CONFORMADO DE UNA PIEZA DE ALUMINIO: MOLDEO EN ARENA VERDE, FUNDICIÓN Y COLADA

Víctor Chura Uruchi*

Resumen

El artículo presente, considera el conformado práctico de una pieza metálica de aluminio por moldeado en arena verde, fundido y colado del metal. Reproducción que permite considerar las propiedades físicas y mecánicas del metal para su cambio de forma, la recuperación total de las características del molde sobre la pieza metálica obtenida y la energética de fundición.

PALABRAS CLAVES: Moldeo en arena verde, propiedades de la arena, bentonita arcilla montmorillonita, colada, reproducción de piezas metálicas por moldeo, cambio de fase, intercambio de calor en horno de crisol, material refractario.

Abstract

This article considers the practical shaping of a metal part moulded aluminium green sand, melted and cast metal. Playback lets consider the physical and mechanical metal to change shape and energy of melting properties, the total recovery of the characteristics of the metallic mould piece obtained.

KEYWORDS: Green sand moulding, sand properties, bentonite clay montmorillonita, casting, reproduction metal parts by moulding, phase change heat exchange of furnace crucible, refractory material.

Resumo

Presente artigo considera a formação prática de uma peça de metal moldado em areia verde de alumínio, derretido e fundido metal. Reprodução permite considerar o metal físico e mecânico de mudar de forma e energia de propriedades de fusão, a recuperação total das características da peça de molde metálico obtido.

PALABRAS-CHAVE: Moldagem Verde areia, propriedades da areia, argila montmorillonita bentonita, lançando reprodução peças metálicas por moldagem, troca de calor fase, forno cadinho, material refratário.

Article history: Received 30 may 2014. Style revision 02 June 2014. Accepted 09 June 2014

INTRODUCCIÓN

La manufactura de piezas metálicas para usos industriales, bélicos, artísticos, decorativos, de consumo cotidiano, etc.; se pueden lograr a través del maquinado o de la fundición, de acuerdo con las características del objeto, precisión y exactitud que se pretende conseguir con la reproducción de la pieza.

En materia de reproducción por medio del maquinado, la precisión y exactitud se alcanza considerando principalmente en el diseño, la variable medida - por ejemplo: el torneado de una pieza metálica anillar con diámetro interno y externo definido -.

En el caso de la reproducción por medio del fundido, la precisión y/o exactitud además de la similitud del diseño con la pieza ha lograr, se obtiene a través del moldeado que permite replicar adecuadamente las características intrínsecas, de detalle y de uso del objeto en cuestión.

El artículo presente, considera el conformado práctico de una pieza metálica de aluminio por moldeado en arena verde, fundido y colado del metal. Reproducción que permite considerar las propiedades físicas y mecánicas del metal para su cambio de forma, la recuperación total de las características del molde sobre la pieza metálica obtenida y la energética de fundición.

DESARROLLO

El moldeado en arena y fundición de metales

El moldeo en arena es un procedimiento que desde sus orígenes está directamente relacionado con la evolución del hombre y su apropiación de técnicas metalúrgicas[1] para trabajar los metales y aleaciones.

Desde tiempos remotos se han usado moldes de arena para reproducir piezas metálicas. En el transcurso del tiempo el conformado por moldeo en arena como procedimiento mantiene invariantes las operaciones básicas, en consecuencia lo que si ha cambiado, es el entorno agregando maquinaría automática MCN, para simplificar e incrementar la velocidad de producción, reducir los costos y proporcionar cada vez mayor precisión y/o exactitud en las reproducciones.

Las etapas básicas que no cambian para el procedimiento de moldeado en arena son las siguientes:

1) Colocar un modelo que tiene la forma de la fundición deseada en la arena[2] para reproducir la impresión.
2) Incorporar un sistema de alimentación.
3) Retirar el molde y llenar la cavidad con metal fundido.
4) Esperar a que el metal se enfrié y solidifique.
5) Separar el molde de la arena y retirar la pieza fundida.

En la mayoría de las operaciones de fundición se utiliza arena como material para el molde, porque es accesible y adecuada para este propósito por su elevado punto de fusión.

El tamaño granular promedio para el moldeado está entre 0,1 y 0,3 mm. La arena de moldeo, debe cumplir determinadas normas de calidad a través de ensayos y pruebas periódicas. Varias de estas pruebas están propuestas para determinar las siguientes propiedades de la arena de moldeo:

Resistencia húmeda: Capacidad de la arena húmeda para formar aglutinaciones o adherirse manteniendo la forma del molde.

