MEJORAMIENTO DE LA ALEACIÓN DE BRONCE AL ALUMINIO

*Carolina Vega Calvo[*1], Héctor Sánchez Stepha[2], Wilmer Alexander Revelo[3], Irvin Castro[2].*

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (3): 1311-1316

MEJORAMIENTO DE LA ALEACIÓN DE BRONCE AL ALUMINIO

*Carolina Vega Calvo[*1], Héctor Sánchez Stepha[2], Wilmer Alexander Revelo[3], Irvin Castro[2].*

1: Dpto. de Ingeniería de Materiales, Universidad Del Valle. Cali, Colombia
2: Dpto. de Ingeniería de Materiales, Universidad Del Valle. Cali, Colombia
3. Industrias metalúrgicas del Valle. Cali, Colombia

** E-mail: carovega17@yahoo.com*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación del bronce al aluminio cuyas designaciones son SAE 68 A y SAE 68 D El estudio se realizó con el soporte de la Compañía Nacional de Bronces Ltda. Estás aleaciones se obtuvieron en un horno de inducción a una temperatura de 1100ºC. La composición química se determinó usando un espectrómetro de masas ARL.Quantodesk 034. Después del análisis se ajustó la composición, según la norma ASTM 148. Las muestras obtenidas fueron elaboradas en moldes de arena en verde y en moldes permanentes. Luego fueron tratadas térmicamente a 900ºC y enfriadas en agua. En las muestras obtenidas en moldes de arena en verde se observa la presencia de poros debido al contenido de humedad en la arena. Los rechupes que se observan comúnmente en estas aleaciones se eliminaron mediante un diseño de mazarotas y vaciaderos apropiados. Las piezas coladas en moldes permanentes se obtuvieron sin defectos observables a simple vista. Las muestras se sometieron a ensayos de dureza, y tracción y su microestructura se analizó mediante técnicas de metalografía.

Palabras Claves: *bronce al aluminio, coquilla, moldeo en verde.*

Abstract

This work reports the method proposed to National Bronze Company to improve the castings obtained with aluminum bronze SAE 68 A and D. The alloys were cast in an induction furnace at 1100°C. The chemical composition is determined by using an ARL Quantodesk -034 spectrometer, after the heat is poured. In a subsequent melting the composition was adjusted. The obtained samples were cast into green sand molds as well as into permanent molds. They were heat treated by quenching them from 900°C, into water at room temperature. The poured sand specimens were unsound because the presence of porous due to water sand content and should be rejected, the ones poured into permanent molds were shrinkage free, after riser and pouring system calculations as naked eye examination. Microstructure evaluation, tensile, hardness, and impact tests were carried out.

Keywords*: Aluminum Bronze, permanent molds, green sand molds*

1. INTRODUCCIÓN.

En la empresa Compañía Nacional de Bronces Ltda., se fabrican piezas en la aleación bronce al aluminio, con cuatro designaciones, bronce al aluminio grado A, B, C y D, este tipo de aleaciones tienen una amplia aceptación en el mercado debido a sus excelentes propiedades tales como: buena resistencia a la corrosión, en distintos medios; alta resistencia a la cavitación; alta dureza y alta resistencia mecánica, comparada con la de los aceros al carbono.

Las piezas finales presentan varios problemas, como son: rechupes, porosidades, incrustaciones de óxidos principalmente de aluminio y variaciones en la composición química. Debido a estos defectos se hace necesario repetir aun varias veces algunas piezas, aumentando los costos representados en mano de obra, en el consumo de materias primas, metálicas (cobre, aluminio, manganeso, etc.) y de materiales de fabricación: arena, bentonita, desoxidantes, desgasificadores, etc.; igualmente se aumenta el tiempo involucrado en el proceso, con demoras en el tiempo de entrega.

Las designaciones estudiadas fueron el bronce al aluminio SAE 68 A y SAE 68 D, debido a que son las aleaciones con mas ordenes de producción.

