, sin altos requisitos de instrumentación, determinada demanda de estos productos, la convierte en una vía factible para la solución de problemas de las industrias en las condiciones nacionales y de factible inserción en otros países tercermundistas (Perdomo 1997).

## DESARROLLO

### Selección de la tecnología

Para el procesamiento metalúrgico extractivo de minerales de manganeso en la obtención de ferroaleaciones de alto carbono existen dos tendencias mundiales ampliamente difundidas (Gimenes 1992):

1. La tecnología con fundente (con la adición de caliza).
2. La tecnología sin fundente (con el empleo de virutas de acero).

La primera tecnología persigue la obtención de una aleación con valores de fósforo lo más pequeño posible y, sobre todo, la máxima recuperación del Mn. En el segundo caso se persigue obtener una escoria rica en Mn y pobre en fósforo, que posibilite la posterior obtención de aleaciones al Mn con bajos valores de este elemento.

En nuestro caso, buscamos un proceso que nos proporcione una aleación que satisfaga los requerimientos de un alto rango de materiales para soldar y una escoria con un sistema de óxidos que se corresponda con las características metalúrgicas, tecnológicas y químicas de una matriz de fundente al manganeso.

La tecnología que satisface las exigencias expuestas es la "sin fundente" puesto que asegura que a la escoria pase un mayor contenido de MnO correspondiente a la composición matricial de un sistema de alta sílice y alto manganeso, pero para asegurar la composición final de la matriz del fundente se realizan adiciones de correctores al sistema, sin que en ello se altere la marcha del proceso para los fines propuestos con la consecuente obtención de una aleación que presente la composición correspondiente de un ferromanganeso alto carbono para satisfacer los requerimientos de materiales de soldadura y recargue.

Para lograr la separación de la escoria y del ferromanganeso del proceso, estos, en estado fundido, serán vertidos en agua, lográndose a causa de los altos valores de subenfriamiento, la granulación, lo cual contribuye al objetivo planteado. El vertido en agua provoca además una alta fragilidad de la aleación para su fácil molienda y en ello la escoria adquiere una estructura vítrea con textura variable en dependencia de la velocidad de vertido (Perdomo 1997; Gómez 1995).

### Conformación de la carga

#### 1. Caracterización del mineral

La literatura especializada (Emlin 1978) establece que para el procesamiento metalúrgico reductivo el mineral de Mn debe cumplir las siguientes exigencias:

- Contenido de manganeso  $\geq 47\%$ .
- Contenido de sílice en la ganga  $\leq 11$ .
- Fósforo contenido por cada 1% de manganeso  $\leq 0.0035$ .
- Relación Mn/Fe=8 (para una aleación  $\geq 80\%$  de Mn) y Mn/Fe=6 (para una aleación  $\sim 70\%$  de Mn).

El análisis del mineral de pirolusita de Margarita de Cambute, cuya composición aparece en la Tabla 1, frente a los requisitos antes, señalados nos permite preestablecer que este puede ser sometido al procesamiento minerotérmico en horno de arco con crisol de grafito para su reducción.

Según sus características químicas este mineral responde a la clasificación de químico-metalúrgico. Desde el punto de vista mineralógico está compuesto, fundamentalmente, por pirolusita ( $MnO_2$ ), psilomelano ( $MnO, BaO, CaO, MgO, MnO_2 \cdot nH_2O$ ) en menor medida y la hematita ( $Fe_2O_3$ ) y magnetita ( $Fe_3O_4$ ) como especies acompañantes (Borges 1996).

Todos los óxidos del mineral no serán reducidos en un mismo grado; cada reacción, de acuerdo con las propiedades termodinámicas, tendrá un nivel de ocurrencia (Gordo, 1998). En la Tabla 2 se refleja el reparto de materiales, en por ciento del total de entrada.

Para la realización de los cálculos se ha tomado 1kg de mineral, atendiendo a lo cual se lleva a composición másica cada uno de sus componentes.

#### 2. Composición de la aleación

Como se puede ver en la Tabla 2 la cantidad de Mn, Fe y P que pasa a la aleación depende de las pecu-

**TABLA 1. Composición química del mineral de piro-lusita de Margarita de Cambute.**

MnO (Mn)	SiO <sub>2</sub>	Fe	CaO	P
76,86 (51,18)	8,60	1,17	2,00	0,11

Propiedades químico físicas de cada uno de los componentes. En el caso del Si, C y Fe sus contenidos en la aleación serán de 2, 7 y 12 % respectivamente (Emlin 1978), es decir el 21% del producto metálico corresponderá a estos elementos y el 79% al Mn y P (Tamura 1990).

