



PATENTE DE INVENCION

=====

B. 2280. 3.

338865

Memoria Descriptiva

sobre:

"PROCEDIMIENTO Y HORNO ELECTRICO PARA LA FUSION Y RESO-
LIDIFICACION EN CONTINUO DE UNA CARGA DE COMPUESTOS
REFRACTARIOS"

Solicitante: COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, entidad francesa,
residente en 29, rue de la Fédération, Paris 15^a, Francia.

Se refiere esta invención a los hornos
eléctricos de inducción de corrientes de alta frecuencia,
destinados en particular a realizar la fabricación de
piezas en material refractario por fusión, y después so-
lidificación (refractarios denominados electrofundidos)

5.



4 ABR. 1967

- 2 -

338865

- y más particularmente de piezas en óxidos refractarios electrofundidos, introducidos en el horno en estado pulverulento, - gracias a un desplazamiento del arrollamiento inductor paralelamente a su eje a lo largo de la carga de material refractario.

5.

Conocido es ya el preparar refractarios electrofundidos en un horno eléctrico de inducción de alta frecuencia. Se ha utilizado en particular, con tal fin, un horno eléctrico constituido por una pared metálica doble hendida, enfriada por una circulación de fluido, que sirve a la vez de inductor monoespira, y de crisol de fusión.

10.

El material refractario tiene una resistividad eléctrica extremadamente elevada en frío, por lo que es necesario calentar previamente la carga, al principio de la operación, hasta una temperatura tal que las corrientes inducidas puedan circular por él.

15.

Tal horno es utilizable para fundir aquellos materiales refractarios que presenten una temperatura de cebadura (o de inductibilidad) prácticamente confundida con su punto de fusión (alúmina, magnesia, sílice, por ejemplo): El material refractario situado en la proximidad de la pared del inductor monoespira que constituye el crisol presenta una conductibilidad eléctrica muy mala, lo que excluye los riesgos de formación de un arco entre los bordes de la ranura del inductor monoespira. Por el contrario, se hace prácticamente inutilizable para fundir los numerosos materiales refractarios que presentan una temperatura de iniciación o arranque (cebadura), de 1000 a 1500°C por ejemplo, mucho más

20.

25.

30.



338865

- débil que su punto de fusión: es este el caso de numerosos óxidos refractarios conocidos, como el circonio y el bióxido de uranio, cuyo punto de fusión no es inferior a 2.600°C: en efecto, si se utilizase el dispositivo conocido de doble pared metálica, el material se haría rápidamente conductor en ciertos puntos próximos a la hendidura del inductor monoespira, lo cual cortocircuitaría al inductor, deteriorando a éste y poniendo fin al caldeo por inducción y a la fusión de la carga refractaria.
- 5.
- 10.

- Para proteger al inductor, se puede interponer entre éste y la carga de material refractario, un tubo de cuarzo o de sílice de doble pared, enfriado por circulación de un fluido: Desgraciadamente, este tubo, que es relativamente costoso, se deteriora al contacto de la carga. En efecto, hallándose el líquido de enfriamiento por ejemplo mantenido a 50°C y siendo el refractario mal conductor del calor, el gradiente de temperatura en este último material es muy rígido y está además sometido a irregularidades. Resulta de ello que el cuarzo sufre cargas muy elevadas, en particular sobre la pared exterior del tubo; estas cargas sobrepasan el límite elástico e incluso el punto de ruptura del material, de donde se origina una fisuración superficial que hace inutilizable al tubo después de una sola operación de fusión de una carga refractaria, y son incluso susceptibles de provocar la rotura de la pared del tubo en el curso de la primera operación, impidiendo llevarla a su término.
- 15.
- 20.
- 25.

