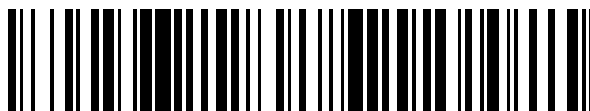


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 116**

51 Int. Cl.:

**B22F 3/105** (2006.01)

**B29C 67/00** (2007.01)

**B23K 26/32** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2012 PCT/EP2012/073937**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.06.2013 WO13079581**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2012 E 12805434 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 2785481**

54 Título: **Procedimiento para producir un cuerpo moldeado mediante construcción por capas de material en polvo**

30 Prioridad:  
**29.11.2011 DE 102011087374**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.07.2020**

73 Titular/es:  
**REALIZER GMBH (100.0%)  
Hauptstraße 35  
33178 Borcheln, DE**

72 Inventor/es:  
**FOCKELE, MATTHIAS**

74 Agente/Representante:  
**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 773 116 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para producir un cuerpo moldeado mediante construcción por capas de material en polvo

5 La invención se refiere a un procedimiento para producir un cuerpo moldeado mediante construcción por capas de material en polvo según el preámbulo de la reivindicación 1 y además a un dispositivo con las características del preámbulo de la reivindicación 10.

10 Se conocen dispositivos y procedimientos de tipo genérico para producir objetos mediante construcción por capas de material en polvo, en particular metálico y/o cerámico. Los dispositivos comprenden una carcasa de zona de procesamiento con una zona de procesamiento, una disposición de soporte como base para la construcción por capas y para proporcionar un área de construcción en la zona de procesamiento, un módulo de irradiación con componentes opuestos por arriba al área de construcción, para irradiar la capa de material en polvo preparada en cada caso en último lugar sobre la disposición de soporte en una zona de sección transversal asignada a esta capa  
15 del cuerpo moldeado correspondiente que va a producirse con radiación, que hace que el material en polvo en esta zona de sección transversal se funda o dado el caso, sinterice mediante calentamiento, y un módulo de transporte de gas de protección para el paso de gas de protección a través de la zona de procesamiento.

20 Con respecto al estado de la técnica de este tipo de dispositivos puede hacerse referencia, por ejemplo, a los documentos DE 199 05 067 A1, DE 102 36 907 A1, DE 102 08 150 A1, DE 101 12 591 A1, EP 1 839 781 A2 o DE 196 49 865 A1.

25 Con los términos fundición por láser selectiva, fundición de polvo selectiva, sinterización por láser selectiva y similares, recientemente se han dado a conocer métodos eficaces para la producción de cuerpos moldeados incluso de geometría complicada, basándose a menudo estos métodos resumidos con el término "Rapid Prototyping" o "Rapid Tooling" o "Rapid Manufacturing" esencialmente en el siguiente principio:

30 El objeto a producir (cuerpo moldeado) se construye según datos CAD o datos de descripción de geometría derivados de los mismos por capas de una materia prima en polvo, de grano fino, solidificándose o fundiéndose la materia prima según un patrón de sección transversal del objeto, asignado a la respectiva capa, mediante irradiación selectiva de sitio. A este respecto, también se unen entre sí las capas individuales. La irradiación se produce normalmente por medio de radiación láser, produciéndose el control de un módulo de desviación del haz que desvía el haz láser por medio de un módulo de control basándose en datos de descripción de geometría del objeto a producir. La información de control se deriva y proporciona habitualmente por un microordenador u ordenador de procesos según un programa correspondiente a partir de datos CAD.  
35

40 El haz láser dibuja sobre la capa de materia prima preparada en último lugar el patrón de sección transversal del objeto, asignado a esta capa, para fundir de manera selectiva la materia prima según el patrón de sección transversal. Entonces, después de una etapa de irradiación de este tipo habitualmente se produce la preparación de la siguiente capa de material en polvo sobre la capa fundida en último lugar mediante irradiación de manera selectiva y por zonas. Entonces, tras la formación de una capa de material en polvo en su superficie lo suficientemente lisa se produce de nuevo una etapa de irradiación de la manera explicada anteriormente. Por tanto, el objeto se forma capa a capa, fundiéndose las capas de sección transversal del objeto producidas consecutivamente de tal modo que se adhieren entre sí. Como materiales en polvo se consideran diversos metales, entre ellos por ejemplo acero, titanio, oro, tántalo y otros. También puede emplearse material en polvo cerámico o polvo de varios componentes en la fundición por láser selectiva. Además, con el método de la fundición por láser selectiva pueden producirse casi todas las formas imaginables de objetos, con lo que están predestinadas para la producción de elementos de máquinas, prótesis, joyas, etc. de formas complicadas.  
45

50 La fundición por láser selectiva también se denomina de manera abreviada como SLM.

55 La generación de un cuerpo moldeado con ayuda de la técnica SLM presupone un control total de los datos de geometría de un componente. Las capas individuales se generan según los datos a partir de una geometría tridimensional, por ejemplo, de un conjunto de datos STL. Durante una operación de irradiación el haz láser explora las zonas que van a refundirse en la respectiva capa de polvo. En esta operación de exploración se producen trazas o incluso sólo elementos de volumen de metal en polvo fundido, que se juntan elemento de volumen por elemento de volumen y capa por capa para formar una pieza de metal compacta según los datos de descripción de geometría del cuerpo moldeado. Como parámetros de irradiación se consideran, por ejemplo, la potencia del láser, una modulación del láser, enfoque y/o la velocidad de exploración del haz láser. En caso de que la operación de irradiación no se produzca mediante un desplazamiento adicional continuo del haz láser, sino mediante un desplazamiento adicional por etapas de un sitio de irradiación a otro, entonces la velocidad de exploración se define por una distancia de los sitios de irradiación y un tiempo de permanencia del haz láser en el sitio de irradiación, así como, dado el caso, por el tiempo de salto del haz láser de un sitio de irradiación a otro.  
60

65 Un problema en la producción por capas de cuerpos moldeados de materiales en polvo según el procedimiento SLM consiste en que varían las propiedades físicas del cuerpo moldeado que está generándose de una etapa a otra con

5 cada elemento de volumen refundido. Un motivo es el cambio permanente de la conductividad térmica y también de la capacidad térmica del cuerpo moldeado por aumento del volumen solidificado por la refundición durante el proceso de construcción. El aumento de temperatura producido con un determinado aporte de energía por unidad de tiempo en el respectivo sitio de irradiación depende en gran medida de la capacidad de disipación de calor del entorno del sitio de irradiación, así como también de la capacidad térmica del entorno del sitio de irradiación y de la capacidad de absorción de irradiación en el sitio de irradiación.

10 A este respecto resulta problemático que la capacidad de disipación de calor del material en polvo se diferencie a menudo notablemente de la capacidad de disipación de calor del material ya solidificado mediante refundición durante el proceso de construcción, de la zona ya producida del cuerpo moldeado. Si el respectivo sitio de irradiación está rodeado esencialmente sólo de material en polvo, entonces el calor producido en el sitio de irradiación no puede disiparse muy bien y fácilmente puede producirse un sobrecalentamiento local del material en polvo muy por encima de su temperatura de fusión. Si, por el contrario, el sitio de irradiación considerado está rodeado esencialmente de material ya solidificado, entonces el calor, por la mejor capacidad de disipación de calor del entorno, puede disiparse mejor y no se producen tan fácilmente sobrecalentamientos en el sitio de irradiación. Debido a estos efectos, a menudo ocurría que diferentes zonas de un cuerpo moldeado, en función de su geometría, se refundían con temperaturas considerablemente diferentes, lo que ha llevado a la aparición de tensiones mecánicas en el cuerpo moldeado y a operaciones de retracción irregulares.

