

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 163**

51 Int. Cl.:

B22F 3/105 (2006.01)

B33Y 10/00 (2015.01)

B33Y 30/00 (2015.01)

B33Y 50/02 (2015.01)

B23K 26/342 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2016** **PCT/EP2016/000502**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2016** **WO16155871**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2016** **E 16713734 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **18.12.2024** **EP 3277452**

54 Título: **Procedimiento para la producción por capas de una pieza de trabajo metálica mediante fabricación aditiva asistida por láser**

30 Prioridad:

31.03.2015 EP 15000936

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:
20.03.2025

73 Titular/es:

LINDE GMBH (100.00%)
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach, DE

72 Inventor/es:

FORET, PIERRE

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 721 163 T5

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la producción por capas de una pieza de trabajo metálica mediante fabricación aditiva asistida por láser

La invención se refiere a un procedimiento para la producción por capas de una pieza de trabajo metálica mediante fabricación aditiva asistida por láser, en particular mediante fusión por láser en una cámara de fabricación.

Estado de la técnica

Durante el procedimiento de fabricación generativa o aditiva un objeto tridimensional o una pieza de trabajo puede producirse por capas a partir de un material metálico. La pieza de trabajo producida está compuesta por diferentes capas metalúrgicas que, en el curso del procedimiento de fabricación aditiva, se generan individualmente de manera sucesiva. Para cada una de estas capas metalúrgicas de la pieza de trabajo el material metálico puede aplicarse y solidificarse por ejemplo en forma de polvo. Para este fin el material aplicado puede exponerse por ejemplo a un haz láser y/o de electrones. El material puede someterse de este modo a un proceso de sinterización o fusión, por lo que el material se solidifica. Tras generarse una capa metalúrgica la siguiente capa puede generarse de manera análoga.

En función del campo de aplicación los procedimientos de fabricación aditiva se denominan también creación rápida de prototipos (*Rapid Prototyping*). En el curso de una creación rápida de prototipos pueden producirse por ejemplo herramientas, piezas de trabajo o elementos de construcción para diferentes fines. Los procedimientos de fabricación aditiva pueden aplicarse en diferentes campos, por ejemplo, en la arquitectura, ingeniería mecánica, aeronáutica, astronáutica, tecnología médica e industria automovilística.

Un procedimiento de fabricación aditiva conocido es la así llamada fusión por láser (en inglés *Laser Melting* o *Laser Sintering*, LS). Una placa de soporte sobre la que se configura una pieza de trabajo que va a fabricarse capa por capa está dispuesta en este sentido generalmente en una cámara de fabricación. Todo el proceso de fabricación tiene lugar en esta cámara de fabricación. La fusión por láser se denomina por tanto también como técnica de cámara.

La cámara de fabricación generalmente está cerrada en sí misma. En la cámara de fabricación puede introducirse una atmósfera de gas con una composición determinada. En función de la composición seleccionada de la atmósfera de gas en la cámara de fabricación puede influirse en el material metálico.

Cuando para la atmósfera de gas se seleccionan gases inertes no tiene lugar ninguna reacción con el material metálico. Sin embargo, para la atmósfera de gas pueden emplearse también gases reactivos que pueden reaccionar con el material metálico. Mediante la selección de la atmósfera de gas pueden modificarse por tanto propiedades metalúrgicas de la pieza de trabajo.

En los procedimientos de fabricación aditiva del tipo descrito con frecuencia existe el peligro de que en la pieza de trabajo se formen poros.

Por lo tanto es deseable mejorar un procedimiento correspondiente en el sentido de que pueda producirse una pieza de trabajo sin poros.

Descripción de la invención

Este objetivo se resuelve mediante un procedimiento para la producción por capas de una pieza de trabajo mediante fabricación aditiva asistida por láser, en particular fusión por láser con las características de la reivindicación de patente 1. Las reivindicaciones dependientes respectivas, así como la descripción que sigue, tienen por objeto realizaciones ventajosas.

