



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 258 203**

51 Int. Cl.:
H05B 6/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA

T5

96 Número de solicitud europea: **03075510 .2**

96 Fecha de presentación : **20.02.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1343355**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.09.2003**

54 Título: **Susceptor inteligente con superficie de moldeo geométricamente compleja.**

30 Prioridad: **08.03.2002 US 94494**

45 Fecha de publicación de la mención y de la
traducción de patente europea: **16.08.2006**

45 Fecha de la publicación de la mención de la
patente europea modificada BOPI: **19.02.2010**

45 Fecha de publicación de la traducción de patente
europea modificada: **19.02.2010**

73 Titular/es: **The Boeing Company**
100 North Riverside Plaza
Chicago, Illinois 60606-2016, US

72 Inventor/es: **Matsen, Marc R.;**
Brown, Ron W. y
Fischer, John R.

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 258 203 T5

DESCRIPCIÓN

Susceptor inteligente con superficie de moldeo geométricamente compleja.

5 **Ámbito del invento**

El presente invento se refiere al uso de sistemas de calentamiento por inducción, más específicamente, al uso de susceptores inteligentes para calentar selectivamente una pieza o varias piezas durante un proceso de manufactura.

10

Fundamentos del invento

Generalmente, los procesos de calentamiento por inducción se pueden llevar a cabo utilizando cualquier material, que sea eléctricamente conductor y que genere calor cuando es expuesto a un campo de flujo electromagnético. Frecuentemente, el calentamiento por inducción se utiliza para calentar directamente una pieza eléctricamente conductora en un proceso de manufactura. El campo de flujo electromagnético puede ser generado por una bobina electromagnética, que rodee la pieza y sea alimentada con una corriente eléctrica alterna u oscilatoria desde una fuente de energía. No obstante, cuando se desean un diseño de bobina electromagnética sencillo y un calentamiento integral de la pieza, el proceso de calentamiento por inducción requiere típicamente la utilización de un susceptor, que encapsule la pieza. Los susceptores no sólo son eléctricamente conductores, sino que también tienen una conductividad térmica elevada para un calentamiento de la pieza más eficiente e integral. Por ello, los procesos de manufactura, que requieren tiempos de calentamiento y de enfriamiento relativamente rápidos, un uso de la energía más eficiente o unas propiedades térmicas personalizadas, que hagan posible la fabricación, se benefician de los procesos de calentamiento por inducción que utilizan susceptores.

25

Ciertos procesos de manufactura requieren un calentamiento hasta una temperatura determinada, pero no por encima de ella. Un tipo selecto de susceptor, al que se hace frecuentemente referencia como "susceptor inteligente", se construye de un material o materiales, que generan calor eficientemente hasta alcanzar una temperatura umbral, o de Curie. Cuando porciones del susceptor inteligente alcanzan la temperatura de Curie, la permeabilidad magnética de dichas porciones cae bruscamente. La caída de permeabilidad magnética tiene dos efectos, limita la generación de calor por dichas porciones a la temperatura de Curie, y desvía el flujo magnético a las porciones de temperatura más baja, provocando que se calienten más rápidamente hasta la temperatura de Curie las porciones que están por debajo de dicha temperatura de Curie.

35

Los procesos de manufactura de piezas mecánicas requieren frecuentemente la aplicación controlada de calor, como cuando se consolidan paneles compuestos o en procesos de conformación de metales, como soldadura con latón o conformación de superplásticos. Con este propósito, los susceptores inteligentes se han empleado en combinación con moldes para conformación mecánica, tal como el invento descrito en el documento de la patente de Estados Unidos número 5.728.309 para Matsen y otros. Matsen revela una celda 10 de trabajo de calentamiento por inducción, que incluye un par de moldes 20, 21 de cerámica montados dentro de un par de montantes 24, 26 rígidos. Un par de cavidades 42, 44 definidas por los moldes contiene el correspondiente ejemplar de un par de intercalaciones 46, 48 de herramienta. Se coloca una réplica 60 entre las intercalaciones de herramienta y se incluye un par de láminas de susceptor, que emparedan un par de paneles de pieza metálicos, o de material compuestos. Las intercalaciones de herramienta definen una superficie 58 de formación de contornos, que tiene una forma que corresponde a la forma deseada de las superficies superior e inferior de alineación del molde de la pieza acabada. Una bobina 35 de inducción está embebida dentro de los moldes y rodea las cavidades, las intercalaciones de herramienta y la réplica.

Se puede utilizar de presión de admisión para sujetar las mitades del susceptor a los moldes cuando se manejan los moldes antes del comienzo del proceso. Durante el proceso, se calienta la réplica a la temperatura de conformación o de consolidación dando corriente a la bobina de inducción, que genera un campo de flujo electromagnético. El campo de flujo provoca que las placas del susceptor generen calor, mientras que los moldes y las intercalaciones de herramienta tienen una permeabilidad magnética inferior y, por ello, generan poco calor. Se utiliza presión de montaje interna para sujetar los susceptores contra los moldes durante el proceso. Esta presión es suministrada bien sea por sellado alrededor del perímetro de los moldes o bien utilizando cámaras de aire presurizadas. La aplicación de calor y presión se continúa hasta que los paneles de la pieza metálica hayan sido debidamente soldados, o conformados, o la resina de los paneles compuestos se haya distribuido apropiadamente para formar la pieza acabada.

El susceptor se puede hacer ventajosamente a la medida a la deseada temperatura operativa utilizando diferentes materiales de aleación tales como cobalto/hierro, níquel/hierro, hierro/silicio o aleaciones metálicas magnéticas amorfas o cristalinas. Se puede diseñar también el susceptor para que tenga varias temperaturas operativas diferentes utilizando múltiples capas de diferentes aleaciones, que se ajustan a diferentes temperaturas de Curie.

Generalmente, la conformación de piezas que tengan superficies exteriores geométricamente complejas requiere una superficie de molde igualmente compleja. En un diseño alternativo, el susceptor inteligente se puede construir a base de un par de hojas metálicas, que se hayan conformado en frío o en caliente como para definir una superficie de molde interior, que se corresponda con la superficie de la pieza deseada. Cada hoja metálica conformada se coloca en la cavidad de un ejemplar correspondiente de los moldes, de modo que los moldes soporten las hojas metálicas

conformadas. Durante el procesado, las hojas del susceptor generan calor y se aplica una presión de vacío para adaptar los paneles de la pieza a la superficie interior del molde definida por las hojas metálicas conformadas. Desgraciadamente, las hojas metálicas utilizadas para el susceptor tienen límites de conformación, que, a su vez, tienden a limitar la complejidad de la superficie del molde, que puede definirse por las láminas metálicas del susceptor.

Por consiguiente, resultaría ventajoso tener un dispositivo de calentamiento por inducción para conformar piezas geométricamente complejas. Más específicamente, sería ventajoso tener un sistema para conformar una superficie de molde de susceptor, que tuviese una geometría compleja, permitiendo, con ello, la manufactura de piezas geométricamente complejas.

Resumen del invento

El presente invento se refiere a los requerimientos expuestos más de arriba y consigue otras ventajas proporcionando un dispositivo de calentamiento por inducción para manufacturar una pieza, incluida una pieza geométricamente compleja, por calentamiento de la pieza a una temperatura prefijada. El dispositivo de calentamiento por inducción incluye una bobina de inducción conectada a una fuente de energía para generar un campo de flujo magnético. Se coloca un susceptor inteligente del dispositivo de calentamiento en el campo de flujo magnético e incluye un material magnéticamente permeable soportado por una estructura de malla. El material magnéticamente permeable genera calor en respuesta al campo de flujo. La estructura de malla proporciona soporte al material magnéticamente permeable y se adapta estrechamente a la geometría exterior deseada de la pieza. El material magnéticamente permeable se puede aplicar a la malla como un polvo, utilizando una pistola rociadora en caliente, permitiendo una adaptación íntima del susceptor a la geometría de la pieza, evitando a la vez límites de conformación de los susceptores metálicos de lámina.