20 En el documento DE 103 20 085 A1 se describe un procedimiento para producir cuerpos moldeados según el principio SLM, cambiándose automáticamente en función del desarrollo de la operación de fundición con la irradiación de una capa de polvo correspondiente la densidad de energía del haz láser y/o su velocidad de desviación y/o la distancia de traza y/o el ancho de banda. El cambio se producirá en función de la dimensión transversal y la temperatura de la superficie del baño de fusión en el sitio de irradiación. La dimensión transversal se determina mediante una cámara CCD y la temperatura mediante un pirómetro. Sus datos se alimentan a un ordenador que al cambiar los valores determinados cambia al menos uno de los parámetros de haz láser mencionados anteriormente.

30 Como alternativa, en el documento DE 103 20 085 A1 se indica el cambio de los parámetros de haz láser en función de la respectiva relación del área con respecto a la longitud de borde de la zona de área solidificada mediante refundición en una respectiva capa (capa de fundición). La relación del área con respecto a la longitud de borde de una capa de fundición puede determinarse de antemano a partir de los datos de descripción de geometría actuales para cada capa. Sin embargo, se ha demostrado que el modo de proceder mencionado en último lugar para el comportamiento de refundición sólo permitía una mejora general y ello sólo con geometrías del cuerpo moldeado relativamente sencillas porque el enfoque era demasiado rudo para geometrías más complicadas.

40 La primera alternativa del cambio de los parámetros de haz láser en función de las magnitudes determinadas en tiempo real de manera óptica o mediante pirómetro, de la dimensión transversal y temperatura de la superficie del baño de fusión en el respectivo sitio de irradiación corresponde a un modo de proceder más diferenciado y selectivo, que puede funcionar algo mejor incluso con geometrías más complicadas del cuerpo moldeado. No obstante, esta alternativa requiere una gran inversión en cuanto a aparatos y tecnología de medición, así como una gran inversión para el procesamiento de datos en tiempo real para las operaciones de registro de valores de medición y evaluación con respecto a los datos de la cámara CCD y los valores de medición obtenidos mediante pirómetro.

45 En el procedimiento SLM según el documento DE 101 12 591 A1 se produce una consideración general de las propiedades de conductividad térmica variables del cuerpo moldeado que está generándose de tal modo que se varía la energía de radiación alimentada por unidad de tiempo y de superficie en el respectivo punto de incidencia del haz sobre la capa que se irradiará actualmente, en función de si la respectiva zona irradiada actualmente de la capa se sitúa sobre una zona solidificada contigua o sobre una materia prima no solidificada de la capa irradiada anteriormente. En caso de que el punto de incidencia del haz actual se sitúe por encima de una zona solidificada contigua de la capa situada directamente por debajo de la capa irradiada actualmente, entonces la energía de radiación que incide por unidad de tiempo y unidad de superficie en el punto de incidencia del haz sobre la capa irradiada actualmente se elige mayor que en zonas de capa en las que la capa se sitúa sobre materia prima no solidificada de la capa anterior. En este sentido, para cada punto a solidificar del cuerpo moldeado puede producirse una determinación realizada de antemano de las condiciones de irradiación y tenerse en cuenta en conjuntos de datos correspondientes para el control del proceso.

60 El objetivo de la presente invención es mejorar un procedimiento con las características del preámbulo de la reivindicación 1 con un esfuerzo reducido de modo que la operación de refundición en la irradiación del polvo con una distribución de temperatura más uniforme también pueda producirse con geometrías de cuerpo moldeado complicadas y el cuerpo moldeado correspondiente pueda producirse con tensiones mecánicas internas menores y con una menor distorsión que hasta ahora.

65 Para alcanzar este objetivo se propone un procedimiento con las características de la reivindicación 1. A este respecto, en las etapas de irradiación d) el aporte de energía selectivo del sitio por unidad de tiempo en un respectivo sitio de irradiación en la respectiva capa se selecciona en función de la capacidad de disipación de calor

de una zona de entorno del sitio de irradiación definida, directa, que se extiende por al menos tres capas, en particular por al menos cien capas hacia abajo por debajo del respectivo sitio de irradiación (I - IV) y tridimensional y mediante el ajuste de los parámetros de irradiación, como densidad de energía de la radiación en el sitio de irradiación y/o duración de la irradiación del sitio de irradiación, se modula automáticamente de manera correspondiente.

El procedimiento según la invención permite el control total de todos los parámetros de construcción esenciales, como por ejemplo la potencia del láser, la velocidad de exploración del láser etc. en cada elemento de volumen individual del cuerpo moldeado que está generándose durante la fase de construcción. A este respecto, la idea principal fue dividir la representación de datos STL de un cuerpo moldeado en numerosos elementos de volumen pequeños (vóxeles) y controlar las condiciones de fundición de cada uno de estos vóxeles. A este respecto, los parámetros de fundición se determinan preferiblemente mediante un cálculo teórico de modelo de vóxeles. Los vóxeles considerados tienen, en función de su respectiva posición, muchos vecinos diferentes. Así, por ejemplo, en los bordes del cuerpo moldeado o en los segmentos sobresalientes se encuentran vóxeles con menos vecinos.

En la producción de cuerpos moldeados según el principio SLM, los cuerpos moldeados se dividen habitualmente en su representación de datos STL digital en capas con grosores de capa en un intervalo normalmente de 20 - 50  $\mu\text{m}$ , siendo también posibles otros grosores de capa. Entonces, según esta división de capas el cuerpo moldeado correspondiente se produce en la máquina SLM capa por capa del material en polvo. Según la presente invención, capa por capa pueden calcularse los denominados patrones de calentamiento, que definen zonas con diferentes propiedades térmicas. Sobre estas zonas pueden representarse estructuras geométricas, como por ejemplo estructuras de puntos o vectores que, con una potencia del láser, velocidad de escaneo del láser variable o similares pueden convertirse con el proceso de construcción mediante escaneo con el haz láser. El cálculo de los parámetros de energía se produce preferiblemente por medio de un ordenador de procesos, sirviendo un modelo teórico como base para estos cálculos, que como medida de la capacidad de disipación de calor del entorno de un vóxel o sitio de irradiación actual en o sobre la capa a irradiar actualmente prevé la fracción de volumen, del material solidificado ya por fundición de material en polvo dentro de una zona de entorno definida, directa, que se extiende por al menos tres capas, en particular por al menos cien capas hacia abajo por debajo del respectivo sitio de irradiación (I - IV) y tridimensional, del vóxel o sitio de irradiación. Entonces, la fracción de volumen restante se compone normalmente de material en polvo.

Durante el proceso de construcción del cuerpo moldeado, el cambio de las respectivas propiedades de conductividad térmica influye en la absorción de energía local para la refundición del polvo en los respectivos elementos de volumen. Un elemento de volumen de este tipo puede definirse preferiblemente mediante el grosor de capa y la zona más pequeña como mínimo, que puede refundirse en el sitio de irradiación por la irradiación láser. Un elemento de volumen de este tipo (vóxel) puede ascender normalmente a 100  $\mu\text{m}$  x 100  $\mu\text{m}$ , x grosor de capa de polvo. Evidentemente también son concebibles otras dimensiones de los elementos de volumen. En particular, en los cálculos de las zonas de entorno también pueden definirse elementos de volumen más grandes, que por ejemplo pueden extenderse en cada caso por varias capas.

Una ventaja particular de la presente invención es que las consideraciones sobre energía pueden realizarse con alta resolución y de manera selectiva respecto al sitio, y ello sin una inversión adicional en cuanto a la tecnología de medición. Así, la invención permite la producción con poca tensión de cuerpos moldeados también con geometrías más complicadas con zonas del cuerpo moldeado que alternan entre filigranas y más anchas.

Las zonas de entorno definidas, directas, tridimensionales de los sitios de irradiación cambian de un sitio de irradiación a otro y se extienden por varias capas, concretamente por al menos tres capas y de manera especialmente preferida por al menos 100 capas hacia abajo por debajo del sitio de irradiación actual. Estas zonas de entorno pueden presentar preferiblemente la misma forma y el mismo volumen, por ejemplo, forma de cuboide, forma de semiesfera o forma de pirámide.

