

## FUSION POR PLASMA.

### Foundry by plasma.

#### RESUMEN.

La utilización del plasma en los procesos de fusión de metales es hoy una importante aplicación, ya que posee importantes ventajas como las altas temperaturas que se pueden lograr, la utilización del argón como gas de ionización le da un carácter inerte a la fusión reduciendo notablemente las pérdidas por oxidación de los elementos aleantes. Esto permite la fabricación de nuevos metales de difícil aleación.

El grupo de Investigaciones Piro metalúrgicas y de Materiales de la Universidad de Antioquia GIPIMME, ha venido trabajando en el desarrollo de un horno de fusión por plasma, para la fabricación de aleaciones, en este artículo se presentan los avances logrados en la prototipo y los procesos usados para la fabricación de aleaciones como Au-Ti, Au-Fe, Au-Al-Cu y aceros aleados auto protectores.

**PALABRAS CLAVES:** Plasma, fusión, nuevas aleaciones.

#### ABSTRACT

The use of plasma in the foundry process it is today an important application, hence it possesses several advantages, e.g. the very high temperatures that it can offer, the use of argon as ionization gas give to the media of melting the inert behavior, reducing at maximum level the lost by oxidation of the alloying elements. It can allow the melting of new alloys with high grade of difficult manufacture.

The GIPIMME group ( Grupo de Investigaciones Pirometalúrgicas y de Materiales de la Universidad de Antioquia), had been working in the developing of a plasma furnace, to make special alloys, in this paper it shown the advances got in a furnace prototype and the process to get the two alloys Au-base: Au-Ti and Au-al-Cu and alloyed auto-protected steels.

**KEYWORDS:** Plasma, melting, new alloy.

#### 1. INTRODUCCIÓN.

El plasma es el estado de la materia más difundido en el universo. El sol y las estrellas pueden ser considerados como cúmulos de plasma caliente. Toda descarga gaseosa como relámpagos, chispas, arcos, están ligados a la aparición del plasma. La llama ordinaria aunque en grado muy pequeño, esta ionizada es decir es plasma. [1] Entre el gas y el plasma no existen diferencias muy marcadas. El plasma cumple las leyes de los gases y en muchos sentidos se comporta como un gas, sin embargo cuando esta sometido a un potente campo magnético presenta cualidades nuevas y extraordinarias. Una de esas propiedades es que los plasmas calientes; los tienen temperaturas mayores a los 10.000 °K casi no ofrecen resistencia al paso de la corriente eléctrica, su conductividad es grande.

El plasma ha tenido amplia aplicación en los procesos de soldadura, sistemas de corte de materiales, proyección térmica, entre otras. [2,3,4,5]

Procesos de fusión por plasma están siendo hoy aplicados para el reciclado de papel de aluminio, por la atmósfera inerte que se produce, se desplaza el oxígeno y aun cuando el papel de aluminio presenta altas pérdidas en la fusión convencional en hornos de crisol en los procesos por plasmas las recuperaciones de metal son muy altas. El plasma esta siendo también utilizado en la fabricación de fundiciones grises y nodulares en cúpula, mediante la adaptación de antorchas de plasma en el cubilote, como fuente alternativa de calor, con esto se logra disminuir el consumo de coque y permite la utilización de carbones de baja calidad. Esta tecnología permite el impacto ambiental puesto al reemplazar parte del coque por plasma, bajando los costos por que se requieren equipos de descontaminación de gases más pequeños. [6]

#### Héctor Darío Sánchez

Ingeniero Metalúrgico, M. Sc.  
Profesor Auxiliar  
Universidad de Antioquia.  
hsanchez@udea.edu.co

#### Wilmar Escobar

Ingeniero de Materiales  
Mineros Nacionales

#### Alejandro Echavarría.

Ingeniero Metalúrgico, Ph.D.  
Profesor Titular  
Universidad de Antioquia.

#### Claudia Ossa

Ingeniera Mecánica, Ph.D.  
Profesora Auxiliar  
Universidad de Antioquia.

#### Diana Escobar.

Ingeniera Metalúrgica, Ph.D.  
Profesora Titular  
Universidad de Antioquia

El plasma es una nube gaseosa ionizada compuesta de electrones libres, iones positivos, átomos y moléculas neutras. Debido a sus especiales propiedades algunos se refieren al plasma como el “cuarto estado de la materia”. El plasma es generado cuando suficiente energía es impartida al gas para lograr ionizarlo. Por el proceso de ionización se puede calentar el plasma a temperatura muy altas, dentro de los átomos se dan choques y en su interior se dan movimientos violentos al azar. Esto resulta en colisiones atómicas que causan que algunos electrones se despeguen de su núcleo. Ver figura 1.