En una primera realización, el dispositivo de calentamiento por inducción incluye un abastecimiento de energía eléctrica, una bobina de inducción y un susceptor inteligente. La bobina de inducción está conectada operativamente al abastecimiento de energía eléctrica y es capaz de generar un campo de flujo magnético a partir de la energía eléctrica. El susceptor inteligente se coloca en el campo de flujo electromagnético. El susceptor inteligente incluye un material magnéticamente permeable, que responda al flujo electromagnético para generar calor. Además, el susceptor inteligente incluye una estructura de malla, que soporta el material magnéticamente permeable. La estructura de malla y el material magnéticamente permeable se ajustan a, al menos, una porción de la pieza de modo que sean capaces de alojar la porción de pieza y calientan la porción de la pieza según se calienta el material magnéticamente permeable.

La estructura de malla puede construirse de alambre capaz de resistir el calor generado por el flujo electromagnético. Por ejemplo, la estructura de malla se puede construir de alambre de acero inoxidable de 0,50 mm (0,02 pulgadas) de espesor. Opcionalmente, la estructura de malla se puede construir también de alambre magnéticamente permeable, tal como una aleación de susceptor inteligente para mejorar la generación de calor inductivo.

El material magnéticamente permeable y la estructura de malla definen una cavidad que se adapta a toda la pieza. La estructura de malla incluye un par de porciones separables, que son combinables para definir la cavidad. Preferiblemente, el dispositivo de calentamiento por inducción incluye además un molde que tiene un par de porciones de molde, donde cada una de las porciones separables de la estructura de malla está unida a la porción respectiva de las porciones de molde. De este modo, el molde está configurado para mantener juntas las porciones separables de la estructura de malla, de modo que se defina la cavidad.

En otra realización, el presente invento incluye un método de manufacturar un susceptor inteligente para calentar una pieza en respuesta a la aplicación de un campo de flujo magnético. El método de manufactura incluye proporcionar un modelo, que tenga una geometría exterior similar a la de la pieza. En un aspecto, el modelo puede ser mecanizado a partir de richlita o aluminio. Se reviste la pieza con un tamiz de malla, de modo que se ajuste a la geometría exterior del modelo clavando o encolando el tamiz de malla a la geometría exterior del modelo. Se deposita material magnéticamente permeable en el tamiz de malla, y el tamiz de malla, con el material permeable, se suelta del modelo.

El material magnéticamente permeable puede desarrollarse rociando térmicamente un polvo magnéticamente permeable sobre el tamiz de malla. El tamiz y el polvo son recocidos sin oxidación y sinterizados para consolidar la combinación. Dicho recocido sin oxidación puede tener lugar opcionalmente en un horno de gas de hidrógeno. Como otra opción, el polvo consolidado y el tamiz pueden ser rociados térmicamente por ambos lados con un revestimiento de aluminuro de níquel para proteger contra la oxidación.

El presente invento tiene varias ventajas. El uso del tamiz de malla y el polvo magnéticamente permeable, rociado térmicamente, permite que el susceptor inteligente sea moldeado para piezas geométricamente complejas, salvando las limitaciones de moldeado de las láminas metálicas utilizadas previamente. En particular, la trama flexible de la malla reviste íntimamente las piezas geométricamente complejas, proporcionando al mismo tiempo un soporte al material magnéticamente permeable para evitar fracturas durante el manejo y el procesado. La complejidad creciente de la geometría de la pieza permite una reducción del número de piezas utilizadas en ensamblajes con una reducción correspondiente de coste y peso. El recocido en horno de gas de hidrógeno reduce la oxidación en la malla y en el material de polvo rociado, mientras que la temperatura incrementada aumenta la densidad del material.

Breve descripción de los dibujos

Habiéndose descrito así el invento en términos generales, se hará ahora referencia a los dibujos adjuntos, que no están dibujados necesariamente a escala, y donde:

Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una celda de trabajo de calentamiento por inducción de una realización del presente invento;

Figura 2 es un diagrama esquemático de la celda de trabajo mostrada en la figura 1, incluyendo un sistema de control de temperatura de otra realización del presente invento;

Figura 3 es un esquema de un par de moldes de la celda de trabajo mostrada en la figura 1, donde el par de moldes define una cavidad, que contiene un susceptor térmicamente rociado formando una pieza metálica;

Figura 4 es una sección transversal del susceptor térmicamente pulverizado mostrado en la figura 3;

Figura 5A es una vista en planta de un fondo de uno de los moldes mostrados en la figura 3 sujetando una porción de fondo del susceptor mostrado en la figura 3;

Figura 5B es un alzado lateral la porción del molde de fondo y del susceptor de fondo mostrado en la figura 5A;

Figura 6A es una vista en planta del molde de fondo y del susceptor de fondo de la figura 5A, mostrando una región de impermeabilidad magnética en el susceptor;

Figura 6B es un alzado lateral del molde de fondo y del susceptor de fondo con la región de impermeabilidad magnética mostrada en la figura 6A;

Figura 7 es un gráfico mostrando el calentamiento y el moldeado de una pieza utilizando el sistema de control de temperatura de la figura 2;

Figura 8A es un gráfico mostrando una disminución de permeabilidad magnética del susceptor inteligente mostrado en la figura 3 según aumenta su temperatura; y

Figura 8B es un gráfico mostrando un incremento de energía de la bobina inductiva coincidente con la disminución de permeabilidad magnética del susceptor mostrada en la figura 8A.

Descripción detallada del invento

El presente invento se describirá ahora más detalladamente con referencia, de ahora en adelante, a los dibujos adjuntos, en los que se muestran realizaciones preferidas del invento. Aunque este invento se puede realizar de muchas formas diferentes y no debe considerarse como limitado a las realizaciones aquí expuestas; estas realizaciones se proporcionan más bien para que esta exposición sea minuciosa y completa, y transmita a fondo el alcance del invento a los especialistas en la técnica. Números iguales se refieren a elementos iguales a lo largo de todo el texto.

En una realización, el presente invento incluye una celda 10 de trabajo de calentamiento por inducción, tal como se muestra en la figura 1. La celda de trabajo incluye un molde 11 superior, montado dentro de un montante 13 superior, y un molde 12 inferior, montado dentro de un montante 14 inferior. Cada uno de los montantes está enroscado respectivamente en cuatro soportes de columnas roscadas o gatos 15 de tornillo, que permiten el ajuste de las posiciones relativas de los moldes y de los montantes. Los moldes 11, 12 definen conjuntamente una cavidad 22 de molde, que está configurada para contener un susceptor 34 inteligente, que, a su vez, rodea una pieza, incluyendo una pieza 60 geométricamente compleja, tal como un pieza de titanio para una aeronave, como se ha mostrado en las figuras 2 y 3. Una serie de bobinas 26 de inducción están embebidas en el molde y rodean el susceptor 34. Cuando se da energía, las bobinas 26 crean un campo de flujo magnético, que provoca que el susceptor 34 genere calor de modo que realice una etapa en la manufactura de la pieza 60, tal como moldear una pieza metálica, o consolidar una pieza compuesta.

