

Eliminación de defectos en las piezas de bronce por colada centrífuga

Carlos Fernando Parrado Delgadillo

Edgar Venegas Ledo

Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales
Universidad Técnica de Oruro

Resumen

En piezas construidas con aleaciones de bronce se observan defectos muy acentuados, como rechupes y porosidades, defectos que pueden ser eliminados por la técnica de colada centrífuga. Se presenta el estudio de variables de un proceso de colada de bronce utilizando ésta técnica, mediante un diseño factorial a dos niveles con variables temperatura de colada, composición de la aleación y velocidad de rotación. Los mejores resultados se han presentado a una temperatura de colada de 1.100 °C, para composiciones de 80% de cobre, 20% de estaño y 90% de cobre y 10% de estaño, y una velocidad de 1.600 rpm en ambos casos.

Palabras clave: Defectos de colada, aleaciones, bronzes, diseño factorial.

Removing defects in bronze parts by centrifugal casting

Abstracts

In pieces with are constructed with bronze alloys there are very pronounced effects such as shrinkage cavities and porosities, defects, which can be eliminated by the centrifugal casting technique. It is presented the study of variables in a bronze casting process using this technique, with a two levels factorial design with variables such as: casting temperature, alloy composition and rotation speed. The best results have been presented to a casting temperature of 1100 °C for compositions of 80% copper, 20% tin and 90% copper, 10% tin and with a speed of 1600 rpm in both cases.

Keywords: Casting defects, alloys, bronzes, factorial design.

Remoção de defeitos em peças de bronze por colada centrífuga

Resumo

Nas peças construídas com ligas de bronze se observam efeitos muito pronunciados, tais como cavidades de contração e porosidade, defeitos que podem ser eliminados por meio da técnica de fundição centrífuga. Se apresenta o estudo das variáveis de um processo de fundição de bronze utilizando esta técnica, mediante um programa fatorial em dois níveis, com variáveis: temperatura de colada, composição da liga e velocidade de rotação. Os melhores resultados foram obtidos com uma temperatura de colada de 1.100 °C para as composições de 80% de cobre, 20% de estanho e 90% de cobre, 10% de estanho e uma velocidade de 1.600 rpm, em ambos casos.

Palavras chave: Defeitos de colada, ligas, bronzes, programa fatorial.

Introducción

La fuerza centrífuga ha sido usada en una variedad de maneras en la industria de la fundición: como dispositivo para el llenado de moldes, para fabricar objetos tubulares, y para la purificación de metales. La importancia del uso de las aleaciones en la sociedad actual, ha llevado a métodos cada vez más eficientes para poder obtener aleaciones que estén acordes a las exigentes demandas de la industria, teniendo en cuenta que algunos metales puros no se pueden usar sin estar aleados con otros; porque de esta manera mejoran sus propiedades de servicio, siendo de mayor utilidad las piezas así obtenidas [1].

La colada centrífuga es aquella que aprovecha la aceleración que adquieren los cuerpos por causa del efecto fuerza centrífuga, para de esta manera obtener una mayor presión sobre el metal fundido, con el resultado de que éste queda más compacto después de la solidificación y la exactitud de las dimensiones de las piezas es mucho mayor que la que puede obtenerse con la colada por simple gravedad [8].

Actualmente los bronce tienen bastante importancia y aplicación en las diferentes industrias existentes en nuestro país, debido a su elevada resistencia, menor corrosión, de la misma forma abrasión y otras propiedades físicas como químicas, razón suficiente para justificar el gran uso que tienen.

El objetivo del trabajo es el uso de la colada centrífuga para eliminar defectos en las piezas de bronce y producir piezas de buena calidad.

Materiales y métodos

Para las pruebas experimentales, se construyó el equipo de colada centrífuga mostrado en la figura 1, que cuenta con un motor eléctrico de 1 Hp de potencia, dos discos metálicos con un diámetro de 0,17 m y un espesor de 0,01 m, donde uno de ellos posee un buje de 0,0254 m de alto y 0,02 m de diámetro para que se pueda introducir al eje del motor; ambos discos tienen una separación de 0,015 m. Por encima del disco superior se encuentra la coquilla con un diámetro interior de 0,05 m, y una base de 0,11 m de diámetro el cual lleva tres orificios para la sujeción de dicha coquilla al disco superior por medio de pernos.