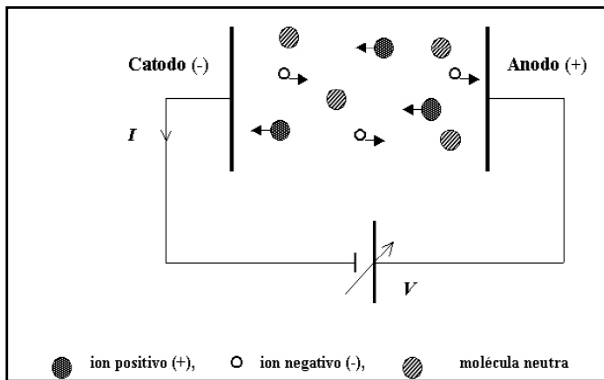


Figura 1. Formación de plasma.

Los electrones son los constituyentes de los átomos cargados negativamente; luego después de perder un electrón el núcleo más pesado con algún remanente de electrones se vuelve positivamente cargado, cuando un gas sufre este proceso se dice que está ionizado y la nube se identifica como plasma.

El comportamiento del plasma involucra interacciones complejas entre fuerzas electromagnéticas y fuerzas mecánicas, el plasma está presente en cualquier descarga eléctrica como un arco ordinario o en un tubo al vacío. Existen plasmas fríos, como el que se obtiene en un tubo al vacío fluorescente, el cual se logra por que se excita el fósforo.

Los plasmas se conocen desde hace mucho tiempo. En la tecnología comercial, se consideran como corrientes calientes que llegan a temperaturas superiores a los 10.000 °C.

Los generadores de plasma funcionan con el principio de que si suficiente voltaje es aplicado a dos electrodos separados por un espacio pequeño, (ver figura 1) la diferencia de potencial de los electrones permite que estos sean arrancados del cátodo, los electrones se aceleran y son atraídos por el ánodo. Si un gas se inserta entre el espacio entre los dos electrodos, los átomos chocarán con electrones que pasan, mientras que los núcleos pobres en electrones y cargados positivamente se mueven hacia el cátodo. De este modo en el espacio entre los electrodos se ha ionizado, llegando a ser eléctricamente conductor.

El plasma se puede formar con gases como el argón, el nitrógeno y el helio o con mezclas de gases como argón-hidrógeno; argón-helio; nitrógeno-oxígeno, entre otras. Los nuevos desarrollos en el plasma plantean la utilización de diferentes relaciones de gases para lograr mayor eficiencia térmica.

## 2. CONTENIDO

En la figura 2, se esquematiza el prototipo de horno de fusión por plasma de la Universidad de Antioquia.

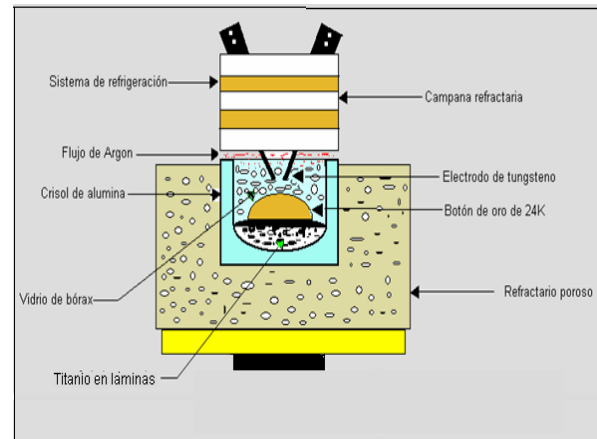


Figura 2. Esquema del horno de plasma.

Para la producción del arco y el plasma se utilizan dos electrodos de tungsteno de 1/8", estos electrodos son refrigerados por un serpentín de cobre puro, en el interior del cual circula agua con el fin de refrigerar los electrodos.

Para concentrar el calor se utilizan dos tipos de refractarios; un refractario exterior poroso que actúa como aislante y un refractario interior que es un crisol de alúmina.

Como gas inerte se utiliza argón de alta pureza y este es el que garantiza que la fusión se realice en condiciones inertes. Otro de los materiales que se usan en la fusión es el fundente, el cual cubre el metal y ayuda a aislar la atmósfera, esto contribuye a bajar las pérdidas por oxidación.

