

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 613 847**

51 Int. Cl.:

<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/08</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/14</b>	(2006.01)
<b>C23C 8/02</b>	(2006.01)
<b>C23C 8/32</b>	(2006.01)
<b>G21C 3/07</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.09.2012 PCT/EP2012/069263**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013 WO2013045661**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2012 E 12762656 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2016 EP 2761040**

54 Título: **Procedimiento de realización a partir de un desbaste de acero inoxidable austenítico con bajo contenido en carbono de una funda resistente al desgaste y a la corrosión para reactor nuclear, funda y grupo de control correspondientes**

30 Prioridad:

**30.09.2011 FR 1158859**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**26.05.2017**

73 Titular/es:

**AREVA NP (100.0%)  
Tour Areva, 1 Place Jean Millier  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**HERTZ, DOMINIQUE**

74 Agente/Representante:

**SALVA FERRER, Joan**

ES 2 613 847 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de realización a partir de un desbaste de acero inoxidable austenítico con bajo contenido en carbono de una funda resistente al desgaste y a la corrosión para reactor nuclear, funda y grupo de control correspondientes.

5

**[0001]** La presente invención se refiere a la realización de piezas de acero inoxidable cuya resistencia al desgaste y a la corrosión se mejora por un tratamiento de endurecimiento por difusión de especie(s) atómica(s).

**[0002]** La invención se aplica especialmente a la realización de lápices que absorben los neutrones destinados a ser utilizados en unos reactores de agua ligera (REL o LWR - Light Water Reactor en inglés), especialmente de agua presurizada (REP o PWR - Pressurized Water Reactor).

10

**[0003]** Los lápices que absorben los neutrones se reagrupan habitualmente en grupos de control. Entre estos grupos, ciertos se desplazan frecuentemente en funcionamiento en unas guías sobre las cuales friccionan. Estos grupos vibran igualmente bajo el efecto del flujo del agua. Sus lápices corren por tanto el riesgo de desgastarse y de perder una parte de su capacidad de absorción neutrónica, esencia misma de la seguridad del reactor. Las fundas y los tapones de los lápices que absorben los neutrones están particularmente sometidos a este riesgo de desgaste.

15

**[0004]** La frecuencia y la amplitud de los desplazamientos de ciertos de los lápices absorbentes, especialmente cuando el reactor se utiliza en seguimiento de carga, la frecuencia y la amplitud de las vibraciones de ciertos de estos lápices absorbentes, especialmente para los grupos que permanecen en posición estacionaria, son tales que es necesario controlar frecuentemente y reemplazar prematuramente un cierto número de grupos teniendo en cuenta el desgaste que se deriva de las fricciones.

20

**[0005]** Para luchar contra este desgaste, se ha propuesto endurecer por nitruración la superficie exterior de las fundas. Los documentos FR-2 604 188, EP-446 083, EP-537 062 y EP-801 142 describen así unas etapas de nitruración por plasma.

25

**[0006]** Tales etapas de nitruración permiten proteger eficazmente contra el desgaste las fundas de los lápices absorbentes.

30

**[0007]** JP 2001-032 045 describe un procedimiento de preparación de un acero austenítico que permitiría limitar los riesgos de fisura por corrosión bajo tensión asistida por la irradiación. El acero austenítico se calienta a una temperatura superior a 1.050 °C y se enfría de 800 °C a 500 °C a una velocidad comprendida entre 1 y 50 °C/s.

35

**[0008]** No obstante, se ha constatado que ciertas superficies nitruradas así presentarían una resistencia a la corrosión insuficiente y que podría aparecer óxido después de la fabricación, durante el transporte, durante el almacenamiento o incluso durante la puesta en servicio de los grupos de control.

40

**[0009]** Uno de los objetivos de la invención es paliar este inconveniente proponiendo un procedimiento que permita realizar unas piezas que presentan una buena resistencia al desgaste así como una buena resistencia a la corrosión.

**[0010]** A tal efecto, la invención se refiere a un procedimiento según la reivindicación 1.

45

**[0011]** Las reivindicaciones de 2 a 11 definen otras características facultativas del procedimiento.

**[0012]** La invención se refiere igualmente a una funda obtenida según la reivindicación 12.

50

**[0013]** La invención se refiere además a un grupo de control según la reivindicación 13.

**[0014]** Otros aspectos y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la descripción que aparece a continuación, dada únicamente a título de ejemplo y realizada en referencia a los dibujos anexos, en los cuales:

55

- la figura 1 es una vista esquemática parcial y en sección que ilustra un lápiz absorbente de un grupo de control según la invención,

- la figura 2 presenta las curvas intensidad/potencial para unas fundas en AISI 316L antes y después de la nitruración,

- las figuras de 3 a 5 presentan unas curvas procedentes de pruebas potencioestáticas realizadas en unas fundas

nitruadas, correspondiendo las figuras de 3 a 5 a diferentes composiciones de aceros inoxidables austeníticos y diferentes condiciones de nitruración,

- la figura 6 presenta unas curvas intensidad/potencial antes de la nitruración para unas fundas procedentes de desbastes soldados y no soldados,

5 - la figura 7 es una vista análoga a la figura 6 después de la nitruración para unas fundas procedentes de desbastes soldados y no soldados.

10 **[0015]** En la figura 1 se distingue una parte de un ensamblaje 1 de combustible nuclear y una parte de un grupo 3 de control de la reactividad del núcleo de un reactor nuclear en el cual se carga el ensamblaje 1.

15 **[0016]** De manera clásica, el ensamblaje 1 comprende un haz de lápices de combustible nuclear (no representados) y un esqueleto 5 de soporte y de mantenimiento de este haz. El esqueleto 5 comprende una boquilla inferior 7, una boquilla superior 9 y unos tubos-guías 11 que unen la boquilla inferior 7 y la boquilla superior 9. Un solo tubo-guía 11 se representa en la figura 1.

20 **[0017]** El grupo de control 3 consta de unos lápices 13 que absorben los neutrones, de lo cuales uno solo es visible en la figura 1 y una araña 15 que garantiza el soporte y el mantenimiento de los lápices absorbentes 13 para que sean paralelos entre ellos y posicionados lateralmente según la misma red que los tubos-guías 11 del ensamblaje 1 que el grupo de control 3 supera.

**[0018]** La araña 15 comprende un pomo 17 que permite conectar el grupo de control 3 a un mecanismo de desplazamiento (no representado) y unas aletas 19 incorporadas al pomo 17 y sobre cada una de las cuales están fijados uno o varios lápiz(lápices) absorbente(s) 13.

25 **[0019]** El lápiz 13 representado en la figura 1 consta de una funda 21 que contiene al menos un material que absorbe los neutrones, por ejemplo bajo la forma de un apilamiento de pastillas 23 de carburo de boro B<sub>4</sub>C. La funda 21 es un tubo, por ejemplo de 3,8 m de longitud, de 9,70 mm de diámetro exterior y de 0,5 mm de espesor. La funda 21 está cerrada por un tapón superior 25 y por un tapón inferior 27. El extremo inferior del tapón inferior 27 converge por ejemplo hacia abajo.