En las reivindicaciones dependientes 2 - 9 se indican perfeccionamientos del procedimiento según la invención, representando en particular el modo de proceder según la reivindicación 5 una posibilidad muy sencilla para determinar la capacidad de disipación de calor. Por determinación de la capacidad de disipación de calor se entiende la determinación de una variable equivalente, que representa una medida en particular al menos casi proporcional de la capacidad de disipación de calor. Por tanto, en el marco de la invención no tiene que determinarse ni calcularse la conductividad térmica exacta del entorno de un sitio de irradiación correspondiente.

En el caso más sencillo puede recurrirse como variable equivalente a los elementos de volumen (vóxeles) del cuerpo moldeado a producir, situados en una zona de entorno definida correspondiente, ya solidificados por refundición de polvo, como se indica en particular en las reivindicaciones 5 y 6. Como perfeccionamiento esta cantidad de elementos de volumen ya solidificados aún puede ponderarse mediante al menos un parámetro adicional, por ejemplo mediante la cantidad de elementos adyacentes que entran en contacto directo con el elemento de volumen asignado al sitio de irradiación.

Cuanto menor sea la variable equivalente para la capacidad de disipación de calor, menor se seleccionará el aporte

de energía por unidad de tiempo en el sitio de irradiación. De este modo se consigue que las temperaturas generadas durante la refundición en los sitios de irradiación ya no difieran tanto como era el caso hasta el momento al realizar los procedimientos SLM convencionales.

5 Como ya se ha mencionado, en el caso de los elementos de volumen considerados se trata preferiblemente de cubos o cuboides con una altura correspondiente al respectivo grosor de capa en la construcción por capas del cuerpo moldeado, pudiendo disponerse estos elementos de volumen exactamente en las capas de manera adyacente entre sí. Alternativamente también pueden considerarse elementos de volumen más grandes y zonas de entorno dimensionadas de otro modo.

10 Por tanto, según la presente invención existe la posibilidad de almacenar un conjunto de datos para parámetros de irradiación en la memoria del ordenador de procesos para cada elemento de volumen del cuerpo moldeado a producir, asignado a un sitio de irradiación, y de consultarlo durante el proceso de construcción, para controlar el láser de manera correspondiente. A este respecto, pueden definirse intervalos de tolerancia para la capacidad de disipación de calor de las zonas de entorno definidas de los sitios de irradiación, de modo que no se varíe el aporte de energía por unidad de tiempo en el respectivo sitio de irradiación de un sitio de irradiación a otro, cuando el cambio de la capacidad de disipación de calor de las zonas de entorno se sitúa dentro del intervalo de tolerancia.

15 También la estrategia de desviación del haz, según la cual se explora la respectiva capa de polvo con el haz láser, para refundir el polvo por zonas, puede considerar la respectiva capacidad de disipación de calor de las zonas de entorno definidas y directas de los sitios de irradiación considerados. En este sentido el orden cronológico de los sitios de irradiación con la irradiación de una respectiva capa puede seleccionarse considerando la medida determinada a partir de los datos de descripción de geometría para la capacidad de disipación de calor de las zonas de entorno definidas, tridimensionales y directas de los sitios de irradiación. A este respecto, preferiblemente se procede de tal modo que el tiempo de irradiación por capa sea lo más corto posible y aun así se evite un calentamiento irregular de diferentes zonas filigranas del cuerpo moldeado producido. A este respecto, el haz láser se desvía de manera conveniente de tal modo que su punto de incidencia sobre la capa por unidad de tiempo en la zona de estructuras de cuerpo moldeado más finas sea más corto que en la zona de zonas contiguas más grandes con una buena disipación térmica hacia abajo. Tales especificaciones geométricas en la desviación del haz del haz láser también pueden estar almacenadas en los conjuntos de datos asociadas a los parámetros de irradiación, para optimizar el procesamiento.

20 El dispositivo según la invención está determinado y configurado para la realización del procedimiento, estando programado el módulo de control para el control del módulo de irradiación, de modo que en las etapas de irradiación d) el aporte de energía selectivo del sitio por unidad de tiempo en un respectivo sitio de irradiación en la respectiva capa se seleccione en función de la conductividad térmica de una zona de entorno del sitio de irradiación definida y directa y mediante el ajuste de los parámetros de irradiación, como densidad de energía de la radiación en el sitio de irradiación y/o duración de la irradiación del sitio de irradiación, se module automáticamente de manera correspondiente.

25 Como alternativa al láser convencional también se consideraría una fuente de radiación, que presente un conjunto de fuentes de radiación o un conjunto de desviación del haz, que genera un patrón de irradiación paralelo sobre la capa de polvo a irradiar. Entonces, en este patrón de irradiación los píxeles del conjunto individuales, según la idea fundamental de la presente invención, pueden generar un aporte de energía diferente al material en polvo, en función de la capacidad de disipación de calor de la zona de entorno del píxel de conjunto considerado. Una fuente de radiación de conjunto de este tipo puede utilizarse por ejemplo como "fuente de precalentamiento" además de un haz láser.

30 La invención también puede aplicarse de manera muy general a la sinterización por láser selectiva (SLS), en la que el material en polvo no se funde completamente, sino que sólo se funde parcialmente. El alcance de protección se extiende en este sentido también a los procedimientos SLS correspondientes.

Se explicará en más detalle un ejemplo de realización de la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

35 La figura 1 muestra un boceto esquemático de un dispositivo según la invención.

La figura 2 muestra un esquema explicativo para representar las etapas de la determinación de una variable equivalente para la capacidad de disipación de calor de zonas de entorno de sitios de irradiación en un ejemplo.

40 La figura 3a muestra el fragmento designado con A en la figura 2 en una representación ampliada y habiendo dibujado los elementos de volumen teóricos (no a escala).

La figura 3b muestra una vista en planta de la zona de entorno representada en la figura 3a.

45 La figura 4a muestra la zona indicada con B en la figura 2 en una representación ampliada de manera correspondiente a la figura 3a.

La figura 4b muestra la zona de entorno de la figura 4a en una vista en planta.

La figura 5a muestra la zona indicada con C en la figura 2 en una representación de manera correspondiente a la figura 3a.

La figura 5b muestra la zona de entorno de la figura 5a en una vista en planta.

La figura 6a muestra la zona indicada con D en la figura 2 en una representación ampliada según la figura 3a.

La figura 6b muestra la zona de entorno de la figura 6a en una vista en planta.

La figura 7 muestra zonas cualitativamente diferentes de la capa a irradiar actualmente de la figura 2, estando indicadas estas zonas por una diferente capacidad de disipación de calor de sus entornos.

El esquema explicativo según la figura 1 muestra una instantánea en la producción de un cuerpo moldeado 2 mediante construcción por capas de un polvo 4, por ejemplo, polvo de acero, polvo de titanio, polvo de oro, etc. o dado el caso, también una mezcla en polvo, con una granulación de por ejemplo  $10\ \mu\text{m}$  -  $100\ \mu\text{m}$ . La construcción del cuerpo moldeado 2 se produce en una zona de procesamiento 6, delimitada por la carcasa de zona de procesamiento 8. En la zona de procesamiento 6 reina una atmósfera de gas de protección, preferiblemente una atmósfera de argón, indicando la flecha 10 en la figura 1 la alimentación de gas de protección y la flecha 12 la evacuación de gas de protección. La construcción por capas del objeto 2 se produce sobre una plataforma de soporte 14, que puede moverse verticalmente por medio de una unidad de accionamiento vertical y puede colocarse en diferentes ajustes verticales. Un elemento deslizante de alisamiento 16 sirve para preparar y nivelar una nueva capa de polvo sobre la capa de polvo irradiada en cada caso en último lugar, moviéndose el elemento deslizante de alisamiento con una distancia vertical según el grosor de capa de polvo deseado con respecto a la capa irradiada en último lugar de manera horizontal más allá de la plataforma de soporte 14. Entonces, tras la preparación de una capa de polvo de este tipo se emplea el módulo de irradiación 18 formado por láser 20 y unidad de desviación del haz 22, para refundir mediante irradiación el polvo en las zonas predeterminadas según la sección transversal asignada a la capa de polvo, del cuerpo moldeado a producir. En el caso de ejemplo el haz láser 24 se aplica a través de una lente f-Theta 26 a la zona de procesamiento 6, sirviendo la lente 26 también de ventana de la carcasa 8.