30. La invención tiene principalmente como fin



338865

- evitar a un tiempo los inconvenientes del procedimiento conocido arriba mencionados y los de este último paliativo. Con tal fin, la invención propone un horno eléctrico de inducción de fusión de material refractario
5. que comprende: un arrollamiento eléctrico inductor de varias espiras; una cubierta coaxial respecto al arrollamiento, en contacto directo con el material que se trata de fundir, constituida por una pluralidad de elementos conductores tubulares longitudinales idénticos,
10. enfriados por circulación de fluido y separados por un material refractario aislante eléctrico; un dispositivo de alimentación del horno en material de fundir en estado dividido; y medios de alimentación del arrollamiento inductor en corriente de frecuencia radioeléctrica.
15. Los elementos metálicos de pared delgada, separados longitudinalmente entre sí por un material aislante constituyen un "pozo térmico" interpuesto entre el inductor y la carga refractaria. Dando a estos elementos una pared muy delgada, se pueden reducir las corrientes de superficie inducidas a un valor muy débil y
20. limitar las pérdidas. La tensión eléctrica entre los bordes de dos elementos yuxtapuestos, separados por un aislante, queda dividida, con respecto a la tensión inducida global, por el número de elementos aislados entre
25. sí, por lo que puede evitarse con seguridad la formación de arcos eléctricos entre estos elementos.
- Se comprenderá mejor la invención mediante la descripción que sigue de un horno que constituye una forma de realización del invento, dado a título de ejemplo no limitativo. La descripción se refiere al plano
- 30.



338865

que la acompaña y en el cual las figuras 1 y 2 representan el horno, respectivamente en perspectiva y en sección transversal, según la línea II - II de la figura 1.

5. El horno representado comprende un arrollamiento inductor 1, alimentado por un generador de alta frecuencia, que rodea a una cubierta 2 destinada a recibir una carga refractaria 3 a fundir.

10. El arrollamiento inductor 1 está constituido por varias espiras de tubo de cobre enfriadas por circulación de agua. Es móvil paralelamente a su eje con respecto a la cubierta 2, en el sentido de la flecha 4 y en el sentido opuesto, un dispositivo regulado (no representado) conocido por sí mismo, permite realizar este desplazamiento a velocidad regulable.

15. La cubierta 2, coaxial respecto al arrollamiento inductor 1, y sin contacto con él, está constituida por un tubo sin fondo, formado por varios elementos conductores 5 (catorce en la forma de realización representada) separados por unas plaquillas aislantes 6, por ejemplo de una cerámica. Pueden utilizarse principalmente el cuarzo y la alúmina. Los elementos 5 son todos idénticos. Cada uno de ellos está constituido por una cubierta tubular en chapa de cobre muy delgada, recorrida por una circulación de líquido de enfriamiento (agua en general) que penetra por un tubo 7, el cual llega al fondo de la cubierta, y sale por un tubo 8 que vuelve a dejar el líquido en lo alto de la cubierta. El grueso de los elementos 5 debe ser el menor posible, para reducir las pérdidas: se utiliza por ejemplo un grueso de 5/10 mm para tubos de 5 mm de diámetro. Se ve en la figura 2 que
- 20.
- 25.
- 30.



- 6 -

338865

las plaquillas aislantes desbordan ligeramente los elementos conductores 5 hacia el interior (saliente del orden del milímetro) para alargar las líneas de fuga y oponerse asimismo a la aparición de arcos.

5. La solidarización de los elementos conductores 5 y de las plaquillas 6 se efectúa, en la forma de ejecución representada, por arrollamiento de una banda de tejido aislante refractario que presenta un buen comportamiento en caliente (tejido de vidrio o de alúmina, por ejemplo), representado únicamente en la parte
10. baja de la figura 1, en trazos mixtos.

15. Son posibles otras soluciones. En particular, se podrán constituir los elementos conductores por tubos delgados de cobre de sección circular o perfilada, aislarlos por proyección con pistola de alúmina sobre cada tubo y solidarizarlos por unos colectores superior e inferior situados fuera del campo del inductor. Esta solución es interesante cuando los elementos se encuentran en número elevado, comprendido entre diez y veinticuatro (cifra esta última que constituye prácticamente un máximo para los diámetros corrientes). Por el contrario, hasta ocho elementos, resulta preferible la solución representada en las figuras 1-2. Parece ser que el número de cuatro elementos constituye un mínimo.

- 20.
25. La cubierta 2 así realizada es prácticamente transparente a la radiación de frecuencia radioeléctrica del inductor 1.

30. Un distribuidor 10 (tolva, por ejemplo), permite verter la carga 3 de material refractario de caudal regulable en el recipiente 2, bajo una forma di-



338865

vidida (polvo, gránulos ...) de naturaleza tal que pueda repartirse la carga en la cubierta, lo que no permitiría, por ejemplo, una alimentación en partículas alargadas.