La celda 10 de trabajo incluye además un juego de barras 16 de apriete, que sujetan los moldes en su sitio contra los montantes 13, 14. Los montantes proporcionan una superficie de apoyo plana, rígida para los moldes 11, 12 superior e inferior, que impide que los moldes se doblen y rompan durante la operación de manufactura. Adicionalmente, los montantes sirven como placas rígidas, que mantienen los moldes juntos y colocados con precisión. Los montantes se puede construir de acero, aluminio, o cualquier otro material capaz de manejar las cargas existentes durante el moldeado o la consolidación. Se utilizan preferiblemente materiales no magnéticos para impedir la distorsión de los campos magnéticos producidos por la bobina 26 de inducción. Como alternativa a la utilización de montantes, los propios moldes 11, 12 pueden ser suficientemente fuertes para resistir las cargas existentes durante el moldeado o la consolidación. En la realización representada en las figuras 1 y 2, los montantes tienen una forma de caja rectangular, pero puede ser variados de forma y tamaño para acomodarse a una miríada de tamaños y formas de molde deseados.

ES 2 258 203 T5

Cada uno de los moldes 11, 12 incluye un bloque rectangular de material 23 cerámico reforzado por un juego de varillas 20 de fibra de vidrio y un juego de placas 17 de soporte. Las placas de soporte son preferiblemente un juego de placas fenólicas dispuestas en forma de caja rectangular enmarcando cada bloque 23 cerámico. Las placas 17 fenólicas sirven de paredes contenedoras durante la fusión de los bloques 23 cerámicos y también para proporcionar un refuerzo durante el subsecuente proceso de calentamiento por inducción. Como se muestra en la figura 1, las varillas 20 de fibra de vidrio se extienden longitudinalmente en una primera disposición, y transversalmente en una segunda disposición, de modo que formen una parrilla a través de cada bloque 23 de material cerámico. Los extremos de las varillas de fibra de vidrio están roscados y se prolongan a través de los respectivamente opuestos de las placas 17 fenólicas. La parrilla está embebida en el bloque 23 cerámico extendiendo las varillas 20 de fibra de vidrio a través de las placas 17 fenólicas antes de fundir el bloque 23 de material cerámico.

Después de que el bloque de material cerámico haya sido fundido, se coloca un juego de tuercas 21 en los extremos roscados de las varillas de fibra de vidrio y se aprietan de modo que se aplique una carga de compresión en las placas 17 fenólicas. La carga de compresión sobre las placas da por resultado una carga de compresión previa en el bloque 23 de material cerámico. La carga de compresión previa cancela las cargas tensiles desarrolladas durante el proceso de calentamiento por inducción. Mantener el bloque cerámico bajo compresión es ventajoso, debido a las malas propiedades tensiles de los materiales cerámicos. Se pueden utilizar otros materiales para construir el bloque 23 cerámico, pero se prefiere la cerámica (específicamente Ceradyne 120), porque es una aislante térmico y tiene un bajo coeficiente de expansión térmica. El bajo coeficiente de expansión térmica permite al bloque estar sujeto a fuertes gradientes térmicos sin cuarteado del material. Además, la cerámica sirve para aislar la cavidad 22 del molde contra la pérdida de calor, conservando el calor generado por el susceptor 34 y acortando los tiempos de ciclo para calentar y enfriar la pieza 60. Además, tales características proporcionan flexibilidad adicional en el diseño de ciclos térmicos para varios tipos de piezas, dando como resultado una mejora integral de comportamiento.*

Las bobinas 26 de inducción están también embebidas en los bloques 23 de material cerámico durante el moldeado y se colocan entre las varillas 20 de fibra de vidrio y rodean la cavidad 22 del molde, como se muestra en las figuras 1 a 3. Las bobinas 26 de inducción se fabrican preferiblemente de tubo redondo de cobre, que esté ligeramente estirado, de 25,4 mm (1 pulgada) de diámetro, y 1,59 mm (0,0625 pulgadas) de espesor de pared. La condición preferida de ligeramente estirado para el tubo hace posible un curvado de precisión por máquinas numéricas de curvado, como conocen todos los especialistas en la técnica. El curvado numérico de los tubos permite la colocación precisa del tubo alrededor de la cavidad 22, lo que es importante debido a la necesidad de distribuir regularmente el flujo electromagnético. Las bobinas 26 disipan también energía térmica, sirviendo de conducto para un fluido refrigerante, tal como agua. Después de ser curvadas y embebidas, las bobinas incluyen secciones 27 de tubo rectas conectadas por secciones 28 de tubo flexible. Las secciones de tubería flexible conectan las secciones 27 de tubería recta y permiten también separar los moldes 11, 12. Preferiblemente, el espesor la cerámica fundida entre el susceptor 34 y las bobinas 26 es de alrededor de 2,54 mm (0,10 pulgadas), que es suficiente para soportar el gradiente de temperatura entre el susceptor calentado y las bobinas refrigeradas por agua. La figura 3 ilustra las tupida posición de las bobinas a lo largo de los contornos de la cavidad 22 del molde, y del susceptor 34 contenido en ella. La colocación precisa de la tubería de las bobinas 26 alrededor de la cavidad 22 promueve la uniformidad de la cantidad de calor generado por el campo de flujo magnético, y la cantidad de calor disipado por el fluido refrigerante.

Las bobinas 26 de inducción están conectadas a un sistema de control de temperatura, que incluye un abastecimiento 51 de energía, un elemento 52 de control, un sensor 53 y, opcionalmente, un abastecimiento de refrigerante fluido (no representado). El abastecimiento 51 de energía suministra una corriente oscilatoria, preferiblemente a 3 KHz, a las bobinas 26, que hace que las bobinas generen el campo de flujo electromagnético. El abastecimiento de refrigerante fluido suministra agua a las bobinas 26 de inducción para circular a través de las bobinas y disipar la energía térmica de los moldes 11, 12. El sensor 53 es capaz de medir la energía suministrada por el abastecimiento 51 de energía con el fin de controlar la temperatura de la pieza. Alternativamente o además de medir le suministro de energía, el sensor 53 incluye un voltímetro, que puede medir la caída de voltaje a través de las bobinas 26 de inducción. El elemento controlador recoge el abastecimiento de energía o las mediciones de voltaje del sensor 53 y utiliza las mediciones en un circuito de realimentación para ajustar la energía, que es suministrada por el abastecimiento 51 de energía. El elemento controlador puede incluir equipo físico de ordenador, equipo lógico, soporte lógico inalterable, o una combinación de los mismos, que sea capaz de utilizar la realimentación para ajustar el abastecimiento 51 de energía.

Como se observa mejor en la figura 3, el susceptor 34 del presente invento es una capa, o lámina, de material magnéticamente permeable colocada a lo largo de la superficie interior de la cavidad 22. La propia cavidad se ha configurado para coincidir aproximadamente con la forma del susceptor 34, de modo que proporcione un soporte al susceptor. En la realización mostrada en la figura 3, el molde 11 superior define una porción de la cavidad 22, que tiene una forma con múltiples contornos, mientras que el molde 12 inferior define una superficie plana. Debería hacerse notar que otras formas, más o menos complejas, pueden definirse por los contornos de ambas porciones superior e inferior de la cavidad 22 y que no debe considerarse la realización dibujada como limitativa. Los materiales magnéticamente permeables preferidos para construir el susceptor 34 incluyen materiales ferromagnéticos, que presentan aproximadamente una disminución de 10 veces en permeabilidad magnética, cuando son calentados a una temperatura mayor que una temperatura crítica o de Curie. Una caída tan grande de permeabilidad a la temperatura crítica promueve el control de temperatura del susceptor y, como consecuencia, el control de temperatura de la pieza que se está manufacturando. Los materiales ferromagnéticos incluyen los cinco elementos Fe, Co, Ni, Gd y Dy, y aleaciones de dichos elementos.