30 **[0020]** De manera clásica, para regular la reactividad del reactor, el grupo de control 3 se va a insertar o extraer del núcleo del reactor, de modo que los lápices absorbentes 13 se desplacen al interior de los tubos-guías 11 correspondientes así como a lo largo de guías (no representadas) colocadas en la parte interna superior del reactor.

35 **[0021]** La funda 21 se realiza por ejemplo a partir de acero inoxidable austenítico de tipo AISI 304 o AISI 316, en general bajo carbono AISI 304L o AISI 316L. El tapón 27 se realiza por ejemplo a partir de un acero inoxidable austenítico AISI 308, en general bajo carbono AISI 308L. Las composiciones (en % masa después del vertido) de estos aceros se detallan en la tabla 1:

40

Tabla 1

Elemento	AISI 316L Norma DIN 1.4311		AISI 304L Norma DIN 1.4311		AISI 308L Norma DIN 1.4303	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Carbono		0,03		0,03		0,03
Manganeso		2,00		2,00	-	2,00
Fósforo		0,05		0,05		0,05
Azufre		0,03		0,03		0,03
Silicio		1,00		1,00		1,00
Cobalto		0,04		0,04		0,12
Níquel	10,00	14,00	8,50	11,50	10,00	12,00
Cromo	16,50	18,50	17,00	19,00	19,00	21,00
Molibdeno	2,00	2,50				

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración.

45 **[0022]** Más generalmente, la funda 21 está realizada en acero inoxidable austenítico con, de preferencia, un contenido másico en carbono inferior o igual al 0,03%. Puede estar realizada igualmente en otros tipos de acero inoxidable, de preferencia bajo carbono.

**[0023]** De preferencia igualmente, la funda 21 se realiza a partir de un desbaste tubular desprovisto de soldadura. Puede estar realizada también a partir de un desbaste rodado-soldado por ejemplo, si unos tratamientos térmicos han permitido volver a poner en solución los precipitados, especialmente de carburos y nitruros de cromo y de molibdeno, lo que es el caso del tratamiento de sobretemple descrito posteriormente.

**[0024]** La funda 21 ha sido obtenida por ejemplo a partir de un procedimiento de realización que comprende las etapas siguientes:

- 10 - suministro de un desbaste tubular de acero inoxidable austenítico que ha sufrido eventualmente un sobretemple, es decir en el sentido de la presente descripción un tratamiento que comprende:
  - un calentamiento del desbaste tubular a una temperatura y durante una duración suficientes para poner en solución los precipitados, especialmente los carburos y nitruros de cromo y de molibdeno, después
  - 15 • un temple del desbaste tubular a una velocidad que permite conservar a continuación a temperatura ambiente la estructura austenítica en el estado metastable y exento de precipitados,
- elaboración del desbaste, comprendiendo esta etapa unas sub-etapas de:
  - si el desbaste tubular no ha sufrido un sobretemple, aplicación de tal sobretemple,
  - ejecución de uno o varios ciclos de estirado o de laminado en frío seguido cada uno de un sobretemple,
  - 20 • estirado final,
- acabado, pudiendo comprender esta etapa de acabado unas sub-etapas de:
  - aplanamiento,
  - pulido sobre cintas abrasivas y rueda,
  - 25 • controles y/o
  - decapado/pasivación.

**[0025]** Para lo que se refiere a los sobretemple descritos más arriba, el calentamiento se garantiza de preferencia a una temperatura estrictamente superior a 1.020 °C, de preferencia superior a 1.040 °C, de preferencia inferior a 1.100 °C y, de preferencia, incluso inferior a 1.080 °C.

**[0026]** La duración de calentamiento está comprendida por ejemplo entre 1 minuto 30 segundos para un desbaste de bajo grosor (del orden del mm) y 30 minutos para un desbaste de mayor espesor (del orden del cm) y, de preferencia, entre 3 y 10 minutos. La duración del calentamiento, en particular, para los últimos tratamientos térmicos no debe ser demasiado importante para limitar el aumento del tamaño de los granos, aumento del tamaño que podría ser perjudicial para las propiedades del componente terminado.

**[0027]** El temple se garantiza de preferencia para evitar el mantenimiento del acero a una temperatura de 450 a 800 °C, ámbito de precipitación de los nitruros y de los carburos de cromo. Si la carga del horno es reducida, por ejemplo de unos desbastes no reunidos en grupo, un temple al gas, de preferencia neutro o no oxidante, es suficiente para garantizar la refrigeración sin precipitación. La velocidad crítica de temple depende del contenido en carbono del acero: es más elevada cuanto más elevado es el contenido en carbono. Así, para un contenido másico del 0,03% de carbono, la temperatura descenderá durante el temple de la temperatura de inicio de temple hasta una temperatura por debajo de 850 °C de preferencia en menos de 3 minutos y de la temperatura de inicio de temple a una temperatura por debajo de 450 °C de preferencia en menos de un cuarto de hora para un desbaste de bajo espesor (del orden del mm) y de una hora para un desbaste de mayor espesor (del orden del cm).

**[0028]** La tabla 2 presenta dos ejemplo de encadenamiento de etapas de elaboración y de acabado de un desbaste tubular de acero inoxidable austenítico desprovisto de soldadura a fin de realizar una funda 21. Al final de estas operaciones diferentes, la funda 21 obtenida se someterá, después de la soldadura al tapón inferior 27, a un endurecimiento de su superficie exterior (29) por difusión de especie(s) atómica(s). Este tratamiento de endurecimiento se describirá posteriormente.

Tabla 2

Operación	Condiciones	
	Ejemplo 1	Ejemplo 2
Suministro de desbastes de acero inoxidable austenítico	Diámetro exterior de 21,30 mm, espesor de 1,60 mm	Diámetro exterior de 16 mm, espesor de 1 mm
Laminado en frío	Laminado hasta un diámetro exterior de 12,7 mm y un diámetro interior de 11,40 mm	/
Sobretemple	Calentamiento a $1.050 \pm 50$ °C bajo H <sub>2</sub> durante 1 min 30 s a 5 min, temple que permite refrigerar de 900 a 450 °C en menos de 5 min	/
Estirado en frío	Estirado hasta un diámetro exterior de 10,57 mm y un diámetro interior de 9,60 mm	Estirado hasta un diámetro exterior de 13,35 mm y un diámetro interior de 12 mm
Sobretemple	Calentamiento a $1.050 \pm 50$ °C bajo H <sub>2</sub> durante 1 min 30 s a 5 min, temple que permite refrigerar de 900 a 450 °C en menos de 5 min	Calentamiento a $1.060 \pm 50$ °C bajo H <sub>2</sub> durante 1 min 30 s a 5 min, temple que permite refrigerar de 900 a 450 °C en menos de 5 min
Estirado en frío	Estirado hasta un diámetro exterior de 9,65 mm y un diámetro interior de 8,75 mm	Estirado hasta un diámetro exterior de 11,35 mm y un diámetro interior de 10,45 mm
Sobretemple	/	Calentamiento a $1.060 \pm 50$ °C bajo H <sub>2</sub> durante 1 min 30 s a 5 min, temple que permite refrigerar de 900 a 450 °C en menos de 5 min
Estirado en frío	/	Estirado hasta un diámetro exterior de 9,7 mm y un diámetro interior de 8,70 mm
Aplanamiento	Sí	Sí
Pulido	Sí	Sí
Control	Sí	Sí
Puesta en longitud	Sí	Sí
Decapado - pasivación	/	Sí
Pulido final	Sí	Sí

**[0029]** El tapón inferior 27 se puede realizar a partir de un procedimiento que comprende por ejemplo las etapas siguientes:

5

- suministro de un desbaste cilíndrico de acero inoxidable austenítico obtenido por laminado en caliente,
- sobretemple con un calentamiento a una temperatura adaptada a la naturaleza masiva de la pieza, generalmente comprendida entre 1.050 y 1.150 °C, de preferencia entre 1.070 y 1.130 °C,
- enderezamiento,

10

- rectificación sin centro o céntricas,
- elaboración por fabricación,
- acabado.