5. La cubierta 2 está cerrada por su parte inferior por un obturador 11 desmontable, evitando así el escape del material dividido a medida que se produce la alimentación, constituido por un tapón de cerámica, o mejor, por una solera provista de un circuito de agua de enfriamiento.

10. Si el material a tratar ha de ser sustraído a la acción del aire en el curso de la operación, como es el caso en numerosos compuestos refractarios, se puede poner el horno bajo atmósfera protectora interponiendo entre el inductor 1 y la cubierta 2 un recinto estanco aislante refractario 16 (cuarzo por ejemplo) esquematizado en trazos mixtos en la figura 1: este recinto no disminuye sensiblemente el rendimiento eléctrico y no sufre ninguna degradación, ya que no queda sometido más que un calentamiento pequeño. Está provisto de tuberías que permiten establecer en él una atmósfera protectora.

15. A título de ejemplo, se puede indicar que se ha realizado un horno del tipo indicado, destinado al tratamiento de circonio, utilizando elementos de 5 mm de dimensión radial que delimitan una zona de recepción del circonio de 40 mm de diámetro. La longitud de la cubierta puede alcanzar de 5 a 6 veces la del inductor.

20. Describiremos a continuación la realización del horno con miras a la preparación de refractario

25. 30.



338865

electrofundido, con referencia a la figura 1, que ilustra una fase intermedia de la operación, con puesta en marcha de la fusión.

5. Esta puesta en marcha no puede en general efectuarse, por el hecho de la muy escasa conductancia en frío del refractario, más que con ayuda de artificios tales como los siguientes, puestos en acción mientras la cubierta 2 está cerrada por el obturador 11, con el inductor 1 en posición baja y una delgada capa de material en estado dividido situada sobre el obturador:
10. - si puede efectuarse la operación en atmósfera de aire, se sitúan en el centro y sobre la capa pulverulenta finas virutillas de metal cuyo óxido constituye la carga 3 (aluminio para la cebadura de una carga de alúmina): Bajo la acción de las corrientes inducidas, se oxida el metal en presencia del aire, según una reacción fuertemente exo-térmica que calienta la carga contigua, y la hace conductora a su vez a las corrientes inducidas, las cuales provocan entonces su fusión,
15. - si la operación debe efectuarse al abrigo del aire, se coloca sobre la capa un filamento de tungsteno en el que nacen corrientes inducidas: una vez alcanzada la fusión, este filamento cae contra el fondo y puede eliminarse por fragmentación del producto,
20. - en todos los casos, se puede efectuar un calentamiento previo por soplete de plasma o arco auxiliar, al precio de una contaminación.
25. En todos los casos, el calentamiento, la conductibilidad y la fusión, se propagan de trecho en trecho por la carga, hasta que el efecto de pared fría a
- 30.



- 9 -

338865

- proximidad de la cubierta 2 limita este calentamiento antes de llegar al umbral en el que la resistividad sufre una caída brutal y abrupta; a falta de esta caída de resistividad, las corrientes inducidas no pueden circular y la zona anular 12 en contacto con la cubierta permanece en estado pulverulento o más o menos fritado.
- 5.
- Una vez fundida la totalidad de la capa, fuera de la parte contenida dentro de la zona anular 12, se alimenta la cubierta 2 en material a tratar. Al mismo tiempo, se desplaza el inductor 1 en el sentido de la flecha 4 a una velocidad regulada de modo que la fusión progrese en la carga 3 a la misma velocidad que la subida del nivel de la carga. La parte fundida anteriormente se vuelve a solidificar detrás del inductor 1 y proporciona una masa compacta: en la figura 1 toda la fracción 13 de la carga del interior de la zona anular, ha sufrido así sucesivamente la fusión y la solidificación. Por encima de la parte 14 en curso de fusión subsiste una capa 15 de material en estado aún dividido.
- 10.
- 15.
- 20.
- La figura 2, que constituye una sección en la parte 14, hace aparecer una parte central 14' en fusión contenida en una fina capa vitrificada 14" constitutiva de un auto-crisol (que formará ganga después de la solidificación) y rodeada, entre la capa vitrificada y la cubierta 2, por la zona anular 12, que queda en general en estado pulverulento, pero que puede estar más o menos fritada. Esta zona de material pulverulento constituye una barrera térmica que protege a la cubierta 2.
- 25.
- 30.
- Una vez que el inductor ha llegado a la parte superior de la cubierta 2, se cortan las alimenta-



