

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 675 274**

51 Int. Cl.:

B22F 3/105 (2006.01)

B29C 64/153 (2007.01)

B29C 64/386 (2007.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

B33Y 50/02 (2015.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.02.2014 PCT/GB2014/050417**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14125280**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2014 E 14705397 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2956262**

54 Título: **Aparato y método de solidificación selectiva por láser**

30 Prioridad:

14.02.2013 GB 201302602

05.03.2013 GB 201303920

07.03.2013 US 201361774215 P

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

10.07.2018

73 Titular/es:

**RENISHAW PLC (100.0%)
New Mills Wotton-Under-Edge
Gloucestershire GL12 8JR, GB**

72 Inventor/es:

**DIMTER, MARC FRANK;
MAYER, RALPH MARKUS y
HESS, THOMAS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 675 274 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

Aparato y método de solidificación selectiva por láser

La presente invención se refiere a la solidificación selectiva por láser y en particular a un proceso y un aparato de fusión por láser selectivo mejorado en el que la dirección de movimiento láser a través del lecho de polvo se controla con respecto a la dirección del flujo de gas.

Antecedentes

Los métodos de fabricación aditiva o prototipado rápido para la producción de componentes comprenden la solidificación capa por capa de un material, tal como un material en polvo de metal, por el uso de un haz de láser. Una capa de polvo se deposita sobre un lecho de polvo en una cámara de construcción y un haz de láser se barre a través de porciones de la capa de polvo que corresponden a una sección transversal del componente que se está construyendo. El haz de láser funde o sinteriza el polvo para formar una capa solidificada. De acuerdo con lo explicado en más detalle a continuación con referencia a la Figura 2, es típico fundir o sinterizar el patrón deseado en la capa de polvo por el uso de una serie de bandas. En particular, se conoce el avance de las llamadas líneas de sombreado de ida y vuelta a lo largo de una pluralidad de bandas a su vez para construir el patrón deseado en la capa de polvo. Después de la solidificación selectiva de una capa, el lecho de polvo se reduce por un espesor de la capa recién solidificada y se extiende una capa adicional de polvo sobre la superficie y se solidifica de acuerdo con lo requerido.

Durante el proceso de fusión o sinterización, se producen desechos (por ej., condensado, partículas no solidificadas de polvo, etc.) dentro de la cámara de construcción. Se conoce la introducción de un flujo de gas a través de la cámara de construcción en un intento de eliminar los desechos de la cámara en el flujo de gas. Por ejemplo, el modelo M270 de la máquina producida por EOS GmbH, Munich, Alemania, pasa un flujo de gas desde la parte superior de la cámara de construcción hacia el lecho de polvo y varios orificios de ventilación de escape recogen el gas para su recirculación. El flujo de gas en la máquina M270 por lo tanto es turbulento y no tiene bien definida la dirección del flujo. El modelo más nuevo M280 de la máquina producida por EOS comprende una serie de boquillas de salida de gas situadas en la parte trasera del lecho de polvo que pasan a un flujo de gas a una serie de orificios de ventilación de escape que se encuentran en la parte delantera del lecho de polvo. De esta forma, una capa plana de flujo de gas se crea en la superficie del lecho de polvo. Sin embargo, los presentes inventores han encontrado que esta disposición de flujo plano de gas produce alta rugosidad de la superficie y una no uniformidad de las capas de metal solidificado generadas por el proceso de fusión.

La Patente W092/08592 describe varios aparatos de sinterización selectiva. La Patente DE102004031881 describe un anillo de aspiración de gas que se puede utilizar con un aparato de sinterización selectiva. Ferrar *et. al.* (Journal of Materials processing technology 212 (2012) 355 a 364) describe el efecto de la uniformidad del flujo de gas en la formación de componentes de titanio porosos.

Síntesis de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de solidificación selectiva por láser de acuerdo con lo definido en la reivindicación 1 adjunta.

La presente invención se refiere por lo tanto a un aparato de solidificación selectiva por láser, por ej., un aparato de sinterización selectiva por láser o fusión selectiva por láser, en el que se deposita una capa de polvo en un lecho de polvo. Una unidad de barrido láser dirige un haz de láser sobre la superficie de la capa de polvo para solidificar (por ej., fundir o sinterizar) partes seleccionadas de la capa de polvo para formar un patrón requerido (por ej., un patrón correspondiente a la sección transversal de un objeto 3D que se está construyendo). Esta solidificación selectiva se lleva a cabo por medio de la división del área a ser barrida por el haz de láser en una pluralidad de bandas o segmentos de bandas. Cada banda o segmento de banda está formada por medio del avance del haz de láser a lo largo de la banda o el segmento de banda en una dirección de formación de bandas. De acuerdo con lo explicado más adelante, en una forma de realización preferida la unidad de barrido láser se mueve rápidamente (por ej., barridos o pasos) de un punto de láser a través de cada banda o segmento de banda para formar una línea de sombreado que se hace avanzar a lo largo de la banda o el segmento de banda en una dirección de formación de bandas. Una unidad de flujo de gas proporciona un flujo plano de gas sobre el lecho de polvo, mientras que las bandas están siendo barridas.

Los presentes inventores han descubierto una serie de problemas que se producen cuando se utilizan las máquinas de fusión selectiva por láser disponibles comercialmente, tales como la EOS M280. En particular, se ha encontrado que los desechos (por ej., condensado, partículas de polvo, etc.) expulsados durante el proceso de solidificación (por ej., fusión) por láser se puede depositar sobre áreas de la capa de polvo que aún tienen que ser solidificadas. Se ha encontrado que esto produce una rugosidad de superficie adicional y la formación de capas de espesor no uniforme, que de manera adicional crean defectos (por ej., poros, inclusiones, etc.). Si bien la alteración de la forma en la que el gas fluye sobre el lecho de polvo se ha propuesto con anterioridad, los presentes inventores han encontrado que la dirección de formación de bandas con respecto a la dirección del flujo de gas tiene un efecto significativo en la calidad de la capa que se forma. En particular, los presentes inventores han encontrado que la formación mejorada

de capas de polvo se produce si la dirección predefinida del flujo de gas es siempre por lo menos parcialmente opuesta a la dirección de formación de bandas. En otras palabras, el aparato se puede mejorar por medio del aseguramiento de que siempre haya un componente del vector que describa la dirección del flujo de gas que se opone al vector que define la dirección de formación de bandas.

- 5 Es importante tener en cuenta que los beneficios de controlar la dirección de formación de bandas con respecto a la dirección del flujo de gas previamente no habían sido reconocidos por aquéllos con experiencia en la técnica. De acuerdo con lo explicado a continuación, las técnicas de la técnica anterior de manera típica utilizan patrones de bandas en los que se utilizan direcciones opuestas de formación de bandas para bandas adyacentes; esto se hace con el fin de reducir al mínimo el tiempo para barrer un haz de láser sobre la capa de polvo. Para las máquinas en
10 las que el flujo de gas no se controla, la variación en la dirección del flujo de gas con respecto a la dirección de formación de bandas es aleatoria y simplemente conduce a una reducción general de la uniformidad del material a través de la capa de polvo. Para las máquinas en las que se proporciona un flujo de gas a lo largo de una cierta dirección predefinida (por ej., como por el flujo plano proporcionado en la máquina EOS M280), la dirección
15 alternante de la dirección de formación de bandas provoca que la banda adyacente de material solidificado tenga diferentes propiedades físicas (por ej., diferentes densidades y rugosidad de la superficie). Estas variaciones son visibles y producen debilidades dentro de objetos tridimensionales construidos a partir de una pluralidad de tales capas.

La presente invención, por medio del aseguramiento de que la dirección predefinida del flujo de gas siempre se oponga por lo menos parcialmente a la dirección de formación de bandas, permite que la calidad y la uniformidad de
20 los componentes hechos por solidificación láser sean mejoradas. El aseguramiento de que la formación de bandas o segmentos de bandas no se produzca en la presencia de un "viento de cola" significa que se deposita menos desechos expulsados (condensado, partículas de polvo, etc.) en polvo que está fundido o aún no se ha fundido. De este modo, los desechos se llevan lejos de la parte frontal de fusión (es decir, la parte de la banda que se encuentra actualmente en el estado fundido) y se evita la acumulación de desechos en la parte delantera de masa fundida que
25 se ve de otra manera. La prevención o la reducción de la acumulación de desechos en la parte delantera en estado fundido, y la deposición en la parte superior de las regiones de la capa de polvo que aún no han sido solidificadas, no sólo mejora el espesor de la capa y la uniformidad del proceso, sino que también puede mejorar la eficiencia global del proceso de solidificación. En particular, la prevención de una acumulación de restos de ese tipo asegura que no hay atenuación significativa del haz de láser por los desechos antes de que alcance la capa de polvo que se solidificó (lo cual de ese modo asegura la solidificación eficiente) y también evita que los desechos previamente
30 depositados sean fundidos nuevamente y expulsados de nuevo desde la superficie.

La presente invención se caracteriza por la dirección de formación de bandas que siempre es por lo menos parcialmente opuesta a la dirección predefinida del flujo de gas. En otras palabras, siempre hay un componente del vector de dirección de formación de bandas que está en la dirección opuesta a la vector de dirección del flujo de gas.
35 La dirección de formación de bandas puede ser por completo opuesta (antiparalela) a la dirección del flujo de gas o puede ser un ángulo oblicuo (por ej., de menos de 80°, con mayor preferencia de menos de 70° o con mayor preferencia de menos de 60°) entre la dirección de formación de bandas y la dirección del flujo de gas. Se debe señalar que el signo de tal ángulo oblicuo todavía se debe seleccionar para asegurar que la dirección de formación de bandas siempre se oponga por lo menos parcialmente a la dirección predefinida del flujo de gas. El suministro de
40 una dirección de formación de bandas que es por completo opuesta (antiparalelo) a la dirección del flujo de gas proporciona un rendimiento óptimo, pero el mantenimiento de una sola dirección de formación de bandas en la construcción de objetos de múltiples capas no siempre puede ser deseable, de acuerdo con lo descrito en más detalle a continuación. De manera conveniente, la dirección de formación de bandas subtiende un ángulo (α) de por lo menos 10° a la normal a la dirección del flujo de gas. Con mayor preferencia, el ángulo (α) es de por lo menos 15°,
45 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, o 45. En una forma de realización preferida, la dirección de formación de bandas subtiende un ángulo (α) de más de 30° a la normal a la dirección del flujo de gas. Esto asegura que todas las líneas de sombreado que se utilizan para formar las bandas no se vuelvan paralelas o sustancialmente paralelas a la dirección del flujo de gas.