**[0030]** El tapón inferior 27 está enmangado sobre el extremo de la funda 21 correspondiente y soldado por ejemplo por soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) bajo atmósfera protectora a fin de evitar la oxidación.

15

**[0031]** La funda 21 y su tapón inferior 27, se someten a continuación a una etapa de endurecimiento de sus superficies exteriores respectivas 29 y 31 por difusión de especie(s) atómica(s).

20

**[0032]** Puede tratarse de una etapa de nitruración tal como las descritas en los documentos FR-2 604 188, EP-446 083, EP-537 062 y EP-801 142.

**[0033]** De preferencia, se trata de una etapa de carbonitruración o de nitrocarburation, por ejemplo tal como

la descrita en el documento EP-801 142.

**[0034]** Así, se puede, por ejemplo someter la funda 21 y su tapón inferior 27 a una atmósfera gaseosa que contiene nitrógeno, hidrógeno y un hidrocarburo, activada por plasma, a una temperatura de tratamiento 5 comprendida entre 340 y 450 °C y, de preferencia, entre 400 y 420 °C.

**[0035]** Las capas de la funda 21 y del tapón 27 próximas a sus superficies exteriores 29 y 31 respectivas se cargan de carbono y de nitrógeno de tal modo que se forme en el acero de estas capas superficiales, cuyo espesor puede estar comprendido entre 10 y 60 µm, una solución sólida de carbono y de nitrógeno. 10

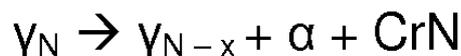
**[0036]** Más generalmente, otras etapas de endurecimiento de las superficies exteriores 29 y 31, por difusión de especie(s) atómica(s), que las descritas más arriba se pueden utilizar: nitruración gaseosa, cementación iónica... 15

**[0037]** Las capas superficiales formadas así sobre las fundas 21 y los tapones 27 proporcionan una resistencia incrementada contra el desgaste. 20

**[0038]** El solicitante ha establecido igualmente que las fundas 21 y los tapones inferiores 27 obtenidos por los procedimientos descritos más arriba presentan, después de la etapa de endurecimiento, una buena resistencia a la corrosión y, en particular, una resistencia a la corrosión mejor que la de las fundas y tapones obtenidos gracias a los procedimientos del estado de la técnica. 25

**[0039]** Gracias a la aplicación de uno o varios sobretemple(s) tal(es) como el(los) descrito(s) más arriba, la segregación de la austenita cargada de nitrógeno de la capa superficial de nitruro de cromo y en fase metálica empobrecida en cromo durante la etapa de nitruración se reduce. 30

**[0040]** Tal segregación se puede traducir por la fórmula:



30 donde  $\gamma_N$  representa la austenita cargada de nitrógeno  
 $\gamma_{N-x}$  representa la austenita menos cargada de nitrógeno  
 $\alpha$  representa la ferrita y CrN del nitruro de cromo.

**[0041]** Los riesgos de corrosión de las superficies exteriores 29 de las fundas 21 y de las superficies 35 exteriores 31 de los tapones inferiores 27 durante su utilización se reducen por tanto.

**[0042]** Por otro lado, un bajo contenido en carbono permite reducir la presencia de gérmenes de carburo, gérmenes que podrían generar la formación de carbonitruros durante la etapa de nitruración y provocar igualmente la segregación de la austenita en la capa superficial. Esta característica contribuye por tanto igualmente a reducir la 40 sensibilidad y la corrosión.

**[0043]** El o los sobretemple(s) puede(n) tener lugar antes del suministro del desbaste y/o durante la etapa de elaboración o de acabado.

45 **[0044]** Además, como se expone posteriormente, la ausencia de soldadura en los desbastes tubulares permite reducir igualmente la sensibilidad a la corrosión de las fundas 21.

**[0045]** La figura 2 muestra las curvas intensidad/potencial o curvas de polarización, en solución de ácido bórico (2.000 ppm de B en forma  $H_3BO_3$  y 1.000 ppm de  $SO_4^{2-}$ ) desaireada a 70 °C, para unas fundas 21 en AISI 50 316L obtenidas como se describe anteriormente antes de la nitruración (curva 32) y después de la nitruración (curva 33).

**[0046]** La corriente de corrosión se traslada al eje de las abscisas y se expresa en  $\mu A/cm^2$  y el potencial sobre el eje de las ordenadas en mV con respecto al electrodo al calomel saturado (mV/ECS). Como se puede 55 constatar, la sensibilidad a la corrosión de las fundas 21 es reducida antes de la nitruración mientras que puede ser 8 veces más importante para las fundas 21 nitruradas.

**[0047]** Colocándose en el pico de actividad de los aceros inoxidable austeníticos no nitrurados, se puede

seguir la evolución de la corriente de corrosión durante una prueba potencioestática así como la de la cantidad de corriente, estando esta cantidad de corriente vinculada con la cantidad de materia corrosible de conformidad con la ley de Faraday.

