

Instalación experimental para la obtención de polvos de aluminio

Lázaro Humberto Suárez Lisca

Correo electrónico: lazarosl@uclv.edu.cu

Carlos René Gómez Pérez

Correo electrónico: crene@uclv.edu.cu

Lázaro Pino Rivero

Correo electrónico: lazaropr@uclv.edu.cu

Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba

Resumen

El trabajo aborda el tema de la instrumentación necesaria para la obtención de polvos metálicos mediante la combinación del choque térmico y el impacto mecánico entre el líquido y otro fluido. Se hace una breve valoración sobre los métodos existentes para la obtención de polvos de aluminio, se elabora una metodología de cálculo para el diseño y dimensionamiento de una torre de atomización, la cual será utilizada para obtener diámetros de partículas desde 100 hasta 300 μm , en una atmósfera de argón, en un proceso discontinuo y para fines experimentales. En la torre de atomización diseñada el metal líquido es fragmentado por la acción de un flujo de gas a presión suministrado desde un soplador hasta las boquillas de atomización; el metal líquido entra a la cámara de granulación impulsado por un pistón. Se determina el costo total de la instalación y se exponen los aspectos generales sobre la operación y mantenimiento de la instalación.

Palabras clave: pulvimetalurgia, aluminio en polvo, atomización

Recibido: 4 de octubre del 2010

Aprobado: 28 de abril del 2011

INTRODUCCIÓN

La producción de polvos metálicos se realiza por diversos métodos. Los más conocidos se dividen en atomización (con gas, agua y otras técnicas), por reacción química (descomposición de óxidos), electrodeposición y métodos mecánicos (molienda y aleación mecánica). La elección del método de producción depende de la pureza, morfología, composición y costo de la operación. Los tamaños de partícula que pueden ser obtenidos oscilan entre 0,1 μm y 1000 μm . Las materias primas metálicas suelen ser metales y aleaciones a granel, menas, sales u otros compuestos. [1,2]

La atomización utiliza como material de partida metales o aleaciones fundidas (acero inoxidable, latón, bronce, otras aleaciones, Al, Sr, Fe, Zn) y tiene la ventaja de ser considerado el mejor método para producir polvos aleados. El método de atomización es aplicable en metales y aleaciones con temperatura de fusión inferior a 3 000 °C y el costo de producción de polvos metálicos por esta vía es valorado de bajo a medio. [3,4]

En los casos consultados en la literatura de diseños de instalaciones para el proceso de producción de polvos metálicos por atomización [5 - 7] se hace referencia a instalaciones de gran porte, para grandes volúmenes de producción y una forma de obtención continua. Sin embargo, para el caso en que, los parámetros de trabajo sean con un bajo nivel de producción y en régimen discontinuo, propio de investigaciones a escala de laboratorio, la literatura especializada consultada no ofrece datos de adecuaciones de los procedimientos industriales desarrollados a las exigencias antes expuestas.

El objetivo general del presente trabajo es diseñar una torre para la obtención de polvos (con dimensiones entre 100 y 300 μm) de aluminio, a escala experimental, con una cámara de granulación en atmósfera de argón, usando inyección del metal fundido con un pistón; El principal aporte del trabajo se presenta en la obtención de un nuevo procedimiento para el diseño de una instalación experimental para la producción de polvos de aluminio a partir de la utilización de materiales

recicladados como materia prima fundamental. En la tabla 1 son especificados los parámetros de trabajo para la atomización del aluminio empleado como materia prima.

A partir del estudio documental desarrollado sobre los métodos de obtención de polvos, se concluye que la vía más adecuada para obtener polvo de aluminio de 100 μm de tamaño medio de partícula es la atomización en atmósfera de argón y la utilización de un impulso adicional, con la ayuda de un pistón, para la entrada del metal líquido al sistema es una variante al diseño de estas instalaciones para la obtención de polvos metálicos mediante la atomización.

