

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 985**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/03** (2006.01)

**B23K 26/06** (2014.01)

**B23K 26/38** (2014.01)

**B23K 31/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.07.2014 PCT/EP2014/064478**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2015 WO15036140**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.07.2014 E 14741231 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 3043951**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para supervisar, en particular para regular, un proceso de corte**

30 Prioridad:

**13.09.2013 DE 102013218421**

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

**13.02.2019**

73 Titular/es:

**TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH + CO.  
KG (100.0%)**

**Johann-Maus-Strasse 2  
71254 Ditzingen, DE**

72 Inventor/es:

**REEGARD, BORIS y  
SCHINDHELM, DAVID**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 699 985 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**

Dispositivo y procedimiento para supervisar, en particular para regular, un proceso de corte

La presente invención hace referencia a un dispositivo según la reivindicación 1 y a un procedimiento correspondiente, según la reivindicación 21, para supervisar, en particular para regular un proceso de corte en una pieza de trabajo.

Un dispositivo para supervisar un proceso de corte por láser, el cual puede utilizarse para registrar parámetros característicos de un proceso de corte por láser, por ejemplo de una interrupción del corte inminente, se conoce por la solicitud WO 2012/107331 A1 de la solicitante. Una interrupción del corte que está por producirse se detecta allí en el caso de un valor por debajo de una longitud de entrehierro predeterminada del espacio de corte. De manera alternativa o adicional, la superficie del frente de corte observado se compara con una superficie de referencia que corresponde a la superficie del frente de corte en el caso de un corte conveniente o corte de calidad. Una interrupción del corte puede detectarse también en el caso de que la intensidad de radiación emitida por la superficie de referencia supere un valor límite para la luminosidad objetivo en el caso de un corte normal.

En la solicitud WO 2013/053832 A1 se describe un dispositivo que mide luz retrodispersada en un proceso de corte por láser, para verificar la calidad del corte. La intensidad medida de la luz retrodispersada es más reducida cuando el corte se extiende efectivamente a través de la pieza de trabajo. Para optimizar el transporte de escoria, la frecuencia o bien la presión de los pulsos de gas utilizados en el proceso de corte, mediante un dispositivo de control, se adaptan de modo que la intensidad medida de la luz retrodispersada asuma un valor mínimo.

Una causa general para una interrupción del corte es una aplicación de energía insuficiente en la pieza de trabajo. La energía utilizada por sección, demasiado reducida, conduce a un aplanamiento del frente de corte, es decir, a un aumento del ángulo del frente de corte, debido a lo cual la masa fundida ya no puede expulsarse completamente en el borde inferior del corte y se solidifica en el corte a modo de sierra. El cierre del borde inferior del corte conduce a irregularidades del proceso que, usualmente, impiden de forma permanente un corte de separación. El ángulo del frente de corte, el cual representa un parámetro característico del espacio de corte, por lo tanto, es un indicador de una interrupción del corte inminente.

El frente de corte o bien el ángulo del frente de corte en principio pueden medirse a través de una observación vertical de la radiación térmica que se emite desde el área de interacción, de forma coaxial con respecto al haz de gran potencia. En el caso de conocerse el grosor de la pieza de trabajo, mediante la longitud del área irradiante puede deducirse el ángulo del frente de corte. El problema reside en el hecho de que un filamento de masa fundida que gotea por debajo de la pieza de trabajo conduce a una prolongación del área irradiante, de modo que no es posible así de manera fiable una medición del ángulo del frente de corte.

En la solicitud WO 2012/107331 A1 se sugiere detectar un borde superior del frente de corte y un borde inferior del frente de corte como delimitaciones del material de la pieza de trabajo y, en base a ello, considerando el grosor de la pieza de trabajo, determinar el ángulo del frente de corte del proceso de corte por láser. Con ese fin, se mide la distancia entre el borde superior del corte y el borde inferior del corte a lo largo del centro del espacio, del espacio de corte, o bien del corte a modo de sierra, usualmente en el rango de longitud de onda visible. Si el ángulo del frente de corte se desvía de un valor objetivo o bien de un rango objetivo, esto puede indicar un error de corte o un punto de trabajo que no es óptimo, el cual puede corregirse a través de medidas adecuadas, por ejemplo a través de una adaptación de la velocidad de corte.

En la observación del proceso coaxial, a través de la boquilla de corte, tanto en el caso de la observación de la radiación térmica, de la radiación del haz de gran potencia retrodispersada, como también en el caso de la observación de delimitaciones del material, existe el problema de que el área de observación está limitada por el contorno interno de la boquilla de corte, usualmente circular. En particular, en el caso de procesos de corte con soplete, se utilizan diámetros de la boquilla reducidos, de modo que, en el caso de un corte de calidad, el borde inferior del frente de corte se ubica por fuera del área de observación delimitada por la salida de la boquilla y el ángulo del frente de corte no puede determinarse de forma fiable.

En la solicitud DE 10 2011 016 519 A1 se describen un procedimiento y un dispositivo para controlar el mecanizado de una pieza de trabajo mediante un haz de mecanizado de alta potencia, en donde el haz de mecanizado pasa por una lente que, para el desplazamiento de un punto de incidencia del haz de mecanizado, puede desplazarse en la pieza de trabajo, de forma perpendicular con respecto a su eje óptico. En un ejemplo se proporciona una cámara de supervisión para generar una imagen que pueda evaluarse electrónicamente, cuyo recorrido óptico de la imagen se focaliza en el punto de incidencia a través de la lente.

Por la solicitud WO 2012/107331 A1 se conoce también el hecho de deducir la presencia o la ausencia de una formación de rebaba en el espacio de corte mediante la imagen del área de interacción. Por ejemplo, en el caso de un proceso de corte por fusión, mediante la ausencia de una variación recurrente de la intensidad de la imagen térmica en el área del espacio de corte y/o en caso de presentarse tres bandas luminosas que se emiten desde el frente de corte, puede deducirse la presencia de una formación de rebaba. En el caso de un proceso de corte por soplete en acero de construcción (utilizando oxígeno como gas de corte), en los bordes de corte del corte a modo de

sierra pueden detectarse surcos o marcas recurrentes de forma periódica en la imagen térmica o en el rango de longitud de onda visible, y mediante la frecuencia de las marcas puede deducirse una pérdida de material inminente.

En base a la tesis doctoral "Überwachung, Regelung und Automatisierung beim Hochgeschwindigkeitsschneiden von Elektroblechen mit Laserstrahlen" de Frank Schneider, de la editorial Shaker Verlag, 2005, se discute el corte de alta velocidad con velocidades de corte o bien de avance de hasta 100 m/min. En esa aplicación, detrás del frente de corte puede conformarse una acumulación de masa fundida que, en el caso de una velocidad elevada, puede ser tan grande que el tubo capilar entre la masa fundida y el frente de corte se cierra hacia abajo temporariamente desde el flujo de masa fundida. En ese caso, la radiación láser se refleja hacia atrás y es medida por un pirodetector o una termopila en una observación lenta o bien de seguimiento. En el caso de una observación lenta y de velocidades elevadas se producen reflexiones intensas, cortas y, con ello, una señal medida altamente fluctuante. Puesto que la desviación estándar de la señal medida usualmente aumenta al aumentar la velocidad, el proceso de corte de alta velocidad puede regularse mediante la desviación estándar.

Por la solicitud US 6,621,047 B2 conforme al género se ha conocido un procedimiento para supervisar un mecanizado láser, en donde un campo de observación predeterminado se selecciona en el área de una zona de interacción entre el haz láser y la pieza de trabajo. La radiación que se emite desde el campo de observación seleccionado es detectada con un receptor sensitivo a la radiación.

En la solicitud US 2005/0252895 A1 se describe un dispositivo sensor para detectar radiación desde el área de una zona de interacción entre un haz láser y una pieza de trabajo, el cual presenta una disposición de receptor sensitiva a la radiación, así como un dispositivo de representación de imágenes que representa la imagen de un área que debe ser supervisada desde la zona de interacción, en la disposición de receptor. El dispositivo de representación de imágenes presenta un elemento óptico de focalización, el cual desvía radiación que se emite desde el área que debe ser supervisada, desde el recorrido óptico del mecanizado, y la focaliza en la disposición de receptor.

En la solicitud DE 10 2012 001 609 B3 se describe una cabeza de mecanizado láser que presenta una óptica de formación del haz, una óptica de focalización, así como una cámara con una óptica de representación de imágenes ajustable, dispuesta antes en el recorrido óptico. Una representación de la imagen de un área de mecanizado de la pieza de trabajo en una primera área de sensor de la cámara tiene lugar a través de un primer recorrido óptico de observación, sobre la óptica de focalización y la óptica de representación de imágenes. Una representación de la imagen del área de representación de imágenes de la óptica de conformación del haz, sobre una segunda área del sensor, tiene lugar a través de un segundo recorrido óptico de observación, mediante la óptica de conformación del haz y la óptica de representación de imágenes.

En la solicitud DE 10 2008 060 384 B3 se describe un sistema sensor para supervisar un proceso de mecanizado láser que debe realizarse en una pieza de trabajo. En el sistema sensor, un dispositivo de registro se encuentra dispuesto en la dirección de observación, detrás de una óptica de formación de imágenes, la cual puede ajustarse relativamente con respecto a la óptica de representación de imágenes. Un módulo de fuente de luz, en una longitud predeterminada de forma relativa con respecto al dispositivo de registro, puede colocarse en el mismo, y comprende una fuente de luz con un primer diafragma de filtro local, donde el primer diafragma de filtro local, a través de la óptica de representación de imágenes, puede representarse en una región en el área de una zona de interacción entre el haz láser y la pieza de trabajo, para a través del ajuste del dispositivo de registro seleccionar un campo de observación determinado en la zona de interacción.

Por la solicitud WO 2012/163545 A1 se conocen un dispositivo y un procedimiento según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 21.

#### Tarea de la invención

La tarea de la invención consiste en proporcionar dispositivos y procedimientos correspondientes para la supervisión, en particular para la regulación, de un proceso de corte, los cuales posibiliten una determinación fiable de parámetros característicos del proceso de corte, en particular de parámetros característicos de un corte a modo de sierra formado en el proceso de corte, así como eventualmente que posibiliten una regulación ventajosa del proceso de corte.

#### Contenido de la invención

Un primer aspecto de la invención hace referencia a un dispositivo para supervisar, en particular para regular, un proceso de corte en una pieza de trabajo, el cual comprende: un elemento de focalización para focalizar un haz de gran potencia, en particular un haz láser, en la pieza de trabajo, un dispositivo de registro de imágenes para registrar un área que debe ser supervisada en la pieza de trabajo, la cual comprende un área de interacción del haz de gran potencia con la pieza de trabajo, así como un dispositivo de evaluación que, mediante el área de interacción registrada, está diseñado para determinar al menos un parámetro característico (a) del proceso de corte, en particular un corte a modo de sierra formado durante el proceso de corte, donde el dispositivo de registro de imágenes está diseñado para formar un haz de observación para observar el área de interacción desde una dirección de observación (R1) que se extiende bajo un ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz, perteneciente al haz de gran potencia, donde el dispositivo de registro de imágenes comprende una óptica de representación de