Se cuenta con un crisol, un termoelemento (termopar) y multímetros para medir los milivoltios del termopar y para medir la tensión de corriente que ingresa al motor eléctrico entregado por el autotransformador, para poder regular las velocidades en las cuales se va a trabajar. Las pruebas experimentales se realizaron con dos composiciones de bronce: 80% de cobre - 20 % de estaño y 90% cobre - 10 % estaño.

Una vez montado el equipo y dosificadas las composiciones correspondientes de bronce, se realizaron las pruebas experimentales bajo condiciones del diseño factorial 2³ que implica ocho pruebas a dos niveles (nivel superior y nivel inferior), como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 1. Condiciones experimentales de las variables a dos niveles.

Variable	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura de colada [°C]	1.050	1.100
Composición de aleación [%]	80-20	90-10
Velocidad de giro [r.p.m.]	1.500	1.600



Figura 1. Equipo de colada centrífuga tipo vertical.

Resultados

Los resultados logrados con las variables estudiadas: temperatura, composición, número de revoluciones, y la evaluación de los parámetros dureza y resistencia al desgaste, se tienen en las tabla 2 y 3, de la misma manera se tienen los ensayos de comparación con probetas de bronce de fundidoras (BR) que utilizan esta aleación para el maquinado de bujes, cuya composición es 90-10, también se cuenta con otro tipo de bronce grafitado (BR-G), el mismo que es utilizado para la fabricación de bujes de alta fricción.

Tabla 2. Resultados de las pruebas experimentales.

N°	Código	Temperatura (°C)	Composición %Cu - %Sn	R.p.m.	Prueba de dureza Hr "C"	Prueba de desgaste g/cm ²
1	1	1.050	80 – 20	1.500	60,286	0,282
2	A	1.100	80 – 20	1.500	64,364	0,083
3	B	1.050	90 – 10	1.500	46,333	0,205
4	AB	1.100	90 – 10	1.500	58,200	0,110
5	C	1.150	80 – 20	1.600	66,667	0,149
6	AC	1.100	80 – 20	1.600	68,250	0,068
7	BC	1.050	90 – 10	1.600	65,286	0,192
8	ABC	1.100	90 – 10	1.600	66,214	0,094
9	Réplica	1.050	80 – 20	1.500	66,500	0,058
10	Réplica	1.100	90 – 10	1.600	52,333	0,197
Error experimental				18,259%		

Tabla 3. Dureza y desgaste de bronce que ofrecen las fundidoras frente a un bronce importado (grafitado).

Código	Composición %Cu-%Sn	Prueba de dureza Hr C	Prueba de desgaste g/cm ²
BR	90-10	22,17	0,604
BR-G (Importado)	Cu-Sn-Pb Otros	68,33	0,452

Los mejores resultados obtenidos, se pueden observar en la tabla 4, donde se puede visualizar que las dos pruebas mostradas han presentado los mejores resultados, con la temperatura en su nivel superior y las revoluciones por minuto también en su nivel superior.

Cálculo del índice de resistencia al desgaste

El índice de resistencia al desgaste no se pudo calcular para todas las pruebas realizadas debido a que no se fabrican bujes de la composición 80-20, posiblemente debido a las

propiedades físicas que presenta, solo se realizó el cálculo para las composiciones 90-10, los que se resumen en la figura 2.

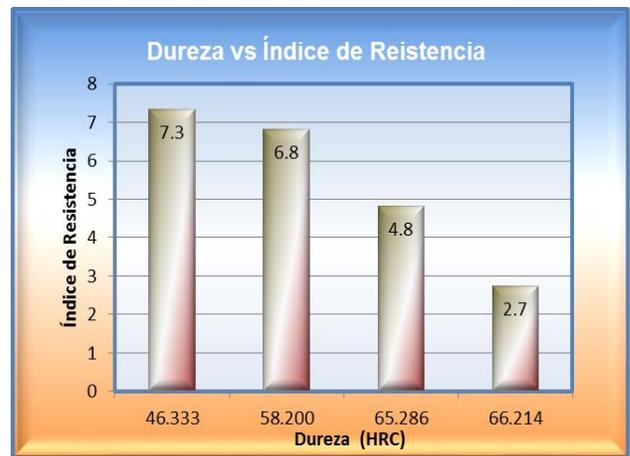


Figura 2. Dureza vs índice de desgaste.

Tabla 4. Mejores resultados obtenidos en el diseño experimental.