Tabla 1 Parámetros de trabajo para la atomización de aluminio reciclado	
Temperatura del metal	800 °C
Diámetro del chorro de metal líquido	5 mm
Ángulo de incidencia	10°
Presión del gas	9 MPa
Flujo del gas	0,04 m ³ /s
Gasto de metal	2,88 kg/min
Gasto del gas	33 kg/min

DESARROLLO

Cálculo de la cámara de granulación

Para la determinación de los parámetros principales de la instalación se aplican las consideraciones de Gómez [8] identificadas fundamentalmente desde la ecuación 1 hasta la ecuación 16. Los parámetros principales se muestra en la tabla 2.

Velocidad crítica o inicial:

$$v_{cr} = \sqrt{\frac{8 \cdot \sigma_1}{C_f \cdot \rho_g \cdot d_{cr}}} \quad (1)$$

Tiempo de deformación de la gota hasta el estado crítico:

$$t_d = 1,65 \cdot \frac{d_{cr}}{d_{cr}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_g}} \quad (2)$$

Longitud de la zona de fragmentación.

$$L = v_{cr} \cdot t_d - \frac{1}{A} \cdot \ln(A \cdot v_{cr} \cdot t_d + 1) \quad (3)$$

$$A = \frac{3}{4} \cdot \frac{C_f \cdot \delta_g \cdot g}{\delta_1 \cdot d_{cr}} \quad (4)$$

Temperatura de la partícula al final de la zona de fragmentación.

$$T_p = T_g + (T_l - T_g) \cdot e^{-\frac{6 \cdot \alpha \cdot t_d}{\delta_1 \cdot c \cdot d_{cr}}} \quad (5)$$

$$\alpha = 0,62 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot R_e^{0,5} \quad (6)$$

$$R_e = \frac{d_{cr} \cdot v_{cr} \cdot \rho_g}{\mu_g} \quad (7)$$

Velocidad de la gota al final de la zona de fragmentación.

$$v_p = v_{cr} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot C_f \cdot \rho_g \cdot L}{2 \cdot \delta_1 \cdot d_{cr}}} \quad (8)$$

Velocidad de la corriente de gas en el punto analizado (x), (se mide desde la salida de la boquilla)

$$v_g = v_{cr} \cdot \frac{0,96 \cdot R_0}{a \cdot x + 0,29 \cdot R_0} \quad (9)$$

Tiempo en que la partícula se enfría hasta la temperatura t_s

$$t_s = d_{cr} \cdot \frac{c \cdot r_l}{6 \cdot \alpha} \cdot L_n \left(\frac{T_l - T_g}{T_{sl} - T_g} \right) \quad (10)$$

Tiempo (t_r) en que la partícula se enfría hasta la temperatura de recolección (T_r).

$$t_r = d_{cr} \cdot \frac{c \cdot \rho_l}{6 \cdot \alpha} \cdot L_n \left(\frac{T_l - T_g}{T_r - T_g} \right) \quad (11)$$

Longitud del recorrido de la gota hasta alcanzar la temperatura a la que se solidifica completamente (L_s) y longitud del recorrido hasta alcanzar la temperatura de recolección (L_r).

$$v_s = v_p + g \cdot t_s \quad (12)$$

$$v_r = v_p + g \cdot t_r \quad (13)$$

$$L_s = V_p \cdot t_s - \frac{1}{A} \cdot L_n (A \cdot V_p \cdot t_s + 1) \quad (14)$$

$$L_r = V_r \cdot t_r - \frac{1}{A} \cdot L_n (A \cdot V_r \cdot t_r + 1) \quad (15)$$

Longitud de la cámara de recolección

$$L = L_s + b \quad (16)$$

Los datos a utilizar se representan en la tabla 2.

RESULTADOS OBTENIDOS

Con los datos (tabla 2) y las ecuaciones anteriores se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 3:

Tabla 3 Resultados de los cálculos para el dimensionado de la cámara de granulación	
Velocidad crítica o inicial	62,39 m/s
Tiempo de formación de la gota	$9,65 \cdot 10^{-5}$ s
Longitud de la zona de fragmentación	0,000 823 m
Tiempo en que la partícula se enfría hasta t_{sl}	0,11 s
Altura total de la cámara de recolección	1,07 m