- imágenes para generar una imagen (B1) del área de interacción, desde la dirección de observación (R1) que se extiende bajo el ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, así como un detector, en particular una cámara, con una superficie del detector en donde se genera la imagen (B1), donde la óptica de representación de imágenes está diseñada para representar sobre la superficie del detector el haz de observación que se proyecta excéntricamente con respecto al eje central del elemento de focalización y, con ello, que se extiende en un recorrido óptico convergente entre el elemento de focalización y la pieza de trabajo bajo el ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz, perteneciente al haz de gran potencia, caracterizado por que el dispositivo comprende un dispositivo de control que está diseñado para modificar la orientación de la dirección de observación (R1, R2, ...) en una proyección en un plano (X, Y) de forma perpendicular con respecto al eje del haz, en función de una dirección de avance (v) del proceso de corte. El principio de medición sugerido para determinar al menos un parámetro característico se basa en el registro de (al menos) una imagen del área de interacción desde (al menos) un ángulo visual, o bien desde al menos una dirección de observación que se extiende bajo un ángulo con respecto al eje del haz, perteneciente al haz de gran potencia, es decir que la parte del recorrido óptico de observación que forma el haz de observación se extiende en el recorrido óptico del haz convergente entre el elemento de focalización y la pieza de trabajo bajo un ángulo con respecto al eje óptico del elemento de focalización y, con ello, con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia. Mediante un haz de observación de esa clase, en el caso de una evaluación adecuada de la imagen registrada, pueden determinarse parámetros característicos del proceso de corte, en particular del corte a modo de sierra y, en caso necesario, puede intervenir en el proceso de corte para efectuar una optimización en cuanto a la calidad del corte.
- El recorrido óptico del haz de observación que se extiende de forma coaxial con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, en el lado de entrada del elemento de focalización, se extiende paralelamente con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, o bien de forma concéntrica con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia. Para generar o bien seleccionar un haz de observación no coaxial desde el recorrido óptico del haz de observación coaxial puede proporcionarse por ejemplo un diafragma en el recorrido óptico del haz de observación. La óptica de representación de imágenes representa la imagen de al menos un haz de observación, en particular precisamente un haz de observación que se proyecta excéntricamente, es decir que no se extiende a través del eje central del elemento de focalización y, con ello se extiende en el recorrido óptico convergente entre el elemento de focalización y la pieza de trabajo, bajo un ángulo con respecto a la pieza de trabajo, o bien con respecto al eje del haz del haz de gran potencia, sobre una superficie del detector.
- A través de la observación bajo un ángulo con respecto al eje del haz pueden determinarse parámetros característicos, en particular propiedades del corte a modo de sierra, las cuales no podrían detectarse en el caso de una observación coaxial, o bien perpendicular, del área de interacción. Como un haz de observación que se extiende bajo un ángulo con respecto al eje del haz se entiende un haz luminoso, en donde el haz principal del haz de observación difiere con respecto al haz principal del haz de gran potencia utilizado para el mecanizado, en el recorrido óptico convergente entre el elemento de focalización y la pieza de trabajo, en al menos aproximadamente 2°.
- El dispositivo comprende un dispositivo de control que está diseñado para modificar la orientación de la dirección de observación en el plano de forma perpendicular con respecto al eje del haz, en función de una dirección de avance del proceso de corte. Del modo antes descrito, determinados parámetros característicos, por ejemplo una pendiente del frente de corte, pueden determinarse sólo bajo determinadas direcciones de observación de forma relativa con respecto a la dirección de avance. El dispositivo de control, para controlar la dirección de observación, puede activar el dispositivo de registro de imágenes para modificar la orientación de la dirección de observación y/o el dispositivo de evaluación, de modo que este último evalúe un área adecuada de la superficie del detector asociada a la dirección de observación deseada.
- En una forma de realización, el dispositivo de registro de imágenes está diseñado para modificar la orientación de la dirección de observación del haz de observación en un plano de forma perpendicular con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia. Usualmente, ese plano se extiende paralelamente con respecto al plano de contacto o bien con respecto a la superficie de la pieza de trabajo usualmente en forma de placa. La dirección de avance momentánea del proceso de corte por láser, es decir, la dirección a lo largo de la cual el haz de gran potencia y la pieza de trabajo se desplazan relativamente uno con respecto a otro, depende del contorno que debe cortarse en la pieza de trabajo. La dirección de avance momentánea y, con ello, la dirección en la cual se extiende el corte a modo de sierra, se modifica usualmente durante el proceso de corte. Para poder determinar de forma permanente parámetros característicos determinados durante el proceso de corte, la orientación de la dirección de observación debe mantenerse lo más constante posible de forma relativa con respecto a la dirección a lo largo de la cual se forma el corte a modo de sierra. Esto puede alcanzarse debido a que el dispositivo de registro de imágenes modifica de forma adecuada la dirección de observación durante el proceso de corte. Para la modificación de la orientación de la dirección de observación existen varias posibilidades.
- En una forma de realización, el dispositivo de registro de imágenes, para modificar la orientación de la dirección de observación del haz de observación, presenta un diafragma. En ese caso puede tener lugar una representación de imágenes simétrica con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia. Una abertura del diafragma, a través de la cual pasa la radiación de observación, genera en ese caso un haz de observación que está asociado a la dirección de observación. Para modificar la orientación o bien la alineación del haz de observación, el diafragma

(mecánico), en el caso más simple, puede estar diseñado como diafragma (perforado) giratorio con una abertura del diafragma dispuesta excéntricamente con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia. Un diafragma perforado de esa clase puede rotar por ejemplo con velocidad angular constante y la dirección de observación respectivamente deseada puede regularse a través de un punto de registro sincronizado del dispositivo de registro de imágenes. De manera alternativa o adicional, el diafragma (perforado) puede estar diseñado de forma desplazable para oscurecer un área deseada del recorrido óptico de observación, o bien para influenciar la orientación del haz de observación.

El diafragma puede estar diseñado también como diafragma conmutable, por ejemplo en forma de un obturador electrónico (por ejemplo de una pantalla LCD o una pantalla LCOS con píxeles conmutables que respectivamente oscurecen una subárea del recorrido óptico de observación) o de un obturador mecánico que presenta varios elementos que pueden activarse mecánicamente, los cuales, mediante un dispositivo de control, pueden conmutarse entre dos estados de conmutación, para ocultar o bien abrir respectivamente una subárea del recorrido óptico del haz de observación. Se entiende que para la observación de alta resolución del área de la pieza de trabajo que debe ser supervisada, con el objetivo de una observación del proceso, pueden abrirse o cerrarse otras áreas de la apertura del recorrido óptico de observación.

En otra forma de realización, la óptica de representación de imágenes está diseñada para generar una gran cantidad de imágenes del área de interacción desde direcciones de observación orientadas de forma diferente. En ese caso, varias imágenes del área de interacción pueden registrarse al mismo tiempo y su imagen puede representarse en una o varias superficies del detector. En ese caso, el dispositivo de evaluación puede evaluar sólo aquella sección o bien aquellas secciones de la superficie del detector que corresponden a una dirección de observación respectivamente deseada, de modo que también en ese caso la dirección de observación puede modificarse en un plano de forma perpendicular con respecto al eje del haz, conmutando entre imágenes registradas desde diferentes direcciones de observación, para determinar un parámetro característico del proceso de corte.

Eventualmente, la óptica de representación de imágenes también puede estar diseñada para registrar una imagen del área de interacción en una dirección de observación que se extiende coaxialmente con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, es decir, paralelamente con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia (usualmente de forma perpendicular con respecto al plano de la pieza de trabajo), por ejemplo para detectar limitaciones de material de la pieza de trabajo, por ejemplo los bordes de corte del corte a modo de sierra. En particular, una observación de esa clase puede tener lugar con una resolución elevada.

En un perfeccionamiento, la óptica de representación de imágenes, para generar una gran cantidad de imágenes del área de interacción desde diferentes direcciones de observación, presenta una gran cantidad de elementos ópticos que representan imágenes. Los elementos ópticos que representan imágenes pueden tratarse por ejemplo de elementos de lente lineales esféricos o esféricos. Los elementos de lente pueden estar dispuestos separados unos de otros en una distancia que aproximadamente corresponde a la distancia entre las imágenes en la superficie del detector. Cada uno de los elementos ópticos que representa imágenes genera un haz propio de representación de imágenes o bien de observación, para generar la imagen respectivamente correspondiente en un área correspondiente de la superficie del detector. Los elementos de lente usualmente están dispuestos de forma excéntrica, es decir, no de forma coaxial con respecto al recorrido óptico del haz perteneciente al haz de gran potencia o bien de su prolongación en el recorrido óptico del haz de observación, para posibilitar la observación deseada bajo un ángulo con respecto a la dirección del haz perteneciente al haz de gran potencia.

En un perfeccionamiento, los elementos ópticos que representan imágenes están dispuestos en una disposición de lentes o bien en una disposición de tramas. Una disposición de tramas de elementos de lente ("lente pequeña" o disposición de lentes), por ejemplo de microlentes, puede realizarse en forma de lentes dispuestas en hileras y columnas o también en forma de dos disposiciones de lentes cilíndricas cruzadas. En el último caso, la óptica de representación de imágenes, de manera adicional con respecto a lentes cilíndricas de una primera disposición de lentes cilíndricas que generan una curvatura o bien un efecto de representación de imágenes a lo largo de un primer eje, presenta una segunda disposición de lentes que generan un efecto de representación de imágenes a lo largo de un segundo eje, perpendicular con respecto al primero. A través de las lentes cilíndricas cruzadas, por una parte, la óptica de representación de imágenes puede producirse de forma conveniente en cuanto a los costes y, por otra parte, puede aprovecharse bien la sección transversal disponible de representación de imágenes.

De manera adicional o alternativa con respecto a la utilización de elementos ópticos de representación de imágenes para generar una o varias imágenes, la óptica de representación de imágenes, con ese fin, puede presentar también un dispositivo para formar un respectivo haz de observación a través de la influencia de una dirección de observación de un recorrido óptico de observación.

A modo de ejemplo, el dispositivo puede estar diseñado también como dispositivo de desviación con al menos un área de desviación del haz asociada a una dirección de observación.

Por ejemplo, la radiación de observación incidente, en ese caso, puede desviarse desde la dirección de desviación en una o varias áreas diferentes de un elemento óptico que representa imágenes, por ejemplo de un elemento de lente, para focalizarse en diferentes áreas, distanciadas unas de otras, en su plano de la imagen, en las cuales se

generan las imágenes del área de interacción. Con ese fin, el dispositivo de desviación puede presentar por ejemplo al menos un prisma deflector. De manera alternativa con respecto a la utilización de un prisma deflector, el dispositivo de desviación puede estar diseñado también de forma reflectante y por ejemplo presentar varias áreas de desviación del haz en forma de superficies de espejo que desvían el haz de observación en diferentes direcciones que están asociadas a una respectiva dirección de observación.

De manera alternativa o adicional, la óptica de representación de imágenes, para generar una o varias imágenes, puede presentar también un dispositivo que influencia dos veces de forma opuesta la dirección del haz del recorrido óptico de observación, para formar un haz de observación, de modo que en conjunto resulta un desplazamiento del haz, es decir, que el dispositivo se trata de un dispositivo de desplazamiento del haz. El dispositivo de desplazamiento del haz en particular puede estar dispuesto en el recorrido óptico de observación focalizado de la óptica de representación de imágenes, por ejemplo entre dos elementos ópticos que forman un telescopio para haces. El dispositivo de desplazamiento del haz puede presentar por ejemplo uno, dos o más bloques de un material transparente para la radiación de iluminación, por ejemplo de vidrio de sílice, los cuales pueden estar conformados como bloques o placas plano paralelos, para producir un desplazamiento paralelo de la radiación de observación incidente. Los bloques pueden estar dispuestos de forma inclinada unos con respecto a otros para lograr que los dos o más haces de observación incidan en diferentes áreas de la superficie del detector, para generar dos o más imágenes lateralmente desplazadas.

En otra forma de realización, el dispositivo de control está diseñado para mantener constante la orientación de la dirección de observación de forma relativa con respecto a la dirección de avance del proceso de corte. De ese modo, también en ese caso, puede determinarse fiablemente un parámetro característico determinado, por ejemplo el ángulo del frente de corte, durante el proceso de corte, de modo que la dirección de avance se modifica durante el proceso de corte.

En una forma de realización, la dirección de observación se extiende en una proyección en un plano de forma perpendicular con respecto al eje del haz, en contra de una dirección de avance del proceso de corte. En el caso de una observación de esa clase, en contra de la dirección de corte del proceso de corte, la cual se denomina también como observación lenta, el frente de corte, en el caso de un ángulo del frente de corte suficientemente reducido, es cubierto por el borde superior del frente de corte; el corte a modo de sierra aparece oscuro. Si la pendiente del frente de corte se vuelve más plana y el ángulo del frente de corte se agranda ya no se presenta más un ocultamiento completo; el corte a modo de sierra aparece claro o aparece claro en secciones. A partir del valor de claridad o bien de la intensidad total medida de la imagen registrada durante la observación lenta o bien de una subárea de esa imagen pueden por tanto sacarse conclusiones sobre el ángulo del frente de corte como parámetro característico del proceso de corte. Como una orientación en contra de la dirección de avance del proceso de corte, en el sentido de esta solicitud, se entienden también direcciones de observación que se desvían en menos de aproximadamente  $\pm 23^\circ$  de la orientación en contra de la dirección de avance, puesto que también en el caso de un ángulo de esa clase pueden determinarse aún desviaciones del ángulo del frente de corte.

En un perfeccionamiento, el dispositivo de evaluación, mediante el área de interacción registrada, está diseñado para determinar un ángulo del frente de corte del corte a modo de sierra y/o una superación y/o una ubicación por debajo de un valor del ángulo del frente de corte, del corte a modo de sierra, como parámetro(s) característico(s) del proceso de corte. Tal como se expuso anteriormente, la longitud del frente de corte visible en esa dirección de observación aumenta al volverse más plano el frente de corte, de modo que mediante una imagen registrada en la observación lenta, de un valor de intensidad determinado, es posible una medición o bien una determinación de la pendiente del frente de corte o bien del ángulo del frente de corte. El valor de intensidad puede tratarse de la intensidad total de la imagen registrada, pero usualmente para determinar el valor de intensidad se evalúa sólo una subárea espacialmente limitada de la imagen registrada en el área del frente de corte, es decir que la intensidad total se determina en la subárea espacialmente limitada. En particular, a través de una comparación de ese valor de intensidad con un valor de referencia de intensidad, el cual por ejemplo corresponde a la intensidad total de una subárea de la imagen registrada que se ubica por fuera del frente de corte, puede registrarse o detectarse una superación de un valor crítico para el ángulo del frente de corte. De manera alternativa o adicional puede registrarse o bien detectarse también una ubicación por debajo de un valor crítico para el ángulo del frente de corte, por ejemplo en el caso de alcanzarse un valor inferior a uno de los valores de intensidad antes descritos. Debido a ello, por ejemplo, pueden evitarse pérdidas durante el corte por láser con gas de oxígeno o contornos imprecisos en el caso de corte por fusión láser con gas inerte, como nitrógeno, a través de la aplicación de demasiada energía. A través de la invención se incrementa la productividad de la máquina de corte, aumentando la velocidad de avance de forma correspondiente.