N°	Código	Temperatura °C	Composición %Cu-%Sn	R.p.m	Prueba de dureza HR "C"	Prueba de desgaste g/cm ²
1	AC	1.100	80 – 20	1.600	68,250	0,068
2	ABC	1.100	90 – 10	1.600	66,214	0,094

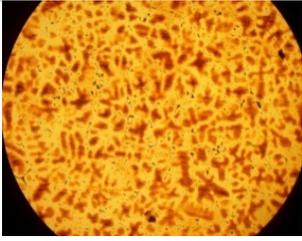
Discusión

En la tabla 2, se tiene la evaluación de ensayos de dureza y desgaste realizados en probetas de piezas obtenidas por colada centrífuga, con el propósito de comprobar la calidad de las mismas (propiedades físicas), de la misma forma en la figura 3, se muestran microfotografías donde se muestra el tipo de textura que presentan dichas probetas sometidas a este tipo de ensayos, donde se observa la estructura densa y compacta, casi perfecta y las fases presentes en las mismas.

En la tabla 5, segunda figura contando de izquierda a derecha, se muestra la microfotografía de bronce de composición 90-10 que utilizan las empresas fundidoras para el maquinado de

bujes, este tipo de bronce está fundido a partir de chatarras de bronce y colado en arena por gravedad, en la misma se puede observar la diferencia en textura y tamaño de grano; se distingue la diferencia muy acentuada entre probetas de bronce de funderías en relación a probetas realizadas por colada centrífuga con una dosificación de sólo cobre y estaño, sin contenido de aditivos, que en si ayuda a mejorar la colabilidad y de alguna manera a incrementar la dureza y posiblemente la resistencia a la fricción, la tercera y/o última microfotografía es un bronce importado conocido como bronce grafitado y como se observa tiene las mismas propiedades físicas que las piezas realizadas por colada centrífuga.

Tabla 5. Microfotografías de bronce centrifugado frente a bronce colados por gravedad y un bronce importado.

Microfotografías y sus características			
Condiciones de centrifugado			
Temperatura (° C)	1,100	No se tiene	Bronce grafitado
Composición (%)	90-10	90-10	Cobre-estaño-plomo-otros
Velocidad Centrifuga (r.p.m.)	1,600	No es centrifugado	No es centrifugado
Observaciones	Pieza obtenida por colada centrífuga Se puede percibir la formación de una fase α solamente y la formación dendrítica perfecta	Pieza colada por simple gravedad En la microfotografía se observa una fase α y una formación dendrítica no muy bien formada, de la misma forma se tiene grietas y poros.	En la microfotografía se percibe una fase α y la formación dendrítica; y algunas inclusiones de alguno de los constituyentes de la aleación. La textura es muy semejante a las anteriores microfotografías obtenidas por colada centrífuga

Dureza

Los efectos del parámetro dureza y sus efectos se observan según el modelo lineal siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * (^{\circ} T) + \beta_2 * (\text{Composición}) + \beta_3 * (\text{RPM}) \quad (1)$$

Tabla 6. Efecto de las variables sobre la dureza.

β_0	61,950
β_1 *(Efecto de temperatura)	2,307
β_2 *(Efecto de composición)	-2,942
β_3 *(Efecto de las r.p.m.)	4,654

Se puede ver que la variable más significativa es la velocidad de giro en r.p.m., y la variable significativa viene a ser la composición; a su vez las interacciones entre las mismas como la composición – r.p.m., que es muy significativa y la interacción de temperatura – r.p.m., es significativa para un nivel de confianza de 95 %.

Resistencia al desgaste

Los efectos del parámetro resistencia al desgaste se observa según el modelo lineal siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * (^\circ T) + \beta_2 * (\text{Composición}) + \beta_3 * (\text{RPM}) \quad (2)$$

Tabla 7. Efecto de las variables sobre la resistencia al desgaste.

$\beta_0 =$	0,148
β_1 * (Efecto de temperatura)	-0,059
β_2 * (Efecto de composición)	0,002
β_3 *(Efecto de las r.p.m.)	-0,022

Se puede deducir que la variable temperatura sería muy significativa y la velocidad en r.p.m., viene a ser una variable significativa, en lo referente a las interacciones podemos indicar que la interacción composición-r.p.m. es muy significativa y la interacción temperatura-r.p.m. es significativa, para un nivel de confianza de 95 %.