La fusión por láser se realiza en una cámara de fabricación. La pieza de trabajo producida está compuesta por diferentes capas metalúrgicas que se generan individualmente de manera sucesiva. Las capas metalúrgicas individuales de la pieza de trabajo se generan en cada caso proporcionando para cada capa metalúrgica en cada caso un material metálico y exponiéndolo a un haz láser. Esto se realiza bajo una atmósfera de gas en la cámara de fabricación.

El procedimiento según la invención parte por tanto de un procedimiento conocido en el que se generan capas metalúrgicas de una pieza de trabajo proporcionando en una cámara de fabricación para cada capa metalúrgica un material metálico en cada caso y exponiéndolo a un haz láser y durante la exposición de las capas del material metálico en la cámara de fabricación se proporciona una atmósfera de gas.

Las capas metalúrgicas individuales tienen en particular un grosor en el intervalo de 20 µm a 100 µm. El material metálico puede aplicarse, por ejemplo, en forma de polvo o en forma de una barra o una banda. La pieza de trabajo que va a fabricarse está dispuesta en particular sobre una placa de soporte. Tras generarse una capa metalúrgica la

placa de soporte se baja en particular por el grosor de esta capa generada y la siguiente capa se genera de manera análoga. La placa de soporte está dispuesta en particular en la cámara de fabricación.

El haz láser puede irradiarse por ejemplo desde fuera hacia la cámara de fabricación o un cabezal láser correspondiente puede estar dispuesto en la cámara de fabricación. El haz láser puede controlarse en particular por una unidad de control. En esta unidad de control pueden almacenarse datos como, por ejemplo, datos CAD que caracterizan la pieza de trabajo que va a fabricarse. La unidad de control puede controlar el haz láser basándose en estos datos y desplazarse a través de la placa de soporte.

Se ha comprobado que los productos producidos con los procedimientos conocidos de este tipo presentan parcialmente poros en su interior. En ensayos anteriores a la presente invención, la inclusión de oxígeno en o entre las capas metalúrgicas se ha reconocido como una de las causas de estos poros. Los inventores han identificado esencialmente dos fuentes para este oxígeno no deseado: Por un lado, el oxígeno penetra a través de las fugas en la cámara de fabricación, por otro lado el material metálico a partir del cual se produce la pieza de trabajo puede contener óxidos que liberan oxígeno.

Además, se ha demostrado que el porcentaje de vapor de agua en la atmósfera de gas aumenta con el tiempo. La causa del elevado porcentaje de vapor de agua se debe también a oxígeno no deseado.

La invención prevé por tanto que parte de la atmósfera de gas se extraiga como corriente de gas de la cámara de fabricación. Uno o varios parámetros de la corriente de gas y/o de la atmósfera de gas se determinan y se comparan en cada caso con un valor teórico. Por ejemplo, el contenido de vapor de agua de la corriente de gas o el contenido de vapor de agua de la atmósfera de gas en la cámara de fabricación puede determinarse y compararse con un valor teórico predeterminado.

Dependiendo del resultado de la comparación del parámetro con el valor teórico, la corriente de gas se realimenta o bien por completo, o bien parcialmente o bien no se realimenta en absoluto a la cámara de fabricación. A la inversa, dependiendo del resultado de la comparación del parámetro con el valor teórico un gas de proceso se alimenta a la cámara de fabricación. En el ejemplo anterior, en caso de una desviación del contenido de vapor de agua medido del valor teórico, por ejemplo un contenido de vapor de agua demasiado alto, una parte de la corriente de gas ya no se realimenta más a la cámara de fabricación, sino que se desecha o se alimenta a otro uso. En lugar de la corriente de gas desechada un gas de proceso, por ejemplo, una corriente de argón inerte se conduce hacia cámara de fabricación. En este sentido, según la invención se alimenta tanto gas de proceso para que la presión en la cámara de proceso permanezca constante. Por ello se mantienen relaciones estables en la cámara de proceso.