Tras terminar la operación de irradiación actual se hace descender la plataforma de soporte 14 por la medida del grosor de capa de polvo deseado, tras lo cual, entonces, el elemento deslizante de alisamiento 16 distribuye una nueva cantidad de polvo por la plataforma de construcción 14, para producir la siguiente capa a irradiar. Las operaciones explicadas anteriormente de irradiación y de preparación de capas se siguen realizando de manera alterna hasta que se termina el objeto 2. Un módulo de control 28 con un ordenador de procesos sirve para controlar el proceso de construcción, controlando el movimiento de exploración del haz láser 24 mediante el control de la unidad de desviación del haz 22 según los datos de descripción de geometría del cuerpo moldeado 2.

Por medio del módulo de control 28 también pueden controlarse parámetros de irradiación, tales como la potencia del haz láser 24, el enfoque del haz láser 24 y la velocidad de exploración del haz láser 24. Mediante modulación de al menos uno de estos parámetros de irradiación, preferiblemente de varios parámetros de irradiación, puede cambiarse el aporte de energía del haz láser por unidad de tiempo a la capa de polvo irradiada en cada caso en el sitio de incidencia del haz, es decir, el respectivo sitio de irradiación, según una estrategia de irradiación deseada. Por tanto, puede variarse la respectiva densidad de energía del haz láser 24 en el punto de incidencia del haz en función del respectivo sitio de irradiación. Según una forma de realización de la presente invención, tal modulación de la densidad de energía del haz láser en el sitio de irradiación sobre una respectiva capa se produce en función de la disipación térmica de una zona de entorno definida y directa del sitio de irradiación. Cuanto menor sea la conductividad térmica en el entorno de un sitio de irradiación, menor se seleccionará el aporte de energía selectivo del sitio por unidad de tiempo en el sitio de irradiación, de modo que pueda tener lugar un proceso de refundición lo más uniforme posible con una temperatura de refundición lo más óptima posible. Normalmente, en sitios de irradiación con una capacidad de disipación de calor muy buena del entorno se produce un mayor aporte de energía por unidad de tiempo, para dejar que aquí transcurra la operación de refundición de la manera deseada. La capacidad de disipación de calor, es decir, la conductividad térmica del polvo es habitualmente mucho menor que la conductividad térmica del material ya solidificado mediante refundición, del cuerpo moldeado 2 producido. En caso de que el sitio de irradiación actual esté rodeado en su mayor parte por el material en polvo, entonces en caso de irradiación con una densidad de energía demasiado elevada puede producirse una acumulación de calor en el sitio de irradiación y un aumento de temperatura muy por encima del punto de fusión del polvo. A este respecto, pueden tener lugar efectos de evaporación no deseados y producirse salpicaduras por fundición. En zonas, en las que un respectivo sitio de irradiación está rodeado en gran medida por material ya solidificado del cuerpo moldeado producido, dado el caso, la irradiación con la misma densidad de energía todavía sería suficiente para refundir el polvo en el sitio de irradiación.

Según la presente invención, el proceso de reconstrucción con el módulo de control 28 se controla de tal modo que

el aporte de energía selectivo del sitio por unidad de tiempo en un respectivo sitio de irradiación sobre una capa correspondiente se selecciona en función de la capacidad de disipación de calor de una zona de entorno definida y directa del sitio de irradiación y se controla mediante el ajuste de los parámetros de irradiación correspondientes por medio del módulo de control 28.

5 Mediante los esquemas explicativos según las figuras 2 - 6b, se explicará a continuación el modo de proceder fundamental de la determinación de la capacidad de disipación de calor de una respectiva zona de entorno definida y directa en diferentes sitios de irradiación sobre una capa irradiada actualmente.

10 La figura 2 muestra esquemáticamente en una vista en sección un cilindro de construcción 29 con una plataforma de construcción 14 que puede hacerse descender verticalmente en el mismo, cuyo respectivo posicionamiento se controla por medio de un módulo de control (véase 28 en la figura 1). Sobre la plataforma de construcción 14 se encuentra una placa de sustrato 30, sobre la que se construye por capas el cuerpo moldeado 2 ya construido en parte en la figura 2 interponiendo una estructura de apoyo 32 producida también en el proceso de construcción actual según el procedimiento SLM.

15 En la instantánea según la figura 2 la irradiación de la capa de polvo 34 superior preparada anteriormente tiene lugar por medio del haz láser 24. Para mayor explicación se consideran cuatro sitios de irradiación I, II, III y IV sobre la capa 34 seleccionados arbitrariamente. Por simplicidad se supone además que estos cuatro sitios de irradiación se sitúan sobre una traza de láser rectilínea en el plano del dibujo, explorando el haz láser 24 la capa 34 en la figura 2 actualmente de izquierda a derecha y desplazándose, entre otros, también sobre los sitios de irradiación I - IV. El sitio de irradiación I se sitúa cerca del borde lateral 36 de la parte ya producida del cuerpo moldeado 2.

20 La figura 3a muestra la zona indicada con A en la figura 2 en una vista ampliada, estando dibujada en la figura 3a además una zona de entorno 38 definida del sitio de irradiación I actual como rejilla. Esta zona de entorno 38 se sitúa por debajo del sitio de irradiación I, es decir, por debajo del lado superior de la capa 36 irradiada actualmente. En el caso de ejemplo la zona de entorno 38 es un medio cubo que, también sólo a modo de ejemplo, está dividido en 9x9x5 elementos de volumen 40. El centro del cubo está determinado por el elemento de volumen 42, que se sitúa en el sitio de irradiación I.

25 Los elementos de volumen indicados con 44 y marcados con líneas onduladas ya están solidificados y forman una zona correspondiente del cuerpo moldeado 2. Los elementos de volumen 43 con puntos pequeños contienen polvo y representan zonas con menor disipación de calor que las zonas con material ya solidificado.

30 Como medida de la capacidad de disipación de calor de la zona de entorno 38 del sitio de irradiación I actual se determina la cantidad, es decir, el número de elementos de volumen 44 situados en la zona de entorno 38 definida y ya solidificados. La figura 3b muestra al respecto la zona de entorno 38 en la vista en planta del lado superior de la capa 34. De los 405 elementos de volumen en total en la zona de entorno 38 definida, aproximadamente 290 elementos de volumen ya se han solidificado y así, forman una subzona contigua relativamente grande con mejor disipación de calor.

35 En las figuras 4a y 4b se representa la zona de entorno 38 definida para el sitio de irradiación II en una vista lateral y en una vista en planta. El número de elementos de volumen 44 ya solidificados en la zona de entorno 38 del sitio de irradiación II asciende aproximadamente a 364 y, por tanto, es mayor que en la situación según las figuras 3a - 3b. Así, al entorno del sitio de irradiación II se le asigna una mejor capacidad de disipación de calor que al entorno del sitio de irradiación I.

40 En las figuras 5a y 5b se representa la zona de entorno definida del sitio de irradiación III. La cantidad de elementos de volumen ya solidificados asciende aproximadamente a 210, de modo que al entorno del sitio de irradiación III se le asigna una capacidad de disipación de calor aún menor que al sitio de irradiación I.

45 Aún menor es la capacidad de disipación de calor del entorno del sitio de irradiación IV. En las figuras 6a y 6b se representa la zona de entorno 38 definida del sitio de irradiación IV. Sólo existen aproximadamente 40 elementos de volumen solidificados en la zona de entorno 38, situándose todos estos 40 elementos de volumen en la capa irradiada actualmente. Por tanto, el sitio de irradiación IV tiene la peculiaridad de que aquí la capa 38 irradiada actualmente sólo se sitúa sobre el polvo de capas de polvo subyacentes.

