

Fundiciones aleadas para piezas de repuesto.

J. Hernández de la Torre, A. García Domínguez.

Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Camagüey.
Circunvalación Norte. Km. 5½ . Camagüey Cuba. Teléfono: 261019.
E-mail: jht@reduc.cmw.edu.cu

(Recibido el 25 de mayo del 2002; aceptado el 12 de julio del 2003)

Resumen.

En el presente trabajo se aborda la concepción de mejorar las piezas mediante el análisis cuidadoso de las propiedades que las mismas deben poseer, para responder a las severas exigencias del trabajo y en base a ello seleccionar la aleación y las vías para mejorar sus cualidades y por ende su durabilidad. Como vías, en el caso de las fundiciones, se seleccionan la aleación en la carga y la modificación en la cazuela; en ambos casos con elementos aleantes que influyen sobre la matriz metálica y la forma, tamaño y distribución del grafito. Se ejemplifica en base a piezas, como cuchillas centrales para molinos azucareros.

Palabras claves: fundición gris aleada, matriz metálica, grafito, cuchillas centrales.

1. Introducción.

El trabajo pretende elevar la durabilidad de las piezas de fundición gris para las plantas de molinos de los complejos agroindustriales (CAI) en Cuba mediante el mejoramiento de la aleación.

Debido a la importancia de esta tarea, se planteó la necesidad de fundir esas piezas usando aleaciones con elementos en la fundición que mejoren las propiedades mecánicas y químicas de las mismas. Por ende, se seleccionarán elementos que eleven la resistencia mecánica, la dureza, la resistencia al desgaste corrosivo, erosivo y abrasivo en las condiciones más cercanas a las de explotación, teniendo en cuenta que las piezas están trabajando en contacto directo con la caña de azúcar, que presenta una dura cáscara fibrosa, la presencia de jugo mezclado con un determinado pH bastante ácido y encontrándose en suspensión tierras y bagacillo. Todas las mejoras de las propiedades deben alcanzarse manteniendo una buena maquinabilidad.

2. Selección de la composición experimental.

Los autores han venido en los últimos años haciendo investigaciones sobre la influencia de elementos de aleación incorporados a las fundiciones tanto en la carga como en la cazuela para elevar resistencia al desgaste en

distintos medios, usando para ello las recomendaciones de la literatura mundial y buscando su aplicabilidad a las condiciones concretas de las piezas seleccionadas.

En la tabla 1 se muestra un resumen de la estructura obtenida y de las propiedades alcanzadas anteriormente mediante la adición de fundiciones grises (FG 18) con pequeñas cantidades de cromo en la carga.

Por tanto, atendiendo a las características de la aleación a obtener, que cumpla las exigencias anteriormente mencionadas y apoyándose en las investigaciones anteriores, basadas en las modificaciones estructurales que ocurren en el hierro en dependencia del porcentaje de cromo en la aleación se decidió usar la aleación con 0,5 % de cromo en la carga.

Tabla 1. Resumen de investigaciones previas

Cromo %	Estructura
0	Ferrita y grafito basto.
0.3	Menor ferrita, algo de perlita, grafito más fino.
0.6	Grafito fino y perlita.
1.0	Grafito fino, perlita, pequeñas cantidades de carburos.
3.0	Desaparece el grafito.
5.0	Aparecen cantidades importantes de carburos.

Es aconsejable la aleación con cromo por la fuerte acción promotora de perlita y su resistencia a la acción de los ácidos y de las temperaturas elevadas. También al estar con sólo 0.5% de cromo no debe afectar considerablemente la maquinabilidad. No obstante, el cromo tiende a formar carburos libres, por lo que además de perlitizador, provoca el aumento de la dureza. De ahí que sea necesario mantener la aleación en bajos índices de cromo, con el fin de no afectar la maquinabilidad.

También es conocido que el estaño en bajas cantidades (hasta 0.1%) es capaz de perlitizar y afinar el grano sin endurecer demasiado la aleación. Debido a la baja temperatura de fusión del Sn se decidió su incorporación en forma de inoculante en la cazuela de colada; por lo que se fijó la aleación de la forma siguiente: fundición, sobre la base de la aleación FG 20 con aleación de 0,5 % de Cr en la carga y 0,1 % de Sn en la cazuela.