Tabla 2 Datos del material y del gas			
Datos del aluminio	Denominación	Valor	Unidad
Densidad	ρ_l	2 357	kg/m ³
Conductividad térmica		2,37	W · cm ⁻¹ · K ⁻¹
Tensión superficial	σ_l	0,086 8	kg/s ²
Calor de fusión		397	J · g ⁻¹
Capacidad térmica	c	900	W · s · kg ⁻¹ · K ⁻¹
Punto de fusión	T_f	933,5	K
Temperatura de solidificación del líquido	T_{sl}	933,5	K
Datos del argón			
Densidad	ρ_g	1,784	kg/m ³
Termoconductividad	λ	0,017 72	W · m ⁻¹ · K ⁻¹
Viscosidad	μ_g	2,017 72	kg · m ⁻¹ · s ⁻¹
Otros datos			
Diámetro de la gota	d_{cr}	1,00E-04	m
Coeficiente de resistencia frontal	C_f	1	
Radio de la tobera	R_o	0,001	m
Diámetro del conducto del líquido	d	0,005	m
Coeficiente que depende del grado de turbulencia del chorro	a	1	
Aceleración de la gravedad	g	9,81	m/s ²
Temperatura del gas	T_g	303	K
Temperatura del líquido	T_l	1 033,5	K
Distancia para el análisis de la velocidad de la corriente de gas	x	0,15	m
Temperatura de recolección de la partícula	T_r	50	° C
Coeficiente de seguridad para garantizar el enfriamiento necesario de la partícula	b	0,5	m

Los resultados obtenidos son satisfactorios: la altura de la cámara asegura que pueda ser usada en un laboratorio.

Determinación del diámetro de la torre

Para la determinación de los diámetros de la torre se parte del desplazamiento máximo de la partícula en el plano perpendicular a la dirección de la caída (figura 1).

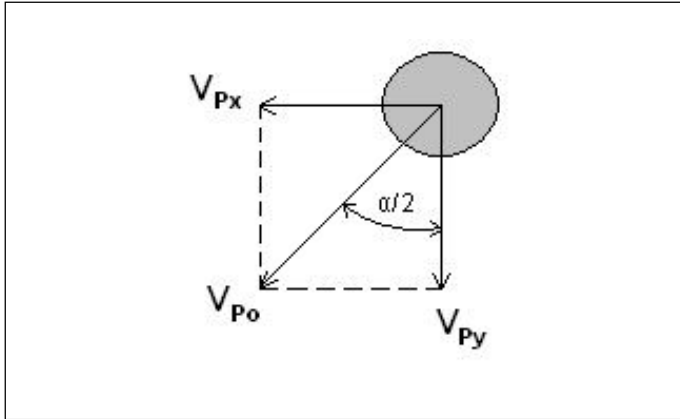


Fig. 1. Esquema de descomposición de la velocidad crítica de la partícula en la zona de fragmentación.

Conociendo que el diámetro es dos veces el radio (dos veces el camino recorrido)

$$d_s = 2 \cdot V_{px} \cdot t_s \quad (17)$$

donde:

V_{px} : Velocidad de la partícula en el eje x.

t_s : Tiempo de solidificación de la partícula.

$$d_s \geq 2 \cdot 2,27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0,11 \text{ s.}$$

$$d_s \geq 0,5 \text{ m.}$$

donde d_s representa el diámetro de solidificación, diámetro mínimo; $d_c = 0,65 \text{ m}$ que debe tener la torre en el punto en que la partícula alcanza la temperatura de solidificación

Diseño del sistema de impulsión del líquido fundido

El sistema de impulsión del metal líquido, se concibe formado por un cilindro hidráulico, que será el encargado de introducir el líquido con una presión determinada al interior de la cámara de granulación.

El sistema de impulsión está formado por un pistón, una bomba hidráulica y un sistema de control.

Para obtener una velocidad crítica (v_c) de salida del aluminio fundido, necesaria para la obtención de partículas de diámetro medio (d_m) entre 100 y 300 μm es necesario fijar uno de los dos parámetros esenciales de diseño: el diámetro de salida del chorro o la presión a suministrar. Acorde con Neikon [9] y Hopkins, [10] se recomienda emplear un diámetro de salida del chorro de aluminio fundido entre 5 y 10 mm. En el caso de los cálculos se emplea un diámetro de 5 mm. [11]

Para calcular la presión necesaria primero se necesita saber el caudal necesario para la velocidad calculada (v_{cr}):

$$Q = \rho \cdot A \cdot V_{cr} \quad (18)$$

donde:

Q : Caudal de líquido (kg/s).