Además de controlar la dirección de formación de bandas con respecto a la dirección predefinida del flujo de gas, se ha encontrado que el orden en el que se forma la pluralidad de bandas o segmentos de bandas puede afectar a la uniformidad y la rugosidad (por ej., la densidad) de la capa solidificada. Si el flujo de gas sobre el lecho de polvo se origina desde un primer lado del lecho de polvo (por ej., si se proporciona una salida de gas en el primer lado del lecho de polvo), se prefiere que la pluralidad de bandas o segmentos de bandas se formen en orden inverso a su proximidad al primer lado del lecho de polvo. La formación de las bandas o segmentos de bandas en un orden tal
50 asegura que los desechos (por ej., condensados o partículas expulsadas) generados en la parte delantera de fusión sean transportados por el flujo de gas a las áreas de la capa de polvo que ya se han solidificado, en lugar de ser depositadas sobre el material que aún no se ha solidificado. Esto asegura que la solidificación subsiguiente sea solamente de la capa de polvo fresco (es decir, una capa de polvo sobre la que se ha depositado mínimos desechos). De nuevo, esto ayuda a mejorar la uniformidad de espesor de capa y reduce la rugosidad de la superficie, lo cual de ese modo reduce los defectos.
60

La unidad de flujo de gas pasa el gas sobre el lecho de polvo a lo largo de una dirección predefinida del flujo de gas. El flujo de gas puede ser a lo largo de una dirección del flujo de gas lineal o puede ser a lo largo de una dirección del

flujo de gas no lineal (por ej., curvada). La dirección del flujo de gas puede variar como una función de la posición en el lecho de polvo. Con preferencia, la dirección del flujo de gas es uniforme sobre el lecho de polvo (por ej., se puede producir una capa de gas plana). La unidad de flujo de gas puede comprender por lo menos una salida de gas. La
 5 por lo menos una salida de gas puede comprender una barra lineal con una pluralidad de boquillas separadas de gas. La unidad de flujo de gas puede comprender por lo menos un escape de gas. El por lo menos un escape de gas puede comprender una barra lineal con una pluralidad de orificios de ventilación de escape. La unidad de flujo de gas puede incluir una bomba de gas. La por lo menos una salida de gas y el por lo menos un escape de gas con preferencia están colocados a cada lado del lecho de polvo de manera tal que el gas bombeado desde la por lo
 10 menos una salida de gas pase al por lo menos un escape de gas. Con preferencia, se genera un flujo sustancialmente plano de gas a lo largo de la dirección predefinida de gas. Con preferencia, un flujo sustancialmente laminar de gas se genera a lo largo de la dirección predefinida de gas. Este flujo plano o laminar de gas se puede generar por medio del paso de gas desde la por lo menos una salida de gas que pasa a la por lo menos una salida de gas.

De manera ventajosa, la unidad de flujo de gas genera un flujo de gas que se mueve con una velocidad de por lo
 15 menos 2 m/s sobre el lecho de polvo. El caudal de gas con preferencia se selecciona de manera tal que no perturbe cualquier capa de polvo depositada, pero que permita que los desechos expulsados sean despejados. Cualquier gas, por ej., aire, se puede hacer pasar sobre el lecho de polvo. De manera ventajosa, un gas inerte se hace pasar sobre el lecho de polvo. El gas inerte puede ser por lo menos uno de nitrógeno, argón y helio.

El patrón requerido puede estar formado por una pluralidad de bandas. Las bandas pueden ser bandas alargadas.
 20 La pluralidad de bandas puede comprender bandas de cualquier forma. Por ejemplo, se puede formar una pluralidad de bandas curvadas. Con preferencia, cada una de la pluralidad de bandas comprende una banda lineal que tiene un eje alargado. La dirección de formación de bandas entonces con preferencia está paralela al eje alargado de la banda. La pluralidad de bandas se puede formar en cualquier orden, si bien de acuerdo con lo descrito con anterioridad, se prefiere formar bandas en orden inverso a su proximidad a la fuente del flujo de gas. El haz de láser
 25 se puede hacer avanzar a lo largo de toda una banda antes de pasar a la siguiente banda. En otras palabras, la fusión selectiva de una banda se puede completar antes de comenzar a fundir una banda diferente. De manera alternativa, sólo una parte o sección de una banda se puede formar antes de pasar a una parte o sección de otra banda. Por supuesto, es posible que sólo una parte de una banda se solidifique con el fin de definir la parte del patrón que está contenida dentro de esa banda. El aparato puede incluir un controlador para el control de la unidad de barrido láser que define la pluralidad de bandas que se van a utilizar. Cada banda puede tener una anchura de
 30 por lo menos 5 mm, por lo menos 10 mm, por lo menos 15 mm o por lo menos 20 mm. Cada banda puede tener una anchura de no más de 50 mm, 40 mm, 30 mm o 20 mm.

El patrón requerido de manera alternativa puede estar formado por una pluralidad de segmentos de bandas. Por
 35 ejemplo, el patrón requerido puede estar formado por una cuadrícula regular de los segmentos de bandas que forman un patrón de tablero de ajedrez. El patrón de tablero de ajedrez puede comprender una pluralidad de segmentos de bandas cuadradas o rectangulares. Los segmentos de bandas todos son del mismo tamaño o pueden ser de diferentes tamaños. También se puede formar un patrón irregular de los segmentos de bandas (por ej., islas). La formación de tales segmentos o secciones de bandas se describe en, por ejemplo, la Patente US2005/0142024. Todos los segmentos de bandas dentro de una capa se pueden formar por medio del avance del haz de láser a lo
 40 largo de la misma dirección de formación de bandas. De manera alternativa, una pluralidad de diferentes direcciones de formación de bandas se puede utilizar para diferentes segmentos de bandas de una capa de polvo. Por ejemplo, los diferentes segmentos de bandas se pueden formar por el uso de diferentes direcciones de formación de bandas. De acuerdo con lo explicado con anterioridad, la presente invención asegura que la dirección de formación de bandas siempre se oponga por lo menos parcialmente a la dirección del flujo de gas cuando se escribe cada
 45 segmento de banda.

La unidad de barrido láser puede comprender un láser pulsado. Con preferencia, la unidad de barrido láser
 comprende un láser de onda continua (CW, por su sigla en inglés). La unidad de barrido láser puede incluir un
 50 modulador de haz de láser. El modulador puede entonces modular (por ej., activar o desactivar) el haz de láser que incide sobre la capa de polvo. De esta manera, la solidificación por láser puede ser controlada por el encendido y el apagado del haz de láser de acuerdo con lo requerida. De manera alternativa, la potencia del láser se puede modular, por ej., se puede aplicar una modulación de onda sinusoidal. La unidad de barrido láser puede generar un haz de láser de potencia suficiente para sinterizar y/o fundir una capa de polvo. La potencia del haz de láser puede ser ajustable por un usuario.

La unidad de barrido láser puede generar un haz de láser que tiene la forma adecuada (por ej., por óptica de
 55 conformación de haz) para formar una línea de láser de longitud variable que tiene un eje largo que se extiende a través de la banda o el segmento de banda. En un ejemplo tal, el patrón dentro de la banda está formado por medio del avance de la línea de láser a lo largo de la banda o el segmento de banda en la dirección de formación de bandas. De manera ventajosa, la unidad de barrido láser genera un punto de láser que se mueve (por ej., por medio de pasos o barrido) a través de la banda para formar una llamada línea de sombreado. El punto de láser puede tener
 60 un perfil de sección transversal sustancialmente circular (por ej., un perfil de haz gaussiano). La unidad de barrido láser puede formar la línea de sombreado por medio del movimiento rápido (por ej., por medio de pasos o barrido) del punto desde un lado de la banda a la otra. Esto se puede hacer por el uso de la óptica de dirección del haz

apropiada de la unidad de barrido láser. Con preferencia, cada una de la pluralidad de bandas o segmentos de bandas se forman por el uso de una pluralidad de líneas de sombreado que se hacen avanzar a lo largo de la dirección de formación de bandas. En otras palabras, las líneas de sombreado a través de la banda o el segmento de banda se forman en sucesión con cada línea de sombreado que se encuentra más a lo largo de la dirección de formación de bandas de la línea de sombreado precedente. Por supuesto, se debe tener en cuenta que no toda la capa de polvo dentro de una banda o un segmento de banda puede necesitar ser fundido para formar el patrón deseado. La formación de líneas de sombreado parciales, o la omisión de líneas de sombreado a lo largo de partes seleccionadas de una banda o un segmento de banda, serían posibles por medio del control apropiado de la unidad de barrido láser.

El aparato puede formar la serie de líneas de sombreado por medio del barrido de trama del haz de láser hacia adelante y hacia atrás a través de la banda o el segmento de banda. La serie de líneas de sombreado también puede estar formada por medio del paso rápido del haz de láser hacia adelante y hacia atrás a través de la banda o el segmento de banda. La formación de tales líneas de sombreado bidireccionales (es decir, líneas de sombreado formadas por el movimiento láser a través de la anchura de la banda en dos direcciones opuestas) es la técnica de formación de líneas de sombreado convencional utilizada para formar el patrón requerido a lo largo de una banda. Como también es sabido, el haz de láser puede ser desactivado cuando la óptica de dirección del haz se utiliza para cambiar la posición del haz de láser de una línea de sombreado a otra.

El aparato de la presente invención puede formar la pluralidad de bandas o segmentos de bandas por el uso de líneas de sombreado bidireccionales. De manera alternativa, una serie de líneas de sombreado se puede formar solamente por medio del movimiento del haz de láser en la misma dirección de la línea a través de la banda o el segmento de banda. En otras palabras, se pueden formar líneas de sombreado unidireccionales. Con preferencia, la dirección de la línea a través de la banda o el segmento de banda es por lo menos parcialmente opuesta a la dirección del flujo de gas. De esta manera, los desechos expulsados durante la formación de líneas de sombreado se llevan lejos de la dirección en la que el haz de láser está avanzando a través de la banda o el segmento de banda. Si bien la mejora asociada con el uso de líneas de sombreado unidireccionales es relativamente pequeña en comparación con los beneficios de la alineación de la dirección de formación de bandas a la dirección del flujo de gas, aún proporciona una mejora útil. Sin embargo, esto es a expensas de reducir significativamente la velocidad a la que se pueden escribir las líneas de sombreado.

En una forma de realización, la forma en que se forman las líneas de sombreado se puede variar durante el uso. En particular, la manera en que se forman las líneas de sombreado se puede seleccionar dependiendo de la orientación de la dirección de formación de bandas con relación a la dirección del flujo de gas. En otras palabras, la dirección de la línea se puede seleccionar con base en la orientación de la dirección de formación de bandas con relación a la dirección del flujo de gas. Si el ángulo (α) entre la dirección de formación de bandas y la normal a la dirección del flujo de gas es sustancial (por ej., mayor que 10° , 20° o 30°), entonces se pueden utilizar líneas de sombreado bidireccionales sin ninguna degradación sustancial de la formación de la capa. Sin embargo, para ángulos más pequeños (por ej., a menos de 10° , 20° o 30°), puede ser ventajoso el uso de líneas de sombreado unidireccionales. En ese caso, la dirección de la línea se puede seleccionar para oponerse por lo menos parcialmente a la dirección del flujo de gas.

El aparato de la presente invención se utiliza normalmente para construir objetos tridimensionales, capa por capa. De este modo, el aparato está dispuesto con preferencia para depositar y solidificar de manera selectiva una pluralidad de capas de polvo, cada capa depositada en la parte superior de la capa anterior, para formar un objeto tridimensional. Se prefiere que la técnica de formación de capas de la presente invención se aplique a cada capa, a su vez, del objeto que se forma. En particular, el patrón requerido de cada capa de polvo puede estar formado por una pluralidad de bandas o segmentos de bandas. La dirección de formación de bandas con preferencia está siempre por lo menos parcialmente opuesta a la dirección predefinida del flujo de gas para cada banda o segmento de banda de cada capa. En otras palabras, se prefiere que no haya bandas o segmentos de bandas se forman que no cumplen con el requisito de que la dirección de formación de bandas siempre es por lo menos parcialmente opuesta a la dirección predefinida del flujo de gas. Esto asegura la uniformidad y el control del espesor de capa ajustado en todo el objeto tridimensional.