ES 2 258 203 T5

La cavidad puede recubrirse también con una camisa 24 protectora para mejorar la duración de los moldes 11, 12 contra el desgaste causado por la inserción y la extracción de los susceptores y contra el calor generado por los susceptores. Materiales preferidos para el forro incluyen fibra de NEXTEL (Al_2O_3) con una matriz de silicato-alúmina o de alúmina, o fibras de carburo de silicio en una matriz de carburo de silicio, de un total de alrededor de 2,54 mm (0,100 pulgadas) de espesor. El susceptor 34 incluye, en la realización dibujada en la figura 3, porciones superior e inferior, que son alojables en la cavidad 22 definida por los moldes 11, 12 superior e inferior. Debe observarse que el susceptor puede tener varias porciones, cada una de ellas contactando con una porción respectiva de la pieza.

El susceptor 34 del presente invento es preferiblemente un susceptor inteligente, rociado térmicamente, que incluye una estructura 36 de malla, que soporte un material 37 magnéticamente permeable, rociado térmicamente, y que incluye opcionalmente un revestimiento 38 de aluminuro de níquel, como se muestra en la figura 4. La estructura 36 de malla es preferiblemente una malla metálica hecha de acero inoxidable, o de un metal que tenga la misma composición que el material 37 rociado térmicamente, que pueda resistir la temperatura y otros factores ambientales asociados con el calentamiento y el moldeo de la pieza 60. La estructura 36 de malla proporciona un esqueleto, o estructura portante, que mantiene unido el material 37 rociado. Más preferiblemente, la estructura 36 de malla metálica es un tejido de malla flexible, que puede revestir íntimamente la forma de un modelo trabajado o mecanizado con los contornos de la geometría de la pieza deseada finalmente. En un ejemplo, la estructura 36 de malla está compuesta de alambre de acero inoxidable de 300 series de 0,508 mm (0,02 pulgadas) de espesor. Aún más preferiblemente, la estructura 36 de malla debe tener suficientes intersticios 40 de suficiente tamaño entre sus alambres 39 para permitir la distribución interdental del material 37 rociado dentro de la estructura de la malla, en tanto que, al mismo tiempo, proporcione soporte al material rociado. El tamaño de abertura de la malla es preferiblemente de aproximadamente cinco veces el diámetro del alambre. Por ejemplo, un alambre de 0,500 mm (0,020 pulgadas) tendría una abertura de malla de 2,54 mm (0,100 pulgadas).

Un método preferido de construir el susceptor 34 inteligente incluye la mecanización, o el moldeo, de un modelo con la geometría deseada de la pieza en richita o en aluminio. La estructura 36 de malla reviste los contornos del modelo y se puede clavar, encolar o unir de cualquier otro modo a la superficie del modelo. El material 37 comienza en forma polvo y es calentado y rociado con una pistola de rociado de plasma sobre el modelo de la pieza cubierta por la malla hasta que el material rociado alcance el espesor deseado. El susceptor 34 se suelta del modelo quitando la cola o los clavos y es sometido a una operación de recocido sin oxidación y sinterización para consolidar la estructura 36 de malla de alambre con el material 37 rociado térmicamente. El recocido sin oxidación y la sinterización se realizan preferiblemente en un horno de gas de hidrógeno de modo que se reduzca la oxidación en el susceptor y se incremente la densidad del susceptor. Como se muestra en la figura 4, se rocía también térmicamente un revestimiento 38 de aluminuro de níquel a ambos lados del susceptor 34 después de la terminación de la operación de recocido sin oxidación y sinterización.

La composición del material 37 rociado térmicamente y de la estructura 36 de malla de alambre se puede variar para igualar aproximadamente el nivel deseado de la(s) temperatura(s) operativa(s) del susceptor 34 inteligente, tal como se describe en el documento de la patente de EEUU, número 5.728.309, a Matsen y otros. Por ejemplo, Matsen describe alguna de las distintas aleaciones, y otros materiales, que ofrecen características del susceptor inteligente y sus respectivas temperaturas de Curie, en la columna 13 y Tablas 1 y 2.

El proceso de calentamiento y moldeo de la pieza incluye insertar láminas de titanio, u otro metal o compuesto, en la cavidad 22 definida por los moldes 11, 12 superior e inferior, y entre las porciones superior e inferior del susceptor 34 inteligente soportadas dentro, cuando los moldes están separados a lo largo de los soportes 15 de columna roscada. Se pueden sacar opcionalmente los moldes 11, 12 de los soportes de columna. Los moldes 11, 12 se juntan luego moviéndolos a lo largo de los soportes 15 de columna hasta que las láminas de la pieza y del susceptor 34 se hayan encerrado en la cavidad 22 y se haya sellado la cavidad. El controlador 50 de temperatura permite al abastecimiento 51 de temperatura suministrar una cantidad de energía prefijada, como se muestra gráficamente en la figura 8B. La energía se suministra a las bobinas 26 de inducción provocando una corriente oscilatoria en las bobinas, que genera un campo de flujo electromagnético. Como se muestra en las figuras 5A y 5B, el campo de flujo, dibujado como líneas 100 de flujo, pasa directamente a través del material 23 cerámico del molde 12 inferior, debido a su falta de permeabilidad magnética, y afecta al material magnéticamente permeable del susceptor 34. La influencia del campo de flujo magnético induce corrientes de Foucault en el susceptor, que, a su vez, dan como resultado la generación de calor. El calor aumenta la temperatura del susceptor que, encontrándose adyacente a las hojas de titanio de la pieza 60 y aprisionado por ellas en la cavidad 22 del material 23 cerámico térmicamente aislante, da como resultado un aumento de temperatura de la pieza, como se muestra por las lecturas 102 de los termopares de la figura 7. Las diferencias de lecturas de los termopares son el resultado de diferentes lugares de los termopares.

La temperatura media de la pieza 60 aumenta en una proporción aproximadamente constante, con las variaciones mencionadas anteriormente entre puntos de la pieza hasta que una porción 41, o porciones, del susceptor 34 alcanza la temperatura de Curie. La temperatura de los moldes 11, 12 y de las bobinas 26 de inducción se conserva relativamente baja, debido a un suministro de fluido refrigerante a través de los tubos de las bobinas de inducción. Al alcanzar la temperatura de Curie, aquellas porciones del susceptor experimentan una caída súbita de permeabilidad magnética, aproximándose a la unidad, como se muestra en la figura 8A. La caída súbita de permeabilidad magnética da como resultado una distorsión del flujo magnético generado por las bobinas 26 de inducción, que se mueve afuera del área impermeable del susceptor, como se muestra por las líneas 100 de flujo de las figuras 6A y 6B. Las restantes porciones del susceptor continúan recibiendo flujo y generando calor, e incluso pueden producir más

calor, debido al flujo magnéticos desviado afuera de las porciones, que están a la temperatura de Curie, y retirado a las porciones restantes del susceptor.