50 En el caso de ejemplo se seleccionó un medio cubo como zona de entorno definida y directa de un sitio de irradiación. En otros ejemplos de realización de la invención esta zona de entorno puede ser por ejemplo una semiesfera, en cuyo centro de esfera se sitúa el elemento de volumen con el sitio de irradiación actual. También son posibles otras formas de la zona de entorno definida y directa.

55 En el caso de ejemplo mostrado los elementos de volumen son cubos. En otros ejemplos de realización estos elementos de volumen pueden ser cuboides o esferas o similares. Preferiblemente los elementos de volumen 40 se sitúan exactamente en las capas de construcción, correspondiendo la altura de los elementos de volumen al grosor de capa correspondiente.

Así, en el caso de ejemplo con elementos de volumen 40 en forma de cubo la longitud de canto de los elementos de volumen 40 corresponde esencialmente al grosor de capa de polvo d respectivo.

5 En la determinación de la capacidad de disipación de calor de una zona de entorno 38 correspondiente la cantidad de los elementos de volumen 44 ya solidificados todavía puede ponderarse con otras magnitudes, como por ejemplo lo grande que es el área de conexión de los elementos de volumen ya solidificados con el elemento de volumen asignado al respectivo sitio de irradiación.

10 Según una variante preferida del procedimiento según la invención el cuerpo moldeado completo se divide según los datos en elementos de volumen (vóxeles), preferiblemente congruentes con los elementos de volumen 40 (siempre que se sitúen en el cuerpo moldeado), y a cada uno de estos elementos de volumen del cuerpo moldeado se le asigna un respectivo sitio de irradiación. A cada uno de los sitios de irradiación así determinados se le asigna un conjunto de parámetros de irradiación, que depende de la medida determinada de la capacidad de disipación de calor de la zona de entorno definida del sitio de irradiación de la manera indicada anteriormente. Los conjuntos de parámetros de irradiación se almacenan preferiblemente asociados a los sitios de irradiación y se consultan y consideran por el módulo de control durante el control de la operación de irradiación. A este respecto, también puede seleccionarse de manera óptima el orden cronológico de los sitios de irradiación considerando las propiedades de disipación de calor explicadas.

20 Alternativamente a la determinación de una estructura de asignación de datos de este tipo, la respectiva medida de la capacidad de disipación de calor de una zona de entorno también puede calcularse en tiempo real durante la operación de irradiación por el módulo de control 28 y asignarse al respectivo sitio de irradiación. Cabe señalar de nuevo en este punto que no tiene que calcularse físicamente la capacidad de disipación de calor en el sentido de la conductividad térmica, sino que como medida de la capacidad de disipación de calor puede utilizarse una variable equivalente, en el caso más sencillo la cantidad explicada anteriormente de elementos de volumen solidificados en la respectiva zona de entorno.

30 La figura 7 muestra en un ejemplo cualitativo en una vista en planta de la capa 34 a irradiar actualmente según la figura 2, las zonas X1, X2, X3 y X4, que son diferentes según la capacidad de disipación de calor del entorno de los sitios de irradiación situados en las mismas. En la zona X1 la capacidad de disipación de calor del entorno es máxima, de modo que en esta zona X1 el aporte de energía por unidad de tiempo por el haz láser en el sitio de irradiación se seleccionará relativamente grande. Las zonas X2, X3 y X4 se caracterizan por la capacidad de disipación de calor del entorno que disminuye en el orden de enumeración, de modo que, de manera correspondiente, también el aporte de energía por radiación por unidad de tiempo en el sitio de radiación se seleccionará más pequeño.

40 A las zonas X1 - X4 individuales se les asignan respectivas tolerancias de la capacidad de disipación de calor, aunque según la presente invención a cada vóxel individual podría asignarse una medida propia de la capacidad de disipación de calor de su zona de entorno definida y directa.

45 Preferiblemente en una respectiva zona X1 - X4 se conserva el conjunto de parámetros de irradiación seleccionado. Así, por ejemplo, en la zona X1 no se cambia la potencia del láser y la extensión del punto de incidencia del haz y el haz se guía con un valor de velocidad esencialmente constante por la zona X1. Lo mismo se aplica a los respectivos conjuntos de parámetros de irradiación en las zonas X2, X3 y X4.

Además, la traza de exploración del haz láser sobre la capa puede seleccionarse en cada caso según otros puntos de vista de optimización, por ejemplo, para acelerar el proceso de construcción en el tiempo.

50 Así, también existe la posibilidad de asignar determinados tipos de geometría de las trazas de exploración o segmentos de traza de exploración a diferentes zonas X1, X2, X3 y X4 en la figura 7, estando almacenados estos tipos de geometría (vectores de exploración) también de manera que pueden consultarse por el módulo de control 28 asociados a diferentes zonas X1, X2, X3, X4 en una memoria. Evidentemente este modo de proceder no está limitado al ejemplo de las figuras 2 - 7, sino que puede generalizarse.

55 Así, el procedimiento según la invención y el dispositivo según la invención para la realización del procedimiento permiten una refundición más uniforme del polvo, de modo que en su mayor parte se eliminan los efectos de evaporación, efectos de salpicadura por fundición y similares y el cuerpo moldeado producido se construye sin tensiones mecánicas críticas y fiel a la forma según los datos de descripción de geometría. En el proceso de construcción según la invención y en las consideraciones sobre la disipación de calor también puede incluirse una estructura de apoyo 32, como se muestra en la figura 2.



## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para producir un cuerpo moldeado mediante construcción por capas de material en polvo, que comprende las etapas de:
- 5 a) preparar una capa (34) de material en polvo,
- b) calentar la capa (34) mediante irradiación selectiva de sitio de la capa (34) según un patrón de sección transversal asignado a la capa (34) del cuerpo moldeado (2) según los datos de descripción de geometría del cuerpo moldeado (2) con una radiación controlada, de modo que el material en polvo se solidifica mediante fundición para formar zonas contiguas según el patrón de sección transversal del cuerpo moldeado (2),
- 10 c) preparar una siguiente capa de material en polvo (34) sobre la capa irradiada en último lugar y
- d) calentar la capa (34) preparada en último lugar mediante irradiación selectiva de sitio de la capa (34) según un patrón de sección transversal asignado a esta capa del cuerpo moldeado con una radiación controlada, de modo que el material en polvo se solidifica mediante fundición para formar zonas contiguas según este patrón de sección transversal del cuerpo moldeado (2), y
- 15 e) repetir varias veces las etapas c) y d) al menos hasta terminar la construcción del cuerpo moldeado (2), pudiendo variarse el aporte de energía por unidad de tiempo mediante radiación, selectivo del sitio que se produce mediante la irradiación en las etapas de irradiación d) en función del respectivo sitio de irradiación sobre la capa de polvo (34), caracterizado por que
- 20 en las etapas de irradiación d) el aporte de energía selectivo del sitio por unidad de tiempo en un respectivo sitio de irradiación (I - IV) en la respectiva capa (34) se selecciona en función de la capacidad de disipación de calor de una respectiva zona de entorno (38) del sitio de irradiación (I - IV) definida, directa, que se extiende por al menos tres capas, en particular por al menos cien capas hacia abajo por debajo del respectivo sitio de irradiación (I - IV) y tridimensional y mediante el ajuste de los parámetros de irradiación, como densidad de energía de la radiación en el sitio de irradiación y/o duración de la irradiación del sitio de irradiación, se modula automáticamente de manera correspondiente, determinándose como medida de la capacidad de disipación de calor de la zona de entorno del respectivo sitio de irradiación, definida, directa, que se extiende por al menos tres capas, en particular por al menos cien capas hacia abajo por debajo del respectivo sitio de irradiación (I - IV) y tridimensional, la fracción de volumen del material solidificado ya por fundición de material en polvo dentro de esta zona de entorno a partir de datos de descripción de geometría del cuerpo moldeado, y seleccionándose el aporte de energía selectivo del sitio por unidad de tiempo en el sitio de irradiación dentro de cualquier tolerancia mayor cuanto mayor sea la capacidad de disipación de calor de su zona de entorno (38).
- 25
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la irradiación selectiva del sitio se realiza mediante exploración controlada de la respectiva capa de polvo (34) con un haz láser (24) focalizado, ajustándose en función de la capacidad de disipación de calor del entorno definido y directo del respectivo sitio de irradiación (I - IV) momentáneo, la potencia de radiación y/o la extensión del punto de incidencia del haz láser sobre la capa de polvo (34) y/o la velocidad de exploración del haz en el sitio de irradiación (I - IV).
- 30
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la medida de la capacidad de disipación de calor de la zona de entorno definida, directa y tridimensional del respectivo sitio de irradiación, determinada a partir de los datos de descripción de geometría del cuerpo moldeado, se utiliza para el control automático de los parámetros de irradiación a modular por medio de un módulo de control (28) que controla la operación de irradiación.
- 35
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que los valores determinados de la medida para la capacidad de disipación de calor o valores derivados de los mismos se almacenan asociados a respectivos datos de descripción de geometría de los sitios de irradiación (I - IV) correspondientes, de modo que el módulo de control (28) pueda leerlos y procesarlos para controlar las operaciones de irradiación durante el proceso de construcción.
- 40
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 - 4, caracterizado por que para la determinación de la medida de la respectiva capacidad de disipación de calor de las zonas de entorno directas de los sitios de irradiación (I - IV) considerados se divide un modelo teórico del cuerpo moldeado (2) o una zona del mismo según los datos en capas individuales, preferiblemente según las capas de construcción (34) individuales, y además estas capas (34) se dividen en una pluralidad de elementos de volumen (40) con una altura de los elementos de volumen correspondiente al grosor de capa (d), debiendo asignar los elementos de volumen (40) a los sitios de irradiación y considerándose representativos de estos,
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