Según la invención se determinan uno o varios de los siguientes parámetros de la corriente de gas extraída de la cámara de fabricación: contenido de vapor de agua, contenido de oxígeno, contenido de carbono o su temperatura. Como alternativa o complemento se determinan uno o varios de los siguientes parámetros de la atmósfera de gas situada en la cámara de fabricación: contenido de vapor de agua, contenido de oxígeno, contenido de carbono o su temperatura.

Para una o varias de las capas metalúrgicas de la pieza de trabajo puede emplearse en cada caso una composición de gas de una atmósfera de gas en la cámara de fabricación. Sin embargo, la composición de gas puede modificarse también después de la producción de una o varias capas metalúrgicas. Mediante la composición de gas respectiva de la atmósfera de gas en la cámara de fabricación se modifican también propiedades metalúrgicas de las capas metalúrgicas respectivas de la pieza de trabajo. La composición de gas para las capas metalúrgicas se selecciona preferiblemente en cada caso de tal manera que se modifican propiedades metalúrgicas en cada caso de capas metalúrgicas adyacentes de la pieza de trabajo en cada caso según criterios especificados.

Para ello para diferentes fases de proceso se prevén diferentes valores teóricos. Es decir, para un número determinado de capas metalúrgicas consecutivas se selecciona un primer valor teórico y para otras capas metalúrgicas determinadas se selecciona otro valor teórico. Así, por ejemplo para algunas capas metalúrgicas se permite un porcentaje de oxígeno más elevado en la atmósfera de gas que para otras capas metalúrgicas.

La composición de gas se selecciona en cada caso en particular de tal manera que en particular no se modifican repentinamente propiedades metalúrgicas en cada caso de capas metalúrgicas adyacentes de la pieza de trabajo, más en particular continuamente o gradualmente y que adicionalmente en particular no aparecen "grietas" o modificaciones repentinas en las propiedades metalúrgicas en cada caso de capas metalúrgicas adyacentes en cada caso.

Según la invención un parámetro de la atmósfera de gas o de la corriente de gas extraída de la cámara de fabricación se determina, se mide o se averigua de otro modo. La determinación del parámetro puede realizarse o dentro de la cámara de fabricación o fuera de la cámara de fabricación, por ejemplo, en un conducto o un recipiente a través de los cuales circula la corriente de gas.

En distintas zonas de la cámara de fabricación pueden aparecer diferentes composiciones de gas. Esto puede deberse por ejemplo a que junto con el material alimentado a la cámara de proceso se introduce gas procedente de otra fuente de manera indefinida en la cámara de proceso. Esto se aplica en particular cuando se alimenta un material en polvo. Debido al flujo de gas inexistente o muy débil en la cámara de fabricación el gas procedente de otra fuente no se distribuye uniformemente en la cámara de fabricación, sino que permanece en determinadas zonas. Por lo tanto es ventajoso extraer de la cámara de fabricación una parte de la atmósfera de gas que se encuentra a la misma altura que el material expuesto al haz láser. Si se analiza este gas extraído a continuación, es decir, se determina un parámetro determinado de esta corriente de gas pueden sacarse conclusiones directamente sobre la atmósfera de gas en el lugar de mecanizado.

En función del resultado de la comparación entre parámetros medidos y el valor teórico, la corriente de gas se devuelve por completo, parcialmente, o no se devuelve a la cámara de fabricación. Además, dependiendo del resultado de comparación un gas de proceso se conduce o no se conduce a la cámara de fabricación. El gas de proceso puede ser en este sentido un gas puro o también una mezcla de gases. Cantidad, presión, temperatura, composición y/o velocidad de circulación o también otras magnitudes que caracterizan el gas de proceso pueden variarse dependiendo del resultado de la comparación entre parámetros medidos y valor teórico.

En el curso de la generación de cada capa metalúrgica en particular en la cámara de fabricación completa reina en cada caso una atmósfera de gas homogénea isotrópica con la composición de gas respectiva. Mediante esta atmósfera de gas isotrópica en cada caso pueden modificarse de manera correspondiente de manera sencilla, con poco esfuerzo y asequible las propiedades metalúrgicas de la capa metalúrgica completa respectiva. Por consiguiente, no es necesario alimentar determinados gases de manera precisa a zonas determinadas del material que se funde.