ρ : Densidad del líquido (kg/m³).

A : Área de la sección transversal del orificio de salida del líquido (m²).

$$Q = 2,88 \text{ kg/s}$$

Se necesita además saber cuál es la altura que ocupará el líquido dentro de la cavidad:

$$v = \frac{\rho \cdot d^2}{4} \cdot h \quad (19)$$

donde:

V : Volumen de líquido (m³).

d : Diámetro de la cavidad del pistón (m).

h : Altura que ocupa el líquido dentro de la cavidad (m).

Para calcular el volumen:

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (20)$$

donde:

m : Masa del líquido (kg).

Sustituyendo para calcular h :

$$h = 0,48 \text{ m}$$

$$h = \frac{v \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \quad (21)$$

$$h_{roz} = k_T \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (22)$$

donde:

h_{roz} : Pérdidas por rozamiento del pistón en su recorrido.

$$h_{roz} = (0,1 \cdot 62,392) / (2 \cdot 9,81) = 19,8 \text{ m}$$

$$H_1 = H_2 + \sum h_{1-2} \quad (23)$$

donde:

H_1 : Energía en el punto uno (salida del equipo encargado de suministrar el gas para la atomización del metal líquido).

H_2 : Energía en el punto dos (salida del aire por la boquilla).

Σh_{1-2} : Sumatoria de las pérdidas por caída de presión desde el punto uno hasta el dos.

$$H_1 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 \quad (24)$$

$$H_2 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \quad (25)$$

donde:

P_1, P_2 : Presiones del gas en el punto uno y dos respectivamente (MPa).

V_1, V_2 : Velocidades del gas en el punto uno y dos respectivamente (m/s).

Z_1, Z_2 : Alturas del punto uno y dos respectivamente (m).

ρ : Densidad del metal líquido (2 357 kg/m³).

g : Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

Sustituyendo las ecuaciones 24 y 25 en la ecuación 23:

$$P_1 = \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 - \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - Z_1 \right) \cdot \rho + \Sigma h_{1-2} \quad (26)$$

Si se considera P_2 = presión atmosférica y Z_1 (se toma como referencia), entonces $P_2/\rho = 0$

Después de sustituir: $P_1 = 5,84$ Mpa y a partir de este resultado se puede establecer cuál es el equipamiento necesario para manipular el pistón.

Diseño del sistema de alimentación y mantenimiento del gas protector

El sistema de alimentación de los gases para la atomización (figura 2), estará compuesto por un banco de botellones (1) para el argón, una línea de transmisión (2) hacia los atomizadores, que contará con un manómetro (3) para el control de la presión y una válvula (4), para regular el flujo del gas, una bomba para gases (5) y el tanque de recirculación (6), el cual será el encargado de mantener el sistema cerrado, posibilitando inyectar argón nuevamente evitando su emanación al medio ambiente y potenciando la reducción de los costes de operación del sistema.

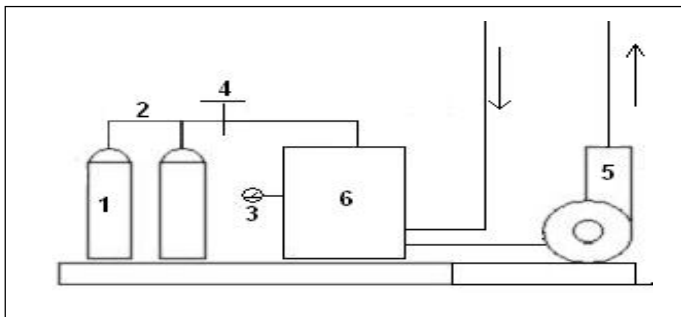


Fig. 2. Sistema de alimentación y recolección del gas.

A partir de los flujos necesarios se puede calcular el tipo de bomba adecuada, el volumen del tanque de recirculación, el diámetro de la tubería y otros accesorios necesarios.