0255-6952 ©2009 Universidad Simón Bolívar (Venezuela)

El contenido de aluminio en este tipo de bronces se encuentra entre un 4% y un 11%. De acuerdo al diagrama de equilibrio esta aleación, está conformada por varias fases: α, β, γ_1, γ_2, y k, como se observa en la figura.1. La máxima solubilidad del aluminio en la fase α sólida es aproximadamente del 9.5% a 565ºC, a esta misma temperatura la fase β sufre una reacción eutectoide para formar la mezcla ($\alpha+\gamma_2$). [1]

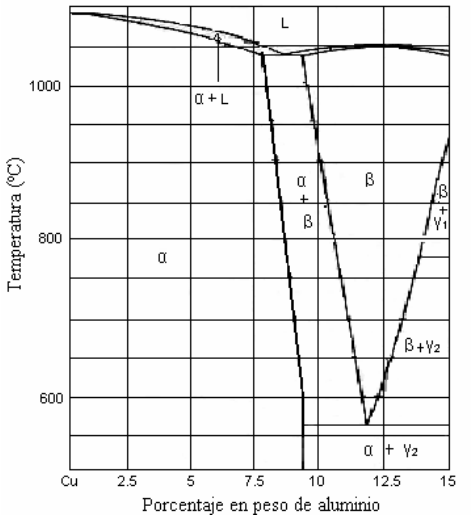


Figura 1. Diagrama de fase de la aleación bronce al aluminio.

Dependiendo del contenido de aluminio los bronces pueden ser monofásicos o polifásicos. La fase α es una fase dúctil apropiada para ser trabajada en frío. La fase β es más dura y más resistente, y puede ser trabajada en caliente. A 565ºC la fase β se transforma en $\alpha+\gamma_2$. La fase γ_2 tiene unas características que la hacen no deseada con respecto a las propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión [2]; se produce al enfriarse lentamente estas aleaciones y debido a su falta de plasticidad, debe evitarse por medio de enfriamientos acelerados cuando la temperatura se aproxima a la de formación del eutectoide, o mediante la adición de elementos aleantes.

La presencia de ciertos elementos en los cupro-aluminios, tales como el hierro y níquel en un 4%, producen una nueva fase denominada kappa, k, compuesta por Fe-Ni-Al, que empieza a formarse a los 900 ºC aproximadamente por descomposición de β en α + k, de forma laminar y en algunos casos globular. Existe por lo menos cuatro tipos de k, que varían en composición y morfología, como se observa en la figura 2. [3]

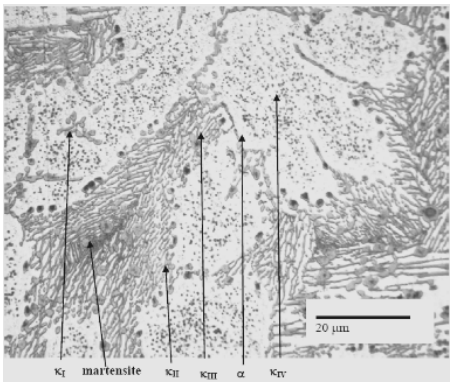


Figura 2. Diferentes morfologías de las fases k.

La presencia del hierro y el níquel modifican el diagrama binario desplazándolo hacia la derecha, (como se observa en la figura 3), evitando la formación del eutectoide, disminuyendo así la fragilidad que se presenta por la aparición de este precipitado.

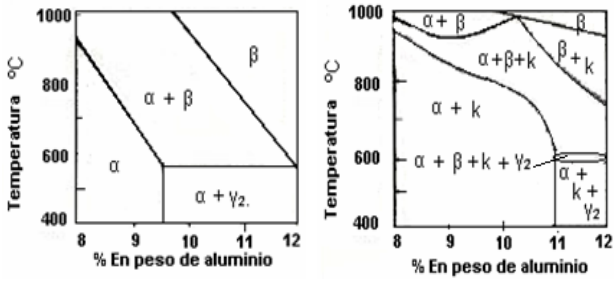


Figura 3. (a) Diagrama binario. (b) Diagrama de desplazamiento de equilibrio por la influencia del Ni y el Fe [3];

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Todas las aleaciones de bronce al aluminio presentan una alta contracción (por solidificación del 8% y por enfriamiento del 1.8%), abundante escoria, oxidación del aluminio dando lugar a la alúmina, porosidad y rechupes. Para realizar el estudio de las diferentes variables que generan estos problemas, se consideraron las características químicas y mecánicas de la aleación que fabrica la compañía (muestras de referencia), considerando la causa de los defectos encontrados y con esto se realizó el ajuste determinado para mejorarla (muestras con ajustes).