Todo el susceptor 34 alcanza eventualmente la temperatura de Curie y experimenta una caída de permeabilidad magnética. La disminución de la permeabilidad magnética del susceptor coincide también con una disminución de la inductancia de la bobina y de la cantidad de energía absorbida por la pieza 60, como se muestra en la figura 8B. Coincidiendo con la disminución de la permeabilidad magnética del susceptor, el sensor 53 detecta un incremento de voltaje (y/o de la energía aplicada) por el abastecimiento 51 de energía. Por consiguiente, la elevación del voltaje se puede relacionar con la caída de la permeabilidad, que, a su vez, se relaciona con la temperatura global del susceptor 34 y de la pieza 60. Este efecto se ilustra en la figura 7, que muestra que las lecturas 101 de voltaje y las lecturas 103 de energía comienzan a elevarse según las lecturas 102 de los termopares comienzan a aproximarse a la temperatura de Curie. Las lecturas 101 de voltaje empiezan a aplanarse una vez que todos los termopares están a la temperatura de Curie. El elemento 52 controlador detecta el cambio súbito de voltaje utilizando el sensor 53 y puede, tal como se desea, mantener, elevar o rebajar el voltaje del abastecimiento 51 de energía sin la necesidad de termopares, u otros dispositivos sensores de temperatura directos. Generalmente, el nivel del control de temperatura es de aproximadamente "10 EF sobre una ventana de 20 EF alrededor del punto de Curie". Otros aspectos del sistema de control de temperatura se describen en el documento de la solicitud número 10/094.560 de patente EEUU, titulado "Sistema y Método para Controlar un Proceso de Calentamiento por Inducción".

Mientras que el susceptor 34 está a la temperatura de Curie, la pieza 60 de titanio se moldea debido a la presión interior suministrada por gas inerte, como se muestra por las flechas 104 de presión de la figura 3. Tal como se describe más arriba, el susceptor 34 inteligente es, en una realización, un tamiz 36 de malla que soporta un material 37 térmicamente rociado, que ha sido adaptado íntimamente a una forma de la geometría deseada de la pieza. Según aumenta temperatura del susceptor 34 y de la pieza 60, la presión del aire atrapado entre las láminas de titanio aumenta y fuerza a las láminas a separarse unas de otras y contra las superficies moldeadas de forma compleja del susceptor. El aire de entre los moldes 11, 12 y la pieza 60 se le puede purgar a través de orificios de purga (no mostrados) de los moldes, de modo que eviten que se impida el moldeo de la pieza.

El presente invento tiene varias ventajas. El uso de un tamiz 36 de malla y material 37 magnéticamente permeable, térmicamente rociado, permite al susceptor inteligente ser moldeado en piezas geométricamente complejas, superando las limitaciones del moldeo de los susceptores de láminas metálicas previamente utilizados. En particular, la trama flexible de la malla 36 reviste íntimamente las piezas geométricamente complejas a la vez que proporciona soporte al material 37 magnéticamente permeable para evitar roturas el proceso de manejo y procesado. La complejidad creciente de la geometría de la pieza permite una reducción en el número de piezas utilizadas en los ensamblajes con un coste correspondiente y la reducción de peso. El recocido sin oxidación por horno de gas de hidrógeno reduce la oxidación de la malla y del material rociado diseminado, mientras que la temperatura creciente incrementa la densidad del material.

Muchas modificaciones y otras realizaciones vendrán a la mente a un especialista en la técnica a la que corresponde este invento, teniendo el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones precedentes y en los dibujos asociados. Por ejemplo, el tamiz 36 de malla se puede utilizar para soportar material 37 flexible de susceptor, que se ha depositado utilizando otros procesos, tal como galvanoplastia. Por ello, se ha de entender que el invento no debe limitarse a las realizaciones específicas reveladas y que se pretende que las modificaciones y otras realizaciones sean incluidas en el ámbito de las reivindicaciones adjuntas. Aunque aquí se emplean términos específicos, se utilizan sólo en un sentido genérico y descriptivo y no con propósitos limitativos.

REIVINDICACIONES

5 1. Un dispositivo (10) de calentamiento por inducción para manufacturar una pieza calentando la pieza a una temperatura prefijada, comprendiendo el dispositivo de calentamiento por inducción:

10 una bobina (26) de inducción capaz de generar un campo de flujo electromagnético; y un susceptor (34) inteligente situado en el campo de flujo electromagnético, comprendiendo el susceptor inteligente un material magnéticamente permeable sensible al campo de flujo electromagnético para generar calor; **caracterizándose** el dispositivo de calentamiento por inducción por que:

15 el susceptor inteligente ha sido dotado de una estructura (36) de malla, que soporta el material magnéticamente permeable, adaptándose la estructura de malla y el material (37) magnéticamente permeable a, al menos, una porción de la pieza de modo que sea capaz de contener la porción de la pieza y calentar la porción de la pieza según se calienta el material magnéticamente permeable, comprendiendo la estructura de malla un material un flexible para ser modelado en piezas geométricamente complejas, proporcionando soporte al material magnéticamente permeable.

20 2. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 1, en el que la estructura de malla está hecha de alambre capaz de resistir el calor generado por el flujo electromagnético.

3. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 1, en el que la estructura de malla está hecha de alambre de acero inoxidable.

25 4. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 3, en el que el alambre de acero inoxidable es un alambre de acero inoxidable de aproximadamente 0,51 mm (0,02 pulgadas) de espesor.

30 5. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 1, en el que la estructura de malla está hecha de un material, que tiene una disminución de permeabilidad de, por lo menos, 10 veces cuando excede de una temperatura de Curie.

6. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 1, en el que el material magnéticamente permeable y la estructura de malla definen una cavidad (22) que se adapta a toda la pieza.

35 7. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 6, en el que la estructura de malla comprende, por lo menos, dos porciones separables, siendo las dos partes separables combinables para definir la cavidad.

40 8. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 7, que comprende además un molde, que tiene, por lo menos, dos porciones (11, 12), y en el que cada una de las dos porciones separables de la estructura de malla está unida a la respectiva porción de las porciones de molde, habiéndose configurado dicho molde para sujetar juntamente las porciones separables de la estructura de malla de modo que se defina una cavidad.

9. Un dispositivo de calentamiento por inducción según la reivindicación 1, que comprende además un abastecimiento (51) de energía y en el que la bobina de inducción está conectada operativamente al abastecimiento de energía.

45 10. Un dispositivo de manufactura de un susceptor inteligente para utilizar en el dispositivo de calentamiento por inducción según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, cuyo método comprende: proporcionar un modelo, que tenga la geometría exterior aproximada, por lo menos, de una porción de la pieza; envolver un tamiz de malla flexible sobre la pieza y adaptar el tamiz de malla flexible a la geometría exterior del modelo; depositar material magnéticamente permeable sobre el tamiz de malla; y soltar del modelo el tamiz de malla y el material magnéticamente permeable.

50 11. Un método según la reivindicación 10, en el que la provisión del modelo incluye mecanizar el modelo de richlite.

55 12. Un método según la reivindicación 10, en el que la provisión del modelo incluye la mecanización del modelo de aluminio.

13. Un método según la reivindicación 10, en el que la adaptación del tamiz de malla incluye clavar el tamiz de malla a la geometría exterior del modelo.

60 14. Un método según la reivindicación 10, en el que la adaptación del tamiz de malla incluye el encolado del tamiz de malla a la geometría exterior del modelo.

15. Un método según la reivindicación 10, en el que depositar material magnéticamente permeable incluye el rociado térmico de polvo de material magnéticamente permeable sobre el tamiz.

65 16. Un método según la reivindicación 15, en el que depositar metal magnéticamente permeable incluye además el rociado térmico de un polvo de aluminuro de níquel y la formación de una capa exterior sobre el tamiz.