- 5 **[0048]** Teniendo en cuenta la composición de los aceros utilizados (AISI 304L y AISI 316L) y de las valencias respectivas de los elementos corrosibles hierro y níquel, colocándose en el pico de actividad (-490mV/ECS para estos aceros) 2,4 a 2,7 C/cm<sup>2</sup> corresponden aproximadamente a 1 μm de espesor corrosible.
- [0049]** Las figuras de 3 a 5 permiten comparar los resultados de pruebas potencioestáticas en diferentes  
10 fundas nitruradas de las cuales una nitrurada a una temperatura demasiado elevada. En estas figuras, la curva en líneas discontinuas representa la corriente de corrosión I en μA/cm<sup>2</sup> y la curva en línea continua la cantidad de corriente de corrosión Q en C/cm<sup>2</sup>.
- [0050]** Para cada una de estas tres pruebas, se coloca por tanto en el pico de actividad (- 490 mV/ECS) y en  
15 una solución de ácido bórico (2.000 ppm de B en forma H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> y 1.000 ppm de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) desaireada a 70 °C.
- [0051]** Las figuras 3 y 4 ilustran respectivamente unas fundas 21 realizadas en acero AISI 304L. Estas dos fundas se distinguen en que la de la figura 4 ha sido nitrurada a una temperatura demasiado elevada. La figura 5 se refiere a una funda 21 obtenida a partir de acero AISI 316L y nitrurada correctamente. Las cantidades de corriente de  
20 corrosión Q medidas son respectivamente de 2,37 C/cm<sup>2</sup>, 10,03 C/cm<sup>2</sup> et 1,53 C/cm<sup>2</sup>, sabiendo que la cantidad de corriente de corrosión de un acero inoxidable austenítico no nitrurado es 0,00 C/cm<sup>2</sup>.
- [0052]** Los resultados de estas pruebas potencioestáticas son de conformidad con las micrografías: la sensibilidad a la corrosión de una capa nitrurada, señalada por una corriente elevada, se revela también por el  
25 ataque visible en unas secciones metalográficas.
- [0053]** Un criterio de aceptación de la sensibilidad a la corrosión puede proponerse por tanto sobre la base de la cantidad de corriente de corrosión Q medida durante las pruebas potencioestáticas. El valor elegido es de 3 C/cm<sup>2</sup>, debiendo ser los valores de Q medidos inferiores para que la pieza analizada presente una resistencia a la  
30 corrosión satisfactoria.
- [0054]** De conformidad con las curvas de las figuras 3 y 5, las fundas 21 en AISI 304L y en AISI 316L presentan por tanto una sensibilidad a la corrosión después de la nitruración inferior a 3 C/cm<sup>2</sup>.
- 35 **[0055]** No obstante, se ha constatado que ciertos tapones 27 en AISI 308L, que no habían sido obtenidos según un procedimiento tal como el descrito más arriba y que habían sido soldados en la parte inferior de estas fundas 21 y habían sido nitrurados al mismo tiempo podían presentar una sensibilidad a la corrosión más importante (hasta 12 C/cm<sup>2</sup>) a pesar de un contenido en cromo y, por tanto, una inoxidabilidad teórica, más importante.
- 40 **[0056]** La figura 6 muestra las curvas intensidad/potencial en la solución de ácido bórico precitada para una funda 21 en AISI 316 obtenida a partir de un desbaste, que contiene un 0,046% de carbono en masa, con una soldadura (curva 34) y una funda 21 en AISI 316L obtenida a partir de un desbaste, que contiene un 0,02% de carbono en masa, desprovisto de soldadura (curva 35).
- 45 **[0057]** Como se puede constatar, antes de la nitruración, la sensibilidad a la corrosión de las fundas 21 es análoga, que se hayan obtenido a partir de desbastes con o sin soldadura, a pesar de la diferencia de contenido en carbono de los aceros.
- [0058]** La figura 7 permite comparar las curvas intensidad/potencial después de la nitruración en las mismas  
50 condiciones de las mismas fundas 21 que provienen de desbastes con soldadura (curva 37) y sin soldadura (curva 39).
- [0059]** Como se puede constatar, la intensidad de la corriente es aproximadamente 50 veces superior al nivel del pico de corrosión 41 y aproximadamente 25 veces superior al nivel de la bandeja de pasivación 43 para la curva  
55 37 con respecto a la curva 39.
- [0060]** Así, la utilización de fundas 21 resultantes de desbastes tubulares desprovistos de soldadura y de bajo contenido en carbono permite disminuir significativamente la sensibilidad a la corrosión después de la nitruración de las fundas 21.

**[0061]** Una explicación posible es que la ausencia de control de la temperatura al calentamiento y a la refrigeración durante la soldadura de los desbastes provoca una sensibilización no solamente de la zona soldada y de la zona afectada térmicamente, pero igualmente del conjunto del desbaste en el caso de un desbaste tubular.  
5 Esta sensibilización podría revelarse durante la nitruración posterior, por la segregación de la austenita.

**[0062]** Por otro lado, la tabla 3 a continuación permite comparar la sensibilidad a la corrosión después de la nitruración de fundas 21 obtenidas a partir de desbastes soldados y sin soldadura, con realización (caso 1, 3 y 4) o no (caso 2) antes de la nitruración de un tratamiento de sobretemple tal como se ha descrito más arriba, permitiendo  
10 este sobretemple la redisolución de los precipitados y la eliminación de las tensiones residuales resultantes de la elaboración.

Tabla 3

Caso	Desbaste soldado	Duración y temperatura de calentamiento del sobretemple	Contenido másico en C en %	Sensibilidad a la corrosión después de la nitruración Q en C/cm <sup>2</sup>
1	sí	3 mn a 1.040 °C	0,02	2,9
2	sí	2 a 4 mn a 996 °C	0,046	>35
3	sí	2 a 4 mn a 996 °C después 3 mn a 1.040 °C	0,046	~11
4	sí	2 a 4 mn a 996 °C después 20 mn a 1.080 °C	0,046	5,2

15 **[0063]** Se constata por tanto que la utilización de desbastes no soldados de bajo contenido en carbono por una parte y la aplicación de un sobretemple impulsado que permite hacer desaparecer los precipitados por otra parte permiten disminuir significativamente e independientemente la sensibilidad a la corrosión.

**[0064]** Incluso después de un sobretemple impulsado, la sensibilidad a la corrosión sigue viéndose afectada  
20 no obstante por el contenido en carbono relativamente elevado (caso 2 y 3).

**[0065]** Si se prefiere la utilización de desbastes tubulares no soldados, se pueden utilizar igualmente unos desbastes rodados-soldados bajo reserva de someterlos después de la soldadura a un tratamiento de sobretemple impulsado tal como se ha descrito anteriormente, que permitirá una redisolución de los precipitados.  
25

**[0066]** Más generalmente, se ha constatado de manera sorprendente que los tratamientos de acabado, después de la etapa de estirado final de la elaboración, tales como las operaciones de rectificación, de cepillado, de pulido o de lustrado, podían tener un impacto sobre la resistencia a la corrosión de las fundas 21 nitruradas.

30 **[0067]** Así, la tabla 4 a continuación compara la sensibilidad a la corrosión de fundas 21 nitruradas que presentan diversos estados de superficie obtenidos aplicando o no unas operaciones de pulido o lustrado antes de la etapa de nitruración y después de la etapa de elaboración. Las durezas y rugosidades medidas lo han sido sobre las superficies exteriores 29 de las fundas 21 después de la nitruración.

35 Tabla 4

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Pulido	Sí	No	No
Lustrado	Sí	No	No
Rugosidad aritmética Ra	0,19-0,21	0,31-0,64	0,29-0,44
Dureza HV50	1038	1038	1107
Dureza HV100	1097	1048	1105
Esesor en µm (unas capas endurecidas)	18	17,8	17,3
Q en C/cm <sup>2</sup>	1,65	1,04	0,5

**[0068]** El martillado superficial introducido por unos tratamientos mecánicos de acabado aumenta por tanto la sensibilidad a la corrosión después de la nitruración (pérdida de al menos 0,5 C/m<sup>2</sup> tanto para el pulido como para el

lustrado).

**[0069]** De preferencia, se utilizarán por tanto unas piezas, que no han sido sometidas a tales etapas mecánicas de acabado antes de la etapa de endurecimiento para formar las fundas 21, los tapones 27 y, más generalmente, cualquier otra pieza que se pueda utilizar en un reactor nuclear y que deba presentar una buena resistencia al desgaste y a la corrosión.

**[0070]** La presencia de tales tratamientos mecánicos de acabado puede explicar la sensibilidad a la corrosión constatada en ciertos tapones inferiores 27 durante unas pruebas potencioestáticas de las figuras de 3 a 5.