Resistencia seca: Resistencia de la arena para mantener la forma de la cavidad del molde cuando el metal toca las paredes de la cavidad y evapora el agua secando ese sector del molde de arena.

[1] Inicialmente practicadas de forma totalmente artesanal aplicando reglas que se transmitían de padres a hijos o de maestros a practicantes. A lo lago del siglo pasado, los procedimientos se fueron perfeccionando, dando lugar a la manufactura de una gran variedad de piezas artísticas, decorativas, industriales, automotrices, de consumo cotidiano, etc. .

[2] Es el resultado de la desintegración química (meteorización) y mecánica (abrasión) de las rocas ígneas y metamórficas, concentrando materia mineral heterogénea en estado granular fino que se acumula en las orillas del mar o de los ríos, regiones áridas, conformando depósitos superficiales que son parte de los suelos.
Dentro la clasificación granulométrica de las partículas del suelo, las arenas ocupan el tercer lugar: Arcillas (menor a $3,9 \times 10^{-3}$ mm). Limos ($3,9 \times 10^{-3}$ a $6,25 \times 10^{-2}$ mm). **Arenas** ($6,25 \times 10^{-2}$ a 2 mm). Gravas (2 a 64 mm). Cantos rodados (64 a 256 mm). Bloques (mayor a 256 mm). Fuente: Theodoris, M., 2003, mass of a grain of sand, The physics factbook.
El componente mayoritario es la sílice ($Si0_2$) normalmente en forma de **cuarzo** y entre los componentes menores y en proporción variables están las moscovitas silicatos complejos de aluminio **(mica)**, un grupo extenso de aluminosilicatos alcalinos y alcalinotérreos **(feldespatos)**, mineral de hierro **(magnetita)** y otros minerales resistentes.

Termoestabilidad: La resistencia en caliente y termoestabilidad son propiedades de la arena que permiten su estabilidad dimensional en un amplio rango de altas temperaturas.

Permeabilidad: Cuando el metal líquido a alta temperatura toca las paredes del molde húmedo, produce el cambio de estado formando vapor de agua, que es necesario dejar escapar a través de la estructura porosa del molde.

Comportamiento refractario: Es la capacidad de la arena para mantener sus propiedades dimensionales y su integridad. Es decir, que no se funde, ni deforma en presencia del metal a altas temperaturas.

Fluidez: Reacción de la arena al proceso de formación del molde y facilidad con la cual toma la forma deseada. La presión es un factor importante en el moldeado, porque una presión alta reduce la permeabilidad de la arena y aumenta la posibilidad de defectos por los gases atrapados dentro del molde.

Plasticidad: Capacidad de la arena extensible por inclusión de aglomerantes para ser fácilmente moldeable en estado húmedo y reproduzca los detalles de los modelos. En relación con la plasticidad, durante un proceso de deformación, el volumen de la arcilla permanece constante. Por el contrario el volumen de la arena cambia continuamente durante el mismo. Si se intenta deformar una masa de arena húmeda rápidamente, esta se desagrega (la arena es friable). Puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material que permite resistir deformaciones rápidas, sin cambiar de volumen y sin agrietarse ni desagregarse.

Los experimentos de Atterberg[3] demostraron que el cuarzo molido de tamaño menor de 2 micrones no presenta plasticidad en absoluto, mientras que la mica molida del mismo tamaño, presenta cierta plasticidad que se incrementa con el decrecimiento del tamaño de los granos. Este hecho muestra la influencia de las partículas escamosas en la plasticidad de las mezclas arena-arcillas.

Conductividad calorífica: Disipación adecuada del calor, para que el material fundido enfríe y solidifique en el molde a la velocidad correspondiente.

Deformabilidad: Suficiente, que permita la contracción de la pieza al enfriarse.

Humedad de las arenas: Una determinada humedad en la arena de moldeo, favorece y mejora la plasticidad de la mezcla arena-aglutinante (arcilla). Al Modificarse el contenido de humedad cambian las propiedades útiles de la arena.

Dependiendo de las características locales de las arenas de moldeo, las propiedades indicadas en los parágrafos se pueden mejorar, produciendo mezclas arena-arcilla.

Proceso de moldeo con arena verde

Posibilita la conformación de moldes aplicando mezclas de arena y bentonita[4] con una cantidad moderada de agua.

Comienza con la elaboración de la mezcla arena - arcilla aglutinante - agua. Esta mezcla por el contenido de humedad se denomina moldeo en arena verde, y puede obtenerse manualmente (tipo artesanal) o en máquina (tipo industrial).