En otro perfeccionamiento, la apertura numérica de la óptica de representación de imágenes está seleccionada de modo que el ángulo, bajo el cual se extiende la dirección de observación con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, difiere en menos de  $5^\circ$ , preferentemente en menos de  $2^\circ$ , del ángulo del frente de corte predeterminado. Ha resultado conveniente que el ángulo de observación se ubique lo más cerca posible del ángulo del frente de corte, donde en el caso de su superación ya no se encuentra presente un corte de calidad, puesto que en ese caso las variaciones en la intensidad total de la imagen registrada o bien de una subárea de la imagen en el área del frente de corte son especialmente intensas, o bien pueden observarse destellos en la imagen registrada. Los destellos de esa clase se atribuyen a pequeñas modificaciones del ángulo de frente de corte alrededor del

ángulo de observación, ya que en el caso de ángulos del frente de corte temporalmente un poco más pronunciados la iluminación del proceso es ocultada por el lado superior de la pieza de trabajo; pero en el caso de ángulos del frente de corte más planos la iluminación del proceso puede ser detectada por el detector. Cuando casi no existe el riesgo de una interrupción del corte, por ejemplo debido a una potencia láser elevada y a una velocidad de avance reducida, de manera alternativa el ángulo de observación puede seleccionarse de modo que a través de los destellos el detector detecte la ubicación por debajo de un ángulo del frente de corte.

En otra forma de realización, la apertura numérica de la óptica de representación de imágenes está seleccionada de modo que el ángulo del haz de observación, con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, se ubica entre aproximadamente 5° y 15°, preferentemente entre 5° y 10°. Del modo antes expuesto, el ángulo bajo el cual tiene lugar la observación debe coincidir esencialmente con el ángulo del frente de corte deseado o bien predeterminado, en el cual tiene lugar aún un corte de calidad. Los ángulos del frente de corte en los cuales tiene lugar un corte de calidad pueden ubicarse dentro del intervalo antes indicado. En función del proceso, o bien de parámetros del proceso, por ejemplo de la velocidad de avance, así como del material utilizado de la pieza de trabajo, así como en función de la geometría del haz perteneciente al haz de gran potencia, el ángulo del frente de corte máximo posible para un corte de calidad eventualmente puede ubicarse también por fuera de ese rango de valor.

La observación bajo un ángulo (de observación) deseado del haz de observación con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, puede tener lugar a través del elemento de focalización, en tanto se encuentre presente la apertura numérica (NA) requerida. La apertura numérica NA se calcula directamente en base al ángulo de observación deseado en  $NA = n \times \sin(\beta)$  en donde  $n :=$  índice de refracción del medio circundante (en general aire en donde  $n=1$ ); ( $\beta :=$  ángulo de observación (máximo deseado)). La apertura numérica del dispositivo de registro de imágenes o bien de la óptica de representación de imágenes se selecciona de modo que ésta permita una observación bajo el ángulo deseado, o bien dentro de un rango angular deseado con respecto al eje del haz.

En otra forma de realización, el dispositivo de registro de imágenes está diseñado para formar otro haz de observación para observar el área de interacción desde otra dirección de observación y la óptica de representación de imágenes está diseñada para generar otra imagen del área de interacción desde la otra dirección de observación. La generación de dos o más imágenes del área de interacción a partir de dos o más direcciones de observación puede ser conveniente para determinar diferentes parámetros característicos que pueden registrarse absolutamente o pueden registrarse bien, sólo desde una dirección de observación respectivamente diferente. También es posible efectuar una comparación entre dos o más de las imágenes registradas desde diferentes direcciones de observación, para poder determinar uno y el mismo parámetro característico con mayor precisión o para poder extraer información adicional a través de la vinculación o bien la compensación de los datos de imagen.

En otra forma de realización, el dispositivo de evaluación está diseñado para comparar un valor de intensidad determinado a partir de la otra imagen del área de interacción con un valor de intensidad determinado mediante una imagen del área de interacción registrada en una proyección en un plano perpendicularmente con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, en contra de la dirección de avance. En ese caso, la intensidad total de la imagen registrada de forma lenta, es decir, en contra de la dirección de avance, o de una subárea de esa imagen, la cual en particular contiene una imagen del frente de corte, para determinar la pendiente del frente de corte o bien del ángulo del frente de corte se compara con la intensidad total de otra imagen, o bien de una subárea de esa imagen, la cual se registra al mismo tiempo desde otra dirección de observación.

El valor de intensidad determinado a partir de la otra imagen se utiliza como valor de referencia y puede compararse con el valor de intensidad determinado a partir de la imagen registrada en contra de la dirección de corte o bien de la dirección de avance, donde para la comparación se utiliza la intensidad total de la respectiva imagen o la intensidad total de subáreas posicionadas en el mismo lugar en la respectiva imagen. La comparación puede tener lugar de diferente modo, por ejemplo restando uno de otro los dos valores de intensidad. La diferencia obtenida puede compararse con un valor umbral de la intensidad total para determinar si el ángulo del frente de corte supera un valor predeterminado o se ubica por debajo del mismo. En lugar de la diferencia puede compararse con el valor umbral también otra variable que depende de ambos valores de intensidad, por ejemplo el cociente, para determinar el ángulo del frente de corte o bien la superación de un ángulo del frente de corte predeterminado o una ubicación por debajo del mismo.

La dirección de observación desde la cual se registra la otra imagen puede por ejemplo estar orientada en la dirección de avance, es decir que la imagen del frente de corte, registrada de forma lenta, se compara con una imagen registrada de forma rápida, donde las direcciones de observación en el plano de la pieza de trabajo comprenden una con respecto a otra un ángulo de 180°. Sin embargo, también una dirección de observación coaxial que se extiende a lo largo del eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, o eventualmente otra dirección de observación, puede utilizarse también como referencia para determinar el ángulo del frente de corte. Además, una observación coaxial que tiene lugar a lo largo del eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, puede usarse además para posibilitar una observación del proceso con mayor resolución, del área que debe ser supervisada.

En otra forma de realización, la dirección de observación, en un plano de forma perpendicular con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, no está orientada en la dirección de avance (momentánea) del proceso

de corte o en contra de la misma, y el dispositivo de evaluación, mediante la imagen registrada, está diseñado para determinar una formación de rebaba, rugosidad y/o formación de marcas como parámetro(s) característico(s) del corte a modo de sierra. En ese caso, de manera alternativa o adicional con respecto a la determinación de la pendiente del frente de corte, se determina/n otros parámetros característicos del corte a modo de sierra, por ejemplo una formación de marcas o bien una distancia de marcas en la dirección de corte o de avance, así como una profundidad de las marcas en los bordes laterales del corte a modo de sierra, una formación de rebaba en el lado inferior de la pieza de trabajo y/o la rugosidad en los flancos del espacio de corte, del corte a modo de sierra. También la pendiente del frente de corte, expresado con mayor precisión la superación de un ángulo del frente de corte predeterminado, puede constituir un indicador de una interrupción del corte o de una formación de rebaba o bien de marcas (como precedente de una interrupción del corte).

Con ese fin, en particular puede seleccionarse una dirección de observación o pueden seleccionarse dos direcciones de observación orientadas una con respecto a otra en un ángulo de aproximadamente  $180^\circ$ , las cuales se extienden en la proyección sobre el plano de la pieza de trabajo bajo un ángulo de aproximadamente  $\pm 90^\circ$  (usualmente entre aproximadamente  $\pm 70^\circ$  y  $\pm 110^\circ$ ) con respecto a a dirección de avance, puesto que a partir de direcciones de observación de esa clase puede reconocerse especialmente bien la influencia de uno de los dos bordes de corte laterales del corte a modo de sierra en el área de interacción, lo cual facilita la determinación de los parámetros característicos antes mencionados.

En otra forma de realización, el dispositivo comprende adicionalmente una fuente de iluminación para iluminar la pieza de trabajo en el área que debe ser supervisada. La iluminación puede tener lugar en particular de forma coaxial con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, para hacer visible el borde superior de la pieza de trabajo o bien el corte a modo de sierra, facilitando así la determinación de la posición y de la dirección del corte a modo de sierra. La fuente de iluminación puede generar por ejemplo una iluminación en longitudes de onda de entre 360nm y 800nm (VIS) o aproximadamente 800 nm y aproximadamente 1000 nm (NIR). La iluminación puede tener lugar de forma coaxial con respecto a la radiación de gran potencia, es decir en forma de una iluminación vertical. En ese caso, el haz de iluminación puede acoplarse geoméricamente en áreas angulares no usadas para la observación, por ejemplo en forma de un espejo o espejo perforado introducido en el recorrido óptico colimado, el cual guía localmente de forma conjunta los recorridos ópticos de la iluminación y la observación. De manera alternativa, la radiación de iluminación puede acoplarse mediante un divisor de haz, el cual por ejemplo refleja el 50% de la radiación de iluminación y transmite el 50% de la radiación de observación. El divisor de haz puede estar realizado también como divisor de haz de polarización, de modo que sólo llega al recorrido óptico de observación radiación cuya polarización, durante la reflexión, rota sobre la pieza de trabajo. Sin embargo, también es posible orientar la fuente de iluminación de forma no coaxial con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia.

La fuente de iluminación puede estar realizada por ejemplo como láser de diodo, diodo láser (LED) o como lámpara para la producción de destellos, donde una densidad de potencia elevada es ventajosa en un rango espectralmente estrecho para la iluminación. Para garantizar una iluminación homogénea puede ser ventajosa una homogenización de la radiación, por ejemplo a través de una varilla de vidrio o de una fibra de vidrio.

En otra forma de realización, el dispositivo de registro de imágenes está diseñado para registrar la imagen a través de una abertura de boquilla de una boquilla de corte por láser para el paso del haz láser en la pieza de trabajo. En ese caso, el borde interno anular de la abertura de la boquilla, de la boquilla de corte por láser, delimita el área de observación o bien el área que debe ser supervisada, la cual puede registrarse mediante el dispositivo de registro de imágenes. A través de la boquilla de corte por láser puede tener lugar también una observación coaxial del área que debe ser supervisada, para posibilitar una observación del proceso con resolución más elevada.

En otra forma de realización, el dispositivo de registro de imágenes presenta un detector, en particular una cámara, con una superficie del detector, en la cual se genera la imagen. El detector se trata generalmente de un detector con resolución local, por ejemplo de un sensor CCD o de un sensor CMOS que también puede estar realizado como sensor HDR (rango dinámico elevado). Para la detección de varias imágenes puede utilizarse una y la misma superficie del detector de la cámara, pero también pueden proporcionarse varios detectores o superficies del detector para registrar las imágenes. La radiación emitida desde el área de interacción, la cual se usa para la observación, se trata de radiación térmica en un rango de longitud de onda que depende del material de la pieza de trabajo. En el caso de piezas de trabajo que contienen hierro usualmente se considera conveniente una observación en un rango de longitud de onda de entre 800 nm y 1100 nm o bien 1400 nm (rango infrarrojo cercano). En el primer caso puede utilizarse por ejemplo una cámara basada en silicio, en el segundo caso una cámara basada en arseniuro de indio y galio. En el caso de metales no férreos, la temperatura de fusión es más reducida, de modo que eventualmente para la observación pueden ser necesarias o convenientes cámaras que son sensibles para longitudes de onda más prolongadas, por ejemplo en el rango infrarrojo de onda corta (SWIR), de entre aproximadamente  $1,4 \mu\text{m}$  y  $3,0 \mu\text{m}$  (arseniuro de indio y galio), o eventualmente en el rango infrarrojo lejano (FIR) de entre aproximadamente  $15 \mu\text{m}$  y  $1\text{mm}$ . En principio es ventajosa una observación de banda estrecha en un rango de longitud de onda de aproximadamente  $15 \text{nm}$  o menor, para impedir aberraciones cromáticas. Para generar una observación de banda estrecha de esa clase puede proporcionarse en el dispositivo de registro de imágenes un filtro de banda estrecha, selectivo en cuanto a la longitud de onda.



En otra forma de realización, el dispositivo comprende adicionalmente un dispositivo de control y/o de regulación para controlar y/o regular parámetros del proceso de corte en función de al menos un parámetro característico determinado. El dispositivo de control y/o de regulación se utiliza usualmente para controlar o bien regular todo el proceso de corte, es decir el movimiento del haz de gran potencia, requerido para el proceso de corte, de forma relativa con respecto a la pieza de trabajo, así como parámetros de corte, como por ejemplo velocidad de avance o bien velocidad de corte, presión del gas del proceso, potencia láser, etc.