Se debe señalar que es posible llevar a cabo un barrido de contorno antes y/o después de que el patrón requerido se ha escrito en una capa de polvo por el uso de la técnica de formación basada en la banda o el segmento de banda. Un barrido de contorno implica barrer rápidamente el haz de láser alrededor del contorno de la parte para fundir/solidificar nuevamente el material que formará la superficie exterior de la parte que se está formando. Tal barrido de contorno implica la solidificación de sólo una pequeña cantidad de material, lo cual de este modo expulsa cantidades mínimas de desechos y por lo tanto se puede formar de una manera convencional (es decir, sin control sobre la dirección de movimiento del haz de láser con respecto a la dirección del flujo de gas). Tal barrido de contorno se puede llevar a cabo entre la técnica de formación de bandas aplicada a una pluralidad de diferentes capas de polvo.

El aparato de la presente invención con preferencia también incluye un aparato de deposición de polvo para depositar una capa de polvo sobre el lecho de polvo. El aparato de deposición de polvo con preferencia comprende un dispensador de polvo y un limpiador de polvo. El lecho de polvo también puede incluir una plataforma móvil o una

mesa. Una placa de base puede estar unida a la plataforma. La altura de la plataforma dentro de la máquina puede ser ajustable para permitir que el lecho de polvo se retire antes de la deposición de una capa de polvo. Tales características son convencionales para máquinas de solidificación selectivas y no se describirán de manera adicional en la presente memoria por razones de brevedad.

5 Se ha explicado con anterioridad en la Patente US8034279 que la alteración de la dirección de la banda para diferentes capas es ventajosa durante la formación de un objeto tridimensional. Esto también se aplica cuando se utiliza la técnica de la presente invención. En particular, las diferentes direcciones de formación de bandas (por ej., que difieren en 30°) se utilizan con preferencia para capas de polvo adyacentes. De acuerdo con lo explicado con anterioridad, se prefiere que la dirección de formación de bandas utilizada para cada capa sea por lo menos
10 parcialmente opuesta a la dirección del flujo de gas.

El aparato de la presente invención se puede utilizar para sinterizar polvo de manera selectiva. De manera ventajosa, el aparato de la presente invención se utiliza para fundir polvo de manera selectiva. El polvo puede comprender, por ejemplo, polvo de plástico, polvo de cerámica o polvo de metal. Con preferencia, el aparato está dispuesto para depositar y solidificar polvo de metal. Por ejemplo, se pueden utilizar polvos de metal tales como el
15 acero (por ej., grado de acero 1.2709), acero inoxidable, titanio, cobalto, cromo, etc.

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención proporciona un método para solidificar de manera selectiva una capa de polvo depositada sobre un lecho de polvo de acuerdo con lo definido en la reivindicación 13 adjunta. El método puede incluir cualquiera de las características preferidas descritas para el correspondiente aparato del primer aspecto de la presente invención.

20 En la presente memoria también se describe un aparato de fusión selectiva por láser, que comprende; un lecho de polvo sobre el que se puede depositar una capa de polvo, un dispositivo de flujo de gas para hacer el paso de un flujo de gas sobre el lecho de polvo a lo largo de una dirección predefinida del flujo de gas, y una unidad de barrido láser para el barrido de un haz de láser a lo largo de una trayectoria de barrido sobre una capa de polvo depositada sobre el lecho de polvo, el haz de láser se da como salida de manera selectiva a medida que la trayectoria de
25 barrido se recorre para permitir que las regiones seleccionadas de la capa de polvo sean fundidas, en el que la dirección a lo largo de la cual se mueve el haz de láser está orientada en relación con la dirección del flujo de gas con el fin de evitar sustancialmente que cualquier partícula expulsada durante la fusión láser sea llevada por el flujo de gas en regiones de la trayectoria de barrido que todavía tienen que ser barridas.

30 En la presente memoria también se describe un aparato de solidificación selectiva por láser, que comprende; un lecho de polvo sobre el que una capa de polvo puede ser depositada, una unidad de flujo de gas para el paso de un flujo de gas sobre el lecho de polvo a lo largo de una dirección predefinida del flujo de gas, y una unidad de barrido láser para el barrido de un haz de láser sobre la capa de polvo para solidificar de manera selectiva por lo menos parte de la capa de polvo para formar un patrón requerido, el patrón requerido se forma a partir de una pluralidad de bandas o segmentos de bandas, en el que el flujo de gas sobre el lecho de polvo se origina desde un primer lado del
35 lecho de polvo y la pluralidad de bandas o segmentos de bandas se forman en orden inverso a su proximidad con el primer lado del lecho de polvo. La invención también se extiende a un método correspondiente para operar un aparato de solidificación selectiva por láser y puede incluir cualquier característica descrita en la presente memoria.

40 En la presente memoria también se describe un aparato de solidificación selectiva por láser, que comprende; un lecho de polvo sobre el que una capa de polvo puede ser depositada, una unidad de flujo de gas para el paso de un flujo de gas sobre el lecho de polvo a lo largo de una dirección predefinida del flujo de gas, y una unidad de barrido láser para el barrido de un haz de láser sobre la capa de polvo para solidificar de manera selectiva por lo menos parte de la capa de polvo para formar un patrón requerido, el patrón requerido se forma a partir de una pluralidad de
45 bandas o segmentos de bandas se forma por el uso de una pluralidad de líneas de sombreado que se hacen avanzar a lo largo de la dirección de formación de bandas, caracterizado porque todas las líneas de sombreado se forman por medio del movimiento del haz de láser en la misma dirección de la línea a través de la banda o el segmento de banda, la dirección de la línea es por lo menos parcialmente opuesta a la dirección del flujo de gas. La invención también se extiende a un método correspondiente para operar un aparato de solidificación selectiva por
50 láser y puede incluir cualquier característica descrita en la presente memoria.

55 En la presente memoria también se describe un aparato de solidificación selectiva por láser, que comprende; un lecho de polvo sobre el que una capa de polvo puede ser depositada, una unidad de flujo de gas para el paso de un flujo de gas sobre el lecho de polvo a lo largo de una dirección del flujo de gas y, una unidad de barrido láser para el movimiento de un haz de láser sobre la capa de polvo para solidificar de manera selectiva por lo menos parte de la
60 capa de polvo para formar un patrón requerido, en el que la unidad de barrido láser mueve el haz de láser para formar una serie de líneas de sombreado que se hacen avanzar sobre la capa de polvo a lo largo de una dirección de movimiento línea de sombreado, en el que la dirección de movimiento de la línea de sombreado está por lo menos parcialmente opuesta a la dirección del flujo de gas. Las líneas de sombreado se pueden utilizar para formar las bandas, segmentos, conchas o cualquier forma. La dirección de movimiento de la línea de sombreado puede ser diferente para diferentes áreas del lecho de polvo. La invención también se extiende a un método correspondiente

para operar un aparato de solidificación selectiva por láser y puede incluir cualquier característica descrita en la presente memoria.

Breve Descripción de las Figuras

Ahora se describirá la invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a las Figuras adjuntas, en las que:

- 5 La Figura 1 es una ilustración esquemática de una máquina de fusión selectiva por láser,
- La Figura 2 muestra una técnica de la técnica anterior para la solidificación de una capa de polvo por el uso de líneas de sombreado que se hacen avanzar a lo largo de doce bandas,
- La Figura 3 es una fotomicrografía que muestra la variación de la oxidación que se produce por el uso de la técnica de la técnica anterior de la Figura 2,
- 10 La Figura 4 ilustra la deposición de material expulsado que se produce cuando el flujo de gas está en la misma dirección que la dirección de formación de bandas (la situación "viento de cola"),
- La Figura 5 ilustra la deposición de material expulsado que se produce cuando la dirección del flujo de gas se opone a la dirección de formación de bandas de acuerdo con la presente invención,
- La Figura 6 muestra un primer ejemplo de un barrido de banda de la presente invención,
- 15 La Figura 7 muestra un segundo ejemplo de un barrido de banda de la presente invención,
- Las Figuras 8A, 8B y 8C muestran tres opciones para la formación de líneas de sombreado por medio del barrido rápido de un haz de láser a través de la anchura de una banda,
- La Figura 9 ilustra cómo la dirección de formación de bandas se puede variar entre las capas, y
- 20 La Figura 10 ilustra cómo se pueden formar múltiples segmentos de bandas dentro de una capa en un patrón de tablero de ajedrez.

Descripción Detallada

Con referencia a la Figura 1, se ilustra de manera esquemática una máquina de fusión selectiva por láser 2 conocida.

- 25 La máquina de fusión por láser 2 comprende una cámara de construcción o carcasa 4 en la que se proporciona un lecho de polvo 6. El lecho de polvo 6 se puede subir y bajar (es decir, mover en la dirección z) por medio de un mecanismo de pistón 8. Se proporciona un sistema de dispensación de polvo y rodillos 10 para depositar una (por ej., de 10 a 100 μm) capa de polvo fina sobre la parte superior del lecho de polvo 6. El polvo utilizado para formar la capa de polvo con preferencia es un polvo de metal (por ej., un polvo de acero de grado 1.2709).

- 30 También se proporciona una unidad de barrido láser 20 que comprende un láser de onda continua (CW) de alta potencia y óptica de barrido para dirigir un haz de láser 22 hacia el lecho de polvo 6. La óptica de barrido también permite que el haz de láser 22 se mueva rápidamente en la superficie del lecho de polvo 6. La unidad de barrido láser 20 también incluye un modulador óptico para permitir que el haz de láser 22 que incide sobre la capa de polvo sea encendido y apagado de acuerdo con lo requerido.

- 35 También se proporciona una unidad de flujo de gas 30. La unidad de flujo de gas 30 comprende una barra de salida de gas 32 que tiene una pluralidad de boquillas 34 para expulsar gas. Una barra de escape de gas 36 también se proporciona para la recolección de gas. Una bomba 38 se utiliza para extraer gas desde la barra de escape de gas 36 y para bombear gas a las boquillas 34 de la barra de salida de gas 32. Se proporciona una tubería de gas 40 adecuada para conectar la barra de salida de gas 32 y la barra de escape de gas 36 a la bomba 38. Durante el uso, el gas fluye desde la barra de salida de gas 32 a la barra de escape de gas 36. Por lo tanto, existe un flujo de gas predefinido dentro de la máquina; es decir, el gas se hace pasar sobre el lecho de polvo a lo largo de la dirección del flujo de gas G.

- 45 La máquina de fusión por láser 2 se hace funcionar, bajo la dirección de un controlador 50, de acuerdo con lo presentado a continuación. En primer lugar, una placa de sustrato se fija al mecanismo de pistón. La placa de sustrato, que con preferencia está formada del mismo material que el polvo que se deposita en él, forma la base del lecho de polvo. El sistema de dispensación de polvo y rodillos 10 se utiliza entonces para dispensar una capa de polvo de un cierto espesor (por ej., 80 μm) sobre la placa de sustrato. La unidad de barrido láser 20 dirige entonces el haz de láser 22 sobre la capa de polvo y funde partes seleccionadas de la capa de polvo; es decir, regiones seleccionadas de la capa de polvo se funden a la placa de sustrato. La trayectoria sobre el lecho de polvo que es utilizada por el láser se escanea se describe con más detalle a continuación. Una vez que el patrón requerido (por ej., en sección transversal) se ha escrito en la capa de polvo, el pistón 8 deja caer el lecho de polvo 6, otra capa de polvo se deposita en la parte superior de la capa existente (parcialmente solidificada) y la unidad de barrido láser

funde entonces de manera selectiva la capa de polvo recién depositada. Este proceso se repite entonces, capa por capa, para formar el objeto tridimensional requerido. Durante este proceso de fabricación, un suministro continuo de gas se hace pasar sobre el lecho de polvo a lo largo de la dirección del flujo de gas G por la unidad de flujo de gas 30.