Esta primera elaboración de la mezcla es reutilizable como arena de relleno, al restituir la cantidad de agua necesaria que recupera las cualidades plásticas de la mezcla modeladora. El reciclado se ve favorecido al utilizar bentonitas sódicas naturales debido a que tienen elevada estabilidad térmica.

La arena verde se comprime alrededor del objeto que sirve de modelo (patrón) incrementando la presión y manteniendo la temperatura ambiente, estas dos regulaciones aseguran la conformación modeladora durante el proceso de fundición. La arena mezclada se compacta alrededor del patrón, tomando la forma del molde deseado.

Control de tolerancias en los modelos

En el diseño y desarrollo modelador en arena verde es necesario controlar las tolerancias siguientes:

Contracción: Dependiendo del tipo de metal ha fundir, muchos metales y aleaciones se contraen a diferencia del aluminio que se expande. Por lo que los modelos deberán tomar en cuenta las medidas finales que tendrá la pieza después de fundida (diferencia entre las dimensiones del molde y de la pieza colada una vez fría).

Extracción: Cuando se depone el modelo, es recurrente ensanchar las superficies de salida, al fabricar estas superficies se deben considerar sus dimensiones para la extracción adecuada.

Acabado pieza fundida: Esto se logra puliendo o quitando excedentes de material en las piezas producidas por lo que se debe considerar en el modelo esta disminución de metal.

Distorsión superficies irregulares: Cuando una pieza es de superficie irregular, la contracción por enfriamiento también es variable y genera distorsiones en la pieza, estos efectos deberán ser tomados en consideración en el diseño de los modelos.

La Bentonita como aglutinante inorgánico natural

La bentonita sódica[5] o cálcica, proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando el moldeo y proporcionando la suficiente resistencia en húmedo para mantener la reproducción y sus detalles tanto al retirar el objeto modelador y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla fluctúa según sea ésta sódica o cálcica. El porcentaje de bentonita en la arena de moldeo, varia según el sistema de moldeo (manual o de alta productividad) y el tipo de pieza a fundir, normalmente está entre el 2 % y el 10% de la cantidad de arena.

La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura. La cálcica por ser más estable a altas temperaturas, se utiliza en fundición de: acero, hierro

[3] Geotecnia: significado físico de la plasticidad. Límites Atterberg. http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3282/5/53973-5.pdf

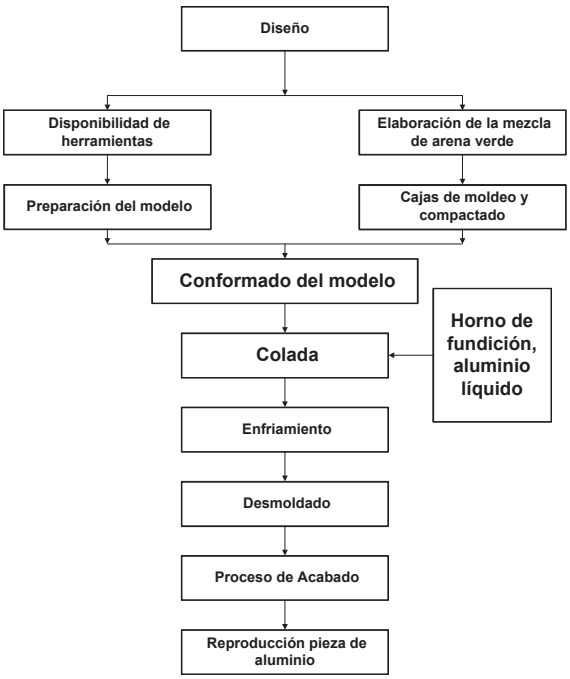
[4] Bentonita variedad de arcilla perteneciente a las Montmorillonitas cálcicas y sódicas: formadas por la alteración de rocas ígneas básicas que contienen silicatos ricos en Ca y Mg; presentan un elevado potencial de expansión/contracción.

[5] BENTONITA TIPO: F-40 Montmorillonita de Sodio. Silicato hidratado de formula general (Na, Ca); $(Mg,Al)_2(OH)_2Si_4O_{19} \cdot 11H_2O$, con impurezas de cuarzo, feldespatos y yeso. Bentonita de alto hinchamiento y gran dispersabilidad apta para moldeo en verde, con alta estabilidad térmica, ideal para obtener piezas de fundido sin defectos de superficie, debido a su elevado valor de resistencia a la tracción en húmedo.

