

ENTORNO TECNOLÓGICO ALTERNATIVO PARA LA PRODUCCIÓN COMPETITIVA, SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE DE FUNDIDOS DE CUPROALEACIONES DENSOS.

AUTOR: MSc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo
Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya".
Profesor Auxiliar. Facultad de Ingeniería.
Departamento de Ingeniería Mecánica.
Email: rigo@facing.uho.edu.cu
Telef. (053) 24 482737, 482675, 482678

RESUMEN:

La propia naturaleza de los procesos de manufactura de artículos fundidos de cuproaleaciones genera alto consumo de portadores energéticos y un alto índice de rechazo por concepto de poros y sopladuras debido a la particularidad que tienen el cobre y los metales aleantes de reaccionar con el hidrógeno y formar metal libre más vapor de agua: Lo cual trae como consecuencia que los expertos y la literatura especializada hallan concluido que no se puedan obtener fundidos sanos de poros y sopladuras por métodos tradicionales de fundición, producto que los vapores de agua quedan dentro del caldo metálico al solidificarse la pieza, generando poros que aumentan de la periferia al centro, todo lo cual provoca un elevado costo de producción.

Este Artículo versa sobre la novedad de diseño y construcción de un entorno tecnológico alternativo para la producción competitiva, sostenible y sustentable de fundidos de cuproaleaciones sanos de inclusiones gaseosas y no metálicas, constituido por un fusor multipropósito capaz de gasificar el fuel oil logrando disminuir y una rampa de vertido sobre la cual, al aplicar cargas dinámicas durante el vertido las partículas de menor peso específico suben a la superficie obteniéndose piezas sanas de poros, sopladuras y otras inclusiones no metálicas, que han disminuido las compras en el exterior de artículos de bronce que en el mercado internacional oscilan a un precio de importación de € 17 000 a € 27 000 Euro la Tonelada según ofertas de la Antillana de Acero y la Fabrica 26 de Julio.

Este entorno tecnológico ha sido considerado como muy novedoso en las Entidades que manufacturan con procesos de fundición de metales no ferrosos y esta avalada por el GIMAC y la Dirección de Desarrollo Tecnológico del SIME, esta preseleccionada para participar en el FORUM nacional, recibió el

Reconocimiento del Buró Nacional de la ANIR por su contribución a la actividad de ahorro de portadores energético, nos hizo merecedor de la “Condición 8 de Octubre” (Equivalente a Vanguardia Nacional de la ANIR) y el Premio Nacional al Innovador de mayor Impacto Económico y Social del País en el año 2008”.

INTRODUCCION

Para el desarrollo de este entorno tecnológico se trabajo en dos vertientes:

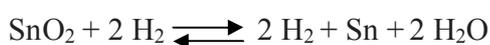
1. El ahorro de portadores energéticos durante la fusión de las cuproaleaciones.
2. La disminución del rechazo por poros y sopladuras.

En la **vertiente 1** se valoraron los antecedentes tecnológico de los agregados de fusión utilizados para la fusión de aleaciones no ferrosas en crisoles de níquel, cromo níquel, níquel, grafito, carburo de silicio que utilizan en calidad de combustible el fuel-oil analizamos que en los últimos 55 años es decir desde los momentos del auge impetuoso del desarrollo de la fundición y la metalurgia en general durante y después del desarrollo de la segunda guerra mundial se ha mantenido la misma estructura del sistema de pulverización e inyección del Mazut o fuel-oil, es decir constituido por cámara de precalentamiento del fuel-oil quemador e inyección con aire a presión, debido al desarrollo de las exigencias tecnológicas actuales y la competitividad no son eficiente estos fusores y por eso hemos creado un nuevo sistema de pulverización e inyección del combustible más óptimo y eficiente que rompe con la estructura tradicional pues está constituido por:

- Cámara de precalentamiento parcial del fuel-oil
- Cámara de autocalentamiento del fuel-oil
- Cámara de autocalentamiento del aire
- Quemador.

Lo cual nos permite semigasificar el fuel-oil, creando una llama medio oxidante necesaria para la difusión del hidrógeno y el oxígeno en el baño metálico, un aprovechamiento óptimo del trabajo térmico útil realizándose un derretido rápido, tratamiento del caldo metálico con un procedimiento barato y poco nocivo para el entorno y lograr un fusor competente en cuanto a eficiencia de fusión como lo exigen los momentos actuales.