Esos y otros parámetros pueden controlarse o bien regularse en función del valor, o bien de los parámetros característicos determinados. Por ejemplo, en función del ángulo del frente de corte determinado la velocidad de avance puede reducirse de forma controlada o regulada, para impedir una interrupción del corte. Una reducción de la velocidad de avance puede efectuarse por ejemplo cuando se supera el ángulo del frente de corte predeterminado, con el cual tiene lugar aún un corte de calidad.

Otro aspecto de la invención hace referencia a un dispositivo de la clase mencionada en la introducción, en donde el dispositivo de evaluación, mediante el área de interacción registrada, está diseñado para determinar un ángulo del frente de corte del corte a modo de sierra y/o una superación de un ángulo del frente de corte predeterminado y/o una ubicación por debajo del valor de un ángulo del frente de corte predeterminado del corte a modo de sierra como parámetro(s) característico(s) del proceso de corte. De manera adicional, el dispositivo comprende un dispositivo de regulación que está diseñado o bien programado para regular el ángulo del frente de corte a un valor constante, predeterminado, a través de la influencia de al menos un parámetro de ajuste del proceso de corte. El valor constante, predeterminado, del ángulo de frente de corte usualmente coincide con el ángulo del frente de corte predeterminado, en tanto se determine que se alcanza una superación o una ubicación por debajo del valor.

Los inventores han establecido que para la regulación del proceso de corte mediante un haz de gran potencia, en particular mediante un haz láser, es conveniente utilizar la forma tridimensional del frente de corte, en particular el ángulo del frente de corte, como variable de regulación, es decir regular la pendiente del frente de corte o bien el ángulo del frente de corte a un valor objetivo constante, predeterminado. Con ese fin se determina el valor real del ángulo del frente de corte y/o se determina la superación y/o la ubicación por debajo del valor del ángulo del frente de corte, lo cual puede tener lugar del modo antes descrito. La forma momentánea del frente de corte o bien el ángulo momentáneo del frente de corte se utiliza así como valor real para la regulación. Como variable de ajuste, usualmente la energía utilizada por sección introducida en la pieza de trabajo se influencia de modo que para un respectivo tipo de material y grosor del material de la pieza de trabajo se regula una geometría deseada constante o bien una pendiente constante del frente de corte.

Se ha comprobado que la pendiente del frente de corte o bien el ángulo del frente de corte se correlaciona directamente con el límite de la interrupción del corte y en el caso de una pendiente del frente de corte adaptada a la respectiva cáustica del haz se regula un punto de mecanizado óptimo que puede mantenerse poco por debajo del límite de la interrupción del corte. Diferentes cargas del mismo material que, condicionadas por la producción, presentan diferentes inclinaciones de corte y límites de la interrupción del corte, respectivamente poco por debajo del límite de la interrupción del corte individual, presentan la misma pendiente del frente de corte o bien la misma forma del frente de corte.

Los parámetros de ajuste del proceso de corte que pueden influenciarse para regular el ángulo del frente de corte se tratan usualmente de parámetros de ajuste que influyen la energía utilizada por sección, introducida en la pieza de trabajo. La energía utilizada por sección corresponde a la energía suministrada a través del haz de gran potencia, por unidad de longitud (por ejemplo cm), a lo largo del corte a modo de sierra. Los parámetros de ajuste, entre otros, pueden tratarse de la velocidad de avance entre el haz de gran potencia y la pieza de trabajo, de la potencia del haz de gran potencia, de la cáustica del haz o bien de la posición del punto focal del haz de gran potencia, así como de la mezcla de gases y del suministro de gas (es decir por ejemplo del flujo volumétrico) del gas de corte utilizado en el proceso de corte.

En una forma de realización, el dispositivo de regulación está diseñado para seleccionar el parámetro de ajuste para regular el ángulo del frente de corte en función del contorno que debe cortarse, en particular en función de un radio de curvatura del contorno que debe cortarse. Se ha comprobado que la selección del parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte al valor objetivo constante depende de la geometría del contorno que debe cortarse, en particular de su radio de curvatura, puesto que en el caso de un radio de curvatura correspondientemente reducido o bien en el caso de cortarse un contorno comparativamente reducido la velocidad de avance se limita a través de la dinámica de los ejes involucrados en el movimiento. En ese caso es conveniente no utilizar la velocidad de avance sino otro parámetro de ajuste, por ejemplo la potencia del haz de gran potencia, para la regulación del proceso de corte. Sin embargo, la velocidad de avance puede utilizarse como variable de ajuste cuando la potencia del haz de gran potencia alcanza su valor máximo, lo cual sucede usualmente en el caso de contornos rectos más largos (con un radio de curvatura muy grande).

El dispositivo de regulación puede estar diseñado para influenciar la velocidad de avance entre el haz de gran potencia y la pieza de trabajo, como parámetro de ajuste para regular el ángulo del frente de corte, cuando la velocidad de avance está limitada a un valor máximo a través del material y del grosor de la pieza de trabajo - y no a través de la geometría de un contorno que debe cortarse en la pieza de trabajo. La velocidad de avance máxima se

alcanza usualmente al cortar un contorno recto (largo), es decir, en el caso de un corte a modo de sierra que se extiende a lo largo de una recta. La velocidad de avance máxima en este caso no es limitada por la dinámica de los ejes involucrados en el movimiento, sino a través del tipo y del grosor del material cortado de la pieza de trabajo, puesto que en caso de superarse la velocidad de avance máxima antes o después se produce una interrupción del corte. A través de la utilización de la velocidad de avance como variable de ajuste, la velocidad de avance puede adaptarse de modo que se alcanza el ángulo del frente de corte constante deseado y se impide una interrupción del corte.

El dispositivo de regulación, al influenciarse la velocidad de avance, puede estar diseñado para mantener en un valor constante la potencia del haz de gran potencia, en particular en un valor máximo. La productividad del proceso de corte puede aumentarse cuando al cortar contornos en los cuales la dinámica de los ejes involucrados en el movimiento no limita hacia arriba la velocidad de avance, la potencia del haz de gran potencia, por ejemplo del haz láser, se mantiene en un valor constante. El valor constante se trata en particular de un valor máximo para el respectivo dispositivo (por ejemplo máquina de corte por láser), así como para el respectivo tipo y grosor del material de la pieza de trabajo, el cual para muchos materiales coincide con la potencia posible máxima de la fuente del haz, por ejemplo de una fuente láser que genera el haz de gran potencia. De ese modo, puede llevarse al máximo la energía utilizada por sección, introducida en la pieza de trabajo.

El dispositivo de regulación puede estar diseñado para influenciar la potencia del haz de gran potencia, como parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte, cuando la velocidad de avance entre el haz de gran potencia y la pieza de trabajo está limitada a un valor máximo por la geometría de un contorno que debe cortarse en la pieza de trabajo. A diferencia de la forma de realización antes descrita, en este caso la velocidad de avance máxima es limitada por la dinámica de los ejes involucrados en el movimiento entre el haz de gran potencia y la pieza de trabajo, los cuales deben permitir que se siga el contorno que debe cortarse con la precisión deseada. En ese caso es conveniente no utilizar la velocidad de avance como variable de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte, sino la potencia del haz de gran potencia, puesto que de ese modo se aumenta la capacidad del proceso de corte.

Preferentemente, el dispositivo de regulación, al influenciarse la potencia del haz de gran potencia, está diseñado para mantener la velocidad de avance en un valor posible máximo para el corte del contorno, para realizar el proceso de corte con la velocidad máxima posible. El valor máximo posible de la velocidad de avance puede variar a lo largo del contorno que debe cortarse.

El dispositivo de regulación puede estar diseñado para modular la potencia del haz de gran potencia y, como parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte, para influenciar la potencia del haz de gran potencia. El haz de gran potencia se utiliza usualmente en la así llamada "continuous wave" o modo de onda continua, en donde la potencia se genera de forma continua y la amplitud de la potencia se reduce o se aumenta. En particular en el caso de un corte de contornos muy reducidos (con radios de curvatura muy reducidos) al modular la potencia pueden optimizarse la calidad del corte y la capacidad del proceso, es decir que el haz de gran potencia no está encendido de forma permanente. Por ejemplo, en ese caso la potencia puede generarse pulsada y la modulación de la potencia puede utilizarse como variable de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte.

El dispositivo de evaluación puede estar diseñado para determinar una superación del ángulo del frente de corte predeterminado del corte a modo de sierra y el dispositivo de regulación, para regular el ángulo del frente de corte, puede presentar un regulador discontinuo, en particular un regulador de dos puntos o un regulador de tres puntos. Del modo antes descrito, el dispositivo de evaluación puede estar diseñado para no medir el valor del ángulo del frente de corte de forma absoluta, sino solamente para detectar una superación de un ángulo del frente de corte predeterminado o un valor que se ubica por debajo del mismo.

En ese caso, para la regulación se considera ventajoso un regulador discontinuo, por ejemplo en forma de un regulador de dos puntos o de un regulador de tres puntos. En particular, en el caso de la medición de dos puntos o bien de un regulador de dos puntos, la regulación puede realizarse también debido a que el frente de corte oscila alrededor del valor objetivo del ángulo del frente de corte. Puesto que el proceso de corte se desarrolla dinámicamente, el ángulo del frente de corte nunca es absolutamente constante. No obstante, una oscilación alrededor del ángulo del frente de corte constante, predeterminado, puede medirse del modo antes descrito. Eventualmente, en la regulación del ángulo del frente de corte puede considerarse también la frecuencia de oscilación. Sobre el frente de corte se encuentran también "ondas", cuya presencia puede constituir un criterio para una energía utilizada por sección bien regulada o para un corte de calidad.

El dispositivo de evaluación también puede estar diseñado para determinar el ángulo del frente de corte, y el dispositivo de regulación, para regular el ángulo del frente de corte, puede presentar un regulador continuo (por ejemplo lineal), en particular un regulador PID. Tal como se describió más arriba, también es posible determinar el valor absoluto del ángulo del frente de corte. En ese caso es conveniente que para la regulación se utilice un regulador continuo, por ejemplo un regulador PID. También es posible implementar conceptos de regulación más complejos.

Otro aspecto de la invención hace referencia a un procedimiento para supervisar, en particular para regular, un proceso de corte en una pieza de trabajo, el cual comprende: focalización de un haz de gran potencia, en particular de un haz láser, sobre la pieza de trabajo, registro de un área que debe ser supervisada de la pieza de trabajo, la cual comprende un área de interacción del haz de gran potencia con la pieza de trabajo, y determinación de al menos un parámetro característico (a) del proceso de corte, en particular de un corte a modo de sierra formado durante el proceso de corte, mediante el área de interacción registrada. El procedimiento se caracteriza por la formación de un haz de observación para observar el área de interacción, con la ayuda de una óptica de representación de imágenes, desde una dirección de observación que se extiende bajo un ángulo con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, por la generación de una imagen del área de interacción desde la dirección de observación que se extiende bajo el ángulo con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, donde el haz de observación se proyecta excéntricamente con respecto al eje central del elemento de focalización y, con ello, se extiende en un recorrido óptico convergente entre el elemento de focalización y la pieza de trabajo bajo el ángulo con respecto al eje del haz perteneciente al haz de gran potencia, así como por la modificación de la orientación de la dirección de observación en una proyección en un plano de forma perpendicular con respecto al eje del haz en función de una dirección de avance del proceso de corte. El procedimiento posibilita alcanzar las ventajas antes descritas con relación al dispositivo. Se entiende que también las formas de realización descritas anteriormente con relación al dispositivo pueden realizarse como variantes correspondientes del procedimiento.

El procedimiento antes descrito pueden presentar los siguientes pasos adicionales: determinación de un ángulo del frente de corte del corte a modo de sierra y/o de una superación y/o de una ubicación por debajo de un valor del ángulo del frente de corte del corte a modo de sierra como parámetro(s) característico(s) del proceso de corte, así como regulación del ángulo del frente de corte a un valor constante, predeterminado, a través de la influencia de al menos un parámetro de ajuste del proceso de corte.

El parámetro de ajuste para regular el ángulo del frente de corte puede seleccionarse en función de un contorno que debe cortarse en la pieza de trabajo, en particular en función de un radio de curvatura de un contorno que debe cortarse en la pieza de trabajo. Del modo antes descrito, para optimizar la capacidad del proceso o bien la productividad es conveniente seleccionar un parámetro de ajuste adecuado, en función del contorno que debe cortarse.

Como parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte puede influenciarse la velocidad de avance entre el haz de gran potencia y la pieza de trabajo cuando la velocidad de avance es limitada a un valor máximo a través del material y el grosor de la pieza de trabajo. En ese caso es conveniente que al influenciarse la velocidad de avance la potencia del haz de gran potencia se mantenga a un valor constante, en particular máximo, el cual en particular puede coincidir con la potencia máxima que puede generarse de una fuente de radiación, la cual genera el haz de gran potencia.