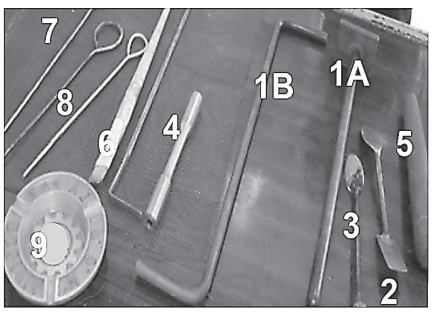
dúctil y maleable, en menor escala para metales no férreos facilitando la producción de moldes complejos.

Parte experimental

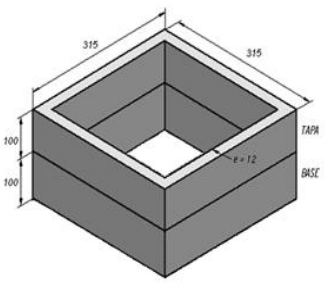
El siguiente esquema muestra los pasos seguidos para la fundición de la pieza de aluminio:



En la figura 1, se detallan las herramientas de uso habitual en el moldeo manual y las cajas de soporte para la mezcla arenífera.



Herramientas para el moldeo manual:
1A, 1B Apisonadores (cuadrado y en ele). 2 Lancetas.
3 Alisadores. 4 Bebederos. 5 Mazo de madera. 6 Clina.
7 Aguja de gas. 8 Agujas extractoras. 9 Modelo.



Caja de madera desmontable soporte para la arena de moldeo

Las figuras 2 a 12 muestran todo el proceso seguido para el modelado en arena verde.

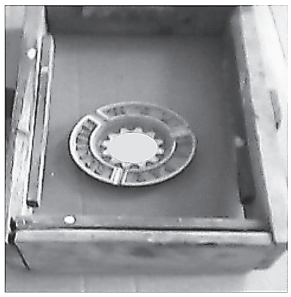


Figura 2. Colocación del modelo en la primera caja de moldeo al extremo para ubicar el bebedero, además la caja de moldeo debe estar la ranura de montaje en la parte inferior, para luego invertir la caja de moldeo.

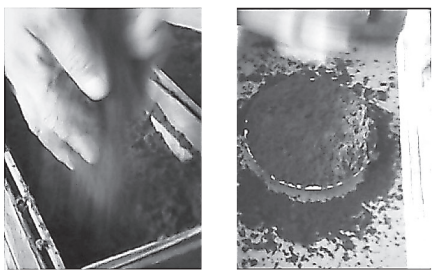


Figura 3. Colocación de la arena verde en la caja de moldeo en toda el área del modelo

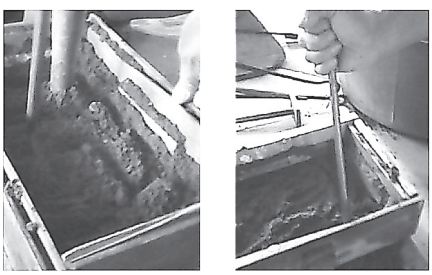


Figura 4. Apisonar todos los extremos para compactar la arena en la caja de moldeo

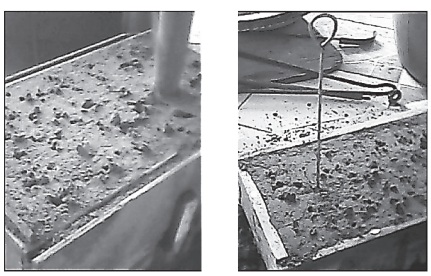


Figura 5. Realizar el proceso de aireación con la herramienta punzante

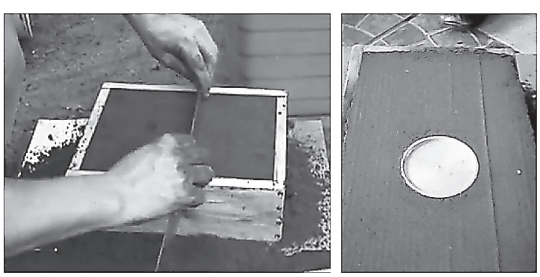


Figura 6. Nivelar con una regleta la arena en contorno de caja de moldeo e invertir la caja de moldeo de la parte inferior a la parte superior

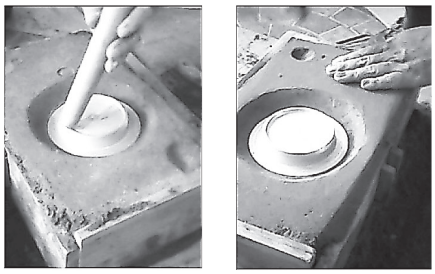


Figura 7. Realizar una hendidura para que permita mejorar el montaje con la otra caja de moldeo y realizar el orificio de bebedero para introducir el aluminio líquido.