- 5 por que para cada elemento de volumen (40) considerado representativo de un sitio de irradiación correspondiente se define una respectiva zona de entorno (38) tridimensional y directa, que se extiende por al menos tres capas, en particular por al menos cien capas hacia abajo por debajo del respectivo sitio de irradiación (I - IV) y por que como medida para la determinación de la capacidad de disipación de calor de la zona de entorno (38) definida y directa de un sitio de irradiación (I - IV) correspondiente se considera la cantidad de los elementos de volumen situados en cada caso en la zona de entorno (38), de la parte del cuerpo moldeado ya solidificada mediante refundición con la irradiación del sitio de irradiación (I - IV) correspondiente.
- 10 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado por que en la respectiva zona de entorno (38) definida, tridimensional y directa de un sitio de irradiación correspondiente se considera en cada caso la cantidad de los elementos de volumen (40) de la parte del cuerpo moldeado (2) ya solidificada mediante refundición, que se sitúan en capas por debajo de la capa (34) del sitio de irradiación considerado.
- 15 7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que también se considera la cantidad de los elementos de volumen situados en la zona de entorno (38) de la parte ya solidificada mediante refundición del cuerpo moldeado, que se sitúan en la capa del sitio de irradiación (I - IV) considerado actualmente.
- 20 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se almacenan conjuntos de parámetros de irradiación con parámetros de irradiación, que dependen de la respectiva capacidad de disipación de calor de las zonas de entorno definidas y directas de los sitios de irradiación considerados asociados a los datos de descripción de geometría de estos sitios de irradiación, de modo que el módulo de control (28) pueda leerlos y procesarlos para controlar las operaciones de irradiación.
- 25 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el orden cronológico de los sitios de irradiación con la irradiación de una respectiva capa (34) se selecciona considerando la medida determinada a partir de los datos de descripción de geometría de la capacidad de disipación de calor de las zonas de entorno definidas, tridimensionales y directas de los sitios de irradiación.
- 30 10. Dispositivo configurado para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende una carcasa de zona de procesamiento (8) con una plataforma de soporte (14) para el apoyo del cuerpo moldeado a producir, un módulo de preparación de capas (16) para la preparación de las respectivas capas de polvo sobre la plataforma de soporte (14), un módulo de irradiación (18) para la irradiación de la capa de polvo preparada en cada caso en último lugar sobre la plataforma de soporte (14) según los datos de descripción de geometría del cuerpo moldeado a producir y un módulo de control (28) para el control del módulo de irradiación (18), caracterizado por que
- 35 el módulo de control está configurado y programado para controlar el módulo de irradiación de tal modo que el aporte de energía selectivo del sitio por unidad de tiempo en un respectivo sitio de irradiación (I - IV) en la respectiva capa (34) se produzca en función de la capacidad de disipación de calor determinada basándose en datos de descripción de geometría del cuerpo moldeado a producir, de una respectiva zona de entorno (38) del sitio de irradiación (I - IV) definida, directa, que se extiende por al menos tres capas, en particular por al menos cien capas hacia abajo por debajo del respectivo sitio de irradiación (I - IV) y tridimensional mediante el ajuste correspondiente de parámetros de irradiación, como densidad de energía de la radiación en el sitio de irradiación, y/o duración de la irradiación del sitio de irradiación.
- 40
- 45
- 50 11. Dispositivo según la reivindicación 10, caracterizado por que el módulo de irradiación (18) presenta un láser (20) y una unidad de desviación del haz (22) para la desviación controlada del haz láser (24) emitido por el láser.