La **vertiente 2** la solucionamos con la novedad de obtención de fundidos de cuproaleaciones sanos con la aplicación de vertido dinámico, eliminando la particularidad que tienen el cobre y los metales aleantes al reaccionar con el hidrógeno y formar metal libre más vapor de agua según las siguientes reacciones:



Lo cual trae como consecuencia que no se puedan obtener fundidos sanos de poros y sopladuras por métodos de fundición, producto que los vapores de agua quedan dentro del caldo metálico, generando poros que aumentan de la periferia al centro.

DESARROLLO:

Para la concesión de un entorno tecnológico capaz de ahorrar de portadores energéticos durante la fusión y disminuir el rechazo por poros y sopladuras de los fundidos de cuproaleaciones construimos un horno multipropósito Gasificador de fuel oil y una rampa de vertido dinámico para lo cual:

Analizamos como antecedentes los actuales agregados de fusión de aleaciones no ferrosas instalados en el país, que usan como combustibles el fuel-oil llegamos a la conclusión que no son competitivos en las condiciones de exigencias tecnológicas actuales por:

- Sus perjuicios nocivos sobre los recursos humanos y el entorno.
- El consumo de portadores energéticos.
- Pérdidas de tiempo al tener que esperar que las cámaras de precalentamiento del fuel-oil lleguen a las temperaturas de inyección
- Pérdida de metal por la prolongación de la colada.
- Los quemadores no combustionan bien cuando el Mazut presenta elevados por cientos de azufre y sustancias no combustibles que provocan una llama oxidante desventajosa para la efectividad de la colada.

Decidimos diseñar un sistema de inyección del fuel-oil que nos eliminara todas estas desventajas para lo cual construimos un gasificador compuesto por:

- Dos cámaras de autocalentamiento
 - a) Una para el aire
 - b) Otra para el fuel-oil.
- Quemador

Las cámaras tienen la forma de anillos de chapas de 6 mm de espesor con un diámetro interior de 884 mm soldadas a la parte interior de la concha con un diámetro de 984 mm ubicadas una en la parte superior interior de la concha del fusor para el calentamiento del aire y la otra 5 mm por debajo del eje de basculación del horno para el calentamiento del fuel-oil, ambas se encuentran empotradas en el refractario por lo que a medida que se calienta el revestimiento aumenta la eficiencia del gasificador por que se multiplica los efectos de conducción, convección y radiación térmica en la cámara de fusión, lo que provoca periodos de derretido más cortos incrementándose el número de coladas, además tiene una toma

de aire caliente para soplar el caldo con una lanza llevando al espejo del metal todas las inclusiones no metálicas y gases que se encuentren en suspensión en el caldo metálico, con este tratamiento se disminuyen las pérdidas por fusión.

Para la construcción de este gasificador nos basamos en el cálculo de la combustión del fuel-oil, para lo cual incorporamos a la tabla 1 todos los elementos que componen a el fuel oil.

Tabla 1 Composición del fuel oil

C ^r	H ^r	O ^r	N ^r	S ^r	W ^p	A ^c
87.4	11.2	0.3	0.6	0.5	2.0	0.1

Calculamos el contenido de sustancias no combustibles por la formula 1

9

$$A^P = A^c \frac{100 - W^p}{100} = 0.1 \cdot \frac{100 - 2}{100} = 0.098\% \quad (1)$$

El coeficiente de combustión lo determinamos según expresión 2.

$$k = \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} = \frac{100 - (2 + 0.098)}{100} = 0.979 \quad (2)$$

El contenido de los componentes en la masa útil lo calculamos por la formula 3

$$C^P = kC^r = 0.979 \cdot 87.4 = 85.53\% \quad (3)$$

Incorporando los resultados en la tabla 2

Tabla 2 Composición de la masa útil del fuel oil

C ^p	H ^p	N ^p	S ^p	W ^p	A ^p	Total
85.53	0.29	0.59	0.49	2.0	0.1	100.0

El calor de ignición del fuel oil se calcula según la formula 4

$$Q_H^p = 0.339 \cdot 85.53 + 1.03 \cdot 11 - 0.109(0.29 - 0.49) - 0.25 \cdot 2 = 40.4 \text{ J / Kg} \quad (4)$$

Entonces el contenido del aire teórico responderá a la expresión matemática 5.