5 La ilustración y descripción de la Figura 1 muestra solamente la operación básica de máquinas de fusión por láser conocidas. Aquéllos con experiencia se darían cuenta de más detalles de la construcción y el funcionamiento de la máquina. Se debe señalar que la ilustración esquemática anterior se basa en el modelo M280 de la máquina de fusión por láser hecha por EOS GmbH.

10 Con referencia a continuación a la Figura 2, se describirá un proceso de la técnica anterior para fundir de manera selectiva una capa de polvo depositada por el uso de la máquina descrita con anterioridad con referencia a la Figura 1. Este proceso se implementa como estándar en la máquina EOS M280 mencionada con anterioridad.

15 La Figura 2 ilustra una capa de polvo 100 que ha de ser fundida de manera selectiva para formar el patrón de capa solidificada 102. La capa de polvo 100 se deposita en el lecho de polvo por el uso del sistema de dispensación de polvo y rodillos 10 que se describe con referencia a la Figura 1. También se muestra la barra de salida de gas 32 y la barra de escape de gas 36 que proporcionan un flujo plano de gas a lo largo de una dirección del flujo de gas G.

20 Con el fin de solidificar la capa de polvo 100 para formar el patrón de capa solidificada 102, se define una pluralidad de bandas (marcadas S1-S12 en la Figura 2). Las bandas S1-S12 juntas definen una región cuadrada que contiene el área en el lecho de polvo en la que el patrón de capa solidificada 102 se va a escribir. La unidad de barrido láser genera un punto de láser que se escanea rápidamente a través de la anchura de la banda (es decir, a lo largo de una dirección perpendicular al eje alargado o la longitud de la banda) para formar una llamada línea de sombreado. Con el fin de fundir de manera selectiva el polvo a lo largo de la longitud de la banda, las líneas de sombreado sucesivas se mueven a lo largo de la banda en la dirección L. En otras palabras, la banda está formada por el movimiento de la línea de sombreado a lo largo de la dirección de formación de bandas L. Se debe tener en cuenta que la línea de sombreado formada por el láser puede ser del ancho de la banda o puede ser más corta que el ancho de la banda si no se requiere la fusión en todo el ancho de la banda en esa posición particular.

30 En el ejemplo de la técnica anterior mostrado en la Figura 2, la banda S12 se aborda primero. Esto implica que la unidad de barrido láser forma una línea de sombreado que se mueve de izquierda a derecha a lo largo de la dirección de formación de bandas L para solidificar la parte del patrón de capa 102 que cae con la banda S12. Después de que se ha escrito la banda S12, se escribe el patrón de la banda S11, que consiste en mover la línea de sombreado a lo largo de la banda S11 en la dirección de formación de bandas L. La dirección de formación de bandas L para la banda S11 es opuesta a la dirección de formación de bandas L para la banda S12. Por lo tanto, se puede observar que la dirección de formación de bandas L se alterna entre bandas a medida que las bandas se escriben a su vez (es decir, en el orden S12 a S1). En el presente ejemplo, todas las bandas de número par (S2, S4, S6, etc.) se forman por el uso de una línea de sombreado que se mueve de izquierda a derecha, mientras que todas las bandas con número impar (S1, S3, S5, etc.) se forman por el uso de una línea de sombreado que se mueve de derecha a izquierda.

40 Los presentes inventores han encontrado que esta técnica anterior tiene una serie de desventajas. De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3, los presentes inventores han encontrado que las bandas formadas por el movimiento de la línea de sombreado en direcciones de formación de bandas opuesta tienen diferente decoloración de la superficie y rugosidad de la superficie. En particular, los presentes inventores han encontrado que la oxidación y la alta rugosidad de la superficie se produce por bandas de número par (S2, S4, S4 etc.) que se han formado por el uso de una línea de sombreado que se mueve (en la Figura 2) de izquierda a derecha. Estas bandas de número par se identifican por la etiqueta 140 en la fotomicrografía de la Figura 3.

45 Con referencia ahora a las Figuras 4 y 5, se describirá el efecto de la dirección del flujo de gas con respecto a la dirección de formación de bandas sobre la formación de capa.

50 La Figura 4 muestra un lecho de polvo 200 que lleva una capa de metal fundido 202 y una capa de polvo 204 que aún no se ha fundido. Las líneas de trazos 206 ilustran las líneas de sombreado que se generaron por la unidad de barrido láser para fundir el polvo que ahora forma la capa de metal fundido 202. En este ejemplo, la dirección del flujo de gas G es la misma que la dirección de formación de bandas L. En otras palabras, hay un componente de la dirección del flujo de gas que está en la misma dirección que la dirección de formación de bandas L; esto se podría considerar como que hay un "viento de cola".

55 Los inventores han encontrado que cuando la dirección del flujo de gas G y la dirección de formación de bandas L están alineadas de la manera mostrada en la Figura 4, los desechos del proceso de fusión (partículas de polvo, grupos de partículas de polvo parcialmente fundidos y otros desechos/condensados del proceso de fusión etc.) son llevados por el flujo de gas hacia la parte de la capa de polvo que todavía tiene que ser fundida. Estos restos forman una región de la superficie o protuberancia de contaminante 208 que se mueve a lo largo de la banda a medida que avanza la fusión. Esto no sólo da como resultado una capa de grosor no uniforme que se forma debido a que las diferentes partículas de tamaño se depositan en la parte superior del polvo sin fundir, sino que también reduce la

potencia del láser que alcanza la capa de polvo, lo cual de ese modo altera las condiciones de fusión de la capa de polvo subyacente. En particular, se ha encontrado que ocurre una oxidación subóptima del polvo fundido y que el proceso genera un nivel relativamente alto de rugosidad superficial e introduce defectos, etc. El efecto que se muestra en la Figura 4 explica la peor calidad de las bandas pares (S2, S4, S6, etc.) que se muestran en la fotomicrografía de la Figura 3.

La Figura 5 muestra un lecho de polvo 300 que lleva una capa de metal fundido 302 y una capa de polvo 304 que aún no se ha fundido. Las líneas de trazos 306 ilustran las líneas de sombreado que fueron generadas por la unidad de barrido láser para fundir el polvo que ahora forma la capa de metal fundido 302. En este ejemplo, la dirección del flujo de gas G es opuesta a la dirección de formación de bandas L. En otras palabras, no hay un componente de la dirección del flujo de gas que esté en la misma dirección que la dirección de formación de bandas L; es decir, no hay un "viento de cola".

En este ejemplo, el flujo de gas en la dirección del flujo de gas G actúa para soplar los desechos del proceso de fusión lejos de la capa de polvo de la banda que aún no se ha fundido. Se ha encontrado que esto evita la formación de una protuberancia de contaminante de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 4. Se debe tener en cuenta que si bien la Figura 5 ilustra el uso de la dirección del flujo de gas G que es totalmente opuesta a la dirección de formación de bandas L, puede ser en su lugar un ángulo oblicuo entre la dirección del flujo de gas G y la dirección de formación de bandas L. El suministro de un ángulo oblicuo tal también asegura que los desechos no se depositen sobre las regiones de la banda que se acaban de fundir.

También se debe señalar que las Figuras 4 y 5 ilustran formas de realización en las que todo el ancho de la banda se funde por una pluralidad de líneas de sombreado de anchura completa que se forman en puntos sucesivos a lo largo de la dirección de formación de bandas L. Por supuesto, es posible solamente fundir las partes seleccionadas de cada banda con el fin de construir la sección transversal o patrón de material fundido deseado.

La Figura 6 ilustra la capa de polvo 400 que ha de ser fundido de manera selectiva para formar el patrón de capa solidificada 402. La capa de polvo 400 se deposita en el lecho de polvo por el uso del sistema de dispensación de polvo y rodillos que se describe con referencia a la Figura 1. También se muestran la barra de salida de gas 32 y la barra de escape de gas 36 descritas con referencia a la Figura 1 que proporcionan un flujo de gas a lo largo de una dirección del flujo de gas G.

Con el fin de solidificar la capa de polvo 400 para formar el patrón de capa solidificada 402, una pluralidad de bandas se funden a su vez; estas bandas son etiquetadas como S1-S12 en la Figura 6. A diferencia del proceso de la técnica anterior descrito con anterioridad con referencia a la Figura 2, las bandas ilustradas en la Figura 6 se forman por medio del movimiento de la línea de sombreado a lo largo de cada banda en la misma dirección. En otras palabras, la misma dirección de formación de bandas L se utiliza para cada una de las bandas S1 a S12. Además, la dirección de formación de bandas L está dispuesta para diferir de la dirección del flujo de gas G por el ángulo θ , que en este ejemplo es de aproximadamente 125° . También se muestra en la Figura 6 el ángulo α entre la normal a la dirección del flujo de gas G y la dirección de formación de bandas L. En este ejemplo, α tiene un valor de aproximadamente 35° .

El suministro de un ángulo tal entre la dirección del flujo de gas G y la dirección de formación de bandas L significa que cualquier residuo expulsado durante el proceso de fusión es transportado por el flujo de gas lejos de la parte de la capa de polvo que aún no se ha fundido y también lejos de cualquier material de esa banda que acaba de ser fundido. Por ejemplo, los desechos expulsados de la superficie durante la fusión del punto P que se muestra en la Figura 6 se llevan a lo largo del vector d y lejos de la banda S1. Esto ayuda a asegurar que la mayoría de los desechos no cubran el polvo todavía a ser sinterizado y tampoco se adhiere al polvo que recientemente se ha fundido. Por lo tanto, el patrón de capa solidificada 402 formado por el proceso de fusión tiene una superficie más uniforme (menos áspera, menos defectos) que las capas producidas por el uso de direcciones de formación de bandas alternas de acuerdo con el proceso de la técnica anterior descrito con referencia a la Figura 2.

Además de cada banda que se forma por medio del movimiento de una línea de sombreado a lo largo de la misma dirección de formación de bandas L, las bandas S1 a S12 con preferencia se forman en un orden específico. En particular, las bandas S1 a S12 con preferencia se forman en el orden inverso de su proximidad a la barra de salida de gas 32. En otras palabras, la banda S1 más cercana a la barra de escape de gas 36 se forma primero, luego se forma la banda S2, a continuación la banda S3, etc. La formación de las bandas en este orden tiene la ventaja de que cualquier desecho expulsado al escribir una banda no perturba la capa de polvo para bandas que aún tienen que ser escritas. En particular, se puede observar que cualquier desecho expulsado durante la fusión de las partes seleccionadas de la capa de polvo dentro de la banda S1 no se lleva en el flujo de gas sobre las bandas S2-S12. Esto significa que una capa de polvo más uniforme, sustancialmente libre de restos, está presente cuando se escribe cada banda.