Preferiblemente la composición de gas para cada una o varias de las capas metalúrgicas se selecciona en cada caso de tal manera que las propiedades metalúrgicas de la capa(s) metalúrgica(s) respectiva(s) en cada caso se ajustan a valores predeterminados. La selección de la composición de gas influye de manera precisa en las propiedades metalúrgicas de cada capa metalúrgica. Los valores teóricos para los parámetros medidos se seleccionan de manera correspondiente y pueden variar entre distintas capas. Por consiguiente, las propiedades metalúrgicas de capas metalúrgicas adyacentes pueden adaptarse o coordinarse de manera especialmente sencilla entre sí. En particular el valor ajustado de una propiedad metalúrgica de una capa metalúrgica especial en cada caso depende del valor ajustado de esta propiedad metalúrgica de la capa metalúrgica adyacente en cada caso.

Preferiblemente la composición de gas para cada o varias de las capas metalúrgicas en cada caso se selecciona de tal manera que los valores de las propiedades metalúrgicas en cada caso de capas metalúrgicas adyacentes difieren unas de otras en cada caso como máximo en un valor umbral predeterminado. Este valor umbral se selecciona en particular de tal manera que entre las capas metalúrgicas no se forme ninguna muesca metalúrgica. Preferiblemente este valor umbral asciende al 5 %, más en particular al 2,5 %, más en particular al 1 % de una o varias propiedades metalúrgicas (ver más abajo en relación con propiedades metalúrgicas que pueden emplearse en este sentido).

Mediante una selección conveniente del valor umbral puede garantizarse en particular una transición suave, fluida entre las propiedades metalúrgicas en cada caso de capas metalúrgicas adyacentes. Por lo demás, mediante selección conveniente del valor umbral se garantiza que la modificación de las propiedades metalúrgicas a lo largo de la dirección de propagación o expansión longitudinal de la pieza de trabajo siga el gradiente correspondiente, perfil o la distribución correspondiente.

El procedimiento según la invención puede servir no solo para mantener una atmósfera de gas deseada en la cámara de fabricación, sino también para provocar determinadas modificaciones, en particular mínimas de la atmósfera de gas. El valor teórico para la comparación con el parámetro medido de la corriente de gas o de la atmósfera de gas se modifica para ello de manera correspondiente. Si el parámetro determinado se desvía del valor teórico entonces la corriente de gas extraída de la cámara de fabricación se desecha y un gas de proceso con la composición deseada se alimenta a la cámara de fabricación. En este caso en particular no es necesario eliminar completamente de la cámara de fabricación la atmósfera de gas presente actualmente en la cámara de fabricación antes de generar una nueva capa metalúrgica. Al guiarse la atmósfera de gas de todos modos continuamente en círculo y controlarse mediante medición de uno o varios parámetros, la corriente de gas retirada puede expulsarse y sustituirse por un gas de proceso de composición deseada hasta que la desviación entre parámetros medidos y valor teórico caiga por debajo de un límite predeterminado.

Con especial ventaja la invención se utiliza para ajustar y regular una concentración de oxígeno determinada en la cámara de fabricación. En particular la invención permite mantener constante el porcentaje de oxígeno de la atmósfera de gas a un valor predeterminado. Este valor predeterminado se sitúa ventajosamente entre 50 Vppm y 1000 Vppm, por ejemplo en 100 Vppm, 250 Vppm, 500 Vppm u 800 Vppm.

La invención hace posible no solo la supervisión de la atmósfera de gas en cuanto al mantenimiento de determinados valores límite, sino que permite una regulación activa de la atmósfera de gas correspondiendo a los deseos y especificaciones del usuario.