4 ABR. 1961

- 10 -

338865

- ciones; gracias a la presencia de la zona anular 12 de material que no ha sufrido la fusión entre la barra de material electrofundido y la cubierta 2, se separan la una de la otra fácilmente. La cubierta 2 es generalmente recuperable y, en todo caso, su precio de coste es inferior al de un pozo término de cuarzo; de todos modos, los elementos conductores son recuperables y sólo es preciso rehacer las juntas aislantes después de algunas fusiones.
- 5.
10. Queda por despojar la barra de material electrofundido de las partes que contienen impurezas o que son de estructura insuficientemente homogénea, principalmente serrando los extremos y trabajando la superficie lateral.
15. Se puede principalmente aplicar el procedimiento:
20. - a la preparación de UO_2 electrofundido, en atmósfera neutra o reductora, estando la frecuencia de alimentación del inductor comprendida entre 500 kC/s (para diámetros importantes) y algunos MC/s; la velocidad de subida del inductor es, en la mayor parte de los casos, del orden de 10 cm/hora. La zona anular pulverulenta presenta de 1 a 2 mm de grueso. La alimentación debe efectuarse en UO_2 pulverulento cuyos granos son suficientemente regulares para distribuirse convenientemente por la cubierta. A este respecto, es preciso recordar que el UO_2 electrofundido es muy difícil de elaborar en un horno de inductor monoespira que forme recipiente y que, en todo caso, el rendimiento eléctrico (y por consiguiente el rendimiento económico de la
- 25.
- 30.



- 11 -

338865

operación) es muy superior con un inductor multiespira y una cubierta "transparente" de inducción electromagnética.

5. - a la preparación de óxidos refractarios poco conductores electrofundidos (por ejemplo: Al_2O_3 ; MgO bajo fuerte presión de oxígeno).

10. - a la preparación de óxidos refractarios electrofundidos tales como el circonio: en este último caso, la zona pulverulenta presenta un grueso que alcanza frecuentemente 5 mm.

La lista expuesta no es, evidentemente, limitativa: en todos los casos se realiza una fusión muy homogénea.

15. La cubierta del horno descrita a título de ejemplo es de sección circular: innecesario se hace decir que nada impide utilizar una forma diferente, cuadrada o en estrella, por ejemplo, para obtener una barra de forma similar.

N O T A

20. Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas, son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También

25. se hace constar que el invento corresponde a una solicitud de patente presentada en Francia con fecha 5 de Abril de 1.966 n^o PV.56.436, acogiendo por lo tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor, siendo lo que constituye la esencia del referido

30. invento, y por lo que se solicita patente de invención



338865

- 3^a.- Horno eléctrico según la reivindicación 2, caracterizado porque comprende un dispositivo de desplazamiento relativo del arrollamiento y de la cubierta paralelamente a su eje común.
5. 4^a.- Horno eléctrico según reivindicaciones 2 ó 3, caracterizado porque dicho material aislante se constituye con cuñas de cerámica situadas entre dichos elementos.
10. 5^a.- Horno eléctrico según reivindicación 4, caracterizado porque los citados elementos conductores y las citadas cuñas aislantes se mantienen unidos por una banda ajustada sobre dicha cubierta.
15. 6^a.- Horno eléctrico según las reivindicaciones 2, 3, 4 ó 5, caracterizados porque dicha cubierta presenta forma de tubo cilíndrico de sección recta semejante a la que se quiere dar a la barra de material refractario fundido y nuevamente solidificado.
20. 7^a.- "Procedimiento y horno eléctrico para la fusión y resolidificación en continuo de una carga de compuestos refractarios", tal y como queda sustancialmente descrito en la presente memoria e ilustrado en los adjuntos dibujos.

Esta memoria consta de trece hojas escritas a máquina por una sola cara.

25.