2.1 Material empleado

El material utilizado es bronce al aluminio, para dos designaciones SAE 68A; ASTM B 148. 9A y SAE 68 D; ASTM, B 148. 9D

2.2 Fusión del material

La aleación se preparó en un horno de inducción con 150 Kg de carga donde la composición química se determina mediante la norma ASTM, B148 para estas aleaciones de bronce al aluminio. De la fundición se toma una probeta que se analiza en un espectrómetro de masas ARL QUANTODESK-034 y el resultado permite evaluar y realizar un ajuste de la composición para la nueva aleación a fabricar ya modificando las variables.

Tabla 1. Composición de un SAE 68 A (CDA 95200).elaborado por la empresa

Composición obtenida	
Elemento	%
Cobre	87,19
Aluminio	8,40
Hierro	2,98

Tabla 2. Composición de un SAE 68 D (CDA 95500).elaborado por la empresa

Composición obtenida	
Elemento	%
Cobre	77,50
Aluminio	9,60
Hierro	3,60
Manganeso	2,44
Níquel	2.93

2.3 Diseño del sistema de alimentación

La aleación de bronce al aluminio presenta un defecto en la mayoría de los casos conocido como rechupe, para contrarrestarlo se diseñó el sistema de alimentación, realizando el cálculo de mazarota y vaciadero. Se elaboró una pieza cilíndrica de diámetro 18 cm por 6 cm de altura, para las dos designaciones de la aleación, A y D. La mezcla de moldeo en verde es de 88% de arena sílice, 7% de bentonita y 5% de humedad. La mazarota para la aleación SAE 68 A es de diámetro 6 cm por 9 cm de altura, y en la parte superior de la pieza se elabora una bomba (*como se muestra en la figura 4*), que cumple el papel de mazarota, la cual debe permanecer liquida hasta que la pieza solidifique. Por otro lado a la aleación grado D se coloca una mazarota de diámetro 7cm por 11cm de altura. (*Como se muestra en la figura 5)*

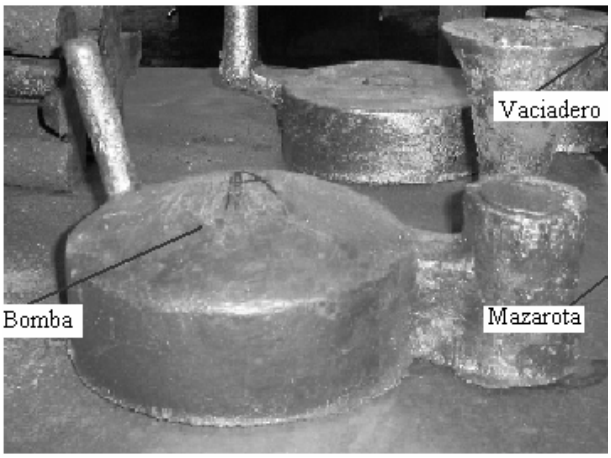


Figura 4. Diseño de alimentación de la pieza cilíndrica para la aleación bronce SAE 68 A

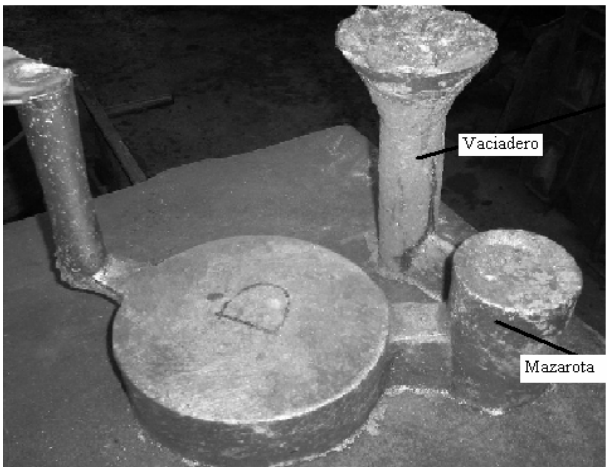


Figura 5. Diseño de alimentación de la pieza cilíndrica para la aleación bronce SAE 68 D

2.4 Ensayos mecánicos

Se realizaron ensayos mecánicos de tracción y dureza, tanto para las muestras elaboradas con el mecanismo utilizado por la compañía, como a las probetas con ajustes.