Cálculo de los parámetros para la selección de los equipos de impulsión del gas

Caída de presión y velocidad por la tubería de circulación del gas necesario para atomizar el metal líquido en la cámara:

$$H_1 = H_2 + \Sigma h_{1-2}$$

$$P_1 = \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + Z_2 \right) \cdot \rho + \Sigma h_{1-2} \quad (27)$$

ρ : densidad del gas (1,784 kg/m³)

$$\Sigma h_{1-2} = 2 \cdot h_{\text{codo}} + h_{\text{tubería}} + h_{\text{válvula}} \quad (28)$$

donde:

h_{codo} : Pérdidas por caída de presión del codo (MPa).

$h_{\text{tubería}}$: Pérdidas por caída de presión en la tubería (MPa).

$h_{\text{válvula}}$: Pérdidas por caída de presión en la válvula (MPa).

Según la literatura especializada [12]:

$h_{\text{codo}}: 4 \cdot 10^{-3}$ MPa

$h_{\text{tubería}}: 5 \cdot 10^{-3}$ MPa

$h_{\text{válvula}}: 4 \cdot 10^{-3}$ MPa

$\Sigma h_{1-2} = 17 \cdot 10^{-3}$ MPa

Si se sabe que el diámetro de la tubería es $d = 0,04$ m se puede calcular la velocidad en el punto 1:

$$V_1 = 1,128^2 \cdot \frac{G}{d^2} \quad (29)$$

donde:

$v_1 = 40$ m · s⁻¹

$v_2 = v_{cr} = 62,39$ m · s⁻¹

Sustituyendo en ecuación 26:

$$P_1 = 0,229 \text{ MPa}$$

Cálculo de la potencia a instalar:

Los cálculos fueron realizados según Naida y Stepanchuk. [13]:

$$N_{\text{inst}} = \frac{P \cdot Q}{\eta_{ST} \cdot \eta_{TR}} \cdot m \quad (30)$$

donde:

N_{inst} : Potencia a instalar (kW).

P : Caída de presión (MPa).
 Q : Flujo requerido ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).
 η_{ST} : Rendimiento estático (0,7).
 η_{TR} : Rendimiento de la transmisión (0,92).
 m : factor de seguridad (1,15).
 $N_{inst} = 0,16 \text{ kW}$.

Para los parámetros obtenidos se selecciona el siguiente equipamiento:

Soplador rotatorio tipo ERBM 65 mm.

Motor eléctrico HELMKE (trifásico 60 Hz; 220 V; 0,55 kW y 1700 rpm).

Cálculo del tanque de recirculación

Las dimensiones del tanque de recirculación están en función de los parámetros de soplado con los que se trabaje. Después de hacer los cálculos necesarios el tanque queda con las medidas que se muestran en la figura 3.

Diseño del sistema de recolección

El sistema de recolección utiliza la propia velocidad de la partícula; esta caerá por un conducto, hasta una recolección final y posterior empaque. En la figura 4 se muestra la forma de dicho conducto. El sistema está formado por un primer tamiz (1) para recoger partículas mayores a las requeridas, un segundo tamiz (2) y una válvula (3) para que la recogida del polvo metálico se produzca posterior a la total salida del gas de la cámara. Para lograr la limpieza y mantenimiento de este sistema su unión a la cámara de recolección será por tornillos.

Diseño general de la instalación

Una vez realizados los cálculos de la instalación propuesta para la producción de polvos metálicos, se presenta en la figura 5 un esquema general de la instalación para describir los aspectos principales del proceso.

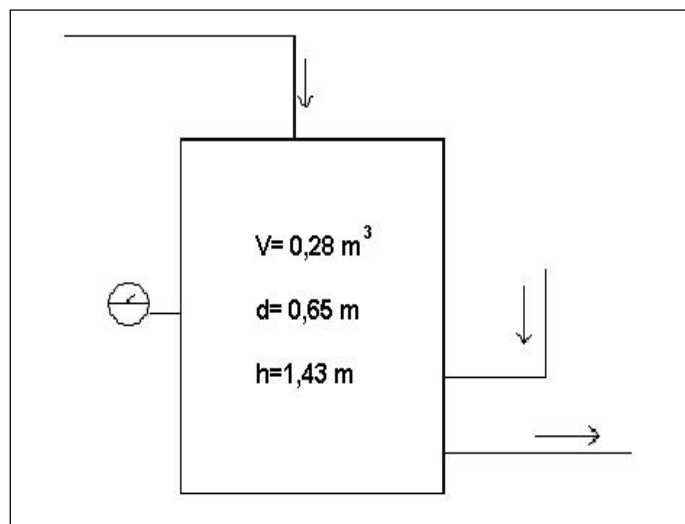


Fig. 3. Tanque de recirculación de gas.