Como parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte, la potencia del haz de gran potencia puede influenciarse cuando la velocidad de avance entre el haz de gran potencia y la pieza de trabajo está limitada a un valor máximo por la geometría de un contorno que debe cortarse en la pieza de trabajo. En ese caso se considera conveniente que al influenciarse la potencia del haz de gran potencia la velocidad de avance se mantenga en el valor máximo.

En particular al cortar contornos con curvaturas del radio muy reducidas la potencia del haz de gran potencia puede modularse y, como parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte, puede influenciarse la modulación de la potencia del haz de gran potencia.

El valor constante, predeterminado, al cual se regula el ángulo del frente de corte, puede ubicarse entre 2° y 6°, preferentemente entre 3° y 5°. Esos valores para el valor objetivo del ángulo del frente de corte han resultado convenientes en la mayoría de los materiales que deben cortarse, donde se utilizaron grosores del material de entre aproximadamente 3 mm y aproximadamente 25 mm. El procedimiento aquí descrito para la regulación del proceso de corte puede utilizarse tanto para procesos de corte por soplete, como también para procesos de corte por fusión.

Otras ventajas de la invención resultan de la descripción y del dibujo. Las formas de realización mostradas y descritas no deben entenderse como una enumeración definitiva, sino más bien presentan un carácter a modo de ejemplo para describir la invención.

Las figuras muestran:

Figura 1a: una representación esquemática de un ejemplo de realización de un dispositivo para supervisar y regular un proceso de corte por láser en una pieza de trabajo,

Figura 1b: una representación de un diafragma para formar un haz de observación en un dispositivo de esa clase a lo largo de una línea de corte B-B de la figura 1a;

Figuras 2a-2d: cuatro representaciones de imágenes térmicas de un área de interacción entre el haz láser y la pieza de trabajo desde cuatro direcciones de observación diferentes, perpendiculares unas con respecto a otras,

Figura 3: una representación análoga a la figura 1a, con una disposición de trama para generar imágenes del área de interacción desde diferentes direcciones de observación,

Figura 3a: una representación de un contorno circular cortado en la pieza de trabajo,

Figuras 4a -c: representaciones detalladas de la disposición de trama de la figura 3,

5 Figuras 5a, b: representaciones de una óptica de representación de imágenes para el dispositivo de la figura 1a con un prisma deflector para generar imágenes del área de interacción desde diferentes direcciones de observación,

Figuras 6a-d: representaciones de un ángulo del frente de corte en un corte a modo de sierra formado durante el proceso de corte por láser, en el caso de diferentes velocidades de avance, y

10 Figura 7: una representación de una regulación del ángulo del frente de corte a un valor objetivo constante, utilizando una regulación de dos puntos.

La figura 1a muestra una estructura a modo de ejemplo de un dispositivo 1 para supervisar y regular un proceso de corte por láser en una pieza de trabajo 3 mediante un haz láser 2 que está diseñado en forma de una cabeza de mecanizado por láser, la cual forma parte de una máquina de mecanizado por láser que no está representada en detalle. En el ejemplo mostrado, el láser 2 es generado por un láser CO<sub>2</sub>. De manera alternativa, el haz láser 2 puede generarse por ejemplo a través de un láser de estado sólido. El haz láser 2, para realizar el mecanizado de corte en la pieza de trabajo 3, se focaliza en la pieza de trabajo 3 mediante un elemento de focalización en forma de una lente de focalización 4. En el ejemplo mostrado, la lente de focalización 4 se trata de una lente de seleniuro de cinc, la cual focaliza el haz láser 2 a través de una boquilla para mecanizado láser 5, expresado con mayor precisión, a través de su abertura de la boquilla 5a, sobre la pieza de trabajo 3, a saber, en el ejemplo mostrado, en una posición de focalización F en el lado superior de la pieza de trabajo 3. El haz láser 2 forma allí un área de interacción 18 con la pieza de trabajo 3, detrás de la cual, en contra de una dirección de avance v, o bien dirección de corte del proceso de corte por láser, se genera un corte a modo de sierra 16. En el caso de un haz láser 2, desde un láser de estado sólido, puede utilizarse una lente de focalización, por ejemplo de vidrio de sílice.

En la figura 1a puede observarse igualmente un espejo deflector 6 que refleja el haz láser 2 incidente (por ejemplo con una longitud de onda de aproximadamente 10,6 μm) y, para una supervisión del proceso, transmite radiación de observación relevante hacia otro espejo deflector 8 semipermeable. El espejo deflector 6 está diseñado de forma semipermeable, para la radiación de observación en forma de radiación térmica, en el caso de longitudes de onda de aproximadamente 800 nm a 1100 nm, eventualmente superiores a 1100 nm. El otro espejo deflector 8 semipermeable refleja la radiación de observación hacia un dispositivo de registro de imágenes 9. Una fuente de iluminación 10 se utiliza para la iluminación coaxial de la pieza de trabajo 3 con la radiación de iluminación 11. El haz de iluminación 11 se transmite desde el otro espejo deflector 8 parcialmente transmisivo, así como desde el espejo deflector 6, y se desvía a través de la abertura de la boquilla 5a, de la boquilla para mecanizado láser 5, hacia la pieza de trabajo 3.

De manera alternativa con respecto a los espejos deflectores semipermeables 6, 8 pueden utilizarse también espejos con una perforación central o espejos perforados que reflectan la radiación incidente sólo desde un área del borde, para suministrar la radiación de observación 7 al dispositivo de registro de imágenes 9 o bien para suministrar la radiación de iluminación 11 a la pieza de trabajo 3. También puede utilizarse al menos un espejo introducido lateralmente en el recorrido óptico del haz láser 2, para posibilitar la observación.

Como fuente de iluminación 10 pueden proporcionarse láser de diodos, LEDs o lámparas de destellos, las cuales pueden disponerse de forma coaxial como se muestra en la figura 1a, pero también pueden disponerse fuera de eje con respecto al eje del haz láser 13. La fuente de iluminación 10 puede estar dispuesta por ejemplo también fuera (en particular al lado) del dispositivo 1 y puede estar orientada hacia la pieza de trabajo 3; de manera alternativa, la fuente de iluminación 10 puede estar dispuesta dentro del dispositivo 1, pero no puede estar orientada hacia la pieza de trabajo 3 de forma coaxial con respecto al haz láser 2. Eventualmente, el dispositivo 1 puede operarse también sin una fuente de iluminación 10.

Una cámara 12, geoméricamente de alta resolución, dispuesta detrás del otro espejo deflector 8 semipermeable en el recorrido óptico de observación 7, forma parte del dispositivo de registro de imágenes 9. La cámara 12 puede tratarse de una cámara de alta velocidad que está dispuesta coaxialmente con respecto al eje del haz láser 13 o bien con respecto a la prolongación del eje del haz láser 13 y, con ello, está dispuesta independientemente de la dirección. En el ejemplo representado, el registro de imágenes tiene lugar a través de la cámara 12 en el procedimiento de iluminación vertical en el rango de longitud de ondas NIR/IR, para registrar la iluminación propia del proceso, así como para registrar una imagen térmica del proceso de corte. En el ejemplo mostrado en la figura 1a, un filtro puede disponerse delante de la cámara 12 cuando otros intervalos la radiación, o bien de la longitud de onda, deben excluirse del registro con la cámara 12. El filtro puede estar diseñado por ejemplo como filtro de paso de banda, de banda estrecha, con una anchura de valor medio de aproximadamente 15 nm.

Para generar imágenes B1 a B4 de un área 15 de la pieza de trabajo 3 que debe ser supervisada, mostrada en las figuras 2a-d, la cual contiene el área de interacción 18, sobre una superficie del detector 12a de la cámara 12, el

dispositivo de registro de imágenes 9 presenta una óptica de representación de imágenes 14. En el ejemplo mostrado, la óptica de representación de imágenes 14 presenta un diafragma 25 que está montado de forma giratoria alrededor de un eje de rotación central D, de modo que durante la rotación la posición de una abertura del diafragma 25a dispuesta excéntricamente se desplaza en un arco de círculo alrededor del eje de rotación D.

- 5 A través de la disposición del diafragma 25 en el recorrido óptico de la óptica de representación de imágenes 14 focalizado mediante una lente 17, sólo una parte del recorrido óptico de observación 7, que atraviesa un área del borde de la lente de focalización 4 y que está orientada bajo un ángulo  $\beta$  con respecto al eje del haz 13 del haz láser 2 en el recorrido óptico convergente después de la lente de focalización 4, pasa por la abertura del diafragma 25a dispuesta excéntricamente con respecto a la prolongación del eje del haz 13 del haz láser 2, y forma un haz de observación 7a que se representa en la superficie del detector 12a. En el ejemplo mostrado en la figura 1a, una dirección de observación R1 del haz de observación 7a se extiende en la proyección en el plano XY o bien en el plano de la pieza de trabajo en contra de la dirección de avance v, a lo largo de la cual el haz láser 2 y la pieza de trabajo 3 se desplazan relativamente uno con respecto a otro en el plano XY, para formar el contorno de corte deseado.
- 10
- 15 Se entiende que en lugar de un diafragma 25 mecánicamente ajustable puede utilizarse también un diafragma eléctricamente ajustable, por ejemplo en forma de una disposición LCD, en donde píxeles o grupos de píxeles individuales se conectan o desconectan electrónicamente, para generar un efecto de obturación. El diafragma mecánico 25 puede moverse o desplazarse de forma diferente a lo mostrado en las figuras 1a, b, de forma transversal con respecto al recorrido óptico de observación 7, por ejemplo en el plano YZ, para oscurecer diferentes partes del recorrido óptico de observación 7 o para abrir la observación. El diafragma 25 puede realizarse también en forma de uno o de varios elementos mecánicos que pueden abrirse y cerrarse.
- 20

Como puede observarse en las figuras 2a-d, una imagen del área 15 que debe ser supervisada de la pieza de trabajo 3, registrada respectivamente por la óptica de representación de imágenes 14, es limitada por un contorno interno 5b circular de la boquilla de corte por láser 5. El área 15 que debe ser supervisada, limitada por el contorno interno 5b de la boquilla de corte láser 5, contiene una imagen B1 a B4 del área de interacción 18 que, en las representaciones mostradas en las figuras 2a-d, fueron registradas desde direcciones de observación R1 a R4 orientadas de forma diferente.

25

La figura 2a muestra una imagen B1 del área de interacción 18, la cual fue registrada desde la dirección de observación R1 mostrada en la figura 1a. La proyección de la dirección de observación R1 en el plano XY en la figura 2a está representada por una flecha. Del modo antes descrito, la dirección de observación R1 en el ejemplo mostrado en la figura 1a se extiende en contra de la dirección de avance v, es decir, en la dirección R negativa, lo cual se denomina como observación lenta con respecto a un frente de corte 16a en la pieza de trabajo 3, detrás de la cual se conforma el corte a modo de sierra 16. Un ángulo del frente de corte  $\beta$  del frente de corte 16a está definido como aquél ángulo que encierra una línea de unión entre el borde superior del frente de corte 16a en el lado superior de la pieza de trabajo 3 y el borde inferior del frente de corte 16a en el lado inferior de la pieza de trabajo 3 con el eje del haz 13 del haz láser 2, o bien con la dirección del grosor de la pieza de trabajo 3 en forma de placa.

30

35

En la observación lenta existe un ángulo del frente de corte  $\alpha$ , en donde al alcanzarse una ubicación por debajo del su valor el frente de corte 16a y, con ello, también la radiación térmica que se emite desde el mismo, es cubierto completamente por el borde del frente de corte 16a en el lado superior de la pieza de trabajo 3, de modo que el corte a modo de sierra 16 o bien la imagen B1 asociada al área de interacción 18 aparecen oscuros. Si la pendiente del frente de corte 16a es más plana y el ángulo del frente de corte  $\alpha$  es más grande ya no se da un ocultamiento completo del frente de corte 16a a través de su borde superior, de modo que la longitud del freno de corte 16a visible bajo la observación lenta es mayor, y el corte a modo de sierra 16 aparece claro en algunas áreas, o bien aparece todo claro.

40

En base a un valor de luminosidad o de intensidad I1 que se determina a partir de la imagen B1 del área de interacción 18, registrada en la observación lenta, pueden sacarse conclusiones sobre el ángulo del frente de corte  $\alpha$  como parámetro característico del proceso de corte. Como valor de intensidad I1 puede utilizarse la intensidad total medida de la imagen B1, pero el valor de intensidad I1 puede determinarse también mediante un área espacialmente limitada de la imagen B1, la cual contiene por ejemplo el frente de corte 16a. También en ese último caso el valor de intensidad I1 se determina estableciendo la intensidad total en el área o sector de imagen espacialmente limitada.