Conclusiones

En el estudio de las variables, temperatura-composición-r.p.m., y parámetros para evaluar la calidad de piezas obtenidas por colada centrífuga, como la dureza y la resistencia al desgaste, se puede afirmar que se obtuvieron excelentes resultados, a pesar del comportamiento bastante especial de la aleación utilizada para este efecto como es el bronce, aún más sin ningún tipo de aditivos como ser antioxidantes y fluidificantes en la fusión. La razón del no uso de los mismos es debido a que alteran las propiedades físicas de las piezas obtenidas, y en todo caso se podrían haber tenido resultados algo fuera de la realidad, más al contrario, se puede asegurar de que al adicionar aditivos de fundición se obtendrán piezas excelentes y en todo caso con óptimas propiedades físicas, también se puede afirmar que se puede centrifugar una variedad de aleaciones y con mayor facilidad metales puros

Se puede indicar que los ensayos de dureza y desgaste evalúan la calidad de las piezas obtenidas, pero quizás los mejores parámetros para medir la calidad de una colada centrífuga pueden ser el grosor de las paredes y la altura de buje; teniendo el estudio realizado se puede partir con datos obtenidos y empezar del modelo planteado donde ya se conocen las variables más importantes que controlan el proceso.

Los mejores resultados obtenidos y sus correspondientes variables estudiadas, se pueden observar en la tabla 8 siguiente:

TABLA 8. Mejores resultados obtenidos en la colada centrífuga.

Nº	Código	Temperatura °C	Composición %	R.p.m.	Prueba de dureza HR "C"	Prueba de desgaste g/cm ²
1	AC	1.100	80 – 20	1.600	68,250	0,068
2	ABC	1.100	90 – 10	1.600	66,214	0,094

Como se puede verificar, los mejores resultados se presentan a mayor temperatura y mayor velocidad de giro, esto implica que las tres variables estudiadas son importantes en el proceso de colada centrífuga, de la misma forma los bronce obtenidos tienen excelentes índices de dureza y buena resistencia al desgaste. Cabe recalcar, que si se añaden aditivos usados en fundición se obtendrán mejores resultados.

Referencias

1. PARRADO DELGADILLO, Carlos F. "Centrifugado de Metales". En: *VII Congreso Nacional de Metalurgia y Ciencia de Materiales*. Oruro: Universidad Técnica de Oruro, Noviembre 2006.

2. ELLIS W. J. *Ingeniería de Materiales*. 1ª Edición, México: Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A. 1971.
3. HOWARD E. D. *Tratado Práctico de Fundición*. 2ª Edición, Madrid: Editorial Aguilar S. A. de Ediciones, 1962.
4. HERENGUEL Jean. *Metalurgia especial, el cobre y sus aleaciones*. Tom. II. Bilbao – España: Ediciones Urmo S. A. 1970.
5. LASHERAS Esteban José Mª. *Tecnología de los Materiales Industriales*. 3ª Edición, Barcelona –España: Editorial Cedel.
6. HIGGINS Raymond A. *Ingeniería Metalúrgica*. Tomo II. 3ª Edición. México: Editorial Continental S. A., 1974.

7. BIEDERMANN A. *Tratado moderno de fundición de metales no Férricos, hornos eléctricos y ensayo de los metales*. 2ª Edición. Barcelona – España: Ed. José Montejo, 1955.
8. CAPELLO Eduardo. *Tecnología de la Fundición*. Ed. Lima – Perú.
9. CAREL W. van der Merwe. *Física General*. 6ª Edición, México: Editorial Mc. Graw Hill, 1969.
10. TYLOR F. Howard. *Fundición para Ingenieros*. 2ª Edición, México: Editorial Continental S. A., 1962.
11. TITOV N. D. *Tecnología del Proceso de fundición*. Moscú: Ediciones MIR, 1981.
12. HIGGINS Raymond A. *Ingeniería Metalúrgica*. Tomo I. 3ª Edición. México: Editorial Continental S. A. 1974.
13. GUY A. *Metalurgia Física para ingenieros*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1965.
14. CHOQUE FERNANDEZ Oscar, “Mejoramiento de la calidad de los impulsores de las bombas willfley a través del empleo de otros materiales y/o tratamiento térmico.” Tesis de Licenciatura. Tutor Edgar Venegas Ledo. Oruro: Universidad Técnica de Oruro, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Octubre 1991, 130 p.
15. MONTEALEGRE J. Raúl, *Diseño experimental con aplicaciones a la Metalurgia Extractiva*, 1979.
16. MORA POZO Edwin P. “Estudio del efecto de la temperatura de colada y del tipo de molde sobre las propiedades de los latones de uso industrial.” Tesis de Licenciatura. Tutor Edgar Venegas Ledo. Oruro: Universidad Técnica de Oruro, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Febrero 2006, 90 p.
17. GULIAEV A. P. *Metalografía*. Moscú: Editorial Mir, 1978.