3. Fusión de la aleación.

Se decidió emplear la aleación seleccionada para realizar la fundición de las piezas prototipo y además se realizó una fusión usando la composición habitual en la Empresa, la que en lo sucesivo se le llamará "hierro patrón". La principal materia prima con que se cuenta es la chatarra de diesel pesado (blocks de locomotoras), mazas de centrales azucareros y piezas de retorno, entre otras; además se usan lingotes de arrabio. Como combustible se utiliza el coque, en pedazos de tamaño promedio entre 60-100 mm, adecuados para el diámetro de los dos hornos de cubilote (900 y 1200 mm de diámetro), de más de 92 % de carbono fijo, y muy bajos por cientos de volátiles y azufre. Como fundente: caliza con más de un 70% de CaO y tamaños promedios de 25-75 mm.

Ferroaleaciones: ferromanganeso con 70 % de manganeso; ferro-cromo, con 70 % de cromo; ferrosilicio, con 75 % de silicio.

Tabla 3. Composición química de los materiales de la carga.

Material	Composición química %					
	Carbono	Silicio	Manganeso	Fósforo	Azufre	Hierro
Chatarra	3,4	2,5	0.6	0,5	0,03	---
Arrabio	3,7	2,3	0,9	0.12	0,05	---
Fe Si	0,2	72-78	0,7	0,05	0,04	20,0
Fe Mn	4.0	1,0	70-75	0,18	0,03	15-19

4. Preparación de las mezclas de moldeo.

La mezcla se preparó sobre la base de la tecnología vigente. Se trata de una mezcla, compuesta por los siguientes elementos:

Para obtener el hierro patrón, se siguió la tecnología de fundición como se muestra a continuación. La composición prevista de la carga se ofrece en la tabla 2.

Tabla 2. Composición prevista en la carga.

Material	%	Carga(Kg)
Chatarra	85	383
Arrabio	15	67
Fe Si		3
Fe Mn		3

En la tabla 3 se ofrece la composición química de los materiales metálicos utilizados en la carga.

Después de tener el metal fundido en el antecrisol, se depositó en la cubeta de colada y luego se vertió en los moldes. Se fundieron con este metal raspadoras y cuchillas centrales y además se vertieron seis moldes para probetas para la comprobación de los parámetros de la aleación, los que fueron llenados con el metal fundido a una temperatura máxima de 1320°C. Posteriormente se dejaron enfriar durante 24 horas siguientes y se desmoldearon.

Para la fusión de la aleación seleccionada se partió de la composición química deseada, que es la siguiente:

carbono:2,8-3,2%

silicio:1,7-1,6%

manganeso:0,7%

fósforo: hasta 0,20%

azufre:0,12%

cromo:0,5%

Se realizó el control del carbono; silicio; manganeso el azufre y fósforo, como es habitual para el cálculo de la carga en fundiciones grises.

Para obtener el 0,5% de cromo, se hizo el cálculo de la adición de ferro-cromo al 70%, a fin de obtener un 0,5% en la aleación. Se tuvo en cuenta pérdidas de un 15% durante la fusión.

arena cuársica nueva: 90%

melaza: 10%

Para el caso de la fundición del hierro patrón se utilizó una mezcla, de la cual se prepararon cinco contenedores dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 4. Resultados de los análisis de la mezcla M-2.

No. del contenedor	Humedad %	Permeabilidad
1	1.5	165
2	2.0	145
3	2.0	145
4	1.5	145
5	3.0	140

Los moldes para los semiproductos destinados a elaborar las probetas fueron estufados, en estufas, que utilizan el petróleo como fuente de energía. Para el caso de los moldes, los tarugos se estufaron de la siguiente manera:

- Se elevó la temperatura hasta 120⁰ (40 minutos)
- Se incrementó luego 120⁰ a 220⁰ (180 minutos)
- Se apagó la estufa y se dejó enfriar hasta 80⁰ (90-120 minutos).

5. Obtención de los semiproductos para la elaboración de probetas.

Estas probetas se obtienen a través de un semiproducto en forma de “tarugos” y son maquinadas hasta lograr las dimensiones normalizadas de cada probeta en particular. La fundición de los tarugos (de diámetro 50 mm y 400 mm de longitud) se realizó siguiendo la secuencia de un día normal de trabajo, lo que sirvió para monitorear todo el proceso tecnológico.