45

50

Si aumenta el valor de intensidad I1 determinado mediante la imagen B1 registrada, usualmente también aumenta el ángulo del frente de corte  $\alpha$ . Mediante una asociación de valores de medición del valor de intensidad I1 con respecto a ángulos del frente de corte  $\alpha$ , la cual por ejemplo fue determinada en mediciones de prueba precedentes, mediante un dispositivo de evaluación 19, a partir del valor de intensidad I1 determinado bajo la observación lenta puede determinarse el ángulo del frente de corte  $\alpha$ . Para aumentar la precisión puede ser conveniente relacionar el valor de intensidad I1 determinado mediante una subárea o sector de la imagen espacialmente limitados con otro valor de intensidad I2 que se determina mediante otra subárea o sector de la imagen espacialmente limitados de la imagen B1 registrada, los cuales no contienen el frente de corte 16a.

55

Usualmente, sin embargo, para el control o la regulación del proceso de corte no es necesario conocer el valor exacto del ángulo del frente de corte  $\alpha$ . Más bien, puede ser suficiente, a través de una comparación del valor de intensidad I1 o bien de una variable formada por el valor de intensidad I1 y el otro valor de intensidad I2 con un valor umbral  $I_s$ , en el cual puede partirse de la presencia de un corte de calidad, deducir una superación de un valor crítico del ángulo del frente de corte  $\alpha_G$ , en donde ya no se encuentra presente un corte de calidad (véase la descripción más adelante con relación a las figuras 6a-d).

Para la observación lenta ha resultado conveniente que el ángulo  $\beta$  de la dirección de observación R1 con respecto al eje del haz 13 del haz láser 2 coincida esencialmente con el ángulo del frente de corte  $\alpha_G$  predeterminado, en donde aún se encuentra presente un corte de calidad. En particular se considera conveniente que la desviación se ubique en menos de  $5^\circ$ , en particular en menos de  $2^\circ$ . El rango de valor en donde se ubica la desviación, entre otras cosas, depende del rango angular bajo el cual se observa (por ejemplo del tamaño de la abertura del diafragma 25a excéntrica), de modo que la desviación eventualmente también puede resultar más grande.

Para un ángulo del frente de corte  $\alpha_G$  predeterminado de  $8^\circ$ , el ángulo  $\beta$  de la dirección de observación R1 con respecto al eje del haz 13 debe ubicarse entre  $3^\circ$  y  $13^\circ$ , preferentemente entre  $6^\circ$  y  $10^\circ$ . Los ángulos  $\beta$  adecuados de la dirección de observación R1 con respecto al eje del haz 13 del haz láser 2 se ubican usualmente entre aproximadamente  $5^\circ$  y aproximadamente  $15^\circ$ , en particular entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$ , donde el valor exacto depende del grosor de la pieza de trabajo 3, así como del material utilizado de la pieza de trabajo. El ángulo  $\beta$  de la dirección de observación R1 con respecto al eje del haz 13 del haz láser 2, bajo el cual se registra la imagen B1, está predeterminado a través de la distancia entre el eje de rotación D y la abertura del diafragma 25a del diafragma 25. La distancia y, con ello, el ángulo  $\beta$  de la dirección de observación R1 con respecto al eje del haz 13 del haz láser 2 puede regularse o bien modificarse eventualmente a través de un desplazamiento del diafragma 25 en el plano YZ. Para la observación bajo ángulos  $\beta$  grandes de por ejemplo  $6^\circ$  o bien  $10^\circ$  o más, en caso necesario, la lente de focalización 4 puede agrandarse en el diámetro o puede tener lugar una observación desde fuera de la lente de focalización 4, es decir que el recorrido óptico de observación 7 no se extiende a través de la lente de focalización 4, o sólo se extiende parcialmente a través de la misma. También es posible una observación bajo ángulos  $\beta$  más reducidos (usualmente al menos  $2^\circ$ ).

La precisión en la determinación del ángulo del frente de corte  $\alpha$  puede aumentarse cuando éste se relaciona con un valor de intensidad I2 de otra imagen B2 del área de interacción 18, la cual se registra desde otra dirección de observación R2. En el ejemplo mostrado en la figura 2b, la otra dirección de observación R2 en el plano XY con respecto a la (primera) dirección R1, está orientada bajo un ángulo de  $180^\circ$ , es decir que la otra dirección R2 se extiende (en la proyección en el plano XY) en la dirección de avance (dirección X positiva), lo cual se denomina también como observación rápida. Para simplificar una comparación entre los valores de intensidad I1, I2 que se registraron desde las diferentes direcciones de observación R1, R2, el ángulo  $\beta$  es idéntico, el cual presenta las dos direcciones de observación R1, R2 con respecto al eje del haz 13 (véase al respecto también la figura 3), pero eventualmente para las diferentes direcciones de observación pueden seleccionarse también ángulos diferentes.

El valor de intensidad I2 determinado a partir de la imagen B2 de la figura 2b, registrada bajo observación rápida, se utiliza como valor de referencia y puede sustraerse por ejemplo del valor de intensidad I1 de la imagen B1 registrada bajo observación lenta, la cual se muestra en la figura 2a. La diferencia así obtenida o eventualmente un cociente I1/I2 formado en base a los valores de intensidad I1, I2 puede compararse en el dispositivo de evaluación 19 con el valor umbral o valor de referencia  $I_{ref}$ , para establecer si el ángulo del frente de corte  $\alpha$  supera un ángulo del frente de corte  $\alpha_R$  predeterminado, en el cual se encuentra presente aún un corte de calidad. Para la comparación se utilizan usualmente valores de intensidad I1, I2 que corresponden a la intensidad total de las dos imágenes B1, B2; así como en el mismo lugar a subáreas posicionadas de las dos imágenes B1, B2.

De manera adicional o alternativa con respecto a las direcciones de observación R1, R2 mostradas en las figuras 2a, b; las cuales se extienden en o en contra de la dirección de avance v, también es posible efectuar una observación del área de interacción 18 desde direcciones de observación que no se ubican en el plano del dibujo (plano XZ) de la figura 1a, el cual se extiende a lo largo del plano central del corte a modo de sierra 16. Todas las direcciones que, partiendo desde el punto de focalización F, se ubican en una superficie cónica representan posibles direcciones de observación. Puesto que la alineación o bien la orientación de la abertura del diafragma 25a excéntrica fija la dirección de observación, la selección de una dirección de observación adecuada puede tener lugar a través de una rotación del diafragma 25.

Dos imágenes B3, B4 del área de interacción 18, las cuales se registraron desde una tercera dirección de observación R3 bajo  $-90^\circ$  con respecto a la dirección X (es decir, en la dirección Y negativa) o bien desde una cuarta dirección de observación R4 bajo  $+90^\circ$  con respecto a la dirección X (es decir, en la dirección Y positiva), están representadas en las figuras 2c, d. Con la ayuda de esas dos imágenes B3, B4 registradas desde esas dos direcciones de observación R3, R4; los dos bordes laterales del corte a modo de sierra 16 (no mostrados en la figura 1a) pueden observarse con mayor precisión.

El dispositivo de evaluación 19, mediante las imágenes B3, B4 registradas, las cuales se extienden en el plano XY bajo un ángulo de  $\pm 90^\circ$  con respecto a la dirección de avance v, puede determinar una formación de rebaba, rugosidad y/o formación de marcas como parámetro(s) característico(s) del corte a modo de sierra 16. Por ejemplo,

mediante la imagen B3 ' que fue registrada desde la tercera dirección de observación R3, puede determinarse una formación de marcas o bien una distancia de las marcas en la dirección de corte o bien de avance  $v$ , así como una profundidad de las marcas en aquél borde lateral del corte a modo de sierra 16 que en la figura 1a está dispuesto delante del plano del dibujo.

5 De manera correspondiente, también mediante la cuarta imagen B4 que fue registrada desde la cuarta dirección de observación R4 puede determinarse una formación de marcas o bien una distancia de las marcas en aquél borde lateral del corte a modo de sierra 16 que se encuentra detrás del plano del dibujo de la figura 1a. Las marcas pueden detectarse por ejemplo en forma de estructuras que se repiten periódicamente (usualmente en forma de convexidades o bien de depresiones) en el borde de la imagen B3, B4 del área de interacción 18, y mediante la  
10 distancia entre las estructuras puede deducirse una distancia de las marcas, así como mediante la amplitud de las estructuras puede deducirse la profundidad de las marcas.

Mediante las terceras y las cuartas imágenes B3, B4; el dispositivo de evaluación 19 puede determinar también una formación de rebaba en el lado inferior de la pieza de trabajo 3 y/o la rugosidad en los dos flancos o bordes del espacio de corte del corte a modo de sierra 16. En el caso de una formación de rebaba, el borde inferior del corte a modo de sierra 16 ya no se extiende como línea horizontal, de modo que se produce una desviación geométrica en la respectiva imagen B3, B4; la cual puede ser detectada por el dispositivo de evaluación 19. Se entiende que para los fines antes mencionados, la tercera y la cuarta dirección de observación R3, R4 no deben extenderse obligatoriamente bajo un ángulo recto con respecto a la dirección de avance  $v$ . Más bien, eventualmente una observación puede tener lugar también bajo ángulos que en el plano XY se extienden por ejemplo entre aproximadamente  $+70^\circ$  y  $+110^\circ$  (o bien entre  $-70^\circ$  y  $-110^\circ$ ) con respecto a la dirección de avance.  
15  
20

Para poder observar un parámetro característico determinado, por ejemplo el ángulo del frente de corte  $\alpha$ , también en el caso de una modificación de la dirección de avance  $v$  durante el corte a lo largo de contornos de corte curvados bajo una dirección de observación deseada, por ejemplo bajo la dirección de observación R1 en contra de la dirección de avance  $v$ , es necesario modificar la orientación de la dirección de observación R1 en el plano XY en función de la dirección de avance  $v$  o bien en función de la orientación de la dirección de avance  $v$  en el plano XY. Con ese fin puede utilizarse un dispositivo de control y de regulación 20 que hace rotar alrededor del eje de rotación D también el diafragma 25 y, con ello, la abertura del diafragma 25a, al modificarse la dirección de avance  $v$  de forma correspondiente, de modo que la dirección de observación R1 se mantiene orientada siempre en contra de la dirección de avance  $v$ . A través de la rotación conjunta del diafragma 25, también la orientación de cada una de las otras direcciones de observación R2 a R4 mostradas en la figuras 2b-d puede mantenerse constante de forma relativa con respecto a la dirección de avance  $v$ .  
25  
30

Puesto que el dispositivo de control y de regulación 20 controla el proceso de corte, éste dispone de información necesaria sobre la dirección de avance  $v$  momentánea y puede activar de forma adecuada el dispositivo de registro de imágenes 9, expresado con más precisión, el diafragma 25. Eventualmente, el diafragma 25 puede presentar también más de una abertura del diafragma 25a, para posibilitar una observación simultánea del área de interacción 18 desde diferentes direcciones de observación R1 a R4. En ese caso, la óptica para la representación de imágenes 14 puede diseñarse de modo que las imágenes B1 a B4 asociadas a las diferentes direcciones de observación R1 a R4 se generen en diferentes subáreas de la superficie del detector 12a.  
35

Otra posibilidad para la generación simultánea de varias imágenes desde diferentes direcciones de observación R1, R2,... se explica a continuación mediante un dispositivo 1 mostrado en la figura 3. A diferencia del dispositivo 1 mostrado en la figura 1a, en donde el haz de observación 7a se genera a través de una apertura no céntrica (abertura del diafragma 25a) en el recorrido óptico de observación 7, y la representación de imágenes del recorrido óptico de observación 7 tiene lugar mediante una única lente de representación de imágenes 17, céntricamente con respecto al eje del haz 13 del haz láser 2, el dispositivo 1 mostrado en la figura 3 presenta una óptica de representación de imágenes 14 con una gran cantidad de elementos ópticos en forma de elementos de lente 22, 23 que se utilizan para generar una gran cantidad de imágenes en la superficie del detector 12a, del detector 12, las cuales respectivamente se registran desde diferentes direcciones de observación R1, R2.  
40  
45

En el detalle de la óptica de representación de imágenes 14 representado en las figuras 4a-c, ésta presenta una gran cantidad de seis primeras lentes cilíndricas 22 y seis segundas lentes cilíndricas 23 que están dispuestas en una disposición de trama 24 (disposición de lentes), para generar una cantidad de  $6 \times 6 = 36$  imágenes sobre la superficie del detector 12a. La óptica de representación de imágenes 14, además, en el ejemplo mostrado en la figura 3 presenta dos lentes 17a, 17b en una disposición telescópica, para posibilitar una adaptación de la sección transversal del haz, del recorrido óptico de observación, a la superficie de detector 12a de la cámara 12. De manera alternativa, la representación de imágenes de las diferentes direcciones de observación puede tener lugar también según el principio plenóptico o bien mediante una cámara plenóptica. Usualmente no es conveniente evaluar todas las 36 imágenes de forma paralela. Más bien, usualmente la evaluación se limita a aquellas imágenes que son especialmente adecuadas para determinar un parámetro característico determinado.  
50  
55

En ese caso, el dispositivo de control 20, en función de la dirección de avance  $v$  momentánea, controla el dispositivo de evaluación 19, de modo que tiene lugar una evaluación solamente de aquellas imágenes que se registran desde direcciones de observación con una orientación ventajosa para la determinación de un parámetro respectivamente  
60

característico, tal como se describe en detalle más adelante. Si adicionalmente debe modificarse también el ángulo de observación  $\beta$  es necesario seleccionar de forma adecuada o modificar la distancia radial de las imágenes evaluadas por el dispositivo de evaluación 19, con respecto al centro de la disposición de trama 24.