ES 2 258 203 T5

17. Un método según la reivindicación 10, que además comprende el sinterizado y el recocido sin oxidación del material magnéticamente permeable después de soltar el tamiz de malla.

5 18. Un método según la reivindicación 17, en el que dichos sinterizado y recocido sin oxidación se realizan en un horno de gas hidrógeno.

19. Un susceptible inteligente fabricado por el método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 18.

10 20. Un susceptible inteligente según la reivindicación 19, en el que la estructura de malla se ha hecho de alambre capaz de resistir el calor generado por el flujo electromagnético.

21. Un susceptible inteligente según la reivindicación 19, en el que la estructura de malla se ha hecho de alambre de acero inoxidable.

15 22. Un susceptible inteligente según la reivindicación 21, en el que el alambre de acero inoxidable es un alambre de acero inoxidable de aproximadamente 0,51 mm (0,02 pulgadas) de espesor.

20 23. Un susceptible inteligente según la reivindicación 19, en el que la estructura de malla se ha hecho de material magnéticamente permeable.

24. Un susceptible inteligente según la reivindicación 19, en el que el material magnéticamente permeable incluye un revestimiento de aluminuro de níquel.

25 25. Un susceptible inteligente según la reivindicación 19, en el que el material magnéticamente permeable y la estructura de malla definen una cavidad, que concuerda con toda la pieza.

26. Un susceptible inteligente según la reivindicación 25, en el que la estructura de malla comprende, por lo menos, dos porciones separables, siendo las dos porciones combinables para definir una cavidad.

30 27. Un susceptible inteligente según la reivindicación 26, que comprende además un molde que tiene, por lo menos, dos porciones de molde y en el que cada una de las porciones separables de la estructura de malla se unen a la porción respectiva de las porciones de molde, en el que dicho molde se ha configurado para sujetar juntamente las porciones separables de la estructura de malla de modo que definan la cavidad.

35

40

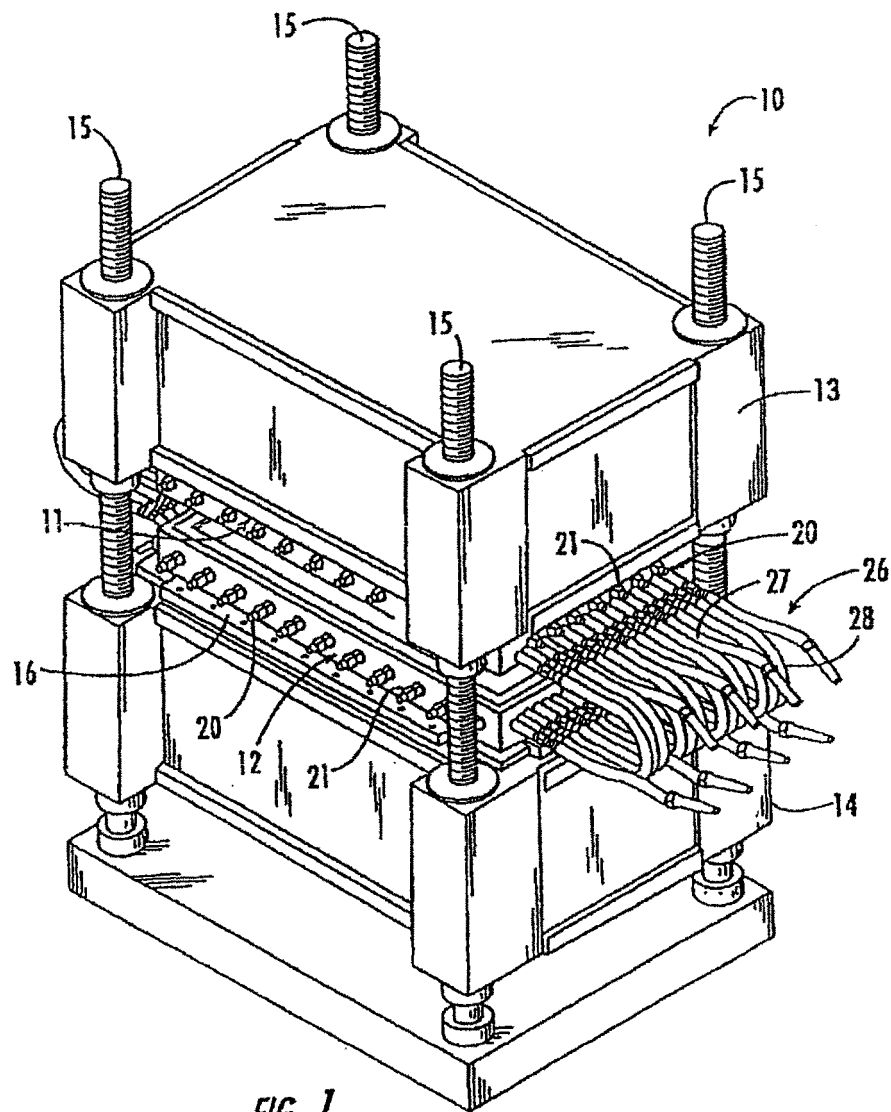
45

50

55

60

65



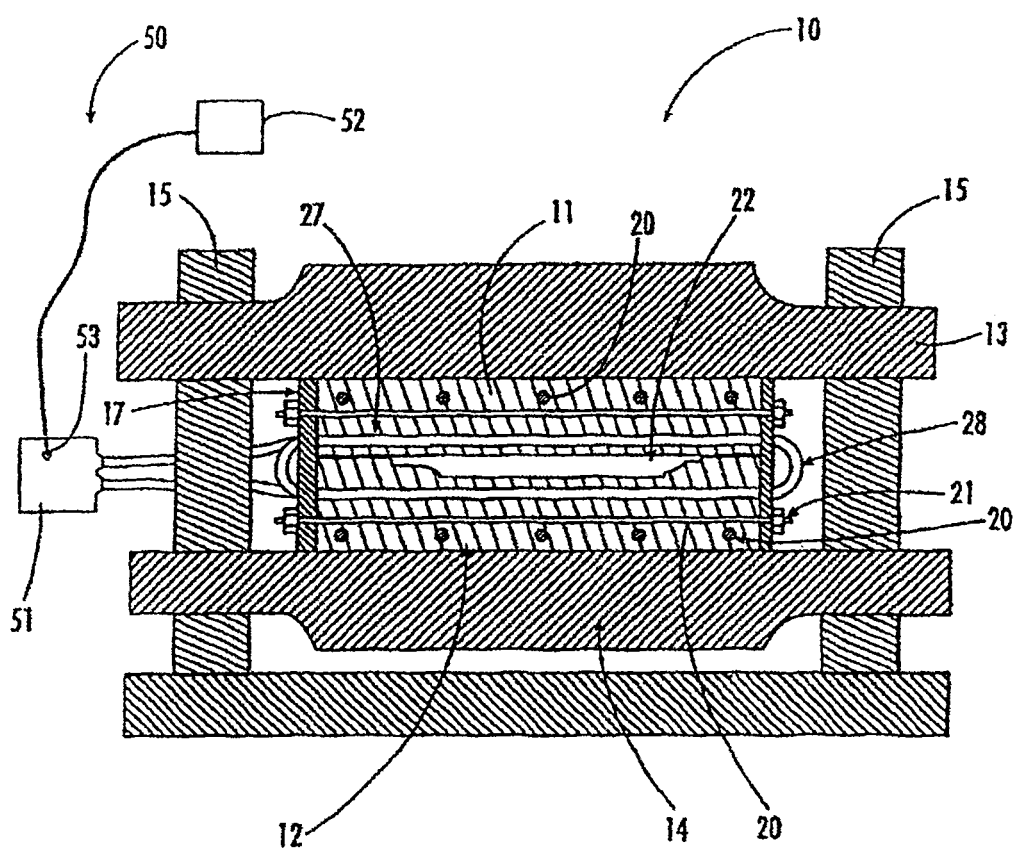


FIG. 2.