Figura 8. Al levantar el modelo de su lugar se observa los detalles del modelo impreso en la arena.
Realizar el canal de bebedero con una herramienta sobre el extremo del modelo.

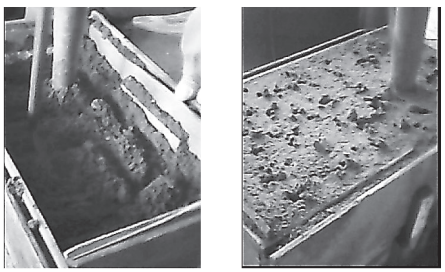


Figura 9. Introducir la herramienta para el bebedero en un extremo de la caja de moldeo y apisonar la arena hasta llenar al borde de la segunda caja de moldeo.

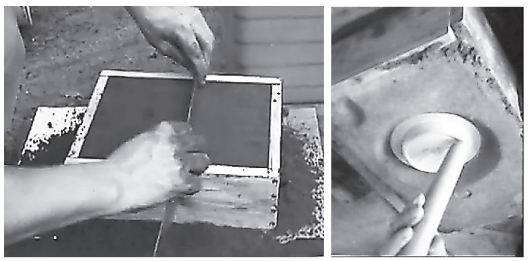


Figura 10. Nivelar con una regleta la arena en contorno de la segunda caja de moldeo e introducir el molde por la base.

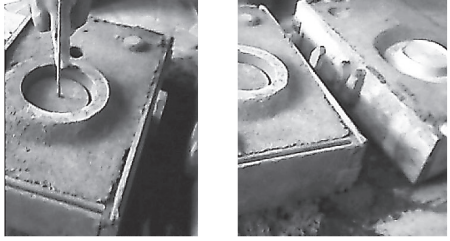


Figura 11. Realizar un orificio de aireación en el otro modelo de moldeo con aguja de aireación.
Montar sobre la caja dos la caja uno, retirando el modelo.

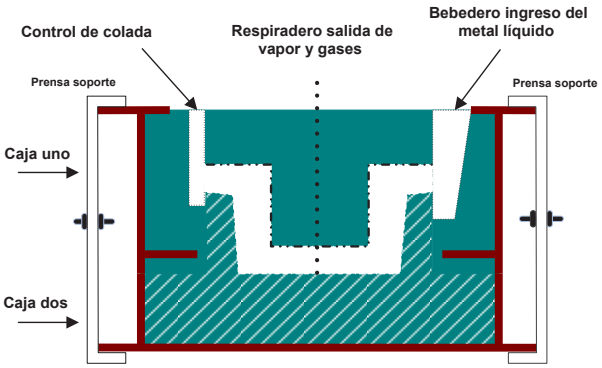


Figura 12. Esquema conformado final del molde

Fundición y colada de aluminio[6]

Conformado el molde, el siguiente paso corresponde a la fundición y colada (trasvasado) del aluminio líquido por el bebedero del molde. Para este propósito se utilizó un horno de crisol alimentado por un quemador a gas natural, figura 13.

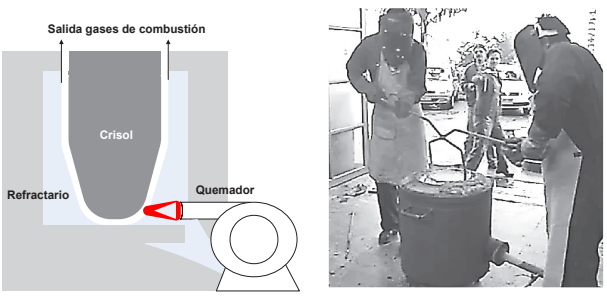


Figura 13. Horno de crisol a gas natural y fundición de aluminio

En consecuencia para cambiar por diseño la forma de una masa de aluminio sólido a través de la fundición (estado líquido) se necesitan dos componentes interrelacionados: el molde y el horno. Siendo este último, el recinto aislante y refractario donde se almacena el calor para tal efecto.