Con referencia a la Figura 7, se muestra una capa de polvo 500 que se ha de fundir de manera selectiva para formar el patrón de capa solidificada 502. La capa de polvo 500 se deposita en el lecho de polvo por el uso del sistema de dispensación de polvo y rodillos que se describe con referencia a la Figura 1. también se muestran la barra de salida de gas 32 y la barra de escape de gas 36 que se describen con referencia a la Figura 1 que proporcionan un flujo de

gas a lo largo de una dirección del flujo de gas G.

En este ejemplo, las bandas S1 a S12 de nuevo con preferencia se forman en orden inverso a su proximidad a la barra de salida de gas 32. Cada banda se forma por medio del movimiento de la línea de sombreado a lo largo de cada banda en la misma dirección. En otras palabras, la misma dirección de formación de bandas L se utiliza para cada una de las bandas S1 a S12. También se puede observar que la dirección de formación de bandas L de la Figura 7 es un reflejo de la dirección de formación de bandas L mostrada en la Figura 6 sobre la dirección del flujo de gas. En otras palabras, la dirección de formación de bandas L está dispuesta para diferir de la dirección del flujo de gas G por el ángulo $-\Theta$ en la Figura 7. Por lo tanto, la disposición de 7 tiene beneficios similares a la de la Figura 6.

Además de optimizar la dirección de formación de bandas L, se debe recordar que cada banda con preferencia se forma por el uso de una serie de líneas de sombreado. Estas líneas de sombreado a formadas por el barrido de un punto de láser a través de la banda; es decir, la línea de sombreado se forma por medio del movimiento de un punto de láser a lo largo de una línea que es perpendicular a la dirección de formación de bandas L. Además, se ha encontrado que una mejora adicional a la uniformidad de la formación de bandas se puede obtener por medio de la alteración del proceso de formación de líneas de sombreado. Esto se explicará a continuación con referencia a las Figuras 8A, 8B y 8C.

Con referencia a la Figura 8A, se muestra un método de la técnica anterior para el barrido de un punto de láser hacia adelante y hacia atrás a través de la anchura de una banda S para formar una sucesión de líneas de sombreado 600 a lo largo de la dirección de formación de bandas L. La líneas de trazos 602 ilustran las trayectorias nocionales al final de cada línea de sombreado 600 que son atravesadas (con el haz de láser desactivado) con el fin de posicionar apropiadamente el haz de láser listo para la formación de la siguiente línea de sombreado. Por conveniencia, la serie de líneas de sombreado de la Figura 8A se puede denominar como líneas de sombreado bidireccionales.

La técnica de formación de líneas de sombreado que se muestra en la Figura 8A tiene la ventaja de que las líneas de sombreado sucesivas se pueden formar a alta velocidad porque la óptica de dirección del haz de la unidad de barrido láser sólo tiene que proporcionar una pequeña cantidad de movimiento de la barra láser (nocional) entre el final de una línea de sombreado y el inicio de la siguiente línea de sombreado. Sin embargo, se ha encontrado que la dirección de la formación de líneas de sombreado con respecto a la dirección del flujo de gas también puede afectar la calidad y la uniformidad de la capa que se genera a partir de la fusión de la capa de polvo dentro de una banda. También se ha encontrado que la no uniformidad provocada por este efecto se incrementa a medida que se reduce la magnitud del ángulo α (que se describe con anterioridad con referencia a las Figuras 6 y 7) entre la normal a la dirección del flujo de gas G y la dirección de formación de bandas L.

La formación de las líneas de sombreado por medio del barrido continuo del haz de láser en la misma dirección a través de la banda de este modo puede mejorar la uniformidad de la capa fundida. La Figura 8B muestra la forma en que las líneas de sombreado 610 se pueden formar por medio del barrido continuo del punto de láser desde la parte superior a la parte inferior de una banda S. La Figura 8C muestra la forma en que las líneas de sombreado 620 se pueden formar por medio del barrido continuo del punto de láser desde el fondo hasta la parte superior de una banda S. Por conveniencia, la serie de líneas de sombreado de las Figuras 8B y 8C se pueden denominar como líneas de sombreado unidireccionales. Si bien la formación de líneas de sombreado unidireccionales puede mejorar la calidad de la banda, tal mejora está acompañada por un incremento en el tiempo que se necesita para formar una serie de líneas de sombreado. En particular, hay un retardo adicional asociado con la óptica de barrido de la unidad de barrido láser que se mueve hacia atrás a través de la banda para permitir que se forme la siguiente línea de sombreado. Por lo tanto, es preferible sólo utilizar líneas de sombreado unidireccionales cuando proporcionan una mejora suficientemente significativa; por ej., cuando la magnitud del ángulo α entre la normal a la dirección del flujo de gas G y la dirección de formación de bandas L se reduce lo suficiente como para que la formación de líneas de sombreado unidireccionales tenga un beneficio.

También se debe señalar que la dirección de formación de las líneas de sombreado unidireccionales con relación a la dirección de formación de bandas L dependerá de la orientación de la banda que se está formando con respecto a la dirección del flujo de gas G. Por ejemplo, las bandas formadas en la Figura 6 se beneficiarían de ser formadas a partir de las líneas de sombreado unidireccionales de la Figura 8B, si bien las bandas formadas en la Figura 7 se beneficiarían de ser formadas a partir de las líneas de sombreado unidireccionales de la Figura 8C. En ambos casos, la dirección de movimiento de la barra durante la formación de líneas de sombreado está dispuesta para oponerse por lo menos en parte, a la dirección del flujo de gas G. Esto significa que la mayoría de los desechos asociados con la fusión de polvo se despejan de polvo dentro de la línea de sombreado que todavía se ha de fundir. La formación de líneas de sombreado bidireccionales o unidireccionales se puede variar de este modo de acuerdo con lo requerido para diferentes orientaciones de banda con respecto a la dirección del flujo de gas.

Con referencia a la Figura 9, se ilustra el proceso de construcción de un objeto tridimensional 710 a partir de una pluralidad de capas fundidas (700a-700f). Cada capa 700a-700f puede estar formada por un proceso que implica la fusión selectiva de cada capa por el uso de múltiples bandas, cada banda de una capa se forma a lo largo de una dirección de formación de bandas L común. La dirección de formación de bandas L puede variar entre las capas, pero se prefiere que la dirección del flujo de gas sea siempre por lo menos parcialmente opuesta a la dirección de

formación de bandas para cada capa. De esta manera, los beneficios de la presente invención se obtienen para cada capa en un objeto tridimensional. El uso de diferentes direcciones de formación de bandas L para cada capa también puede significar que ciertas capas se pueden formar por el uso de líneas de sombreado bidireccionales mientras que otras capas se forman por el uso de líneas de sombreado unidireccionales. Los beneficios de la alteración de la dirección de formación de bandas entre las capas también se ha descrito previamente en la Patente US8034279 (EOS). En este ejemplo se utiliza una diferencia en la dirección de formación de bandas entre capas adyacentes de por lo menos 30°, pero se pueden implementar otros ángulos diferentes. Por ejemplo, el ángulo de rotación entre las capas adyacentes puede ser más de 40° o puede ser 67°. El ángulo de rotación entre capas adyacentes con preferencia es menor que 80°. Una vez más, se debe señalar que se prefiere que cada capa (o por lo menos la mayoría de las capas) cumpla el requisito de que la dirección del flujo de gas sea siempre por lo menos parcialmente opuesta a la dirección de formación de bandas.

También se debe señalar que, si bien el proceso de fusión puede tener lugar por medio del avance de líneas de sombreado a lo largo de una banda, puede haber otros pasos de procesamiento que no requieran tal control estricto sobre la dirección de formación de bandas con relación a la dirección del flujo de gas. Por ejemplo, la unidad de barrido láser puede llevar a cabo un barrido de contorno antes y/o después de que una capa se ha fundido por medio del avance de líneas de sombreado a lo largo de una banda. El barrido de contorno puede simplemente barrer el haz de láser alrededor del contorno de un objeto para volver a fundir y solidificar el metal para mejorar la calidad de la superficie. En un barrido de contorno tal la trayectoria del punto del haz de láser puede tomar cualquier orientación con respecto a la dirección del flujo de gas. No se ha encontrado que esto tenga un efecto perjudicial debido a que la cantidad de desechos generados por tal barrido de contorno es mínima.

Con referencia a la Figura 10, también se ilustra cómo la presente invención se puede aplicar a la formación de capas por el uso de segmentos de bandas. En particular, la Figura 10 ilustra una capa de polvo 800 que ha de ser fundida para formar un patrón deseado (no mostrado). La capa de polvo 800 se puede depositar por el uso del sistema de dispensación de polvo y rodillos descrito con referencia a la Figura 1. De acuerdo con lo descrito con anterioridad, se proporciona un flujo plano de gas sobre la capa de polvo a lo largo de la dirección G.

El modelo deseado se escribe en la capa de polvo 800 por medio de la división de la capa en una pluralidad de segmentos de bandas 802. Cada segmento de banda 802 está formado por separado. Los segmentos de bandas pueden ser escritos en cualquier orden. De acuerdo con lo mostrado también en la Figura 10, la dirección de formación de bandas L puede ser diferente para los diferentes segmentos de bandas (si bien puede ser la misma). Sin embargo, la dirección del flujo de gas G siempre se opone por lo menos parcialmente a la dirección de formación de bandas L de cada segmento de banda. Los segmentos de bandas que se muestran en la Figura 10 son igualmente dimensionados y están dispuestos de manera regular en un patrón de tipo cuadrícula o de tablero de ajedrez. Sin embargo, es posible que los segmentos de bandas o secciones sean de diferentes formas y/o tamaños. Los segmentos de bandas también pueden estar espaciados de manera irregular. Por ejemplo, los segmentos de bandas se pueden proporcionar al igual que conchas o islas formadas en áreas locales sobre el sustrato. Los segmentos de bandas o secciones también pueden comprender cualquiera de las disposiciones descritas con anterioridad en la Patente US2005/0142024 (pero con la dirección del flujo de gas controlada con relación a la dirección de formación de bandas de acuerdo con la presente invención).