2.5 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico se llevó a cabo calentando hasta 900ºC, empleando una rata de calentamiento de 30ºC/min; luego de alcanzar la temperatura deseada se realizó un sostenimiento de 2 horas, para homogenizar. De aquí se enfrío las muestras en agua a una temperatura de 20ºC aproximadamente. Cabe mencionar que para seleccionar este tipo de tratamiento térmico, se realizaron posteriormente varios ensayos de muestras a diferente temperatura

de calentamiento: 850ºC, 900ºC, y 1025ºC. Luego se realizó una preparación metalográfica donde se observó que la estructura más semejante a la que reporta la literatura es la obtenida a 900ºC

3. RESULTADOS

3.1 Ensayo de tracción

Este ensayo para los bronce grado A y D, se evaluó de acuerdo a la norma ASTM E- 8M. En la tabla No 3 y 4 se muestran los resultados.

Tabla 3. Propiedades mecánicas obtenidas de un ensayo de tracción para bronce SAE 68 A.

Propiedades mecánicas	*Muestras de referencia*	*Muestras con ajustes*
Modulo de elasticidad (Gpa)	51,56	111,63
Resistencia máxima a la tensión (Mpa)	315,8	427,74
Porcentaje de elongación (%)	10	2

Tabla 4. Propiedades mecánicas obtenidas de un ensayo de tracción para bronce SAE 68 D.

Propiedades mecánicas	*Muestras de referencia*	*Muestras con ajustes*	*Muestras con T.T*
Modulo de elasticidad (Gpa)	85,06	76,74	49,06
Resistencia máxima a la tensión (Mpa)	431,74	487,74	187,88
Porcentaje de elongación (%)	2	2,5	1,0

La tabla 3 muestra que para la aleación de bronce al aluminio grado A, hay un aumento significativo de la resistencia máxima a la tensión, siendo este de 35% respecto a la inicial. Estos resultados fueron mejores respecto a la aleación fabricada en la empresa como consecuencia de los ajustes en composición química, proporciones de arena sílice, bentonita, y agua en el moldeo. Se aprecia una reducción en el porcentaje de elongación pasando de 10% a 2%, como resultado del aumento en la resistencia mecánica. El módulo de elasticidad presenta un aumento considerable, superior al doble del obtenido inicialmente.

De los resultados presentados en la tabla 4, se concluye que al realizar los ajustes se mejora la resistencia mecánica en un 13% respecto a la inicial, el modulo de elasticidad se ve reducido en un 9%, aunque la ductilidad aumenta en una pequeña proporción.

3.2 Composición química

Tabla 5. Composición química del bronce al aluminio SAE 68 A y SAE 68 D

Elemento	*Valores ASTM*		*Muestras de referencia*		*Muestras con ajustes*	
	SAE 68A	*SAE 68D*	*SAE 68A*	*SAE 68D*	*SAE 68A*	*SAE 68D*
Cobre	86 min.	78 min.	87.19	77,5	86,08	78,16
Aluminio	8,5 – 9,5	10 – 11,5	8.40	9,60	8,70	11,14
Hierro	2,5 – 4,0	3 - 5	2.98	3,60	3,56	4,30
Manganeso	-	3,5 máx.	-	2,44	-	2,03
Níquel	-	3 – 5,5	-	2,93	-	2,31

3.3 Ensayo de dureza

Tabla 6. Dureza obtenida para el bronce al aluminio SAE 68 A y SAE 68 D.

MATERIAL	*Dureza (HRB)*		
	SAE 68A	*SAE 68D*	*SAE 68D T.T*
Bronce al aluminio NORMA	66,0	92,0	94,0
Bronce al aluminio REFERENCIA	78,7	88,6	---
Bronce al aluminio CON AJUSTES	79,5	101,6	102

T.T: tratamiento térmico

La dureza para el bronce SAE 68A aumento levemente, a pesar que la resistencia mecánica había aumentado significativamente. En el caso del bronce SAE 68D sin tratamiento térmico, el ajuste permitió aumentar la resistencia mecánica en un 15%, tal como se muestra en la tabla 4. No se observa un efecto positivo del tratamiento térmico, ya que la dureza prácticamente permaneció invariable.