La combustión producida en el quemador (combustible - oxígeno del aire), proporciona la energía necesaria para la fusión del aluminio en el interior del crisol, además de

[6] El aluminio como elemento ocupa el tercer lugar en la clasificación de abundancia de elementos en nuestro planeta. En la naturaleza se manifiesta combinado principalmente con oxígeno y silicio, formando silicatos componentes de una variedad extensa de minerales (feldespatos, mica, arcillas etc.). Por efecto de la meterorización de rocas ígneas y lixiviación geológica final. El ciclo exógeno del aluminio comienza con la hidrólisis de los silicatos, degradación química que produce dos sustratos íntimamente unidos con el oxígeno Sílice SiO_2 (arcilla) y alúmina Al_2O_3, si la lixiviación es intensa se producen depósitos formados principalmente por arcillas y 40 a 70 % bauxitas Al_2O_3 . Insumo éste que sirve de materia prima para la obtención del metal, (electrólisis de sales fundidas método Hall).
Características físicas: Metal ligero, densidad 2,700 kg/m^3 punto de fusión bajo: 660 °C, color blanco brillante, las superficies pulidas muestran alto poder de reflexión (radiaciones luminosas), buen conductor térmico. Resistente a la corrosión.
Características mecánicas: Muy maleable, Bastante dúctil, Usos frecuentes: fabricación de cables eléctricos, como material estructural para mejorar las propiedades mecánicas requiere ser tratado junto con otros metales (aleación), así como también para procesos térmicos. Admite la fabricación de piezas por fundición, forja y extrusión. De fácil mecanizado debido a su menor dureza (escala de Mohs).
Características químicas: En su estado máximo de oxidación (Al^{3+}) en contacto con el aire, forma fina capas superficiales de óxido de aluminio (Alúmina Al_2O_3) impermeable y adherente que retardan el proceso de oxidación, proporcionando durabilidad y resistencia a la corrosión. Iónicamente actúa como base y ácido en relación con el ph (anfoterismo).
Propiedades térmicas del aluminio: Temperatura de fusión 650 a 760ºC. Temperatura de fusión de forja 635 a 705ºC. Recocido: 260 - 370ºC incremento ductilidad manteniendo de 4 a 6 horas y posterior enfriamiento en horno o al aire libre. Relevado de esfuerzos: 175 - 260ºC, manteniendo esta temperatura durante 4 a 6 horas, enfriamiento en aire.

considerar las ineficiencias energéticas en el balance de energía:

Calor de combustión en el quemador (Potencia calorífica)	=	Energía útil para el calentamiento y cambio de estado	+	Ineficiencias energéticas materiales cámara aislante horno - crisol

$$Q_{cB} = Q_{LS} + (Q_{ac} + Q_{ah})$$

Q_{cB}: *Calor de combustión en aire del combustible.*
Q_{LS}: *Calor latente y sensible requerido para la fusión del aluminio.*
Q_{ac}: *Calor absorbido por el crisol.*
Q_{ah}: *Transferencia de calor por conducción, convección y radiación desde las paredes del horno al exterior.*

Con referencia a la energía calorífica que se debe aportar al material en el proceso de colada. Corresponde principalmente a la sumatoria de calor para elevar la temperatura hasta en punto de fusión, más el calor latente de fusión, más el calor necesario que mantiene la fluidez del metal líquido en la colada.

$$Q_{LS} = Q_s + H_f + Q_{s'}$$

Expresando la ecuación anterior por unidad de tiempo:

$$Q_{LS}/t = [m_{Al}\, C_s(\theta_f - \theta_o) + m_{Al}\, H_f + m_{Al}\, C_f(\theta_c - \theta_f)]$$

$$Q_{LS}/t = \{m_{Al}\, [C_s(\theta_f - \theta_o) + H_f + C_f(\theta_c - \theta_f)]\}$$

$$Q_{LS}/t = \{\rho_{Al}\, .V_{Al}\, [C_s(\theta_f - \theta_o) + H_f + C_f(\theta_c - \theta_f)]\}$$

Donde:

Q_{LS}/t = *Calor total requerido por unidad de tiempo,*
ρ = *Densidad metal,* V = *Volumen de colada,*
C_s = *Calor específico en peso para el material sólido,*
θ_f = *Temperatura de fusión ºC,*
θ_o = *Temperatura de ambiente ºC,*
H_f = *Calor de fusión,*
C_f = *Calor específico en peso para el material líquido,*
θ_c = *Temperatura de colada o vaciado ºC.*