Aquéllos con experiencia también reconocerían las otras variaciones y adiciones a la técnica de las presentes invenciones que son posibles.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de solidificación selectiva por láser (2), que comprende;

un lecho de polvo (6; 200; 300) sobre el que se puede depositar una capa de polvo (400; 500),

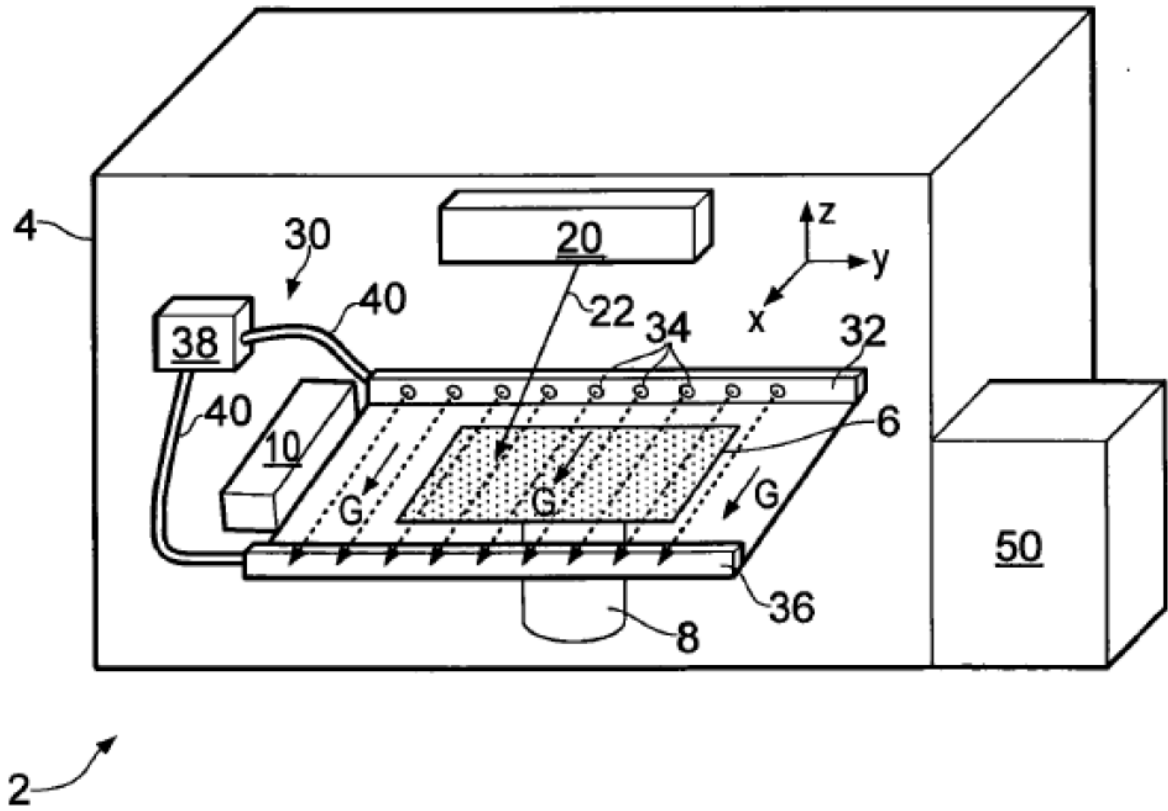
5 una unidad de flujo de gas (30) para el paso de un flujo de gas sobre el lecho de polvo a lo largo de una dirección predefinida del flujo de gas (G), la unidad de flujo de gas comprende por lo menos una salida de gas (32) y por lo menos un escape de gas (36), la por lo menos una salida de gas y el por lo menos un escape de gas están colocados a cada lado del lecho de polvo de manera tal que el gas bombeado desde la salida de gas por lo menos una pasa a la por lo menos una salida de gas y proporciona un flujo sustancialmente plano de gas a lo largo de la dirección predefinida del flujo de gas (G), y
- 10 una unidad de barrido láser (20) para el barrido de un haz de láser (22) sobre la capa de polvo para solidificar de manera selectiva por lo menos parte de la capa de polvo para formar un patrón requerido (402; 502), la unidad de barrido láser está dispuesta para formar el patrón requerido de una pluralidad de bandas o segmentos de bandas (S1-S12), cada banda o segmento de banda está formada por medio del avance del haz de láser a lo largo de la banda o el segmento de banda en una dirección de formación de bandas (L),
- 15 caracterizado porque el aparato está dispuesto para depositar y solidificar de manera selectiva una pluralidad de capas de polvo para formar un objeto tridimensional, la unidad de barrido láser está dispuesta para formar el patrón requerido de cada capa de polvo a partir de una pluralidad de bandas o segmentos de bandas, en el que la dirección de formación de bandas (L) es antiparalela a la dirección del flujo de gas (G) o hay un ángulo oblicuo entre la dirección de formación de bandas y la dirección del flujo de gas de manera tal que la dirección de formación de

20 bandas (L) siempre se opone por lo menos parcialmente a la dirección del flujo de gas (G) predefinida para cada banda o segmento de banda de cada capa de polvo.
2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la dirección de formación de bandas (L) subtiende un ángulo (α) de más de 30° a la normal a la dirección del flujo de gas (G).
- 25 3. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el flujo de gas sobre el lecho de polvo se origina desde un primer lado del lecho de polvo y la pluralidad de bandas se forman en orden inverso a su proximidad con el primer lado del lecho de polvo.
4. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que el patrón requerido se forma a partir de una pluralidad de bandas alargadas.
- 30 5. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en el que cada una de la pluralidad de bandas alargadas comprende una banda lineal que tiene un eje alargado y la dirección de formación de bandas es paralela al eje alargado.
6. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el patrón requerido se forma a partir de una pluralidad de segmentos de bandas.
- 35 7. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la unidad de barrido láser (20) genera un punto de láser que se mueve a través de la banda o el segmento de banda para formar una línea de sombreado (600; 610), cada una de la pluralidad de bandas o segmentos de bandas se forma por el uso de una pluralidad de líneas de sombreado que se hacen avanzar a lo largo de la dirección de formación de bandas (L).
- 40 8. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la unidad de barrido láser forma la serie de líneas de sombreado (600) por medio del movimiento del haz de láser hacia adelante y hacia atrás a través de la banda o el segmento de banda.
9. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en el que todas las líneas de sombreado (610) se forman por medio del movimiento del haz de láser en la misma dirección de la línea a través de la banda, la dirección de la línea es por lo menos parcialmente opuesta a la dirección del flujo de gas (G).
- 45 10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la dirección de la línea se selecciona con base en la orientación de la dirección de formación de bandas con relación a la dirección del flujo de gas.
11. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en la que las diferentes direcciones de formación de bandas se utilizan para capas de polvo adyacentes.
12. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la unidad de barrido láser está dispuesta para fundir de manera selectiva la capa de polvo.
- 50 13. Un método para la solidificación selectiva de una pluralidad de capas de polvo (400; 500) depositada sobre un lecho de polvo (6; 200; 300) para formar un objeto tridimensional, que comprende los pasos de;

el paso de un flujo sustancialmente plano de gas sobre el lecho de polvo a lo largo de una dirección predefinida del flujo de gas (G), y

5 el barrido de un haz de láser (22) sobre cada una de la pluralidad de capas de polvo para solidificar de manera selectiva por lo menos una parte de cada capa de polvo para formar un patrón requerido (402; 502), el patrón requerido se forma a partir de una pluralidad de bandas o segmentos de bandas (S1-S12), cada banda o segmento de banda está formada por medio del avance del haz de láser a lo largo de la banda o el segmento de banda en una dirección de formación de bandas (L),

10 caracterizado porque la dirección de formación de bandas (L) es antiparalela a la dirección del flujo de gas (G) o hay un ángulo oblicuo entre la dirección de formación de bandas y la dirección del flujo de gas de manera tal que la dirección de formación de bandas (L) sea siempre por lo menos parcialmente opuesta a la dirección del flujo de gas (G) predefinida para cada banda o segmento de banda de cada capa de polvo.



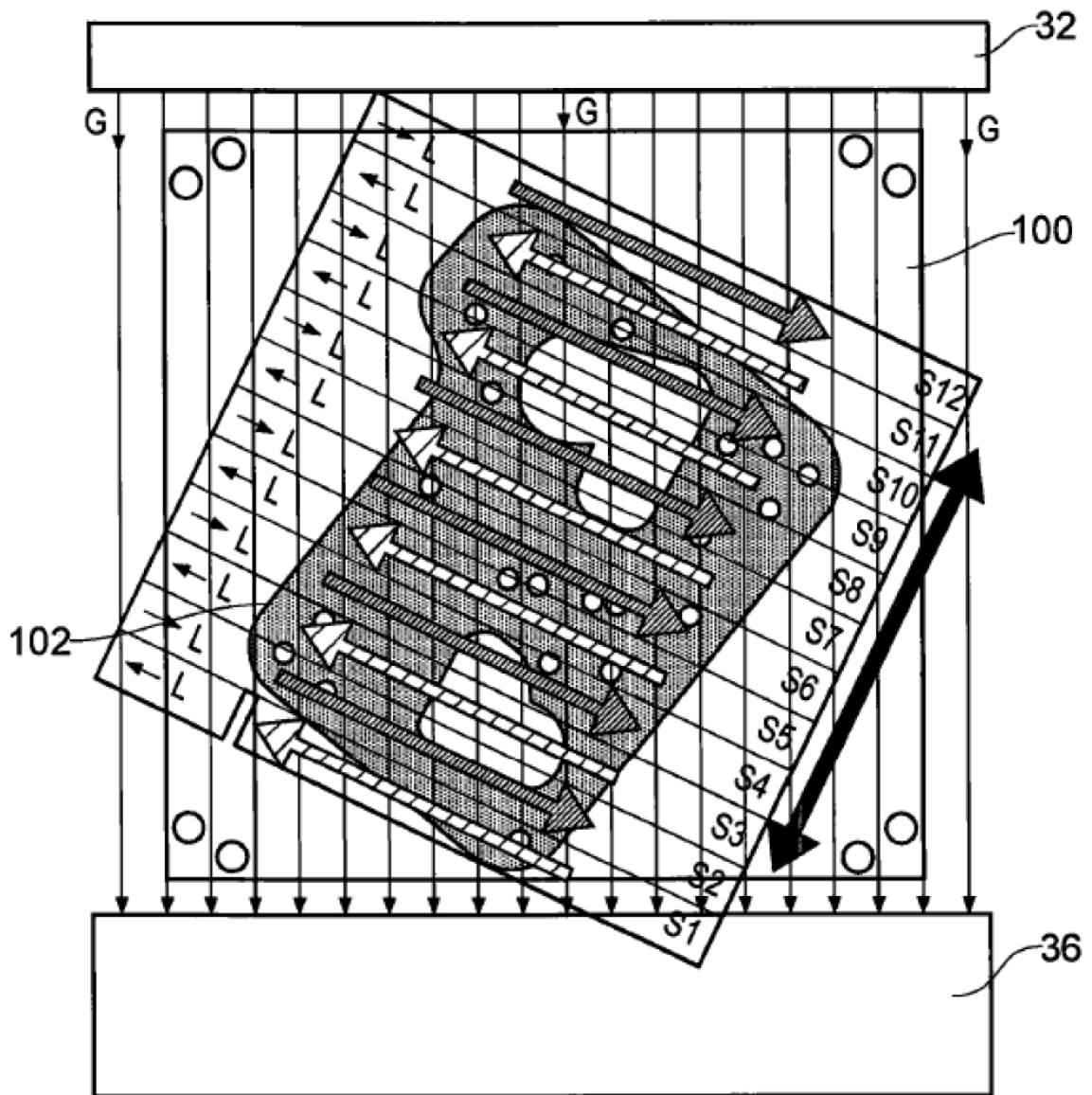


FIG. 2 (Técnica Anterior)

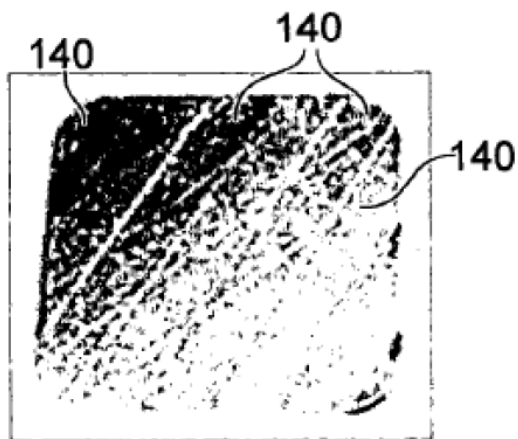


FIG. 3 (Técnica Anterior)