Preferiblemente mediante la composición de gas respectiva de la atmósfera de gas en la cámara de fabricación se modifica una resistencia a la termofluencia, una dureza, una rigidez, una conductividad térmica, una conductividad eléctrica, un punto de fusión, una resistencia a la corrosión, una resistencia a la abrasión o desgaste, una ductilidad, propiedades electromagnéticas y/o una porosidad como propiedades metalúrgicas de las capas metalúrgicas respectivas de la pieza de trabajo.

Preferiblemente la pieza de trabajo se produce a partir de un material de bajo punto de fusión. Para este fin, para capa metalúrgica en cada caso se proporciona el metal de bajo punto de fusión como material metálico. Como metales de bajo punto de fusión se consideran en este sentido metales que presentan un punto de fusión de como máximo 1500 °C, preferiblemente de como máximo 1200 °C, más preferiblemente de como máximo 1000 °C y al menos 500 °C. Por ejemplo se emplean aluminio, estaño, plomo, zinc y/o plata o mezclas o aleaciones correspondientes como metales de bajo punto de fusión. Pueden generarse aleaciones también de diferentes materiales metálicos al introducirse diferentes mezclas de componente.

De manera más preferible la pieza de trabajo no se produce a partir de un metal refractario o un metal de alto punto de fusión. Por consiguiente, preferiblemente no se funde ningún metal refractario o ningún metal de alto punto de fusión como material metálico. Los metales refractarios o metales de alto punto de fusión presentan en particular un punto de fusión de al menos 1500 °C. En el caso de temperaturas altas de este tipo los gases se comportan de manera diferente a en el caso de temperaturas comparativamente bajas de en particular, como máximo, 1500 °C. Las propiedades de gases, así como reacciones que se producen son claramente diferentes en el caso de temperaturas altas y bajas de este tipo. En particular, en el caso de altas temperaturas se cumplen otras leyes de la termodinámica diferentes a en el caso de temperaturas bajas de este tipo. En el caso de altas temperaturas en particular deben generarse propiedades metalúrgicas especiales mucho más complejas de las capas metalúrgicas que en el caso de bajas temperaturas. Sin embargo, es posible incrustar metales refractarios u otros componentes, por ejemplo para la producción de piezas de trabajo especialmente resistentes a la abrasión en una matriz de metales de bajo punto de fusión, por ejemplo para crear materiales de compuesto.

Sin embargo, en conjunto la pieza de trabajo comprende con ello preferiblemente un metal de bajo punto de fusión y la fusión por láser se realiza preferiblemente a bajas temperaturas de como máximo 1500 °C, más preferiblemente de como máximo 1200 °C, más preferiblemente de como máximo 1000 °C. En temperaturas bajas de este tipo la pieza de trabajo puede producirse fácilmente, con poco esfuerzo y de manera asequible.

La atmósfera de gas en la cámara de fabricación puede estar compuesto de un gas inerte como, por ejemplo, argón. Si la atmósfera de gas inerte debe mantenerse durante todo el curso del procedimiento de producción, entonces por ejemplo se determina el contenido de oxígeno o el contenido de vapor de agua de la atmósfera de gas o de la corriente de gas extraída y en el caso de superación de un determinado valor teórico para el contenido de oxígeno o el contenido de vapor de agua la corriente de gas ya no se devuelve, o no completamente, a la cámara de fabricación, sino que se sustituye (parcialmente) por una corriente de gas de proceso compuesta de argón.

En otra forma de realización para las capas metalúrgicas se emplea una composición de gas como atmósfera de gas en cada caso de un gas reactivo puro o de una mezcla de gases con al menos un gas reactivo como componente de gas. En particular se emplea una mezcla de gases que presenta exclusivamente diferentes gases reactivos como componentes de gas. Mediante la concentración de los gases reactivos individuales de la atmósfera de gas se generan en particular las propiedades metalúrgicas deseadas de la capa metalúrgica respectiva. Preferiblemente a la atmósfera de gas se alimenta después un gas de proceso que asimismo comprende uno o varios de los siguientes gases reactivos: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, helio, monóxido de carbono, dióxido de carbono y/o hidrógenos de carbono. El gas de proceso puede ser también una mezcla de gases de un gas inerte y un gas reactivo.