**[0071]** En lo que se refiere a los tapones 27 y, más generalmente, a cualquier otra pieza fabricada que se pueda utilizar en un reactor nuclear y que deba presentar una buena resistencia al desgaste y a la corrosión tales como pasadores de guía, tuercas y tornillos... no siempre es posible pilotar la operación de fabricación para evitar la formación de una capa superficial martillada que conducirá durante un tratamiento de endurecimiento posterior a una degradación de la sensibilidad a la corrosión.

**[0072]** La tabla 5 a continuación expone unas profundidades martilladas por diferentes modos de elaboración de las superficies (según L.E. Samuels and G.G Wallwork, J. Iron Steel Inst. 186 (1957) 211).

		Tabla 5	
Tratamiento mecánico		Espesor de las capas de metal deformadas (en $\mu\text{m}$ )	
20	Pulido papel SiCN°	220	6
		400	2,5
		600	2,2
25	Pulido papel Esmerilado	1/0	5
		2/0	4
		3/0	4
		4/0	4
30	Pasta abrasiva de alúmina		1,5
	Fresado		45
	Rectificación con muela		35

**[0073]** En todo caso, unos tratamientos que intervienen después de la etapa de elaboración y antes de la etapa de nitruración de las piezas permiten evitar esta degradación eliminando el martillado de las capas superficiales. A continuación se dan cuatro ejemplos de tales tratamientos. Estos tratamientos se pueden combinar eventualmente.

**[0074]** Un primer tratamiento comprende un sobretemple en las condiciones definidas más arriba. Este sobretemple permite volver a poner en solución los carburos y nitruros, formados por ejemplo durante una fabricación, así como los microprecipitados de fase martensítica que son tantos gérmenes en la segregación de la austenita durante la nitruración. El sobretemple permite eliminar también las tensiones mecánicas superficiales que favorecen también esta segregación de la austenita durante la etapa de endurecimiento. Este tratamiento no se puede aplicar no obstante si se desea conservar en las piezas un estado martillado en la masa, muestra de propiedades mecánicas superiores, pero no es, a título de ejemplo, el caso de los tapones 27.

**[0075]** Un segundo tratamiento comprende un decapado químico por ejemplo a base de ácido nítrico o fluonítrico, de agua regia... El decapado puede ser igualmente electroquímico con la ayuda de un baño, de una pasta o de un gel ácido durante 15 a 120 minutos o, más rápidamente, con una asistencia electroquímica. El decapado permite por ejemplo disolver las capas superficiales empobrecidas en cromo metálico en 0,5 a 5  $\mu\text{m}$ . Así, la sensibilización a la corrosión durante la etapa de endurecimiento podrá limitarse incluso suprimirse. Este tratamiento sigue siendo compatible con el mantenimiento de las propiedades mecánicas aportadas por un martillado en la masa.

**[0076]** Un tercer tratamiento comprende un decapado por plasma radiofrecuencia durante de 2 a 4 h a 250 °C bajo atmósfera Ar-H<sub>2</sub>. El decapado permite pulverizar las capas superficiales empobrecidas en cromo metálico por ejemplo en 0,5 a 5  $\mu\text{m}$  y reducir por tanto la sensibilidad a la corrosión después de la nitruración. Tal tratamiento se ha aplicado antes de la nitruración por ejemplo en unos pasadores fabricados en AISI 316L. La profundidad difundida alcanzada durante una nitrocarburation de 80 h a 400 °C +/- 20 °C supera los 20  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, es necesario evitar de preferencia proseguir el decapado por plasma radiofrecuencia más allá de 8 h ya que la

superficie podría estar demasiado activada y podría precipitar el nitrógeno en CrN desde su llegada durante la fase de nitruración. Así, la sensibilidad a la corrosión medida por prueba potencioestática se eleva de  $3E-08C/cm^2$  para 2 h de decapado, a más de  $10C/cm^2$  más allá de 8 h de decapado.

- 5 **[0077]** Un cuarto tratamiento comprende un acabado por vibración utilizando sucesivamente unos abrasivos cada vez más finos. La profundidad eliminada, sin provocar por ello calentamiento por tanto de tensiones superficiales de tracción, ni perturbar las capas subyacentes, puede alcanzar  $10\ \mu m$  en unas horas, en general menos de 3 horas, lo que es suficiente para eliminar el espesor más alterado durante una fabricación. La sensibilidad a la corrosión no se ve afectada entonces por el tratamiento posterior de endurecimiento. El acabado por vibración se puede aplicar por vibración de abrasivos al contacto de las piezas, estando colocados las piezas y los abrasivos en un recinto vibratorio.
- 10

- [0078]** Los tratamientos de eliminación del martillado de las capas superficiales se utilizarán de preferencia para las piezas cuya elaboración haga intervenir una retirada de materia con riesgo de calentamiento localizado y temporal y de creación de tensiones superficiales de tracción tal como una fabricación.
- 15

- [0079]** Para las piezas obtenidas por una elaboración sin retirada de materia, como las fundas, se preferirá aplicar unos tratamientos de acabado que permitan evitar la aparición de un martillado y, en particular, unas tensiones superficiales de tracción en la superficie externa.
- 20

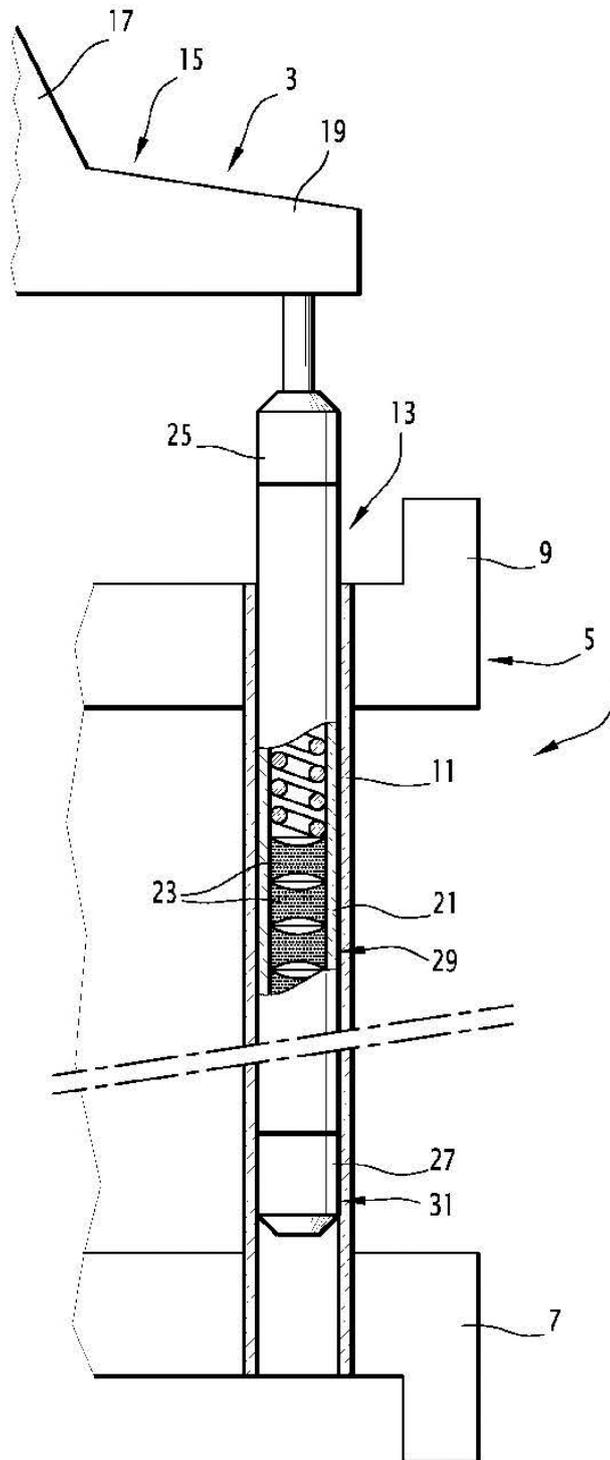
- [0080]** Más generalmente, las características descritas más arriba se pueden utilizar independientemente unas de otras y ser aplicadas solo, por ejemplo en el caso de un grupo de control 3, en ciertos de los lápices 13.