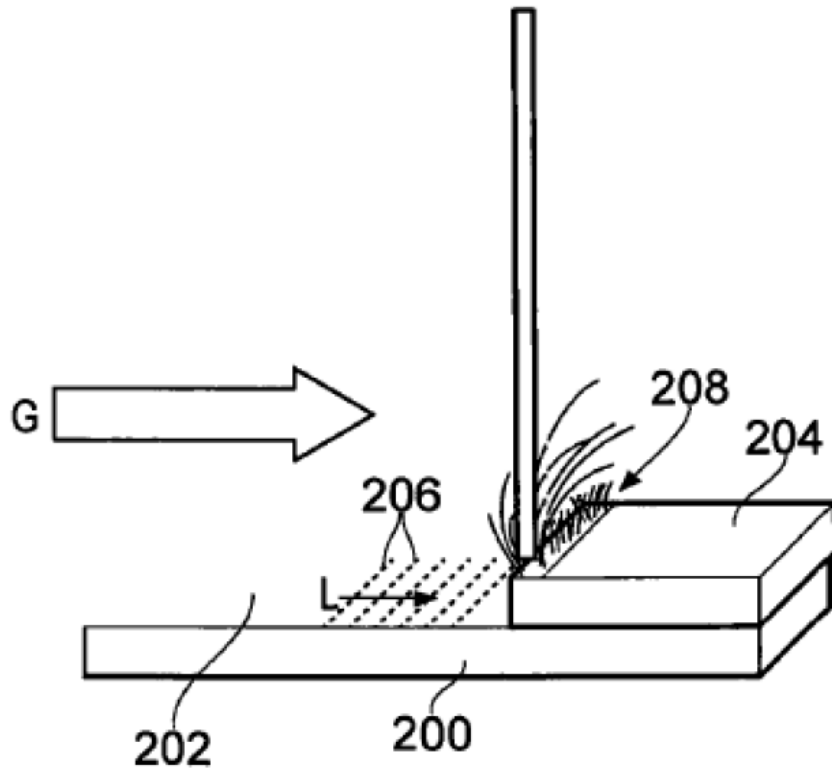


FIG. 4

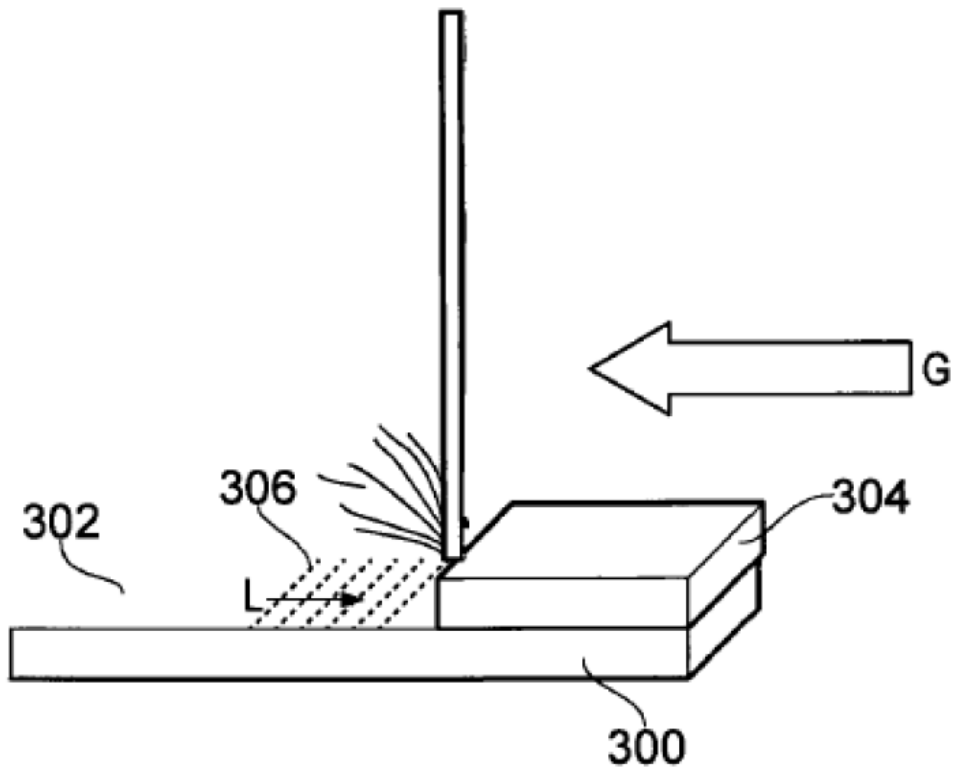


FIG. 5

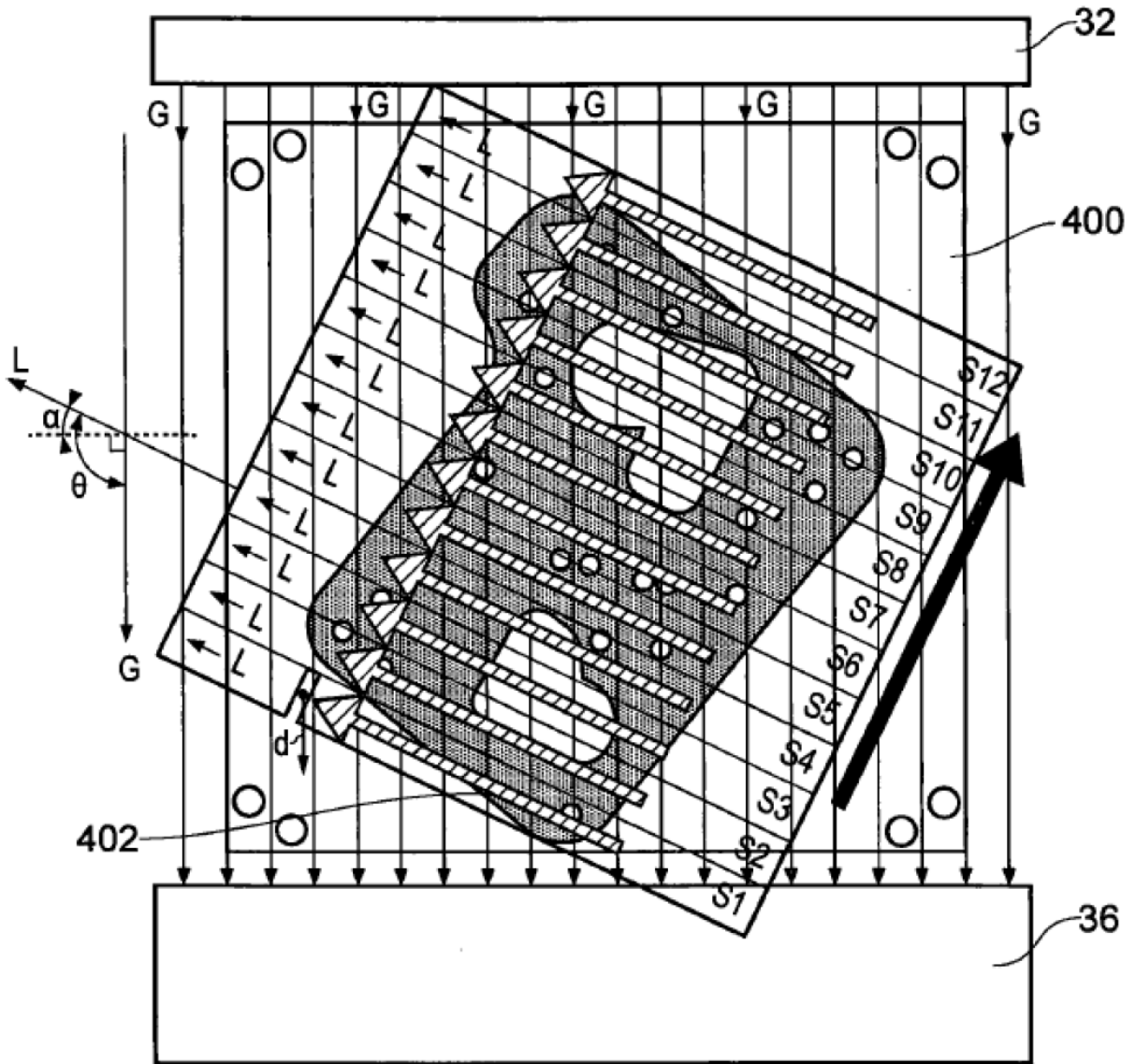


FIG. 6

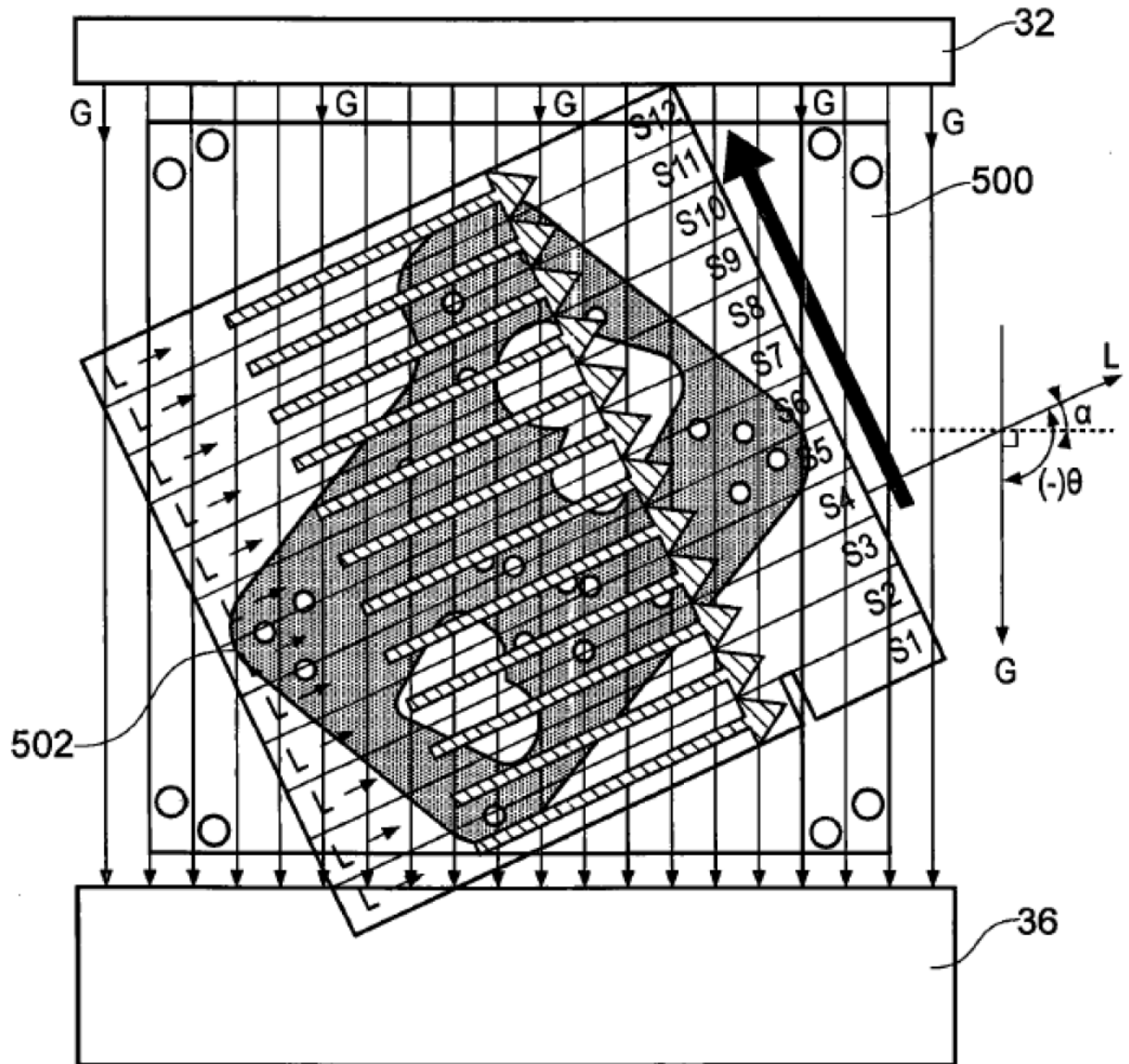


FIG. 7

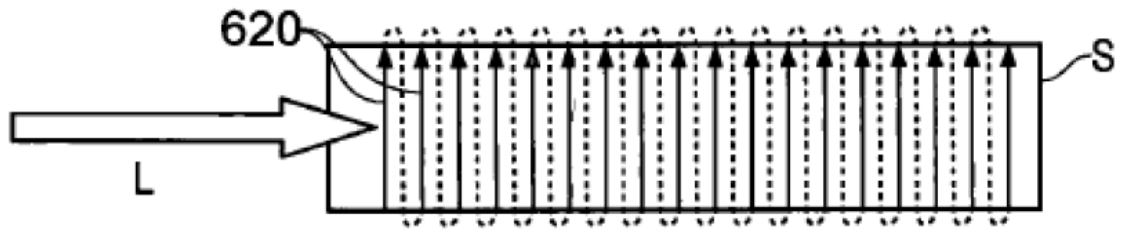