Por ejemplo, mediante el uso de nitrógeno en la composición de gas y mediante la alimentación controlada de nitrógeno como gas de proceso la resistencia a la termofluencia, dureza y/o rigidez pueden modificarse como propiedades metalúrgicas de las capas metalúrgicas respectivas de la pieza de trabajo. En particular mediante el nitrógeno en las capas metalúrgicas respectivas se generan nitruros que llevan a la resistencia a la termofluencia, dureza y/o rigidez elevada.

Mediante el uso de dióxido de carbono en la composición de gas para la atmósfera de gas y mediante la alimentación controlada de dióxido de carbono como gas de proceso en las capas metalúrgicas respectivas pueden generarse por ejemplo carburos. Mediante dióxido de carbono en la composición de gas pueden modificarse la dureza y/o resistencia a la erosión o desgaste como propiedades metalúrgicas de las capas metalúrgicas de la pieza de trabajo.

Mediante el uso de oxígeno en la composición de gas y mediante la alimentación controlada de oxígeno como gas de proceso en las capas metalúrgicas respectivas pueden generarse óxidos, en particular óxidos de metal. De este modo puede modificarse en particular la ductilidad o dilatabilidad y deformabilidad como propiedades metalúrgicas de las capas metalúrgicas respectivas de la pieza de trabajo.

Por ejemplo, mediante el uso de hidrógeno en la composición de gas y mediante la alimentación controlada de hidrógeno como gas de proceso se generan capas frágiles, quebradizas de la pieza de trabajo. De este modo pueden generarse puntos de rotura controlada en la pieza de trabajo.

Ventajosamente se emplea una composición de gas para la atmósfera de gas que contiene menos oxígeno que aire bajo condiciones normales. Preferiblemente el porcentaje de oxígeno de la composición de gas oscila entre el 0,01 % y 21 %. Mediante una composición de gas de este tipo se hace posible que puedan emplearse diferentes componentes de la cámara de fabricación (p.ej. válvulas, juntas, tubos flexibles, etc.) que están fabricados de materiales asequibles que seas adecuados para aire comprimido. Por consiguiente, no es necesario que tengan que emplearse materiales caros que están certificados explícitamente para el uso en atmósferas ricas en oxígeno. Las composiciones de gas con porcentaje de oxígeno de este tipo son especialmente adecuadas para hacer posible en la cámara de fabricación una oxidación controlada o reacciones controladas. Por consiguiente, pueden producirse propiedades metalúrgicas deseadas de las capas metalúrgicas respectivas.

Preferiblemente se emplean una composición de gas para la atmósfera de gas y un gas de proceso correspondiente, en donde un porcentaje de gases combustibles o explosivos es menor que el límite de inflamabilidad inferior del gas respectivo en la composición de gas, más preferiblemente menor que el límite de inflamabilidad inferior del gas respectivo en el aire. Como gases combustibles o explosivos se emplean en particular hidrógeno y/o hidrógeno de carbono.

Cuando para la composición de gas se selecciona un porcentaje de oxígeno comparativamente reducido o cuando la composición de gas no contiene oxígeno, el límite de inflamabilidad de gases combustibles o explosivos en la composición de gas generalmente es mayor que en el aire. En tales composiciones de gas con bajo contenido en oxígeno, puede seleccionarse una proporción comparativamente alta de gases inflamables o explosivos. Durante el proceso de fabricación, no existe, o al menos apenas existe, riesgo de explosión o incendio en una atmósfera de gas con contenido bajo en oxígeno de este tipo, a pesar del porcentaje elevado de gases inflamables o explosivos. En particular una atmósfera de gas de este tipo antes de la apertura de la cámara de fabricación se elimina completamente de la misma para impedir un riesgo de explosión o incendio elevado en la apertura de la cámara de fabricación mediante penetración de oxígeno.