Fig. 1

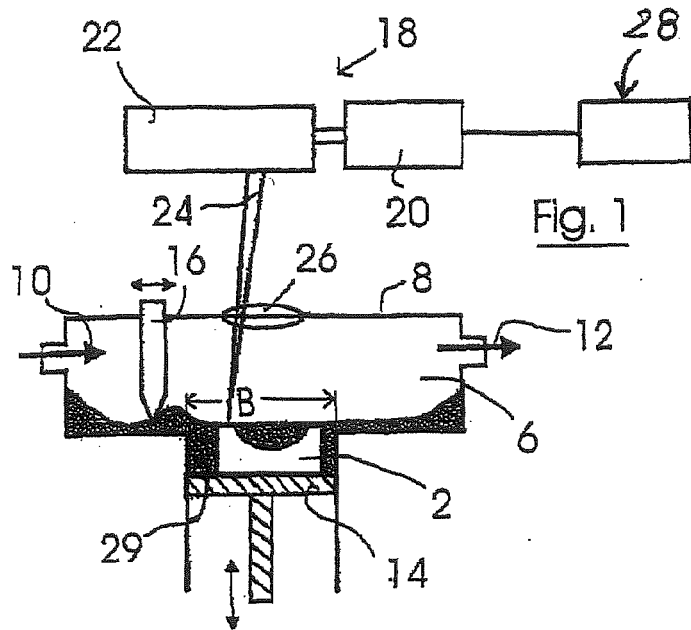


Fig. 1

Fig. 2

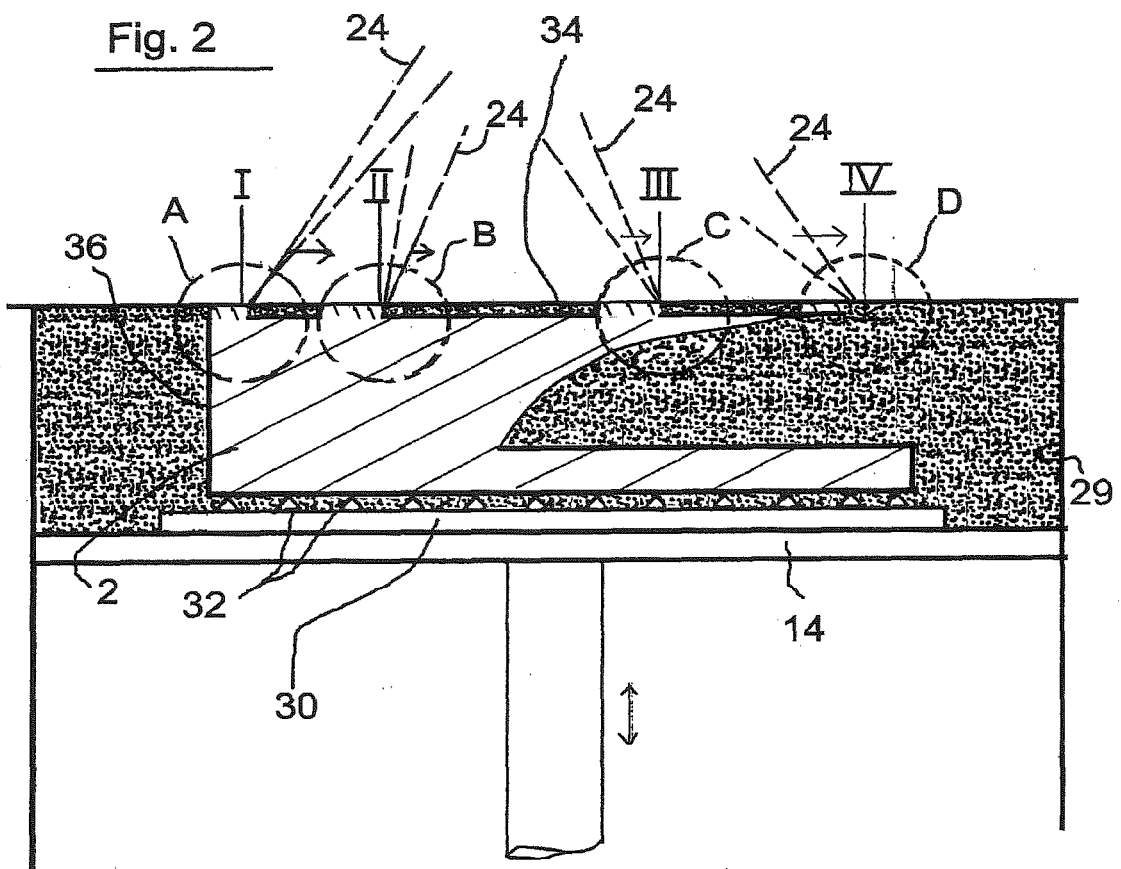


Fig. 3a

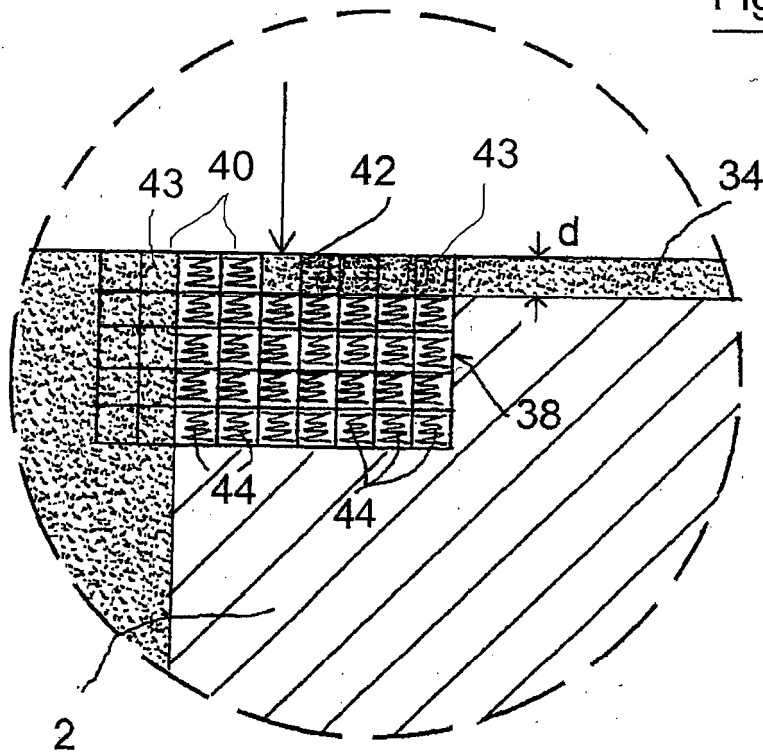


Fig. 3B

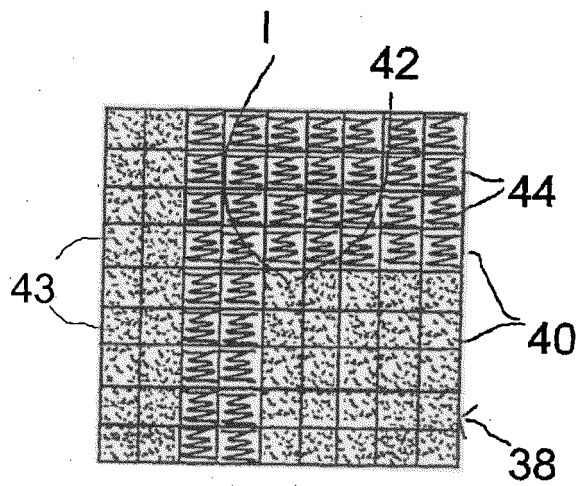


Fig. 4a

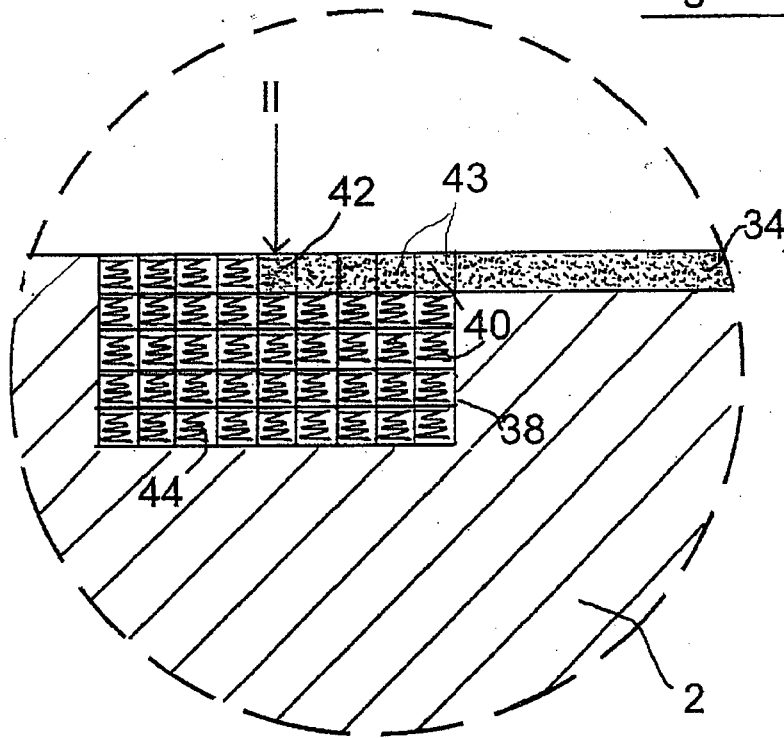