Cantidad de aire teórica:

$$L_0 = [0.0889(C^p + 0.375 S^p) + 0.265 H^p - 0.0333 O^p] \times (1 + 0.00124 d_B) = \\ = [0.0889(85.53 + 0.375 \cdot 0.49) + 0.265 \cdot 11 - 0.0333 \cdot 0.29](1 + 0.00124 \cdot 10) = 9.66 \text{ m}^3 / \text{Kg} \quad (5)$$

y la cantidad real de aire con n = 1.15 se determina pos 6

$$L_d = 1.15 \cdot 9.66 = 11.11 \text{ m}^3 / \text{Kg} \quad (6)$$

Luego calculamos la cantidad de productos combustibles con 7

$$V_{CO_2} = 0.0187 C^P = 0.0187 \cdot 85.53 = 1.6 \quad (7)$$

$$V_{H_2O} = 0.112 H^P + 0.0124 W^P + 0.00124 L_d d_B = 0.112 \cdot 11 = 0.0124 \cdot 2 + 0.00124 \cdot 11.11 \cdot 10 = 1.39$$

$$V_{SO_2} = 0.007 S^P = 0.007 \cdot 0.49 = 0.003$$

$$V_{N_2} = 0.008 N^P + 0.79 L_d = 0.008 \cdot 0.59 + 0.79 \cdot 11.11 = 8.77$$

Sumamos la cantidad total de productos combustibles según 8

$$V_D = 1.6 + 1.39 + 0.003 + 0.304 + 8.77 = 12.07 \text{ m}^3 / \text{Kg} \cdot 10 \quad (8)$$

Con 9 calculamos la composición de los productos de combustión

$$C_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_D} \cdot 100 = \frac{1.6}{12.07} \cdot 100 = 13.26\% \quad (9)$$

E incorporamos los resultados en la Tabla 3.

Tabla 3 Composición de los productos combustibles del fuel oil.

CO ₂	H ₂ O	SO ₂	O ₂	N ₂	Total
13.26	11.52	0.02	2.52	72.68	100.0

La densidad de los productos combustibles matemáticamente se determina por la expresión 10.

$$\rho_{pc} = \frac{44CO_2 + 18H_2O + 28N_2 + 32O_2 + 64SO_2}{22.4} = 1.30 \text{ Kg} / \text{m}^3 \quad (10)$$

De donde concluimos que debemos calentar toda la masa a temperaturas superiores a 90°C y pulverizarlo con un soplo de 11,11 m³/Kg.

En el Resumen e Introducción del cuerpo de este trabajo explicamos que el cobre y sus aleaciones se funden en hornos-llamas o de crisol utilizando crisoles de grafito o carburos de silicio, teniendo como particularidad que el cobre y los metales aleantes al reaccionar con el hidrógeno se forma metal libre más vapor de agua según las siguientes reacciones:



Lo cual trae como consecuencia que no se puedan obtener fundidos sanos de poros y sopladuras por métodos de fundición, producto que los vapores de agua quedan dentro del caldo metálico, generando poros que aumentan de la periferia al centro, que junto a la composición química de la aleación influyen en la variación de la densidad de los fundidos en los límites de 8,4 hasta 9,3 g/cm³.

El encarecimiento de los procesos de fundición producto de la aparición de poros y sopladuras por la presencia de vapor de agua y la variación de la densidad, lo eliminamos construyendo una rampa de chapas y vigas de acero de 4000 X 4000 mm con un vibrador ensamblado en el centro y 4 patas de 300 mm de altura con muelles.

Con el vibrador se aplican las cargas dinámicas tecnológicamente exigidas a la rampa, sobre la cual se realiza el vertido de los moldes, durante este proceso las partículas de menor peso específico suben a la superficie (gases de CO, CO₂, H₂, O₂, etc.) eliminando la efervescencia es decir calmándolo, los vapores de agua y las inclusiones no metálicas, obteniendo fundidos libres de poros, sopladuras e inclusiones no metálicas.