Para la fundición se fabricaron moldes de cuatro piezas en cada uno, a partir de la mezcla No. 2 y fueron estufados siguiendo el régimen explicado con anterioridad. El vertido de la aleación se realizó a partir de las propias cazuelas con que se fundieron las piezas prototipo.

Los tarugos, tanto de la aleación con 0,5 % de cromo como los de la aleación con 0,5 % de cromo y 0.1% de estaño, se fundieron a la temperatura de 1263°C; de igual modo ocurrió con la aleación patrón, por ser esta la temperatura de vertido de las piezas prototipo.

6. Medición de propiedades de las aleaciones.

Para realizar la valoración de las aleaciones elaboradas, se realizaron diferentes ensayos, cuyos resultados se describen a continuación:

Ensayo de tracción.

Los ensayos de tracción se realizaron en una Máquina Universal “IBERTEST”, de 30 toneladas de capacidad, obteniéndose los resultados contenidos en la tabla 5.

Como se observa, los resultados del hierro patrón resultaron algo bajos y los de las probetas de aleación experimental fueron muy superiores, aunque la baja temperatura de vertido influyó en la presencia de algunos poros, por lo que en realidad deben resultar aún mejores.

Tabla 5. Resultados del ensayo de tracción.

Materiales	F (t)	Resistencia MPa (kg/mm ²)
HF-patrón	1.82	161 (16,1)
HF-patrón	1.86	164,4 (16,4)
HF-patrón	1.78	157,3 (15,7)
HF-patrón	1.78	157,3 (15,7)
HF-0.5%Cr	2.20	194,5 (19,5)
HF-0.5%Cr	2.12	187,4 (18,7)
HF-0.5%Cr	2.04	180,3 (18,3)
HF-0.5%Cr-0.1%Sn	1.96	173,3 (17,3)
HF-0.5%CR-0.1%Sn	1.88	166,2 (16,6)

6.2 Ensayo de maquinabilidad.

Este tipo de ensayo se realiza con el fin de medir comparativamente las cualidades de los materiales para ser labrados mediante algún proceso de maquinado.

Como es conocido, la presencia de elementos en la aleación influye positiva o negativamente sobre la maquinabilidad. No existe una norma que precise la forma de realizar estos ensayos ni tampoco hay una forma de medida absoluta de este parámetro.

Lo que sí resulta fundamental es mantener los parámetros del proceso por igual para todos los ensayos a fin de comparar. Para realizar este ensayo se procedió sobre la base de la metodología, empleada por el Dpto. de Mecánica de la Universidad de Camagüey.

Se pesaron las probetas de maquinado antes de realizar la prueba; posteriormente se fijaron en el torno y se desbastaron durante un minuto y medio; luego son pesadas de nuevo y se determina cual opuso más resistencia al paso de la cuchilla.

Para la realización de este ensayo se utilizó un torno 16k20, de fabricación rusa, del taller de maquinado de la Universidad.

Parámetros de corte:

rpm: 110

avance: 0.07 mm

profundidad de corte: 2.90 mm

tiempo de maquinado: 1.5 min.

Tabla 6. Resultados del ensayo de maquinabilidad.

Materiales	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia (g)
HF-patrón	240.6	219.5	21.1
HF-patrón	268.6	246.7	21.9
HF-patrón	553.4	533.7	19.7
HF-patrón	490.1	469.3	20.8
HF-0.5%Cr	306.9	283.4	23.5
HF-0.5%Cr	341.6	317	24.6
HF-0.5%Cr-0.1%Sn	665.5	638.4	27.1

Como se observa de los resultados, pese a que las probetas con elementos de aleación (cromo) son más duras, la cantidad de cromo añadido fue muy baja (0,5%), por lo que no afecta la maquinabilidad; más bien provocó que las virutas de la aleación se partan con mayor facilidad y esto influye en un mejoramiento de la maquinabilidad.

De este modo, la aleación trae una mayor resistencia, una mejor dureza y una mayor resistencia al desgaste corrosivo, sin que afecte la maquinabilidad, lo cual es de interés para su empleo en producciones seriadas.

6.3 Ensayo metalográfico.

Este ensayo se realiza utilizando un microscopio Neophot-32. Con ayuda del microscopio se observa la estructura del metal utilizando probetas pulidas y atacadas con "Nital". Se pudo observar que las probetas con 0,5% de cromo tienen una formación de matriz perlítica y la presencia de grafito laminar fino.