De todas estas consideraciones se obtiene una masa de metal de 0,5516 kg, con la composición reflejada en la Tabla 3 La aleación obtenida se corresponde con marcas de ferroaleaciones de alto carbono y sus contenidos en fósforo y silicio están en los rangos permisibles (Gómez-Pinilla 1998) diferenciándose de estas por su fácil trituración y molienda, lo que implica un ahorro energético considerable.

teniendo en cuenta lo reflejado en las Tablas 1,2,3 y las ecuaciones específicas para cada óxido. Los resultados del cálculo de la cantidad de C, así como el proceso de reducción que se verifica se exponen en la Tabla 4.

Además de su función reductora y energética el coque interviene en la formación de los carburos. Como hemos planteado (ver Tabla 3) en la aleación hay 0,0386 kg. de carbono, en forma de carburos de Mn y Fe fundamentalmente.

La cantidad de carbono total necesaria al proceso es de 0,27806 kg. El coque a añadir contiene 87 % de carbono fijo, lo cual implica que sea necesario añadir 0,3196 kg para efectuar la reducción de 1kg de este mineral.

De este modo la carga queda establecida de la siguiente forma:

- Mineral de Mn (51,18%Mn) 1 Kg.
- Coque Metalúrgico (87%) 0,3196 Kg.
- Viruta de acero 0,1046 Kg.

**TABLA 2. Reparto de materiales del proceso de obtención de aleaciones al manganeso.**

Material	Contenido, % y forma en que pasa					
	A la aleación		A la escoria		A los gases	
	%	Elemento	%	Oxido	%	vapores
MnO <sub>2</sub>	80	Mn	10	MnO	10	Mn
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95	Fe	5	FeO	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	68	P	32	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-
CaO	-	-	100	CaO	-	-

**Tabla 3. Composición de la aleación obtenida por cálculos.**

Elemento	Mn	C	Fe	Si	P	S
Masa, Kg	0.435	0.0386	0.0662	0.011	0.0008	0.5516
Contenido, %	78.86	7.0	12.0	2.0	0.14	100.0

**3.Cantidad de viruta**

De la reducción del Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contenido en el mineral, frente al carbono sólido del coque y lo planteado en las Tablas 1 y 2, a la aleación pasan 0,012 kg. de Fe, mientras que en la aleación (Tabla 3) hay 0,0662 kg. Para suplir esta diferencia se hace necesario añadir 0,0577 kg. de viruta de acero con un contenido de Fe de ~94%.

**4. Cantidad de reductor**

El carbono estequiométrico necesario para la reducción de cada uno de los óxidos se ha determinado

**Formación de la escoria**

A la escoria pasan aquellos óxidos de la ganga que no se redujeron o que lo hicieron parcialmente. En dependencia de la composición la escoria tendrá determinadas características que le permitirán cumplir sus funciones. En nuestro caso dado los valores de SiO<sub>2</sub>, MnO y CaO contenidos en la ganga la escoria será ácida con un valor de basicidad calculado según Potapov B=0.45 (Potapov 1989) y estará caracterizada por un amplio intervalo de cristalización a causa de los altos valores de sílice con sus eutécticos correspondientes.

**TABLA 4.** Cantidad de carbono necesario para la reducción del mineral y reacciones de reducción.

Componente que se reduce	Proceso que ocurre	Cantidad de carbono, kg
MnO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub> + C = Mn	0.1898 (a la aleación) 0.0237 (a los gases)
	MnO <sub>2</sub> + C = MnO	0.01186
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + C = Fe	0.00386
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + C = FeO	0.00007
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + C = P	0.00077
SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> + C = Si	0.0094

Para determinar la composición de la escoria fueron consideradas las Tablas 1, 2 y 3 así como las ecuaciones específicas. La composición de la escoria (0,1694 kg) obtenida de la reducción de 1kg de mineral se muestra en la Tabla 5.

En la Tabla 5 se aprecia que la escoria está mayoritariamente compuesta por el sistema de óxidos MnO-SiO<sub>2</sub>-CaO, que constituye el sistema ternario básico para el análisis de los fundentes de alta sílice y alto

carbono de componentes a la carga para el ajuste de la escoria fueron realizadas sobre la base de la composición de fundentes del tipo AH-348 (Podgayeskii 1988).