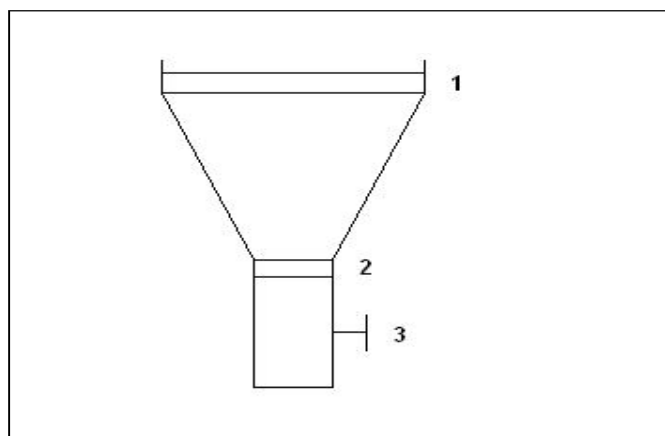


Fig. 4. Sistema de recolección.

El proceso se inicia con el vertimiento del metal líquido en el conducto para ese fin (1), inmediatamente se procede a comprimir este metal mediante un pistón (2) el cual será manipulado con una bomba hidráulica (11), para hacerlo pasar al interior de la cámara de granulación (3) a través de un pequeño orificio (4), el sistema alimentador del gas (5) que sirve como energía para la atomización está formado por un banco de botellones de gas, un tanque para la recirculación del mismo (7), una bomba impulsora (8), un manómetro para el control de la presión dentro del tanque (9) y una válvula para comunicar los botellones con el tanque de recirculación (10), se hace funcionar casi al unísono del vertimiento del líquido para que no exista una cantidad de material que fluya antes del chorro de gas y así no sea atomizado.

La operación de producción de polvos es discontinua, o sea, solo se produce un vertimiento y una compresión, por tal motivo la recolección se realiza de una vez sin necesidad de una cavidad para un almacenamiento previo, la salida del polvo se produce por un conducto diseñado al efecto (12), el cual consta de una válvula para impedir su salida (14), hacia una bolsa recolectora; la presión dentro de la cámara será controlada por un manómetro (13).

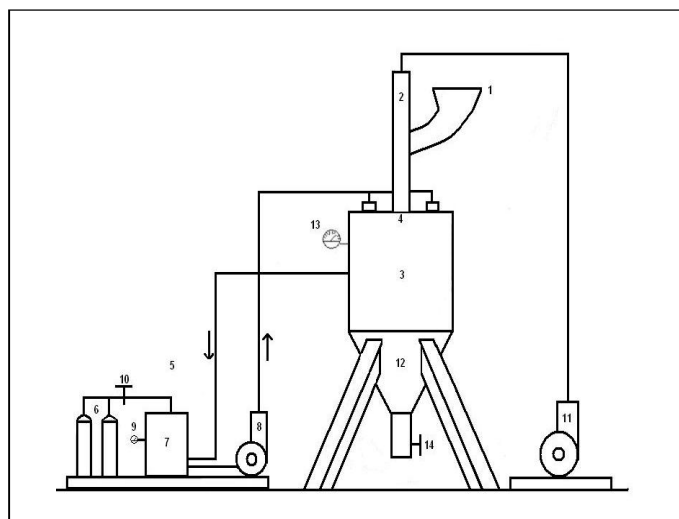


Fig. 5. Esquema general de la instalación para la obtención de aluminio en polvo.