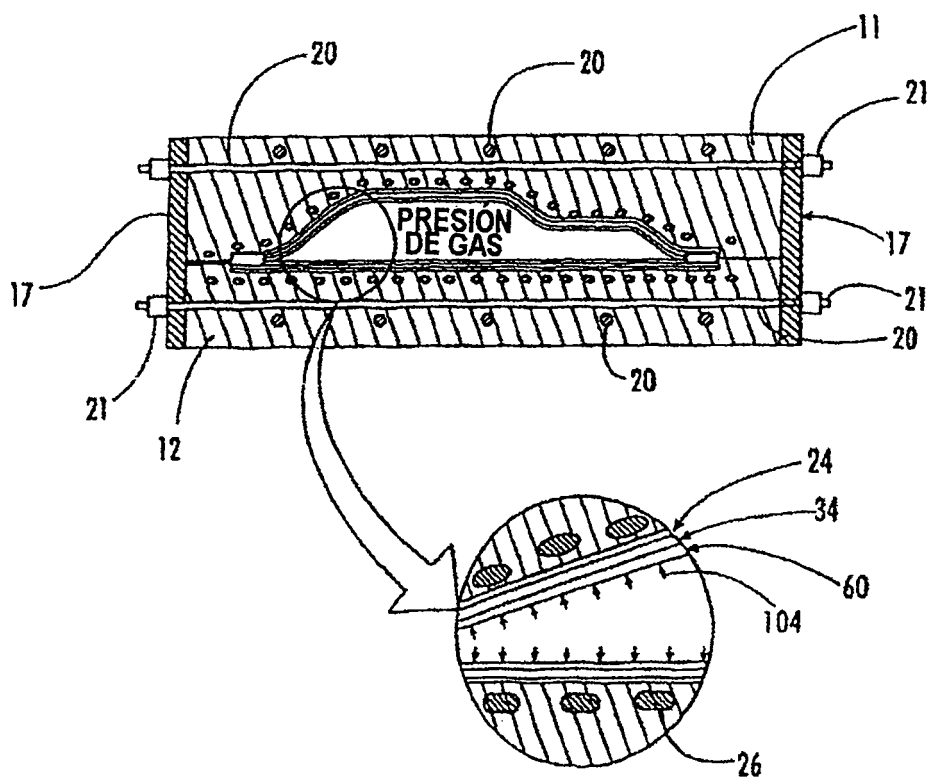


FIG. 3.

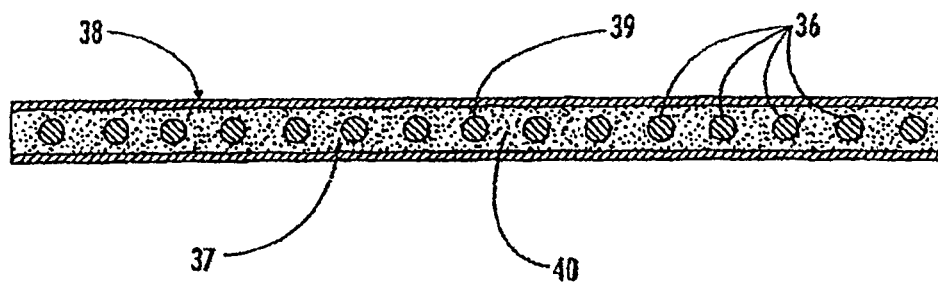


FIG. 4

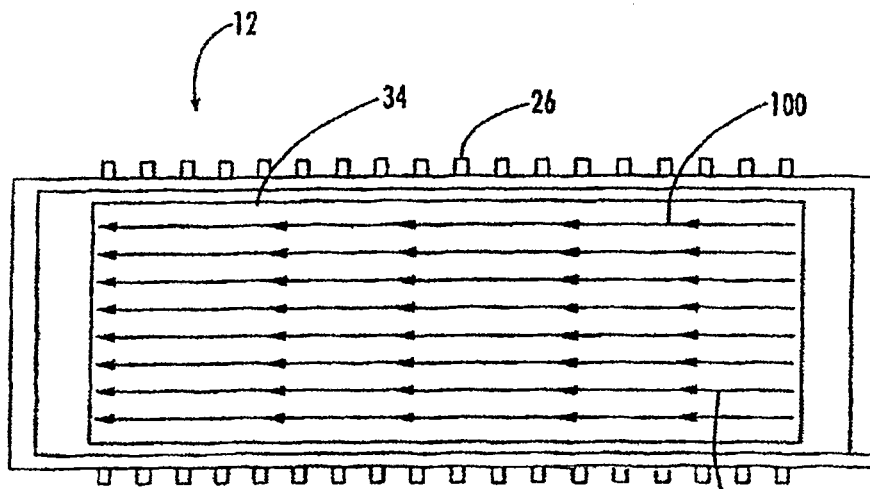


FIG. 5A.