Los componentes de carga con granulometría entre 1.6 y 2.5 mm fueron mezclados en un tambor giratorio por espacio de media hora y sometidos a un proceso de fusión reductora en un horno de arco eléctrico con crisol de grafito acoplado a una fuente modelo MANSFELD de corriente continua. Durante toda la

**TABLA 5.** Composición de la escoria obtenida por cálculo en el proceso de reducción del mineral.

Elemento	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ
Masa, kg	0.0726	0.0702	0.0224	0.00084	0.0009	0.1694
Cont., %	43.49	42.05	13.42	0.5	0.54	100.0

manganeso (Potapov 1989; Podgayeskii 1988). La relación del sistema llevado a sus óxidos mayoritarios es la siguiente: SiO<sub>2</sub>: MnO: CaO = 1: 0.788: 0,251. Si comparamos la composición de esta escoria con la de fundentes de alta sílice y alto manganeso apreciamos que su composición puede ser ajustada con simples adiciones de minerales contentivos en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO y CaF<sub>2</sub>. Estas adiciones pueden ser contempladas en la carga inicial al horno lo cual asegura la obtención simultánea de la aleación y una escoria con la composición matricial de un fundente para la soldadura por arco sumergido.

#### Corrida experimental

Con el propósito de corroborar el análisis y los cálculos realizados se conforma una carga con los contenidos de pirolusita, coque y viruta de acero reflejados más arriba, pero con la adición de 0.056 kg de dolomita (20.84% MgO, 30.36% CaO), 0.0315 kg de caolín (36.98% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y 0.012 kg de fluorita. ( 97% CaF<sub>2</sub>). Estas adi-

marcha del proceso los valores de corriente y tensión oscilaron alrededor de 700 A y 40 V respectivamente. La estabilidad del arco fue buena, este se mantuvo sumergido lo cual reduce considerablemente las pérdidas de manganeso a los gases. La colada se realizó en un tiempo de 15 minutos y concluyó con el vertido de la masa fundida (ferromanganeso + escoria) en una piscina con agua (el volumen de agua fue 50 veces el de la masa fundida) lográndose así, a causa del choque térmico, una aleación con tamaño promedio de fracción de 8 mm y altamente frágil, lo que asegura su fácil molienda para su empleo como componente de materiales para soldar. La composición de dicha aleación aparece en la Tabla 6. La escoria se obtuvo de forma granulada, con color pardo y una apariencia vítrea porosa de fácil trituración. La composición de esta última se refleja en la Tabla 7. El consumo total de energía para el tiempo de colada fue de 7 kW-h. Los productos del proceso (ferromanganeso + escoria)

fueron secados en una estufa a 120° C por espacio de 2 horas y separados mecánicamente por un tamiz de malla de 2 mm.

Como se aprecia en las Tablas 3 y 6 la aleación obtenida difiere poco en su composición de la prevista según cálculos. Los valores de Mn, C, Si y P están en el rango de ferromanganeso de alto carbono (Tamura, 1990). En el caso

res de coeficiente de dilatación lineal de estos componentes hacen que la capa de escoria presente poca adherencia al metal. Sobre esto también influye la acción positiva del  $\text{CaF}_2$  sobre la fluidez de la escoria de soldadura y en consecuencia sobre los fenómenos de interacción en la interfase. Este último aspecto vincula-

**TABLA 6.** Composición del ferromanganeso obtenido en el proceso

Elemento	Mn	C	Si	Fe	P
Contenido, %	76.3	6.85	1.12	12.32	0.26

**TABLA 7.** Composición de la escoria obtenida en el proceso.

Componente	$\text{SiO}_2$	MnO	CaO	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaF}_2$	FeO	$\text{P}_2\text{O}_5$
Contenido,%	37.5	30.23	16.94	5.01	5.00	5.02	0.36	0.39

específico del contenido de manganeso se logra un 96.75 % con respecto al contenido teórico posible en la aleación.

La escoria obtenida en la experiencia (Tabla 7) difiere en su composición de la reflejada en la Tabla 5 (obtenida según cálculos de reducción). Lo anterior se debe, fundamentalmente, a la adición de correctores de escoria en la carga como se ha señalado. De acuerdo a su basicidad ( $B=0.97$ ) la escoria es prácticamente neutra. Esta presenta los contenidos de sus componentes en el rango previsto para los fines propuestos sin que ello halla alterado significativamente la marcha del proceso reductor.