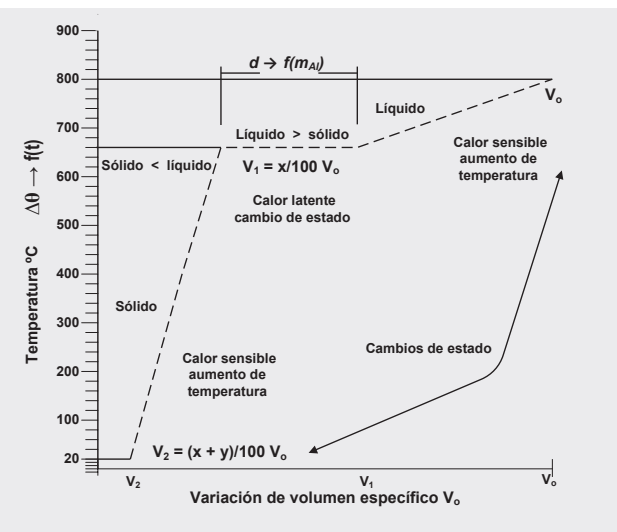


Figura 14. Esquema cambios de estado del aluminio en el horno de crisol

Se utilizaron 1,6 kg. del metal para la fundición. Peso adecuado para realizar prácticas académicas de fundición de metales puros. La fundición del metal debe realizarse a alta temperatura y mantenerse uniforme durante el trasvase del crisol hacia el molde. Por consiguiente se toman los siguientes datos: Temperatura ambiente *20 °C.* Temperatura de fusión del Aluminio *660 °C*. La temperatura del metal fundido para que pueda estar en condiciones óptimas de colada debe estar alrededor de los *800 °C.* El proceso de fusión fue de *45 minutos* (0,75 horas); lapso de tiempo necesario para que la temperatura de colada sobrepase la temperatura de fusión y se trasvase el metal líquido sin mayores contratiempos. La figura 14, esquematiza los cambios de estado del aluminio en el horno de crisol.

Obtenida la fusión y posterior calentamiento, el material líquido es trasvasado al molde por el bebedero, figura 15.

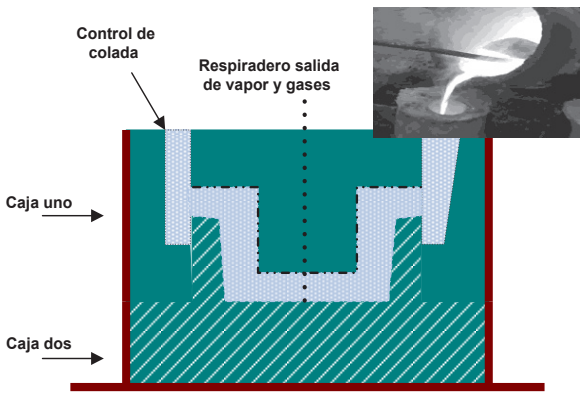


Figura 15. Trasvasado metal líquido por el bebedero al molde

En consecuencia, el calor cedido por el combustible en el quemador durante el tiempo de la fusión metálica se distribuye, entre cuatro calores sensibles y el calor latente de fusión:

$$Q_{cB} = (t)^{-1}.\, [Q_s + H_f + Q_{s'} + (Q_{ac} + Q_{ah})] \qquad (kCal.h^{-1})$$

Expresión que sirve para considerar en el diseño - construcción de los hornos la eficiencia calórica[7] (reducción ineficiencias energéticas relacionadas con los materiales y combustible utilizado) y el incremento de temperatura al interior del horno en función del tiempo mínimo para el cambio de fase.

Enfriamiento y desmoldado de la pieza fundida

En el trasvasado práctico del metal líquido, el bebedero es el lugar por donde ingresa el metal, dejando que por acción de la gravedad el metal líquido vaya ocupando el interior del molde, observando el aumento de nivel por el orificio de control de colada.

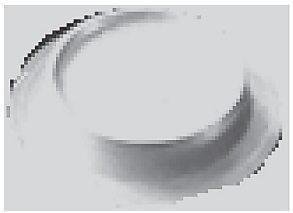
Durante el proceso de enfriamiento, el molde y el metal intercambian calor con el medio ambiente, con la consecuente disminución de temperatura, y por efecto de la solidificación se produce cambios en el volumen específico del aluminio, provocando su contracción[8]. En esta etapa en necesario controlar el enfriamiento isotérmico de la pieza y la ocurrencia de rechupes o cavidades, procurando llenar el molde en el menor tiempo posible.

[7] En el presente trabajo, sólo se enuncian estos aspectos termodinámicos, debido a que el horno utilizado sirve para fundiciones demostrativas y principalmente complementa la elaboración de los moldes y reproducción de modelos.

[8] Casi todos los materiales son más densos en el estado sólido que en el líquido. Durante la solidificación, el material se contrae, o encoge, hasta un 7% (Aluminio), la mayor parte de las contracciones ocurren como cavidades, si la solidificación comienza en todas las superficies de la pieza colada, o rechupes, si una superficie se solidifica de manera más lenta que las otras.