CONCLUSIONES

A partir de los cálculos realizados se puede concluir expresando que las ecuaciones propuestas para el diseño de cámaras de granulación se pueden utilizar en el diseño de instalaciones experimentales con procesos discontinuos. En el caso de la atomización de líquidos, como el aluminio, con una temperatura de fusión relativamente baja (inferior a 700 °C), caracterizados por una tensión superficial menor que 0,086 8 kg.s⁻² y rangos de temperatura de solidificación entre los 600 y 700 °C, con tamaños de partículas entre 100 y 300 µm de diámetro, y además con exigencias de que no deben tener contacto con el agua durante su proceso de obtención, pueden emplearse torres de atomización verticales como la propuesta en el trabajo.

REFERENCIAS

1. **TORRALBA, J. M. et al.** "Aluminio pulvimetalúrgico: desarrollo y mejora de sus aleaciones y materiales compuestos". *Revista de Metalurgia*. Mayo-Junio 2008, vol. 44, n° 3, pp. 206-215. ISSN 0034-8570.
2. Aluminium Powders and Flakes Report: Trends and Prospects in International Trade. M2PressWIRE, 2009, Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nfh&AN=16PU3782574064&site=ehost-live>
3. **WILLIAMS, B.** "Powder metallurgy - a global market review". *International Powder Metallurgy Directory*. 2009, vol. 13, pp. 5-14.
4. **MORAL GIL, C.** "Aceros inoxidables pulvimetalúrgicos obtenidos por mezclas de polvos atomizados en agua y en gas para aplicaciones a alta temperatura". Tesis Doctoral, Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Universidad Carlos III de Madrid., Madrid. 2008. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/5082>.
5. **AURAN, L. et al.** *Aparato para producir polvo metálico*, Editado por: B22F 9/08/1989, vol. 0 325 676.
6. **PROBST, R. L.** *Atomizing Nozzle*. Editado por Patent, U.S. 4 253 783, 1964
7. **SIGURD JÖNSSON, A. et al.** *A. Method for the manufacture of powders from molten materials*. Editado por: 9/06, B. F. Alemania: 30/01/1990, vol. 4,897,111,
8. **GÓMEZ FALCÓN, F.** *Torre neumática para la granulación de escoria y fundentes*, Facultad Ingeniería Mecánica, UCLV, Cuba, 2002.
9. **NEIKOV, O. D. et al.** "Elevated temperature aluminium alloys produced by water atomization". *Materials Science and Engineering A*. 2008, pp. 80-85.
10. **HOPKINS, W. G.** "Hot gas atomization". En *European Congress and Exhibition on Powder Metallurgy*. 2001.pp.194-200.
11. **SUWARDJO, W. et al.** "Obtención de polvo de aluminio por atomización". *Metalurgia*. 1996, vol. 32, n° 6, pp. 391-396.
12. **CRANE.** "Tipos de válvulas y accesorios usados en sistemas de tuberías". *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill, 1992, pp. 24-30.
13. **NAIDA, Y. I. and STEPANCHUK, A. N.** "Industrial production of copper alloys powder using impact atomization method". *Powder metallurgy and metal ceramics*. 2006, vol. 1, pp. 112-117.

AUTORES

Lázaro Humberto Suárez Lisca

Ingeniero Mecánico, Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba

Carlos René Gómez Pérez

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Investigaciones de Soldadura (CIS), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba.

Lázaro Pino Rivero

Ingeniero Químico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara, Cuba

An Overview on the Installation of Obtaining Aluminum Powder

Abstract

This paper discusses the instrumentation required for obtaining metallic powder by combining the thermal and mechanical impact between the liquid and other fluid. A brief review of existing methods for the production of aluminum powder is made, and then a calculation methodology for the design and dimensioning of an atomization tower is elaborated, which will be used to obtain the diameter of particles ranging from 100 to 300 micrometer in an argon atmosphere of a discontinuous process. In the designed atomization tower the liquid metal is broken up by the action of a flow of pressurized gas supplied from a blower to spray nozzles, and then the liquid metal enters the granulation chamber impelled by a piston. The total cost of the installation is determined and the general aspects on how to operate and maintain the facility expounded.

Keywords: pulvimetallurgy, aluminum powders, atomizing