## RESULTADOS.

Las primeras mediciones que se realizaron al horno fueron: las condiciones eléctricas que se daban en el arco, en la figura 2, se muestra el comportamiento del voltaje y la corriente, con el arco encendido en corriente alterna. Se observa que después del encendido el arco se estabiliza la corriente en 130 amperios y el voltaje en 0.96 voltios, como se muestra en la figura 3.

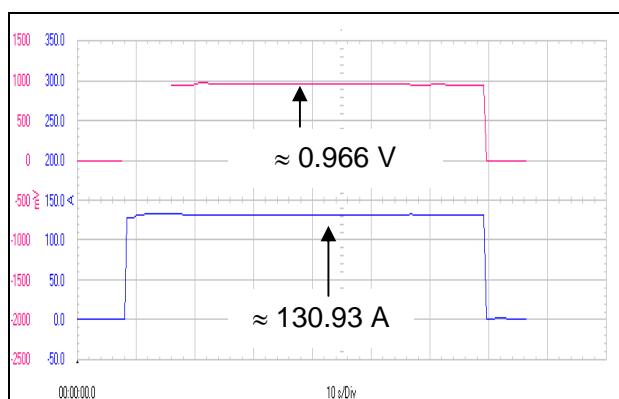


Figura 3. Resultados de la medición de las condiciones de corriente y voltaje en el arco.

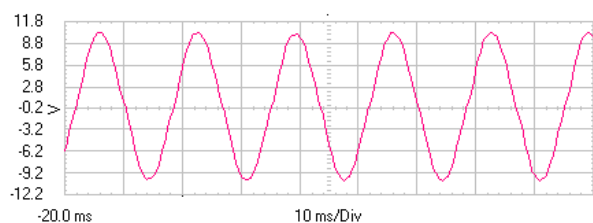


Figura 4. Onda de la corriente alterna.

Los plasmas convencionales utilizan sistemas de corriente plasma transferido con un ánodo y cátodo definidos. Para el horno que se construyó se utilizó un sistema de corriente alterna, la figura 4 muestra las características de la onda de la corriente usada. Este tipo de corriente se utilizó con el fin de que la temperatura no se concentrara en un solo electrodo. Como la corriente alterna cambia de polaridad con el tiempo cada uno de los electrodos se comporta como ánodo y como cátodo.

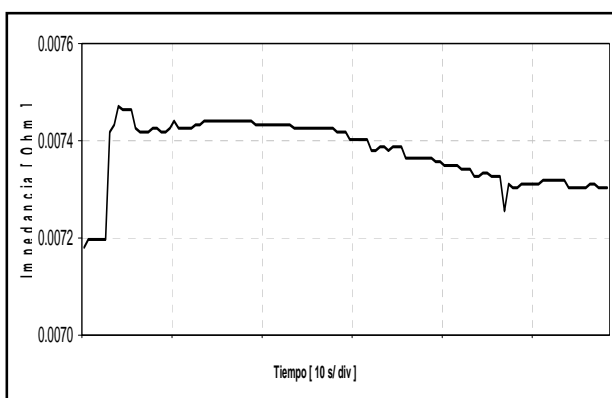


Figura 5. Medición de la impedancia del plasma.

400

El la figura 5, se observa el comportamiento de la impedancia (relación de voltaje a la corriente). La

impedancia del equipo tiende a ser más baja a medida que el equipo se calienta.

El horno de fusión por plasma ha sido usado para fabricar diferentes aleaciones. Inicialmente el horno se probó en la fabricación de aleación Au-1.7% de titanio, estas aleaciones han sido desarrolladas para aplicaciones de joyería y odontología, presentando un importante reto en su proceso de fusión pues todas las investigaciones realizadas para esta aleación reportan que se han fundido en hornos de inducción de atmósfera controlada. La fusión de aleaciones que contiene titanio como aleante, presenta el problema que como este metal es tan reactivo a altas temperaturas de fusión, tiende a perderse por oxidación.