FIG. 8C

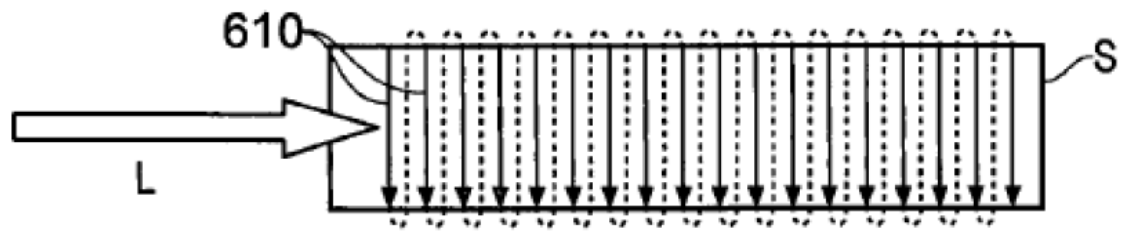


FIG. 8B

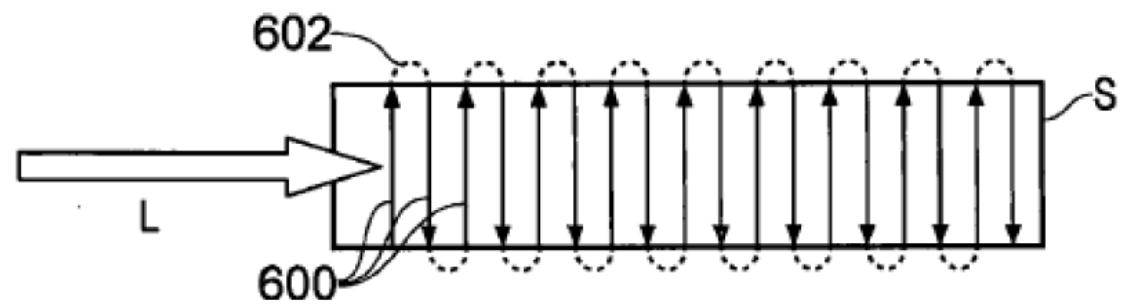


FIG. 8A

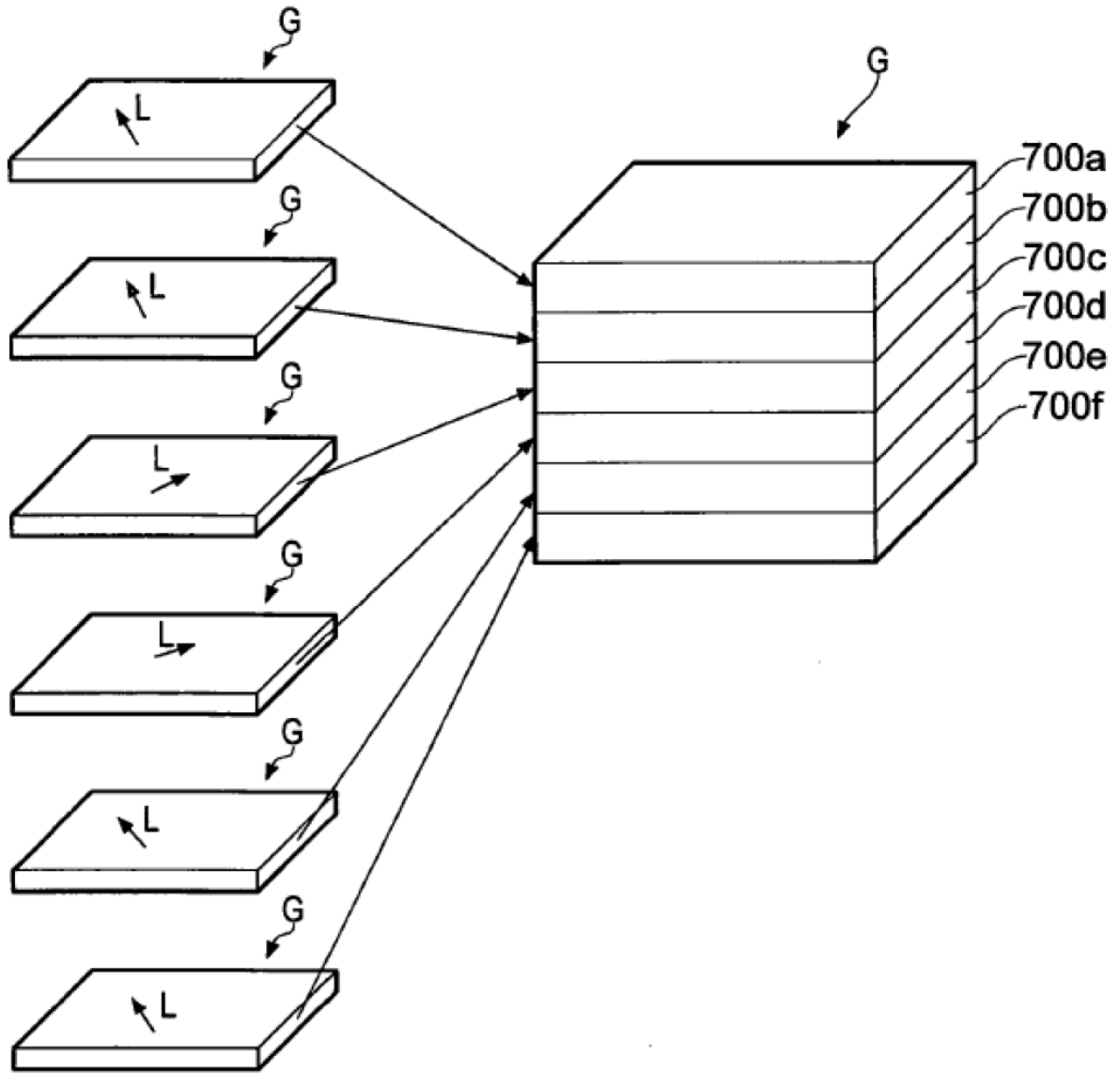


FIG. 9

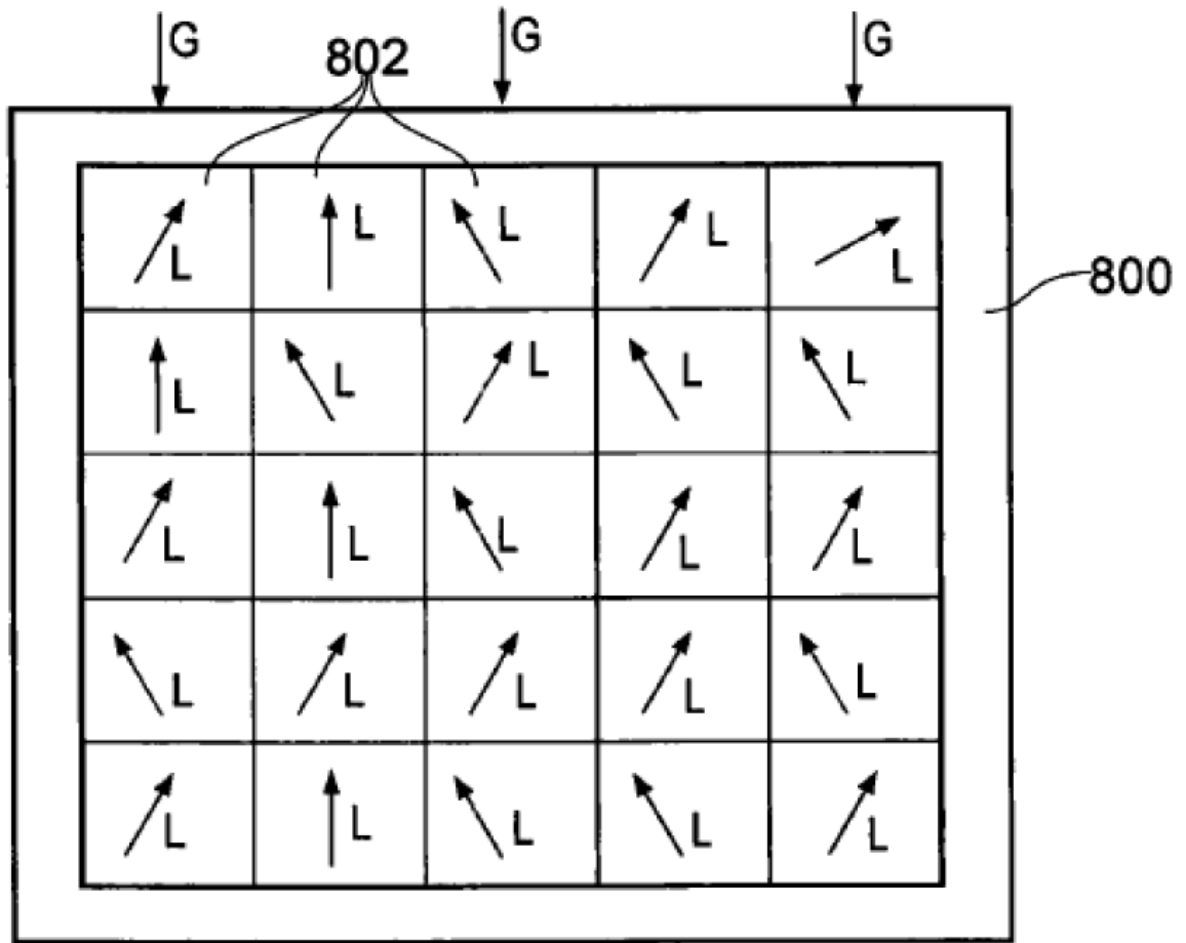


FIG. 10