VALORACION SOCIOECONOMICA:

Valoración socioeconómica del fusor:

Costo de construcción:

La construcción e instalación de las cámaras de autocalentamiento de aire y fuel oil del Horno

Multipropósito a un costo total de:

Costo MN	Costo CUC	Importe Total
111,00	48,64	159,80

Calculo de ahorro de energía eléctrica:

Ha permitido un ahorro del 80% de la energía eléctrica que se necesitaba para precalentar el fuel oil antes de ser inyectado a la cámara de combustión, La cámara consta de 4 resistencias que consumen 2 400 Kw. / Ton a un costo de \$ 0,1020 el Kw. / Hora.

$$Ee = (G_{ea} - G_{ei}) \times P_{ee} \times Q$$

$$Ee = (2\,400 \text{ Kw} - 480 \text{ Kw}) \times \$ 0,1020 \times 240 \text{ Ton}$$

$$E_{eee} = \$ 7\,833,60$$

Donde:

Eeee - Efecto económico ahorro energía eléctrica

Geea- Gasto de energía eléctrica con la tecnología anterior.

Geei - Gasto de energía eléctrica con la aplicación de la innovación.

Pee – Precio energía eléctrica.

Q – Cantidad de toneladas fundidas en el año.

Calculo de ahorro de fuel oil:

Durante la conducción de las coladas en este nuevo fusor ahorramos un 45% del combustible que usan los hornos tradicionales para fundir las 240 toneladas anuales del plan de producción.

$$Ee = (G_{fa} - G_{fi} \times P_f) \times Q$$

$$Ee = (222 \text{ Lts/Ton} - 99 \text{ Lts/Ton} \times 0,50 \text{ CUC}) \times 240 \text{ Ton}$$

$$Ee = (123 \text{ Lts/Ton} \times 0,50 \text{ CUC}) \times 240 \text{ Ton}$$

$$E_{efo} = \$ 14\,760,00 \text{ CUC.}$$

Donde:

Eefo - Efecto económico ahorro de fuel oil

Gfa- Gasto de fuel oil con la tecnología anterior.

Gfi - Gasto de fuel oil con la aplicación de la innovación.

Pf – Precio del fuel oil.

Q – Cantidad de toneladas fundidas en el año.

Calculo de ahorro por la disminución del metal por perdidas por fusión:

El tiempo de derretido disminuyo de 60 min. a 45 min. Por lo cual el metal esta 15 min. menos expuesto a las perdida por fusión disminuyéndose el índice de perdidas en un 2,8 %.. El precio de una tonelada de bronce es de \$ 6 319,32 de ellos \$ 4 424,69 MN y 1 894,63 CUC.

Calculo de la MN:

$$Eemn = \{(2,8\% \ 1000) \ 240 \ X \ 4 \ 424,69\}$$

$$Eemn = \{(5 \ 720,00 \ Kg. \ X \ 4 \ 424,69\}$$

$$Eemn = \$ \ 13 \ 309,33$$

Calculo del CUC:

$$Eecuc = \{(2,8\% \ 1000) \ 240 \ X \ 1 \ 894,63\}$$

$$Eecuc = \{(5 \ 720,00 \ Kg. \ X \ 1 \ 894,63\}$$

$$Eecuc = \$ \ 10 \ 857,28$$

Sumando obtenemos el total:

$$Eet = Eemn + Eecuc$$

$$Eet = \$ \ 13 \ 309,33 + \$ \ 10 \ 857,28$$

$$\mathbf{Eet = \$ \ 24 \ 166,66}$$

Donde:

Eemn- Efecto económico en moneda nacional

Eecuc- Efecto económico en moneda convertible

Eet- Efecto económico total por ahorro de metal

Calculo del Efecto económico total de la innovación:

$$Eeti = \{(Eeee + Eefo + Eet) - Cc\}$$

$$Eeti = \{(\$ \ 7 \ 833,60 \ \$ \ 14 \ 760,00 \ CUC \ \$ \ 24 \ 166,66) - 159,80\}$$

$$\mathbf{Eeti = \$ \ 46 \ 760,20}$$

Donde:

Cc- Costo de construcción

Considerando el ahorro en energía eléctrica, fuel oil y metal obtenemos un efecto económico total de la innovación de **\$ 46 760,20.**

La satisfacción de los clientes ha aumentado porque al estar el caldo metálico menos tiempo expuesto a la acción del calor de fusión, se obtiene un metal con menos % de azufre y otras inclusiones no metálicas perjudiciales que a mayores % disminuyen las propiedades mecánicas de las piezas fundidas.

Además se elimina las emisiones de gases al área laboral.