- [0081]** Así, se puede utilizar por ejemplo un bajo contenido en carbono, independientemente de un sobretemple e independientemente de la ausencia de etapas de acabado.
- 25

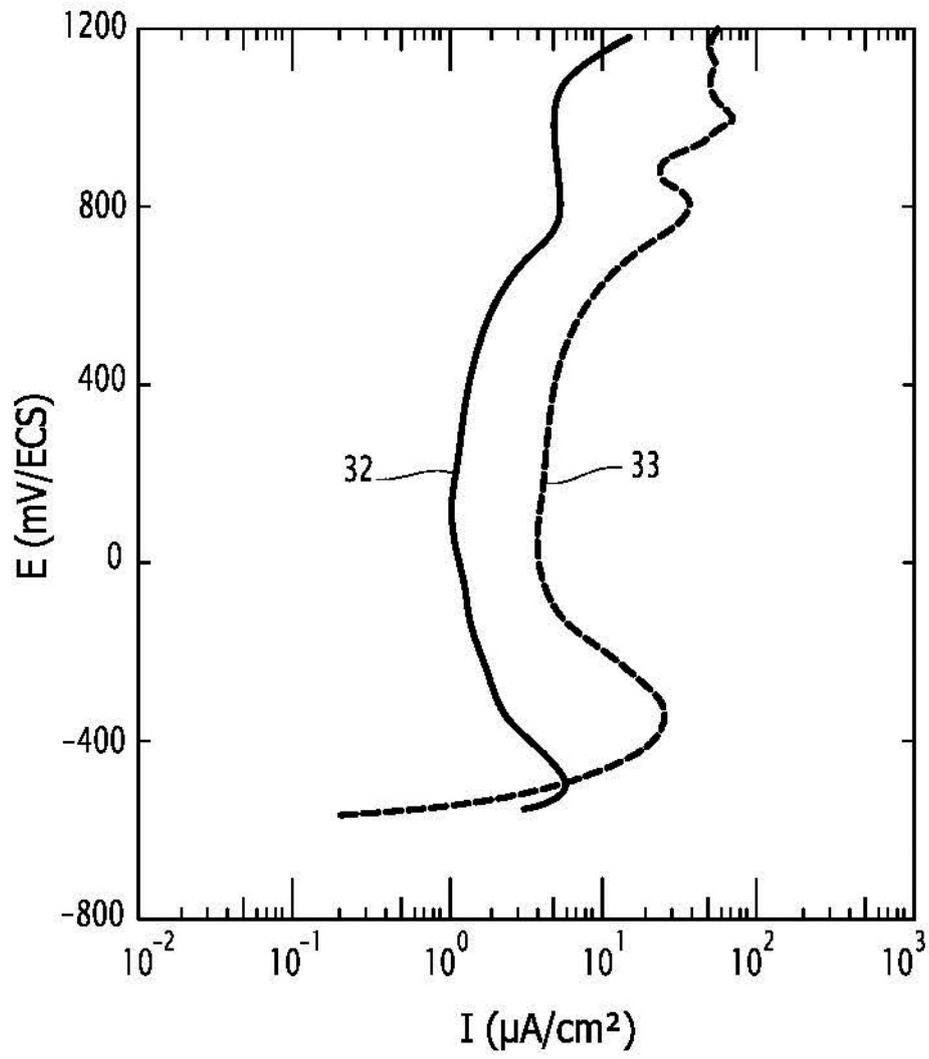
- [0082]** Del mismo modo, se pueden aplicar ciertas características anteriores a unos desbastes tubulares con soldadura.

**REIVINDICACIONES**

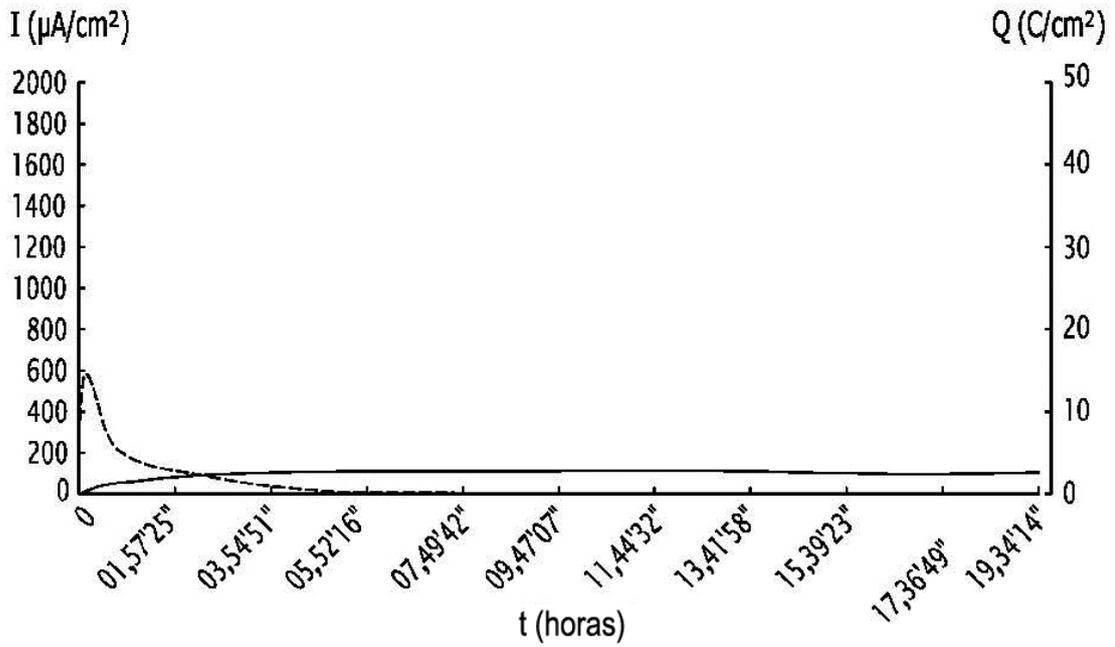
1. Procedimiento de realización de una funda (21) resistente al desgaste y a la corrosión para reactor nuclear, comprendiendo dicho procedimiento unas etapas de:
- 5
- suministro de un desbaste tubular de acero inoxidable austenítico con un contenido de carbono inferior o igual al 0,03% en masa,
  - elaboración del desbaste,
  - acabado del desbaste para formar la funda (21),
- 10 - endurecimiento de la superficie exterior (29) de la funda (21) por difusión de especie(s) atómica(s),
- estando sometido el desbaste antes de la etapa de suministro o durante la etapa de elaboración o de acabado al menos a un sobretemple con unas sub-etapas de:
- 15 - calentamiento del desbaste a una temperatura y durante una duración suficientes para poner en solución los precipitados eventualmente presentes,
- temple del desbaste a una velocidad que permite conservar a temperatura ambiente la estructura austenítica en el estado metastable y exento de precipitados.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual la sub-etapa de calentamiento se lleva a cabo a una temperatura comprendida entre 1.020 °C y 1.100 °C, de preferencia entre 1.040 y 1.080 °C.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en el cual la sub-etapa de calentamiento se lleva a cabo durante una duración comprendida entre 1 minuto 30 segundos y 30 minutos, de preferencia entre 3 y 10 minutos.
- 25 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual, durante la sub-etapa de temple, el desbaste se refrigera de la temperatura de inicio de temple hasta menos de 850 °C en menos de 3 minutos y hasta menos de 450 °C en menos de un cuarto de hora.
- 30 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual dicho sobretemple no está seguido durante la etapa de elaboración o durante la etapa de acabado de una operación que crea unas tensiones superficiales de tracción.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual dicho sobretemple no está seguido durante la etapa de elaboración o durante la etapa de acabado de una rectificación, de un cepillado, de un pulido o de un lustrado.
- 35 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la etapa de acabado comprende al menos un decapado o un acabado por vibración de la superficie exterior (29) de la funda (21).
- 40 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la etapa de endurecimiento de la superficie exterior (29) de la funda (21) comprende una nitruración por plasma.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el cual la etapa de endurecimiento de la superficie exterior
- 45 (29) de la funda (21) comprende una carbonitruración o una nitrocarburation.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 7, en el cual la etapa de endurecimiento comprende una carburación o una cementación.
- 50 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el desbaste está desprovisto de soldadura.
12. Funda (21) de acero inoxidable austenítico obtenida por un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 55 13. Grupo (3) de control para reactor nuclear con agua presurizada que consta de una araña (15) y unos lápices absorbentes (13) que comprenden unas fundas (21) que contienen al menos un material (23) que absorbe los neutrones y unos tapones (25, 27) de obturación de las fundas (21), **caracterizado porque** las fundas (21) de al menos ciertos de los lápices absorbentes (13) son unas fundas según la reivindicación 12.
- 60