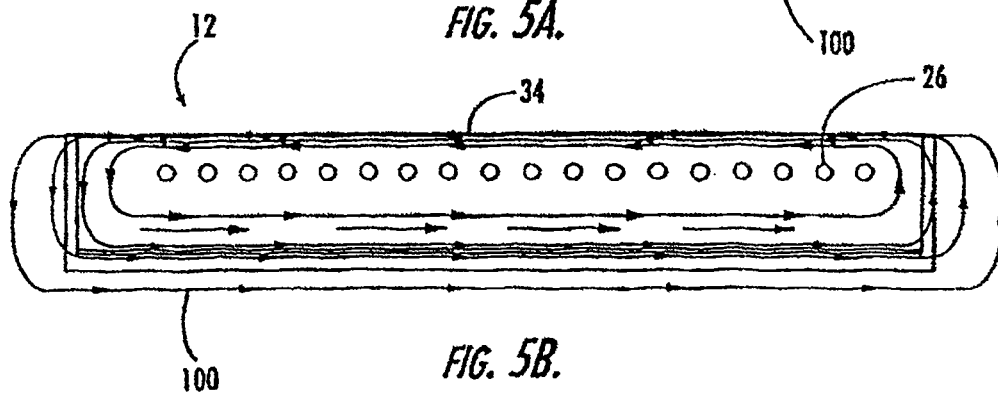
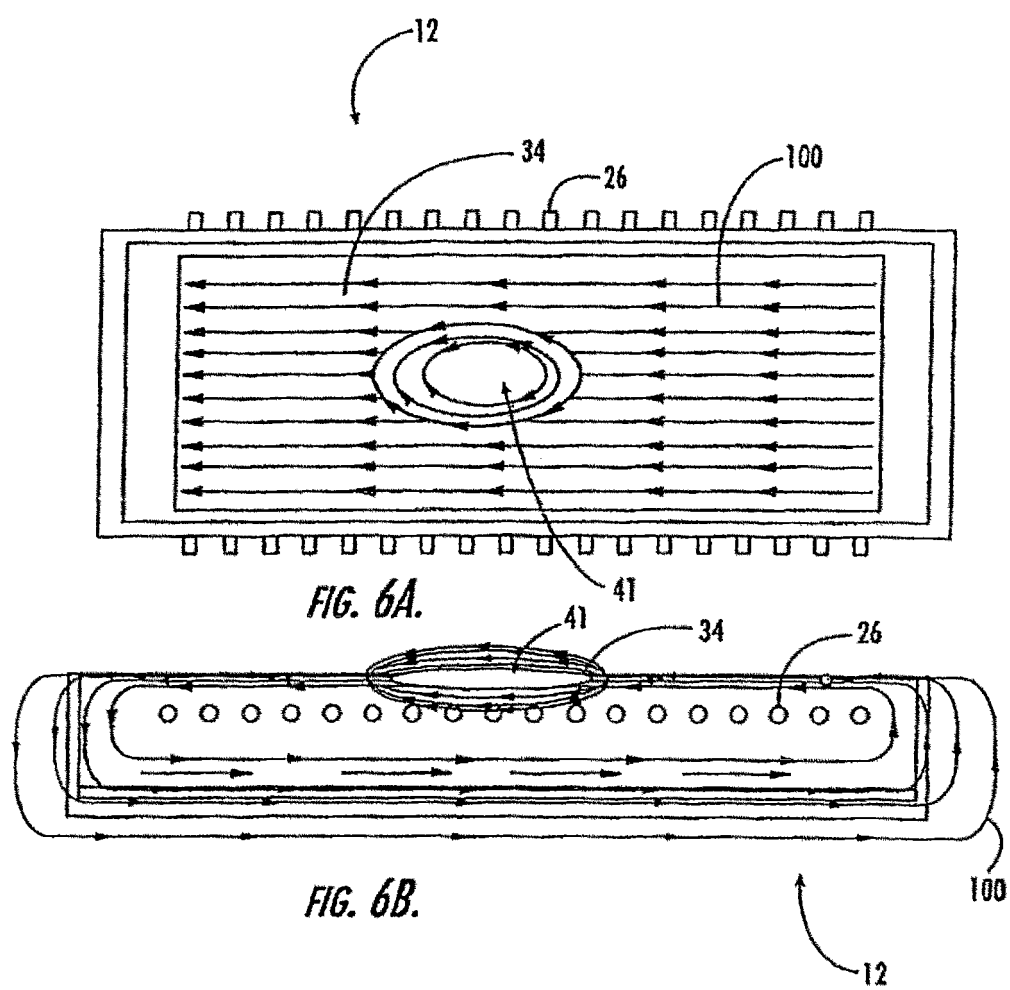


FIG. 5B.



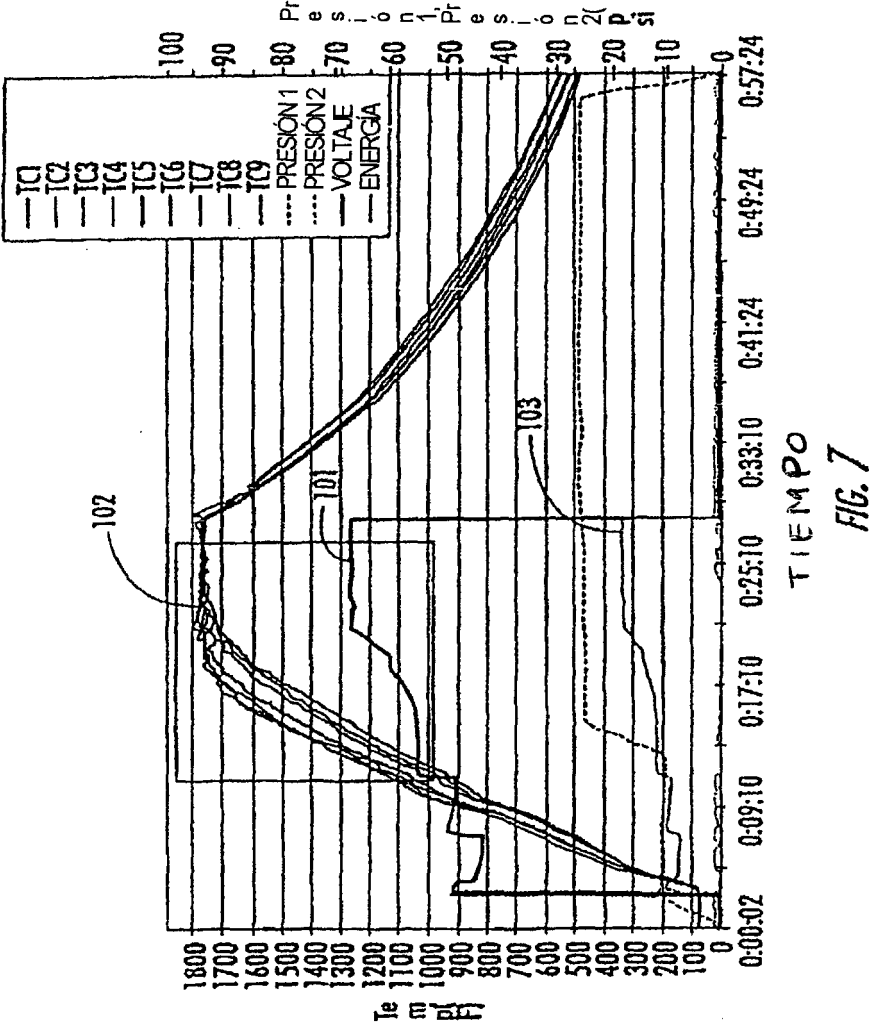


FIG. 7

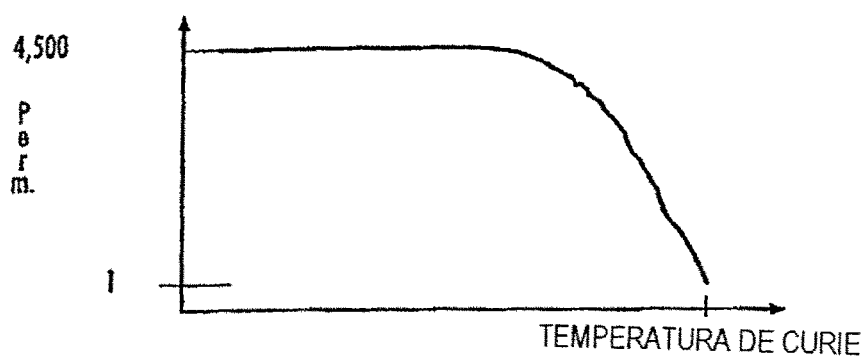


FIG. 8A.

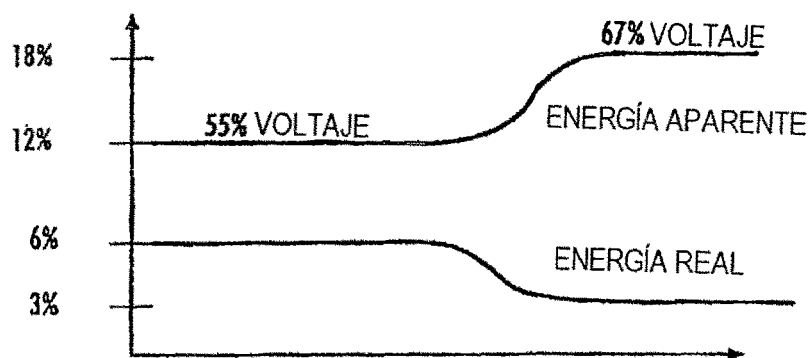


FIG. 8B.