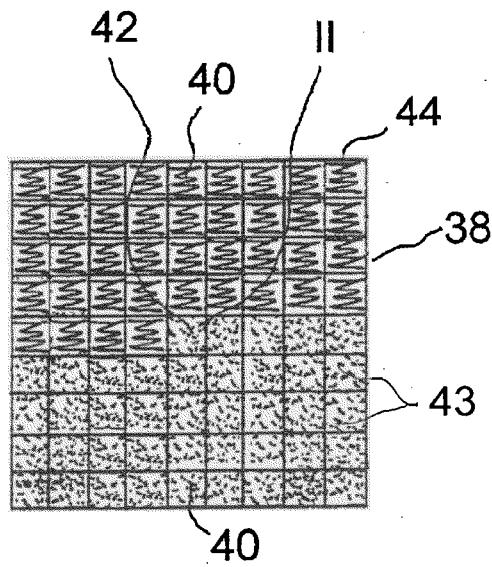
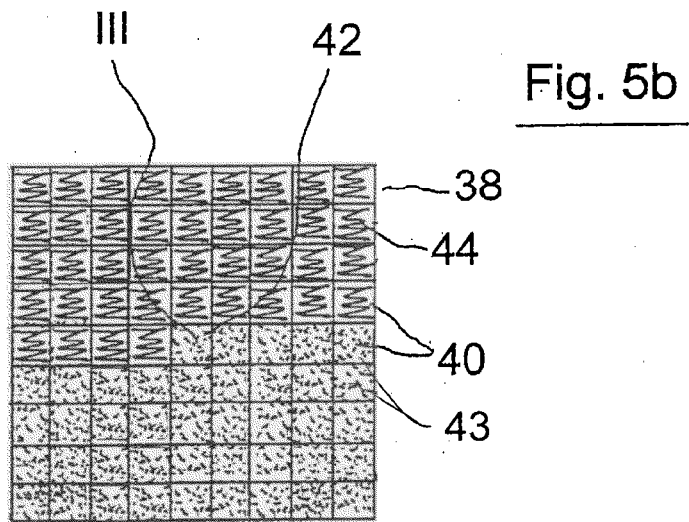
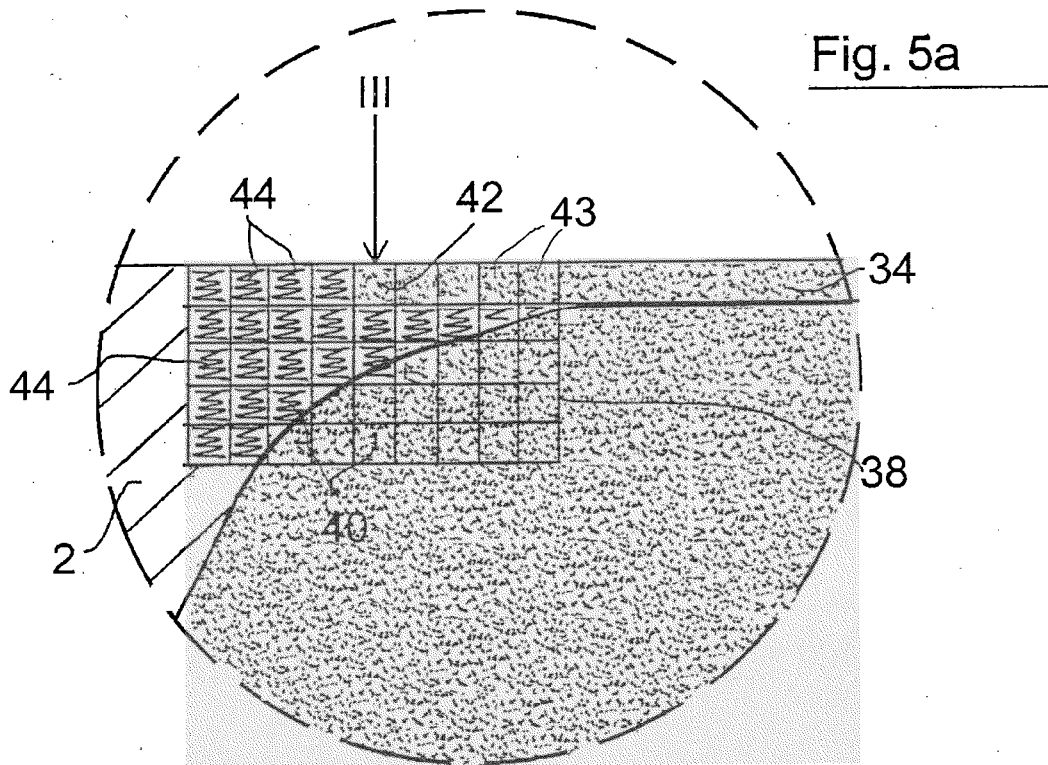


Fig. 4b





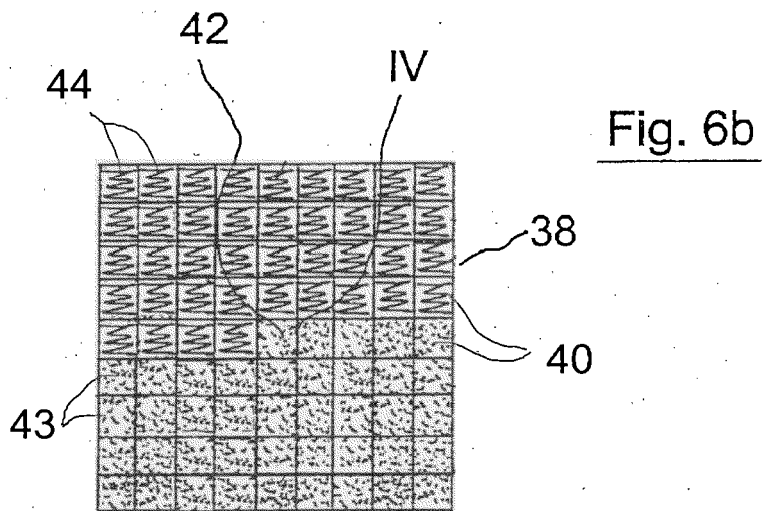
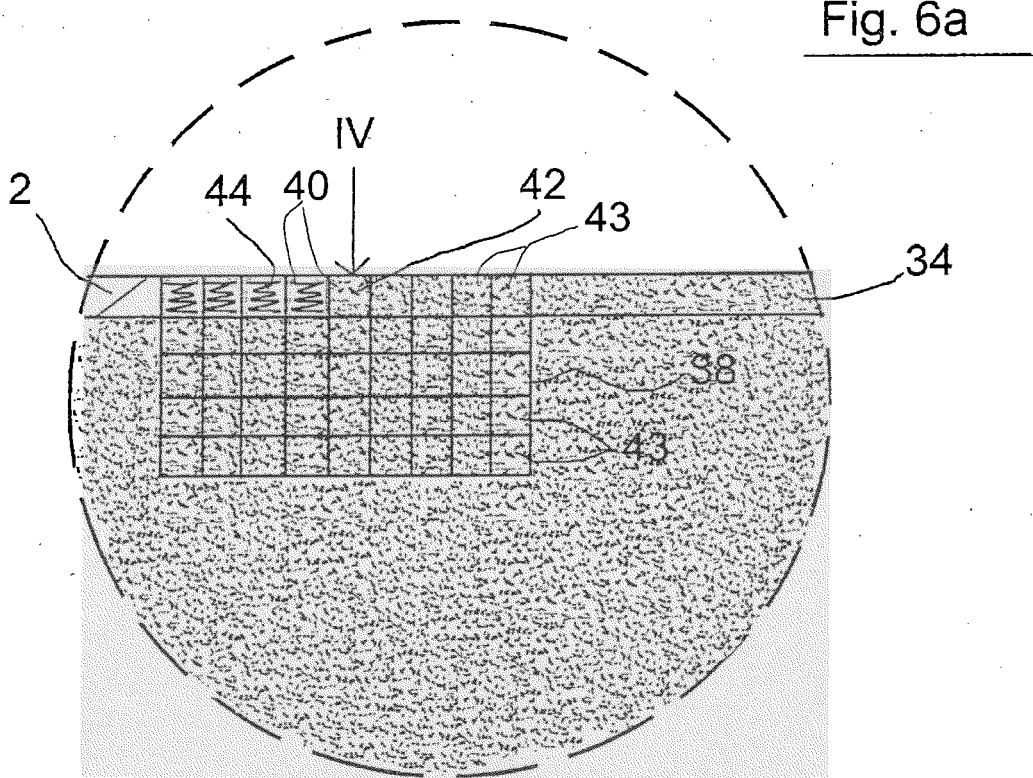


Fig. 7