5 En la disposición de trama 24 mostrada en la figura 4a-c pueden emplearse por ejemplo dos imágenes B1, B2 para determinar el ángulo del frente de corte  $\alpha$ , las cuales están asociadas a dos haces de observación 7a, 7b o bien a dos direcciones de observación R1, R2 que esencialmente están orientadas en la dirección de avance  $v$  o bien en contra de la dirección de avance  $v$ , la cual corresponde a la dirección X negativa o bien positiva. Como puede observarse en la figura 4c, debido a la falta de posiciones de imagen en la cámara 12 que en la dirección Y se extienden con simetría especular con respecto al eje X, las direcciones de observación R1, R2, a lo largo de las  
10 cuales se registran las dos imágenes B1, B2, se desvían aproximadamente  $5^\circ$  de la dirección X. Una orientación de esa clase de las direcciones de observación R1, R2 no es ideal, pero igualmente posibilita una observación lenta o rápida y usualmente, por lo tanto, en un caso usual, es suficiente para determinar el ángulo del frente de corte  $\alpha$  con precisión suficiente.

15 Se entiende que en función de la resolución deseada pueden proporcionarse también menos o más lentes cilíndricas en la disposición de trama 24 y que en lugar de lentes cilíndricas 22, 23 cruzadas pueden utilizarse también lentes esféricas o eventualmente asféricas para formar la disposición de trama 24. En el caso más simple, cuatro elementos ópticos que representan imágenes pueden formar la disposición de trama 24. Se entiende que también un elemento óptico individual, dispuesto excéntricamente para la prolongación del eje del haz 13 del haz láser 2 es suficiente para registrar una imagen del área de interacción 18 desde una dirección de observación que se extiende  
20 bajo un ángulo  $\beta$  con respecto al eje del haz 13 del haz láser 2. Eventualmente, la disposición de trama 24 puede limitarse a un área anular, es decir que puede prescindirse de elementos de trama en el centro de la disposición de trama 24, ya que la misma sólo puede usarse para generar imágenes que presentan un ángulo muy reducido con respecto al eje del haz 13 perteneciente al haz láser 2. Eventualmente, en el área central de la disposición de trama 24 puede disponerse céntricamente una lente comparativamente grande, para posibilitar una observación coaxial del  
25 área de interacción 18 con resolución elevada.

En las figuras 5a, b se representa una conformación alternativa de la óptica de representación de imágenes 14 con una lente de representación de imágenes 25 y un dispositivo para influenciar la dirección del haz del recorrido óptico de observación 7 en forma de un dispositivo de desviación del haz diseñado como prisma deflector 26. El prisma deflector 26 presenta cuatro secciones en forma de cuña con superficies 26a-d planas, dispuestas bajo un ángulo  
30 con respecto a la radiación de observación o bien con respecto a su eje del haz, las cuales están dispuestas alrededor de un área 27 plana central. Las primeras dos superficies 26a,b se utilizan como áreas de desviación del haz para desviar la radiación de observación incidente en la dirección X, de modo que la misma incide sobre ésta de forma no perpendicular con respecto al plano central de la lente de representación de imágenes 25, debido a lo cual se forma un primer y un segundo haz de observación 7a, 7b, para generar una primera y una segunda imagen B1, B2 sobre la superficie de detector 12a, las cuales están distanciadas una de otra a lo largo del eje X.

35 La tercera superficie 26c y la cuarta superficie 26d, de manera correspondiente, se utilizan como áreas de desviación del haz para generar una tercera y una cuarta imagen B3, B4 sobre la superficie del detector 12a, las cuales están distanciadas una de otra en la dirección Y. El área 27 central que no desvía la radiación de observación se utiliza para generar una imagen B dispuesta céntricamente en el recorrido óptico de observación 7 sobre la superficie del detector 12a, la cual puede utilizarse para observar el proceso. En el ejemplo de realización mostrado en las figuras 5a, b resulta en total una geometría aproximadamente convexa del prisma deflector 26. Se entiende que también puede utilizarse un prisma deflector con una geometría esencialmente cóncava, para generar la gran cantidad de imágenes B1 a B4.

40 La disposición de desviación 26 mostrada a modo de ejemplo en las figuras 5a,b, utilizando cuatro superficies 26a-c que están dispuestas alrededor del área central, plana 27, y que genera una subdivisión del área angular del recorrido óptico de observación 7 de  $360^\circ$  en cuatro segmentos con respectivamente  $90^\circ$ , usualmente es demasiado imprecisa para poder realizar la determinación del ángulo del frente de corte  $\alpha$  con una exactitud suficiente, puesto que la condición de que la dirección de observación respectivamente seleccionada o bien el haz de observación 7a, 7b respectivamente seleccionado, posibilite una observación en contra de la dirección de avance  $v$  del proceso de  
45 corte, en general no se cumple. Usualmente, para la determinación del ángulo del frente de corte  $\alpha$  con una exactitud suficiente se necesita una subdivisión de toda el área angular disponible de  $360^\circ$  en al menos ocho o bien en al menos dieciséis segmentos de ángulo.

50 Del modo antes descrito, el dispositivo de control y de regulación 20, en función de valor del parámetro específico determinado, puede utilizarse también para intervenir en el proceso de corte y adaptar o modificar determinados parámetros del corte. Mediante las figuras 6a-d se explica en detalle a continuación la influencia del ángulo del frente de corte  $\alpha$  en la calidad del corte o bien en el resultado del corte. La figura 6a muestra un corte o bien un corte a modo de sierra 16, en donde el ángulo del frente de corte  $\alpha$  del frente de corte 16a se ubica aproximadamente en  $3^\circ$ . La figura 6b muestra un frente de corte 16a con un ángulo del frente de corte  $\alpha$  de aproximadamente  $4,9^\circ$ . Ambos ángulos del frente de corte  $\alpha$  se ubican por debajo de un ángulo del frente de corte predeterminado  $\alpha_G = 5^\circ$ , en donde precisamente aún se encuentra presente un corte de calidad. La figura 6c muestra un frente de corte 16a con un ángulo del frente de corte  $\alpha$  de aproximadamente  $10^\circ$ , es decir que se ha superado claramente el ángulo del  
60



frente de corte predeterminado  $\alpha_G = 5^\circ$ , lo cual conduce a una formación de rebaba en el corte a modo de sierra 16. La figura 6d muestra finalmente un frente de corte 16a que se encuentra presente en el caso de una interrupción del corte, en donde el borde inferior de la pieza de trabajo 3 ya no se separa. Se entiende que en la interrupción del corte mostrada en la figura 6d ya no es posible una determinación satisfactoria del ángulo del frente de corte  $\alpha$ .

5 Para impedir la interrupción del corte representada en la figura 6d, el dispositivo de control y de regulación 20, en función del ángulo del frente de corte  $\alpha$  determinado momentáneamente por el dispositivo de evaluación 19, regula a un valor adecuado la velocidad de avance  $v$  del proceso de corte. Al ángulo del frente de corte predeterminado  $\alpha_G$  está asociada en este caso una velocidad de avance  $v$  que - arbitrariamente - se fija como 100%, es decir que se trata de la velocidad de avance máxima, en la cual usualmente aún es posible un corte de calidad. Las velocidades de avance  $V_1$  a  $V_4$  representadas en las figuras 6a-d corresponden al 50% (figura 6a), aproximadamente al 100% (figura 6b), al 110% (figura 6c), así como al 120% o a más (figura 6d) de esa velocidad de avance máxima  $v_{max}$ .

10 La velocidad de avance máxima  $v_{max}$  se trata de un valor indicativo, al cual se encuentra asociado una tarea de mecanizado determinada. Mediante el ángulo del frente de corte  $\alpha$  la velocidad de avance  $v$  puede regularse o bien controlarse de forma adecuada para lograr que el ángulo del frente de corte  $\alpha$  permanezca por debajo del ángulo del frente de corte predeterminado  $\alpha_G$ . La velocidad de avance  $v$  en caso necesario puede reducirse también a un valor por debajo de la velocidad de avance máxima  $v_{max}$  para impedir una superación del ángulo del frente de corte predeterminado (máximo)  $\alpha_G$ .

15 El dispositivo de control y de regulación 20 puede utilizarse también para controlar o bien regular otros parámetros del proceso de corte, por ejemplo la potencia del láser, el flujo de gas, etc., en función del ángulo del frente de corte  $\alpha$  determinado o de otros parámetros del proceso de corte, por ejemplo de la formación de rebaba, la rugosidad y/o la formación de marcas en el corte a modo de sierra 16.

20 Sintetizando, del modo antes descrito pueden determinarse el ángulo del frente de corte  $\alpha$  y/u otros parámetros característicos del proceso de corte. En particular, el ángulo del frente de corte  $\alpha$  puede determinarse también en el caso de que el borde inferior del frente de corte se encuentre por fuera del área visual 15 que es delimitada por la abertura de boquilla 5a de la boquilla de corte por láser 5. Además, la determinación del ángulo del frente de corte puede realizarse de modo fiable en el sentido de un procesamiento de imágenes simple y los componentes requeridos para determinar parámetros característicos pueden integrarse en la cabeza de mecanizado que forma el dispositivo 1.

25 Con la ayuda del dispositivo 1 antes descrito o con la ayuda de otro dispositivo adecuado que posibilite la determinación de una superación y/o de una ubicación por debajo de un valor del ángulo del frente de corte predeterminado  $\alpha_G$  o que posibilite la determinación directa (absoluta) del ángulo del frente de corte  $\alpha$ , puede tener lugar una regulación del ángulo del frente de corte  $\alpha$  a un valor objetivo constante  $\alpha_G$  que aquí, en el ejemplo descrito, coincide con aquel ángulo del frente de corte  $\alpha_G$  cuya superación y/o ubicación por debajo del valor es determinada por el dispositivo de evaluación 19. Para regular el ángulo del frente de corte  $\alpha$  al valor objetivo  $\alpha_G$ , el dispositivo de regulación 20 influye al menos un parámetro de ajuste como variable de ajuste para la regulación, tal como se explica a continuación mediante la figura 7 con el ejemplo de un contorno 30 rectilíneo que se corta en una pieza de trabajo 3.

30 Sobre la pieza de trabajo 3 representada abajo en la figura 7 se muestra un perfil de velocidad, de la velocidad de avance  $v$ , en función del tiempo  $t$ . La escala del eje temporal está seleccionada de modo que un respectivo momento coincide con el lugar de la pieza de trabajo representado inmediatamente debajo, a lo largo del eje X. La velocidad de avance  $v$  es muy elevada al inicio del proceso de corte, es decir que la velocidad de avance  $v$ , con aproximadamente 140%, se ubica marcadamente por encima de la velocidad de avance máxima  $V_{MAX}$  que, del modo antes expuesto, representa un valor indicativo para una tarea de mecanizado determinada que se caracteriza por el grosor  $D$  de la pieza de trabajo 3 y por el material o el tipo de material de la pieza de trabajo 3.

35 Debido a la velocidad de avance  $v$  demasiado elevada al inicio se alcanza un valor inferior al valor objetivo  $S_{OBJETIVO}$  de la pendiente  $S$  del frente de corte 16a, el cual, en el ejemplo mostrado, coincide con un valor objetivo  $\alpha_G$  para el ángulo del frente de corte  $\alpha$  que se ubica en  $\alpha_G = 4^\circ$ . Los valores objetivo  $\alpha_G$  típicos para el ángulo del frente de corte  $\alpha$  se ubican entre aproximadamente  $2^\circ$  y aproximadamente  $6^\circ$ , en particular entre aproximadamente  $3^\circ$  y aproximadamente  $5^\circ$ . Debido a la superación del valor objetivo  $\alpha_G$  del ángulo del frente de corte  $\alpha$  (o bien a la ubicación por debajo del valor objetivo  $S_{OBJETIVO}$  de la pendiente del frente de corte  $S$ ) se produce una interrupción del corte, es decir que la pieza de trabajo 3 no es cortada completamente por el haz láser 2, tal como puede observarse muy bien mediante el lado inferior de la pieza de trabajo 3 mostrado en la figura 7.