3.4 Microscopía óptica

3.4.1 Microscopía óptica muestras de referencia

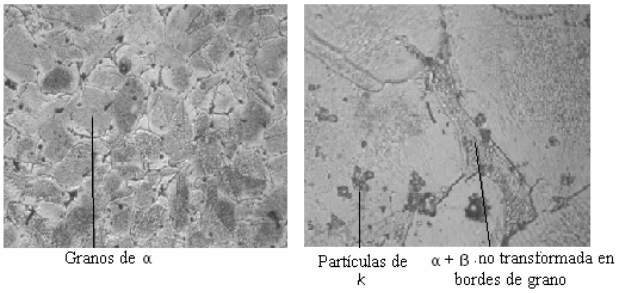


Figura 6. Metalografías para el bronce al aluminio SAE 68 A

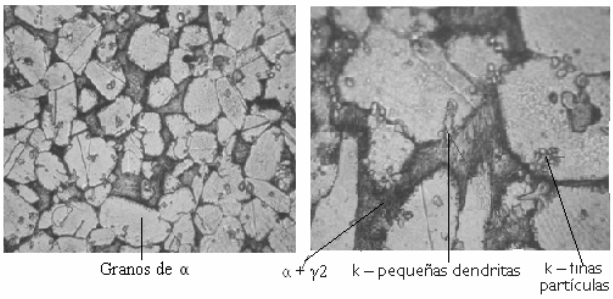


Figura 7. Metalografías para el bronce al aluminio SAE 68 D

3.4.2 Microscopía óptica muestras con ajustes

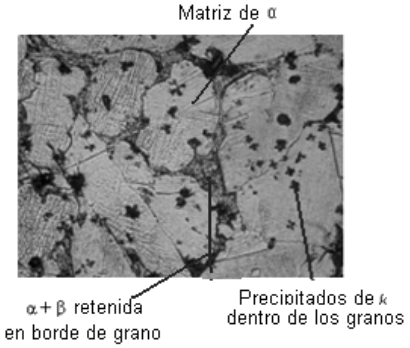


Figura 8. Metalografías para el bronce al aluminio SAE 68 A



Figura 9. Metalografías para el bronce al aluminio SAE 68 D

3.5 Diseño del sistema de alimentación

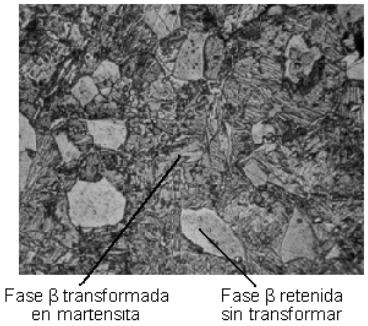
Con el diseño del sistema de alimentación de mazarotas y vaciadero, se logró obtener una pieza con ausencia total de rechupes pero con poros debido a la humedad del molde en arena en verde; debido a esto se realizó nuevamente la pieza pero en molde permanente (coquilla metálica) y como se aprecia en la figura 9 hay ausencia de poros en la superficie.



Figura 9. Imagen izquierda pieza colada en arena en verde, imagen derecha pieza colada en coquilla.

3.6 Tratamiento térmico

Se observa una microestructura donde existe la presencia de granos de fase β retenida, la cual es la zona clara, rodeada por la fase β que se ha transformado en martensita. Se aprecia que no hubo una transformación completa a martensita. Esto se refleja en los resultados de los ensayos mecánicos.



4. CONCLUSIONES

La aleación de bronce al aluminio presenta rechupes, se realizó un diseño de mazarotas y vaciaderos. Con esto se logró obtener una pieza con ausencia de rechupes, pero con poros superficiales, debido a la excesiva humedad del molde en arena. se realizó nuevamente la pieza en coquilla metálica logrando la ausencia de estos

Se logró controlar la pérdida de elementos como el aluminio, que se veía reducido por oxidación. Se notó un control de este elemento tanto en la aleación SAE 68 A como SAE 68D. En la aleación bronce al aluminio grado A, existe un aumento de hierro y aluminio, respecto a la aleación de referencia, lo cual se ve reflejado en el incremento en la resistencia a la tracción y disminución del alargamiento.

Incrementó la resistencia a la tracción y la dureza de las muestras con ajustes comparadas con las muestras de referencia (las que fabrica la compañía)

Con el tratamiento térmico no se logró mejorar las propiedades mecánicas como se esperaba. Esto debido a que no existió una transformación completa a martensita.

REFERENCIA

[1] Avner, H. S. *Introducción a la metalurgia física*. 2ª Ed. (EE.UU.): McGraw-Hill, 1988, p. 471-472.

[2] Copper development association. *Aluminium Bronze in Industry*. 1988. Publication No 31, section 1111.

[3] Padilla, E. D.; Vega V.; Tabuchi, E.; González, O.; Vela, G.; Orbegoso, C, O. y Villacorta, L. *Influencia de los Microaleantes en la Aleación de los Bronces*. (Lima): Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 2003,Vol. 6, Nº 12.