El la figura 2, se muestra el procedimiento realizado para la fusión de la aleación oro-titanio, en el cual se parte de metales puros, pero como las dos aleaciones poseen diferentes puntos de fusión, (punto de fusión de titanio puro 1668°C y punto de fusión del oro puro 1063°C) por lo tanto en el proceso de fusión el oro puro funde primero. Otra importante diferencia entre estos dos metales esta en su densidad (densidad relativa de oro puro 19.3, densidad relativa del titanio puro de 4.51), por lo tanto en el proceso de fusión de los dos metales el titanio flota sobre el oro fundido y se debe sostener la temperatura por el tiempo suficiente para que se presenta el proceso de disolución del titanio sólido en el oro líquido. El análisis de los resultados de la fabricación de 12 gramos de una aleación de Au-1.7% Ti, mostraron que el porcentaje pérdida para el titanio fue de 0.5% en promedio. [8]

Otra aleación que se fabrico para probar el horno fue una aleación de un acero bajo carbono aleado con 0.5% de cobre y 0.5% de níquel, para la fabricación de esta aleación se cargo 40 gramos de aleación y se midieron los porcentajes de pérdidas de los elementos aleantes depuse de analizar tanto los materiales de carga como la composición del metal de salida por espectrometría de emisión. Los resultados mostraron que el porcentaje de pérdida se muestran el la tabla 1. [9,10]

Aleante.	% Perdidas
Cobre	0.4
Níquel	0.5
Hierro	0.4

Tabla 1. Porcentaje de pérdidas de los elementos aleantes para la aleación de acero.

En el proceso de fusión del acero fue necesario precalentar el refractario poroso con el fin de concentrar más el calor y disminuir los tiempos de fusión del metal el cual estuvo en 4 minutos.

La baja conductividad térmica del aire que se encuentra en los espacios vacíos del refractario poroso permiten que el calor generado por el plasma se concentre en el metal y

en un tiempo corto se pueda calentar por encima de los 1550°C.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los resultados de esta investigación muestran que la utilización del plasma como fuente de energía para la fusión de metales es una promisoría. Por este proceso se pueden fabricar aleaciones que solo se podrían fabricar con hornos de inducción con atmósfera controlada, siendo la tecnología de los hornos de inducción muy costosa.

Los procesos de fusión convencionales son muy contaminantes por que utilizan como fuente de calor la quema de combustibles fósiles, carbón coque, gas propano, ACPM, entre otros. La posibilidad de desarrollar hornos de fusión por plasma es una importante alternativa como horno de producción limpia y la fusión de chatarras con alta superficie las cuales tienden a oxidarse en los sistemas de fusión convencionales.

El diseño de la antorcha de plasma con corriente alterna permite que se den dentro del arco condiciones eléctricas estables y evitar así el sobre calentamiento de los electrodos.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] [D. Castro. O. G. Velásquez. “Termodinámica del plasma “. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. 2; 23-27, 1997
- [2] J. Feugeus. “Modificación superficial y desarrollo de recubrimiento utilizando plasma.” III Congreso Internacional de Materiales. Simposio 2005. VI Congreso Nacional de Corrosión y Protección. Cartagena de Indias. Colombia Septiembre 12-16 2005.
- [3] F. E Garcia, J. m Cuetos . “ Recubrimientos de proyección por plasma” . Encuentro de tribología septiembre 20-21 2001. Universidad de Oviedo.
- [4] Ducos, M. and Reitz, V. “Coating properties and characteristics optimization of the operation of a plasma generator for thermal spraying. International Thermal Spraying”. Conference. Montreal, Canadá. September 1986. pp 8-12.
- [5] “Plamas Cupula Iron Melting”.Center for Materials Production.  
[www.htpweld.com/products/plasma\\_torch\\_parts/aff.html](http://www.htpweld.com/products/plasma_torch_parts/aff.html)
- [6] Pineau, Didier. “ Plasma on a foundry cupula” Presented at EPRI/CMP Plasma Symposium, Palo Alto, CA, Mar. 1990.  
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1991epri.symp>
- [7] Kvernes, I.; Espeland, M. and Norhom, O. Plasma spraying of alloys and ceramics. Scandinavian Journal of Metallurgy. Vol 17. 1988. pp 8-16.
- [8] Dieter, O. and Cristoph R.. “Gold Casting Alloy” Gold Bulletin 1.983 pag 46-50
- [9] A, Echavarría. “Obtención del acero 23Cr 8Ni 3Ti 3Si y su evaluación para aplicaciones biomédicas”. Informe final de proyecto CODI. Universidad de Antioquia. 1999.
- [10] J, Astigarraga Urquiza. “Hornos de arco para fusión del acero”.1999. Mc Graw Hill. P 39-47.