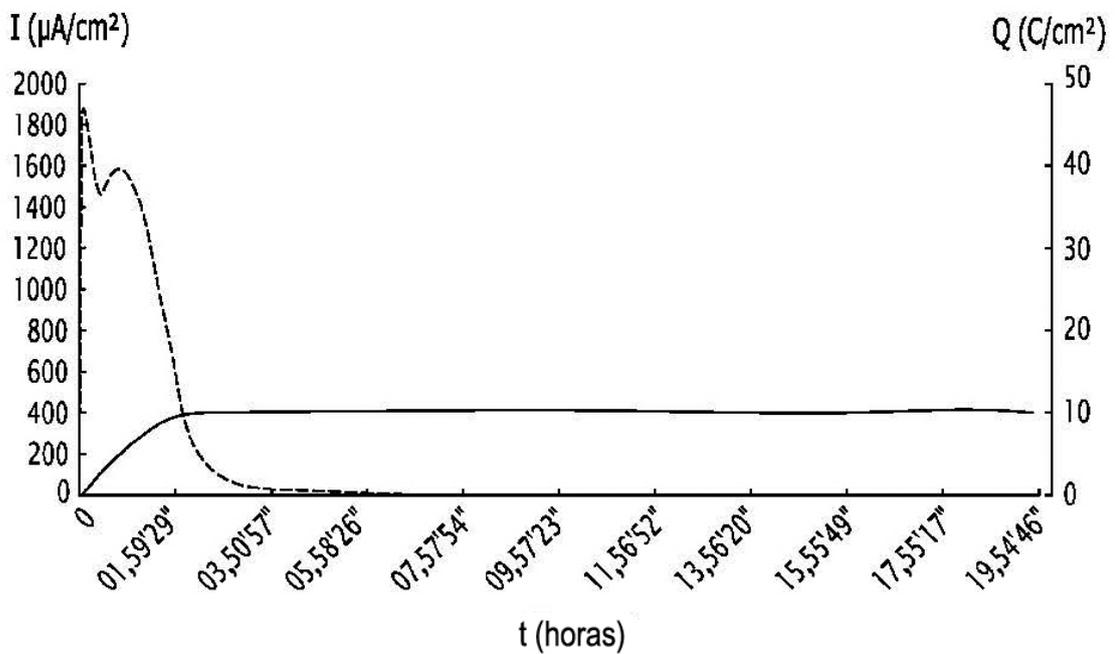
**FIG.1**



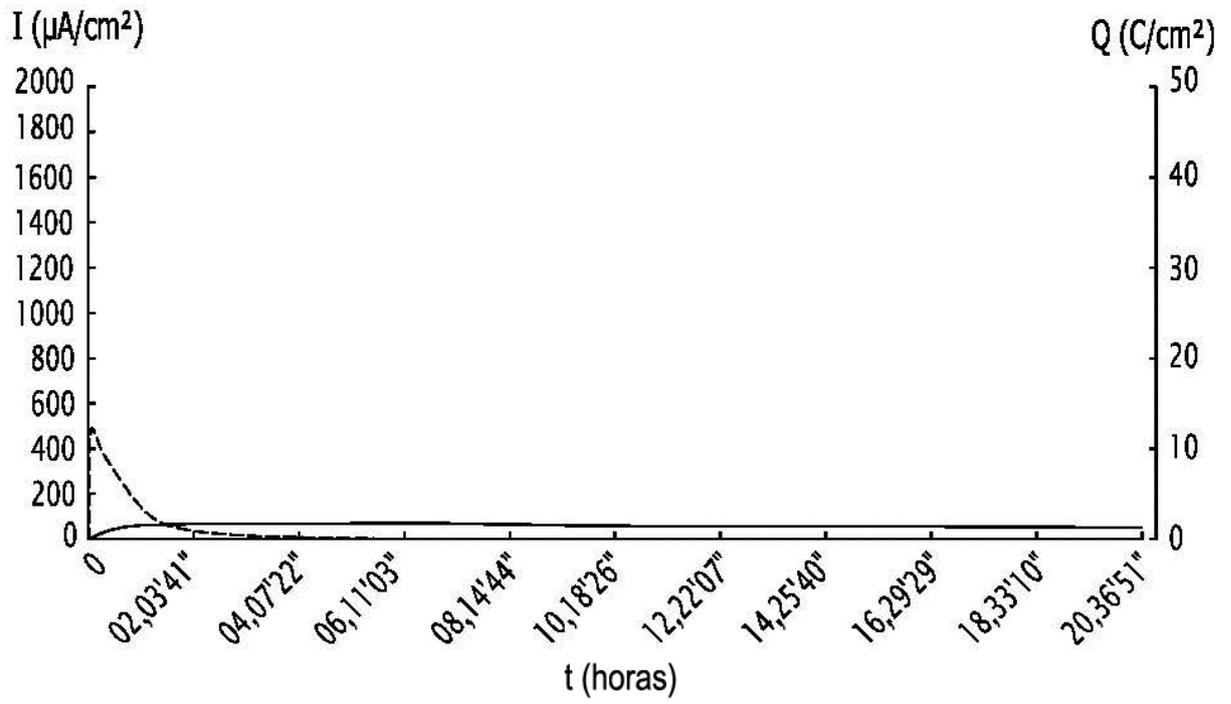
**FIG.2**