De manera más preferiblemente el porcentaje máxima de gases inflamables o explosivos en la composición de gas 10 % es menor que el límite de inflamabilidad del gas respectivo en la composición de gas o en aire. Por ello se garantiza que el porcentaje de los gases en ningún momento supere el límite respectivo de inflamabilidad, aunque el porcentaje del gas respectivo varíe, por ejemplo, debido a las reacciones de la atmósfera de gas con la pieza de trabajo.

Preferiblemente se emplea una composición de gas con un porcentaje máximo de monóxido de carbono de 30 ppm y/o con un porcentaje máximo de dióxido de carbono de 5000 ppm para la atmósfera de gas. El gas de proceso se selecciona de manera correspondiente. Una composición de gas de este tipo es apropiada en particular cuando no existen medidas de seguridad mediante las cuales se impida que la cámara de fabricación pueda abrirse antes de que la atmósfera de gas se haya eliminado por completo. Mediante esta composición de gas en un caso de este tipo puede impedirse que un usuario o trabajador sufra daños en la salud. Cuando existe una medida de seguridad de este tipo el porcentaje de monóxido de carbono y/o dióxido de carbono puede seleccionarse preferiblemente más alto de 30 ppm o 5000 ppm.

La invención tiene numerosas ventajas con respecto al estado de la técnica. De este modo el contenido de vapor de agua y el contenido de oxígeno en la atmósfera de gas pueden ajustarse y regularse de manera sencilla y controlada con seguridad. Una formación de poros no deseada se evita en las piezas de trabajo producidas. La calidad de las piezas de trabajo producidas aumenta. No son necesarios procedimientos de tratamiento posterior complejos para eliminar o reducir los poros.

Estas ventajas se muestran en particular en el caso de un procedimiento de lecho de polvo en el que el material se alimenta en forma pulverulenta. Esto se debe a que con el polvo por regla general en la cámara de fabricación se introduce gas procedente de otra fuente, lo que modifica la composición de la atmósfera de gas de forma indefinida. La invención permite en este caso un control y regulación directa y segura de la atmósfera de gas.

Ventajosamente una parte del gas se extrae continuamente de la cámara de fabricación y, dependiendo de la comparación del parámetro con el valor teórico, se realimenta o se desecha y se sustituye por gas de proceso nuevo. De este modo en la cámara de proceso pueden mantenerse condiciones estables.

La invención, así como otros diseños ventajosos de la invención debe explicarse con más detalle mediante los siguientes dibujos esquemáticos. En este caso muestra

figura 1 una cámara de fabricación para la fabricación aditiva de una pieza de trabajo

En la figura 1 se representa esquemáticamente una cámara 1 de fabricación para la producción de una pieza de trabajo mediante fabricación aditiva. La pieza de trabajo acabada está compuesta por diferentes capas metalúrgicas que se generan individualmente de manera sucesiva. Las capas metalúrgicas individuales de la pieza de trabajo se generan en cada caso proporcionando para cada capa metalúrgica en cada caso un material metálico y exponiéndolo a un haz láser. Esto se realiza bajo una atmósfera de gas en la cámara 1 de fabricación. La atmósfera de gas en la cámara 1 de fabricación se compone por ejemplo de argón que se ha introducido antes del comienzo del procedimiento de fabricación en la cámara 1 de fabricación.

Según la invención una parte de la atmósfera de gas se extrae de la cámara 1 de fabricación como corriente 2 de gas y se alimenta a una unidad 3 de análisis. En la unidad 3 de análisis se determinan uno o varios parámetros de la corriente 2 de gas. Si como en el caso descrito la atmósfera de gas se compone de un gas inerte entonces con frecuencia es útil controlar el contenido de vapor de agua de la corriente 2 de gas o el contenido de oxígeno de la corriente 2 de gas para comprobar si la atmósfera de gas todavía es suficientemente inerte. Por lo demás, existe por ejemplo el peligro de que se formen poros en el interior de la pieza de trabajo.