Posteriormente y cuando el molde y metal se enfrían lo suficiente para estar poco más o menos a temperatura ambiente, comienza la etapa del desmoldado. Si el molde es conformado por cajas, para impedir que el metal fundido flote y desprenda las cajas, éstas se prensan durante la colada y una vez alcanzada la temperatura ambiente, se descomprime y separan los soportes y tornillos laterales de las cajas. Desmoronando el molde con golpes suaves para dejar libre la pieza, en esta operación la cantidad de polvo que se desprende requiere el trabajo siguiendo las normas[9] de seguridad establecidas para el desmoldado.

Acabado y reproducción de la pieza por moldeo



La pieza después de desmoldada aun mantiene arena adherida en la superficie. Por lo que es necesario limpiarla y luego aplicando herramientas o máquinas de desgaste separar las porciones de metal sobresaliente de los bordes y superficie (rebabas), los conductos de alimentación, mazarotas[10] procedentes de la unión de las cajas del molde, etc.

Finalmente para el acabado se limpia nuevamente la pieza a fin de remover los restos de arena y viruta de las rebabas. Teniendo la pieza utilidad decorativa, no fue necesario el mecanizado posterior y tratamiento térmico para mejorar sus características de uso.

CONCLUSIONES

El cambio de estado producido en el aluminio a través del suministro e intercambio de energía (proceso de fundido y colada), ha permitido observar en su totalidad el moldeo en arena verde y poner a prueba el molde logrado con una colada de aluminio a 800 ºC. Reproduciendo adecuadamente una pieza metálica después de enfriarla, desmoldarla, desbarbarla, limpiarla y pulirla.

Haciendo énfasis en lo siguiente:

- La combustión producida en el quemador (combustible - oxígeno del aire), proporciona la energía necesaria para la fusión del aluminio en el interior del crisol, además de considerar las ineficiencias energéticas en el balance de energía. Con referencia a la energía calorífica que se debe aportar al material en el proceso de colada. Corresponde principalmente a la sumatoria de calor para elevar la temperatura hasta en punto de fusión, más el calor latente de fusión, más el calor necesario que mantiene la fluidez del metal líquido en la colada. En consecuencia, el calor cedido por el combustible en el quemador durante el tiempo de la fusión metálica se distribuye, entre cuatro calores sensibles y el calor latente de fusión.

- El cambio de estado sólido a líquido del aluminio, requiere el suministro de energía (horno de crisol) y la utilización de materiales refractarios y termoestables, donde el aluminio líquido es inmiscible tanto en el crisol como en el molde de arena.

- El molde elaborado de arena verde, mantiene en general las propiedades físico-mecánicas de la arena indicadas en la introducción de este artículo. Mejorando la plasticidad y capacidad para reproducir los detalles del modelo y mantener su estructura durante la colada.

Por lo tanto, el conformado práctico de esta pieza metálica de aluminio por moldeado en arena verde, fundido y colado del metal. Ha permitido considerar las propiedades físicas y mecánicas del metal para su cambio de forma, la recuperación total de las características del molde sobre la pieza metálica obtenida y la energética de fundición.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Avner, Sydney H., 1988, Introducción a la Metalurgia Física, Ed. McGraw-Hill, México, 2da edición,

Pero-Sanz, J. A., 1994, Fundiciones Férreas, Ed. Dossat, Madrid - España,

Pero-Sanz, J. A., 1994, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Ed. Dossat, Madrid - España,

Monroy, C., Tecnología industrial. Conformado por moldeo I, I.E.S., Departamento de Tecnología.

Echeverri, K., Salazar, N., Fundición, Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Santiago de Cali Colombia. http://es.scribd.com/doc/226849583/ (Consulta: 20/05/14),

Colada de metales, http://metalspain.com/FUNDIDORES-FUNDICION.html, (Consulta: 20/05/14),

Bentonitas,| Minera José Cholino e Hijos S.R.L www.mineracholino.com.ar/producto/bentonita-tipo-f-30, (Consulta: 18/05/14),

Aluminio (Al) www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htmAluminio, (Consulta: 180/05/14),

Normas ASTM para procesos de fundición, disponibles en: http://www.astm.org/search/standards,(Consulta: 20/05/14),

Moldeo en arena, Obtenido de: www.es.wilpedia.org/wiki/Ciencia de materiales (Consulta: 15/05/14), www.nabertherm.com. Fundición catálogo furnaces (Consulta: 15/05/14.

[9] Ambientes ventilados, máscaras antipolvo, lentes de protección, guantes y ropa de faena, norma ASTM **E2349 - 12.**

[10] mazarota. (Del fr. masselotte). f. Masa de metal, que, cuando se funden grandes piezas en moldes verticales, queda sobrante en la parte superior.

(*) Licenciado en Mecánica Industrial, Docente Carrera de Mecánica Industrial Facultad de Tecnología - UMSA.