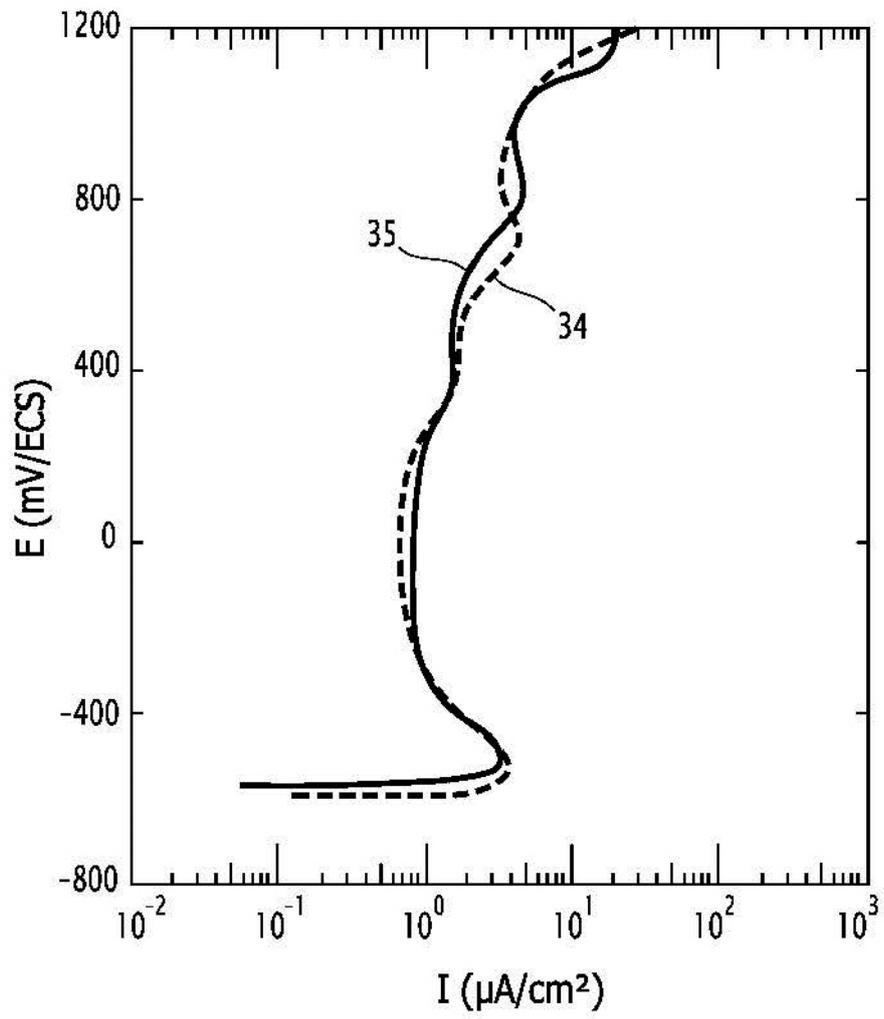
**FIG.3**



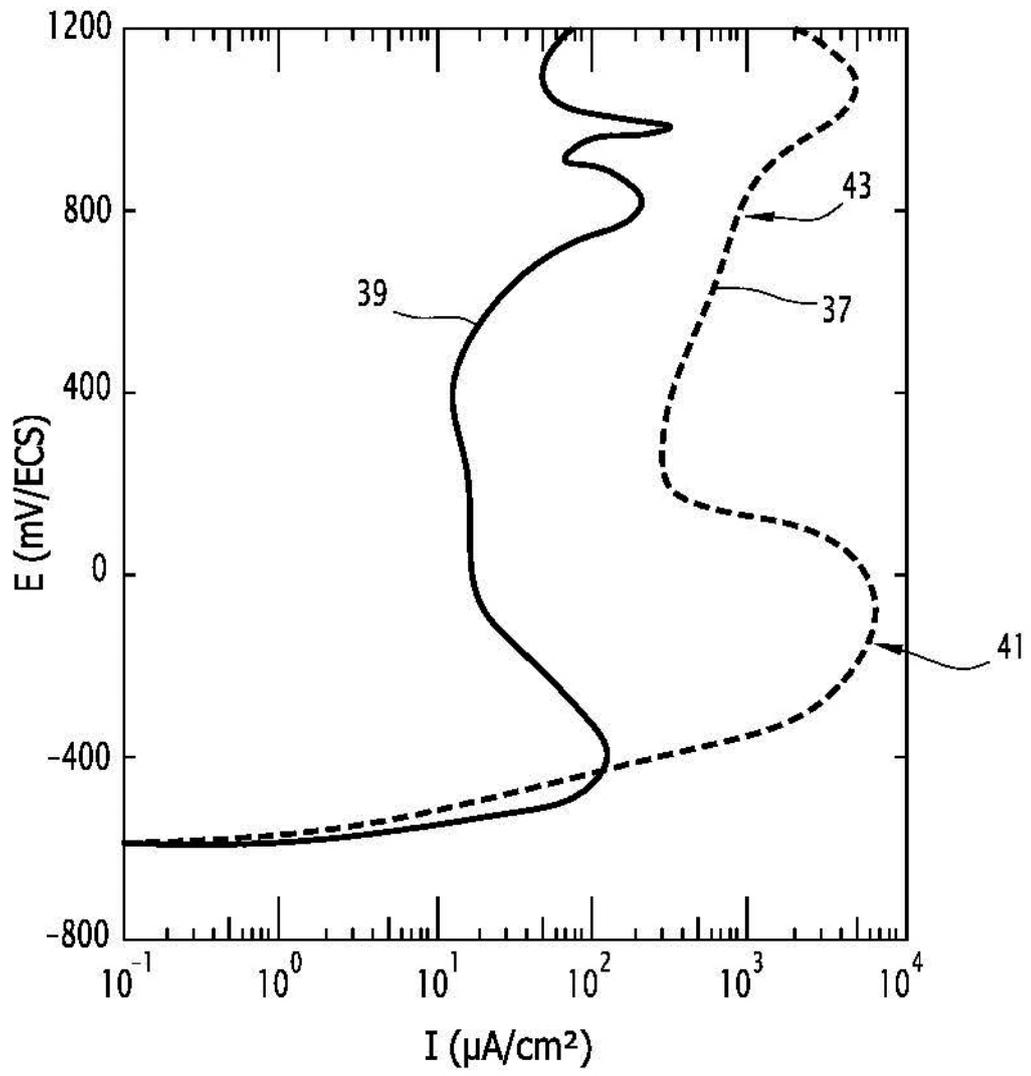
**FIG.4**



**FIG.5**



**FIG.6**



**FIG. 7**