Valoración socioeconómica del vertido dinámico:

Por primera vez se establece en el País una tecnología con basamento científico adecuado a las condiciones de la industria cubana capaz de producir fundidos de bronce libres de poros y sopladuras, con las propiedades químicas, físicas y mecánicas que cumple con las normas que rigen este tipo de producción.

Esta Tecnología esta en tramite para Patente Internacional por el aporte a la ciencia que encierra.

La valoración económica no se hace teniendo en cuenta la demanda actual de este producto, sino por la producción real en dependencia a las 10 toneladas mensuales de chatarras mensuales que recibimos de la materia prima.

$$Ee = [(G_I - G_P) - e \times I] \times Q$$

Donde:

Ee-Efecto económico anual,

GI-Gasto de importación, \$ 17 000 EUROS.

GP- Gasto de Producción nacional, \$ 5 967,69.

e-coeficiente normativa de efectividad = 0,15 (para la rama metalúrgica).

Q-Volumen de producción anual 10 toneladas mensuales por 12 meses 120 T /Año

I- Inversión del producto \$ 5 695,42

En los cálculos no se tienen en cuenta las tasas de equivalencias del EURO, el CUC y la MN.

Sustituyendo:

$$Ee = [(\$ 17 000 - 5 967,69) - 0,15 \times \$ 5 695,42] \times 120 \text{ T/Año.}$$

$$Ee = (\$ 11032,31) - 0,85 \times 120$$

$$Ee = \$1 323 775,2.$$

Con la aplicación de esta tecnología el SIME por concepto de sustitución de importaciones de bronce ahorra.

\$1 323 775,2. EUROS

RESUMEN RESULTANTE DEL EFECTO ECONOMICO:

Efecto Económico: **\$ 1 370 535,40.**

Ahorro de portadores energéticos: **\$ 46 760,20**

Ahorro en divisa: **€ 1 357 226,07.**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

La construcción de este tipo de gasificador es original, nunca antes utilizada con estos fines, logrando resultados técnico – tecnológicos novedosos en cuanto a:

1. Al quemador llega una mezcla semigasificada que nos permite una atmósfera medio oxidante que elimina la posibilidad de la difusión del hidrógeno y el oxígeno en grado máximo hacia el caldo metálico.
2. A medida que se calienta el revestimiento la acción del gasificador es más efectiva con un ahorro de más del 45 % del fuel-oil en comparación con los métodos de inyección y pulverización actual.
3. Se reducen los tiempos de derretido y colada de 45 – 60 minutos aumentando la productividad del fusor.
4. Se ahorra un 80 % de la energía eléctrica necesaria para el precalentamiento del Fuel-oil para su ignición pues solo se utiliza en la primera fusión.
5. Se disminuye el costo de la colada con la aplicación de un método de tratamiento del caldo metálico por soplado con aire caliente sin ningún costo.
6. Se optimiza al máximo el aprovechamiento calórico del fuel-oil y la eficiencia de las transmisiones térmicas de conducción, convección y radiación.
7. Se disminuyen las pérdidas de los elementos por fusión.
8. La llama es más efectiva en su balance calórico con una combustión más completa y menos nociva para el entorno, lo que implica una mayor durabilidad de los techos y otras construcciones tecnológicas y auxiliares de la planta.
9. Se establece por primera vez en el País una tecnología con basamento científico capaz de obtener fundidos de cuproaleaciones sanos de poros y sopladuras.
10. Con la aplicación de este trabajo se establece en el país una nueva línea de producción que no solo sustituye importaciones, sino que también tiene calidad exportable de los fundidos de Br y ha permitido a la Empresa mantenerse trabajando, además del gran aporte científico que representa para la industria metalúrgica cubana.

REFERÉNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Listado de referencias.

- Abr.1983 Abramov. A. "Manual del joven fundidor". Editorial Alta Escuela. Moscú.1983 203.p.
- Jun. 2004 Januz Jemielwski. Fundicion de Metales no ferroso.
- Tai 2005 N. Taiza. Calculo de hornos de calentamiento Tech. No 711 july 2005.
- Alex.1998 Alexandor. N.H. Control del estado del metal Líquido para la obtención de HGE. Liteinoe Proistbostba .No 3 Año 1998.
- Bak.1995 Bakkerus and Van der Holst. The T-Nock Process for Making Br. Modern Casting Tech. No 711 july 1995.