En la unidad 3 de análisis los parámetros como, por ejemplo, contenido de vapor de agua o contenido de oxígeno de la corriente 2 de gas se miden y se comparan con un valor teórico. Cuando los parámetros medidos se sitúan por debajo del valor teórico, es decir, cuando el contenido de vapor de agua o el contenido de oxígeno son más bajos que el valor teórico predeterminado, la corriente 2 de gas se devuelve completamente a la cámara 1 de fabricación.

No obstante, cuando el contenido de vapor de agua o el contenido de oxígeno es más alto que el valor teórico, entonces se desecha una parte de la corriente de gas o la corriente de gas completa. Para ello la corriente 2 de gas analizada se alimenta a una unidad 4 de regulación de gas que, en función del resultado de la comparación de parámetros medidos y valor teórico devuelve la corriente 2 de gas o a la cámara 1 de fabricación o expulsa una corriente parcial 5 o la corriente 5 de gas completa o la alimenta a otro uso.

La parte 5 de la corriente 2 de gas que no se realimenta a la cámara 1 de fabricación se sustituye por un gas 6 de proceso. En el presente ejemplo se utiliza argón puro como gas 6 de proceso. El gas de proceso se alimenta asimismo a la unidad 4 de regulación de gas (corriente 7), se añade a la corriente 2 de gas y después se conduce a la cámara 1 de fabricación (corriente 8).

Adicionalmente en la figura 1 se muestra otro sistema 9 de circulación que extrae continuamente una parte de la atmósfera de gas de la cámara 1 de fabricación y la realimenta de nuevo a la cámara 1 de fabricación. De este modo se logra una circulación de la atmósfera de gas y con ello homogeneización de la atmósfera de gas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la producción por capas de una pieza de trabajo metálica mediante fabricación aditiva, en el que se generan capas metalúrgicas de la pieza de trabajo proporcionando en una cámara de fabricación para cada capa metalúrgica en cada caso un material metálico y exponiéndolo a un haz láser, y en el que durante la exposición de las capas del material metálico en la cámara de fabricación se proporciona una atmósfera de gas, en donde una parte de la atmósfera de gas se extrae de la cámara de fabricación como corriente de gas, se determina al menos un parámetro de la corriente de gas y/o de la atmósfera de gas y se compara con un valor teórico, **caracterizado por que**, dependiendo de la comparación del parámetro con el valor teórico, la corriente de gas se realimenta o bien por completo, o bien parcialmente o bien no se realimenta a la cámara de fabricación y, dependiendo de la comparación del parámetro con el valor teórico, un gas de proceso se alimenta a la cámara de fabricación, en donde la presión en la cámara de fabricación se mantiene constante y por que el parámetro es el contenido de vapor de agua, el porcentaje de oxígeno, el contenido de carbono y/o la temperatura de la atmósfera de gas o de la corriente de gas.
2. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se extrae de la cámara de fabricación una parte de la atmósfera de gas que se encuentra a la misma altura que el material expuesto al haz láser.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde para al menos dos capas metalúrgicas diferentes están previstos valores teóricos diferentes.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el gas de proceso se alimenta cuando el contenido de vapor de agua y/o el porcentaje de oxígeno son mayores que el valor teórico correspondiente.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el porcentaje de oxígeno en la atmósfera de gas se mantiene constante, en particular se mantiene constante a un valor que se sitúa entre 50 Vppm y 1000 Vppm.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el parámetro se determina en la cámara de fabricación.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde, para la atmósfera de gas, para las capas metalúrgicas se emplea en cada caso un gas reactivo puro o una mezcla de gases con al menos un gas reactivo como componente de gas.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en donde la atmósfera de gas presenta hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, helio, monóxido de carbono, dióxido de carbono y/o hidrógeno de carbono como gas reactivo.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde en cada caso se proporciona metal de bajo punto de fusión como material metálico.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en donde el metal de bajo punto de fusión presenta un punto de fusión de como máximo 1500 °C, en particular de como máximo 1200 °C, más en particular de como máximo 1000 °C.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el material metálico se proporciona en forma de polvo.

Figura 1