Madrid,

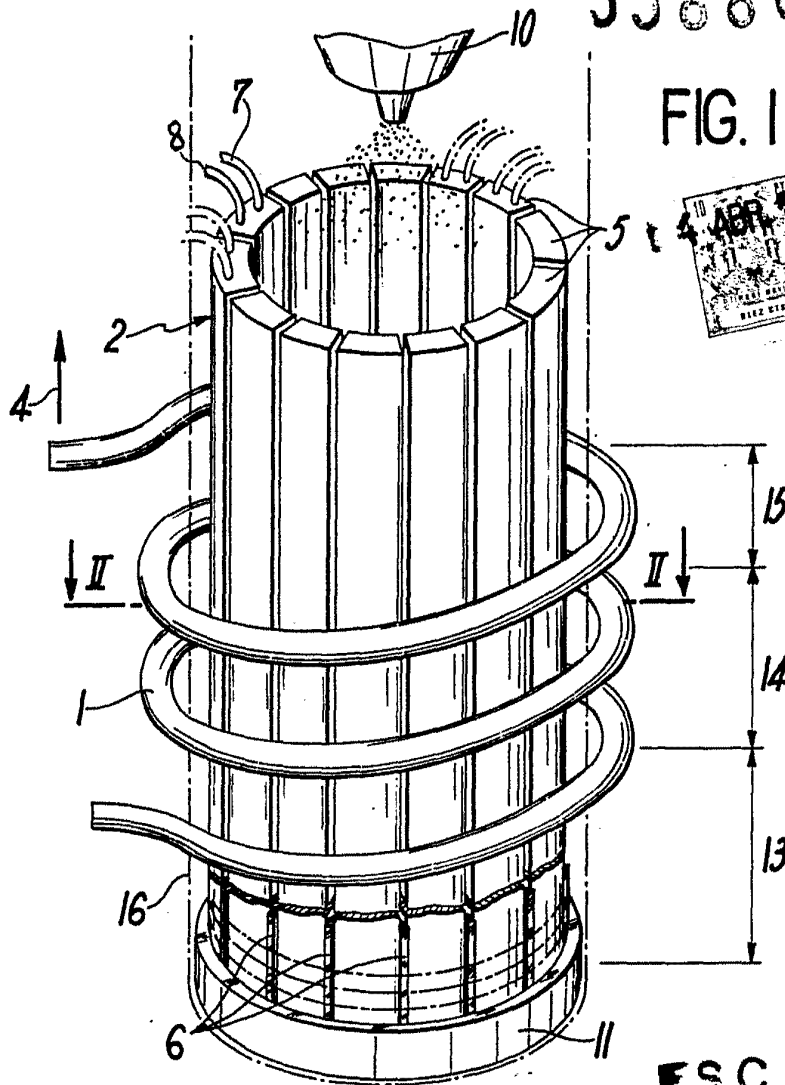
4 ABR. 1961

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

L. GÓMEZ ACEBO Y MODET
p. p. Firmado: F. Hernández Rola

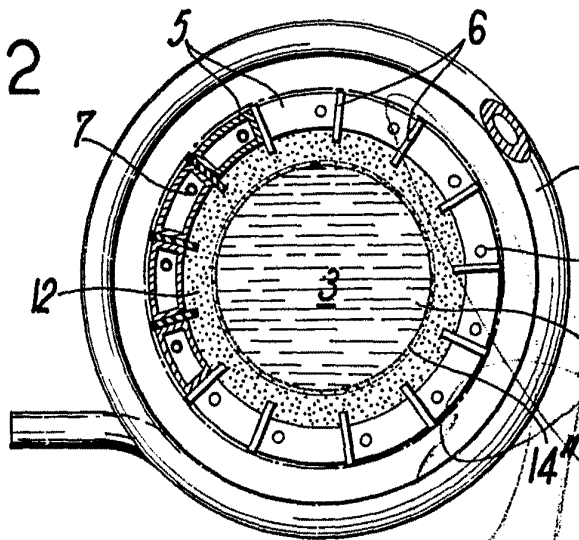
338865

FIG. 1



ESCALA VARIABLE

FIG. 2



4 ABR. 1967

J. GOMEZ ACEBO Y M. DEL
P. A. Firmado: F. Hernandez