Con la escoria obtenida se conformó una matriz con la adición a esta de un 30% de silicato de sodio de la masa seca. La mezcla fue aglomerada en una peletizadora de plato giratorio obteniéndose una granulometría de 0.25- 2.5 mm. La matriz obtenida fue calcinada en una estufa a 300 °C durante dos horas.

Se realizó una prueba tecnológica del comportamiento de la matriz durante el proceso en una máquina de soldadura automática bajo arco sumergido con un régimen de 340 A, 30 V y 20 m/h. En esta prueba se apreció las excelentes características de la matriz puesto que la estabilidad del arco, el desprendimiento de la capa de escoria, la presencia de humos y gases y la apariencia del cordón de soldadura resultaron equivalentes en un análisis comparativo a las del fundente AH-348.

La buena estabilidad del arco está motivada por la presencia de elementos de bajo potencial de ionización (basicamente el calcio). El desprendimiento de la escoria del cordón de soldadura está favorecido por la presencia de CaO, MgO, MnO,  $\text{CaF}_2$ , puesto que los valo-

do a la estabilidad contribuye a la formación de un cordón uniforme.

Otras propiedades como son la presencia de humos y llamas están relacionadas con las características propias de una matriz fundida que presenta compuestos de cierta estabilidad. El hecho de que la matriz sea conformada sobre la base de una escoria que obviamente ha sufrido un proceso de fusión garantiza que los procesos de descomposición sean menos apreciables.

## CONCLUSIONES

- Mediante la reducción carbotérmica del mineral de Margarita de Cambute se obtiene ferromanganeso de alto carbono (6.85%C, 76.3%Mn) con una alta fragilidad producto de su vertido en agua adecuado para su empleo como carga aleante en materiales para la soldadura y el recargue.
- Los componentes de la escoria obtenida se encuentran en la relación  $\text{MnO}:\text{SiO}_2:\text{CaO}=0.816:1:0.457$ , la cual se enmarca en la composición matricial clásica de un fundente para la soldadura o recargue bajo arco sumergido.
- La diferencia en la granulometría de los productos de la reducción (ferromanganeso y escoria) posibilita su separación mecánica por tamizado con un tamiz de malla de 2 mm.
- La matriz obtenida a partir de escoria del proceso de obtención de ferromanganeso de alto carbono nos permite conformar un fundente con buenas propiedades tecnológicas para la soldadura bajo arco sumergido.

## BIBLIOGRAFIA

- BORGES M: Informe Técnico, Empresa Geologominera del Cobre, Stgo. de Cuba, 1996.
- EMLIN B.I. y M. I.GACIK: *Manual de procesos electrotérmicos*, Editorial Metalurgia, Moscú, 1978.
- GÓMEZ C. R.: "Obtención de fundente fundido para la S.A.W. a partir de rocas cubanas", Tesis Doctoral, Universidad Central, Santa Clara, 1995.
- GÓMEZ-PINILLA, I.: "Problemática de las pirolusitas de Imini en la fabricación de ferromanganeso para aplicaciones metalúrgicas", Revista *Metalurgia*, 34(5) 1998 pp. 390-394.
- GORDO, E.: Obtención de carburos de tantalio y niobio por reducción carbotérmica del mineral Columbotantarita, Revista *Metalurgia*, 34(5) 1998, pp. 395-399.
- GIMÉNEZ, G.: "Fusión reductora de dos menas oxidadas de manganeso", Revista *Metalurgia*, 28(2), 1992, pp. 111-118.
- PERDOMO L.: "Estudio del proceso Metalúrgico Reductivo de cromitas para obtener componentes destinados a la elaboración de fundentes empleados en la SAAS," Tesis de Maestría, Universidad Central, Santa Clara, 1997.
- PODGAYESKII, V.V. y V.G. KUSMIENKO: *Escorias de soldadura*, Editorial Naukova Duma, Kiev, 1988.
- POLENCHUK P.G., LAZARIEV G.A. y otros: "Utilización de residuos minerales y gases de la producción de ferroaleaciones, en la Fabrica de Nikopol, con el fin de un aprovechamiento racional de los recursos y energía y la disminución de emanaciones contaminantes", en *Metalurgia del manganeso*, Academia de Ciencias de la URSS, 1991.
- POTAPOV N.N.: *Gases protectores y fundentes de soldadura*, Machinostroenie, Moscú, 1989.
- TAMURA Y. T.: Aleaciones especiales de la Compañía Nippon Dzwkagakukoguio, *Spec. Stel* (11), 1990, pp. 54-55.