Este procedimiento se sigue con la muestra de hierro aleado con 0,5% de cromo y 0,1% de estaño, mostrando como resultado una matriz perlítica en un mayor porcentaje y un grafito laminar aún más fino.

También se observó el hierro patrón que funden en la producción, apareciendo una matriz ferrito-perlítica y un grafito laminar no tan fino como los anteriores descritos.

Los resultados de los ensayos aparecen en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados del ensayo metalográfico.

Muestra	Estructura
HF-patrón	Matriz ferrito-perlítica y grafito laminar
HF-patrón +0,5%Cr	Matriz perlítica y grafito laminar.
HF-patrón +0,5%Cr+0.1%Sn	Matriz perlítica más abundante y grafito laminar fino

Del análisis metalográfico se puede observar que se lograron los objetivos deseados por la acción de la aleación, o sea, perlitizar la matriz y afinar tanto el grano de la matriz como la inclusión de grafito.

6.4 Ensayo durométrico.

Se realizó la medición utilizando un durómetro Rockwell. Los resultados se exponen en la tabla 8.

Como se observa de los datos, la aleación con sólo un 0,5 % de cromo provocó durezas de nueve unidades HRA más. Sin embargo, la maquinabilidad no se afectó considerablemente. En el caso de la aleación con cromo y estaño, la influencia del estaño impide que haya una elevación considerable de la dureza.

Tabla 8. Resultados del ensayo de dureza.

Materiales	Dureza HB	Dureza HRA
HF-patrón	146	50
HF-patrón +0,5%Cr	201	59
HF-patrón +0,5%Cr+0.1%Sn	212	60

6.5 Ensayo de composición química.

En un equipo de análisis de composición química (cuantómetro) se realizaron los ensayos, tanto a la aleación patrón (FG 18) como a la experimental aleada, según se muestra a continuación en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Ensayo de composición química para la fundición gris de referencia (patrón):

Resultados del análisis (%)							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
3,0	1,94	0,73	0,24	0,12	0,140	0,01	0,06
Al	Cu	V	W	Nb	Ti	Pb	Fe
0,009	0,17	0,0228	0,00	0,012	0,024	0,0012	93,4

Tabla 10. Ensayo de composición química para la fundición gris experimental (fundición gris – patrón, con la adición de cromo e inoculación de estaño):

Resultados del análisis (%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
3,4	1,90	0,76	0,13	0,14	0,53	0,015	0,08	0,0019
Al	Cu	V	W	Nb	Ti	Pb	Sn	Fe
0,008	0,12	0,019	0,00	0,0001	0,025	0,001	0,11	92,6

7. Conclusiones.

1. Resulta factible realizar la aleación que se desea introducir sin ninguna complejidad en las condiciones normales del taller de fundición. A pesar de las dimensiones de los hornos (900 y 1000 mm de diámetro) la fusión se controla adecuadamente y se puede obtener la composición química dentro de los rangos determinados.
2. Es necesario controlar el secado de los moldes de la fundición normal, debido al alto porcentaje de rechazos por cavidades gaseosas, poros o no llenado de piezas.

3. La composición química de la fundición gris FG 18 es baja en carbono y ligeramente alta en azufre. Las propiedades mecánicas están por debajo de las normalizadas para ese tipo de marca.

8. Bibliografía.

1. García Domínguez A. "Proyecto 1400050 sobre Materiales de gran Durabilidad para las Piezas de Repuesto". UC, 1998.
2. García Domínguez A. "Aleaciones resistentes a la corrosión para la Empresa J.S. Gayol. Informe sobre Investigaciones. UC, 2001.

Alloy foundries for spare parts.

Abstract:

This paper deals with the improvement of spare parts by means of a careful analysis of their properties, to face the hard exploitation conditions. Based on this analysis, the type of alloy and the ways to improve its properties and durability are found. Two ways were applied for cast iron; the addition of alloy elements in the charge and the modification of molten metal in the ladle. In both cases, alloy elements are used to influence on the metallic matrix and the graphite distribution, size and form. The research is applied in spare parts such as central knives for sugar mills.

Key words: alloy gray cast iron, metallic matrix, graphite, central knives.