40 La superación del valor objetivo  $\alpha_G$  del ángulo del frente de corte  $\alpha$  es determinada por el dispositivo de evaluación 19 del modo antes descrito. Para mantener la pendiente momentánea  $S_{REAL}$  del frente de corte 16a en el valor objetivo  $S_{OBJETIVO}$  (y, con ello, también el valor real del ángulo del frente de corte  $\alpha$  en el valor objetivo  $\alpha_G$ ), el dispositivo de regulación 20 presenta un regulador discontinuo, en el ejemplo mostrado un regulador de dos puntos 31, (véanse la figura 1a y la figura 3). El regulador de dos puntos 31 aumenta o reduce la velocidad de avance  $v$  en función de si el valor real  $S_{REAL}$  de la pendiente del frente de corte 16a se ubica por encima del valor objetivo  $S_{OBJETIVO}$  o por debajo del valor objetivo  $S_{OBJETIVO}$ . De manera correspondiente, la velocidad de avance  $v$  se aumenta o se reduce

en función de si el valor real de la pendiente del frente de corte  $\alpha$  se ubica por debajo o por encima del valor objetivo  $\alpha_G$ . En lugar del regulador de dos puntos 31, también otros reguladores discontinuos, por ejemplo reguladores de tres puntos o similares, pueden estar integrados en el dispositivo de regulación 20 para efectuar la regulación del ángulo del frente de corte  $\alpha$  al valor objetivo  $\alpha_{\text{objetivo}}$ .

5 Durante la regulación de la velocidad de avance  $v$  descrita con relación a la figura 7, la potencia  $P$  del haz láser 2 se mantiene a un valor máximo  $P_{\text{MAX}}$  constante (véase la figura 1a), el cual representa un valor indicativo para la respectiva tarea de mecanizado, es decir el material de la pieza de trabajo 3 y el grosor  $D$  de la pieza de trabajo 3, así como la fuente de láser utilizada. En el caso de materiales usuales como por ejemplo aceros, en general se selecciona la potencia máxima posible  $P_{\text{MAX}}$  de la fuente de láser. La potencia máxima  $P_{\text{MAX}}$  se alcanza usualmente  
10 cuando el contorno que debe cortarse se trata de un contorno 30 rectilíneo, comparativamente largo (con radio de curvatura infinito), como se muestra en la figura 7.

En función del contorno que debe cortarse en la pieza de trabajo 3 ha resultado conveniente utilizar diferentes parámetros de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte  $\alpha$ . Por ejemplo, la velocidad de avance  $v$  puede utilizarse como variable de ajuste cuando la potencia del haz de gran potencia alcanza su valor máximo  $P_{\text{MAX}}$ , lo cual sucede usualmente en el caso de contornos rectos más largos (con un radio de curvatura muy grande) (véase más arriba).  
15

El contorno que debe cortarse se trata de un contorno 34 comparativamente reducido, como se representa en la figura 3a, que presenta un radio de curvatura  $R$  que es tan reducido que la velocidad de avance máxima  $V_{\text{MAX}}$  es limitada por la dinámica de los ejes de movimiento involucrados en el movimiento entre el haz láser 2 y la pieza de trabajo 3, con su aceleración del eje máxima en el orden de magnitud de aproximadamente 1 g. Para cortar un contorno 34 reducido puede utilizarse en particular uno o pueden utilizarse eventualmente varios eje(s) adicional(es), es decir, ejes redundantes, altamente dinámicos, con un área de movimiento o de desplazamiento reducida. En el ejemplo mostrado en la figura 3a la potencia  $P$  de la fuente de láser 33 del dispositivo 1 se utiliza como variable de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte  $\alpha$ . La regulación puede tener lugar de forma análoga al ejemplo descrito con relación a la figura 7. La velocidad de avance  $v$  se mantiene usualmente en el valor máximo posible  $V_{\text{MAX}}$ , el cual puede variar en función del movimiento a lo largo del contorno 34 que debe cortarse, en particular en función del radio de curvatura  $R$ , eventualmente no constante.  
20  
25

Al cortar contornos 34 muy reducidos, en lugar de un modo de onda continua, eventualmente es conveniente modular la potencia  $P$  del haz láser 2 generado por la fuente de láser 33. En particular, en este caso la fuente de láser 33 puede conmutarse a un funcionamiento pulsado. En ese caso, la frecuencia de modulación o bien la frecuencia del pulso  $f_m$  del haz láser 2 puede utilizarse como parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte  $\alpha$ . De manera alternativa o adicional, eventualmente la duración del pulso, de los pulsos del haz láser 2 pulsado, generado por la fuente láser 33, puede utilizarse como parámetro de ajuste para la regulación del ángulo del frente de corte  $\alpha$ .  
30

En lugar de la determinación de la superación de un ángulo del frente de corte predeterminado  $\alpha_G$ , descrita anteriormente con relación a la figura 7, puede determinarse también el valor absoluto del ángulo del frente de corte  $\alpha$ . Esto puede tener lugar por ejemplo del modo descrito en la solicitud WO 2012/107331 A1 mencionada en la introducción, es decir, midiendo en la imagen de la superficie de la pieza de trabajo 3, mostrada en la figura 3a, delimitada por el contorno interno 5b circular, la distancia  $A$  entre el borde superior del frente de corte y el borde inferior del frente de corte, del frente de corte 16a, a lo largo del centro del espacio representado con líneas discontinuas en la figura 3a. El ángulo del frente de corte  $\alpha$  resulta de la distancia  $A$  medida y del grosor  $D$  de la pieza de trabajo 3 según la fórmula  $\alpha = \arctan(A/D)$ .  
35  
40

Si el valor absoluto del ángulo del frente de corte  $\alpha$  es conocido, en el dispositivo de regulación 20, en lugar de un regulador discontinuo 31, ha resultado conveniente utilizar un regulador continuo 32, por ejemplo un regulador PID. Se entiende que el dispositivo 1 puede estar diseñado tanto para determinar el valor absoluto del ángulo del frente de corte  $\alpha$ , como también para determinar la superación del ángulo del frente de corte predeterminado  $\alpha_G$ . La selección del método de determinación o bien del método de regulación puede depender por ejemplo de si el frente de corte 16a puede detectarse bien en el proceso de corte o de si éste sólo puede identificarse con dificultad a través de la iluminación propia del proceso, de modo que la distancia  $A$  no puede determinarse de modo  
45  
50 suficientemente preciso.

A modo de resumen, a través de la regulación aquí descrita, del ángulo del frente de corte  $\alpha$  a un valor objetivo  $\alpha_G$  constante, pueden optimizarse la productividad y la capacidad del proceso, del proceso de corte. En particular, de ese modo puede realizarse eventualmente un proceso de corte "autónomo", en donde el dispositivo 1 regula por sí mismo el punto de trabajo óptimo para diferentes materiales o contornos que deben cortarse.  
55

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (1) para supervisar, en particular para regular, un proceso de corte en una pieza de trabajo (3), el cual comprende:

5 un elemento de focalización (4) para focalizar un haz de gran potencia (2), en particular un haz láser, en la pieza de trabajo (3),

10 un dispositivo de registro de imágenes (9) para registrar un área (15) que debe ser supervisada en la pieza de trabajo (3), la cual comprende un área de interacción (18) perteneciente al haz de gran potencia (2) con la pieza de trabajo (3), así como un dispositivo de evaluación (19) que, mediante el área de interacción (18) registrada, está diseñado para determinar al menos un parámetro característico ( $\alpha$ ) del proceso de corte, en particular un corte a modo de sierra (16) formado durante el proceso de corte,

15 donde el dispositivo de registro de imágenes (9) está diseñado para formar un haz de observación (7a) para observar el área de interacción (18) desde una dirección de observación (R1) que se extiende bajo un ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (3), y donde el dispositivo de registro de imágenes (9) comprende una óptica de representación de imágenes (14) para generar una imagen (B1) del área de interacción (18), desde la dirección de observación (R1) que se extiende bajo el ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (3),

así como un detector (12), en particular una cámara, con una superficie del detector (12a) en donde se genera la imagen (B1),

**caracterizado por que**

20 donde la óptica de representación de imágenes (14) está diseñada para representar sobre la superficie del detector (12a) el haz de observación (7a) que se proyecta excéntricamente con respecto al eje central del elemento de focalización (4) y, con ello, que se extiende en un recorrido óptico convergente entre el elemento de focalización (4) y la pieza de trabajo (3) bajo el ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (3), por que el dispositivo (1) presenta un dispositivo de control (20) que está diseñado para modificar la orientación de la dirección de observación (R1, R2, ...) en una proyección en un plano (X, Y) de forma perpendicular con respecto al eje del haz (13), en función de una dirección de avance (v) del proceso de corte.

25 2. Dispositivo según la reivindicación 1, en donde el dispositivo de registro de imágenes (9) está diseñado para modificar la orientación de la dirección de observación (R1) del haz de observación (7a) en un plano (X, Y) de forma perpendicular con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (2).

30 3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, en donde la óptica de representación de imágenes (14) está diseñada para generar una gran cantidad de imágenes (B1 a B4) del área de interacción (18) desde direcciones de observación (R1 a R4) orientadas de forma diferente.

35 4. Dispositivo según la reivindicación 2 ó 3, en donde el dispositivo de detección de imágenes (9) presenta un diafragma (25) para modificar la orientación de la dirección de observación (R1) perteneciente al haz de observación (7a).

5. Dispositivo según la reivindicación 3, en donde la óptica de representación de imágenes (14) presenta una gran cantidad de elementos ópticos que representan imágenes (22, 23) para generar la gran cantidad de imágenes (B1 a B4).

40 6. Dispositivo según la reivindicación 5, en donde la gran cantidad de elementos ópticos que representan imágenes (22, 23) forma una disposición de trama (24).

7. Dispositivo según la reivindicación 3, en donde la óptica de representación de imágenes (14), para generar la gran cantidad de imágenes (B1 a B4), presenta un dispositivo (27) para formar un respectivo haz de observación (7a, 7b) a través de la influencia de una dirección del haz de un recorrido óptico de observación (7).

45 8. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo de control (20) está diseñado para mantener constante la orientación de la dirección de observación (R1) de forma relativa con respecto a la dirección de avance (v).

9. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la dirección de observación (R1) se extiende en un plano (X, Y) de forma perpendicular con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (2), en contra de una dirección de avance (v) del proceso de corte.

50 10. Dispositivo según la reivindicación 9, en donde el dispositivo de evaluación (19), mediante el área de interacción (18) registrada, está diseñado para determinar un ángulo del frente de corte ( $\alpha$ ) del corte a modo de sierra (16) y/o una superación y/o una ubicación por debajo del valor de un ángulo del frente de corte ( $\alpha_c$ ) del corte a modo de sierra (16) como parámetro(s) característico(s) del proceso de corte.

11. Dispositivo según la reivindicación 10, en donde la apertura numérica de la óptica de representación de imágenes (14) está seleccionada de modo que el ángulo ( $\beta$ ) bajo el cual se extiende la dirección de observación (R1) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (3), se desvía en menos de 5°, preferentemente en menos de 2°, del ángulo del frente de corte ( $\alpha_G$ ).
- 5 12. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la apertura numérica de la óptica de representación de imágenes (14) está seleccionada de modo que el ángulo ( $\beta$ ) de la dirección de observación (R1) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (2) se ubica entre 5° y 15°, preferentemente entre 5° y 10°.
- 10 13. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo de registro de imágenes (9) está diseñado para formar otro haz de observación (7b) para observar el área de interacción (18) desde otra dirección de observación (R2), y en donde la óptica de representación de imágenes (14) está diseñada para generar otra imagen (B2) del área de interacción (18) desde la otra dirección de observación (R2).
- 15 14. Dispositivo según la reivindicación 13, en donde el dispositivo de evaluación (19) está diseñado para comparar un valor de intensidad (I2) determinado mediante la otra imagen (B2) del área de interacción (18) con un valor de intensidad (I1) determinado mediante una imagen (B1) del área de interacción (18) registrada en una proyección en un plano (X, Y) perpendicularmente con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (2), en contra de la dirección de avance (v).
- 20 15. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en donde la dirección de observación (R3, R4), en una proyección en un plano (X, Y) de forma perpendicular con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (2), no se extiende en o en contra de la dirección de avance (v) del proceso de corte, y en donde el dispositivo de evaluación (19), mediante la imagen (B3, B4) registrada, está diseñado para determinar una formación de rebaba, rugosidad y/o formación de marcas como parámetro(s) característico(s) del corte a modo de sierra (16).
- 25 16. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, el cual comprende además una fuente de iluminación (10) para iluminar la pieza de trabajo (3) en el área (15) que debe ser supervisada.
- 30 17. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo de registro de imágenes (9) está diseñado para registrar la imagen (B1) a través de una abertura de boquilla (5a) de una boquilla para mecanizado láser (5) para el paso del haz láser (2) sobre la pieza de trabajo (3).
- 35 18. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, el cual comprende además: un dispositivo de control y/o de regulación (20) para controlar y/o regular parámetros del proceso de corte en función de al menos un parámetro característico ( $\alpha$ ) determinado.
- 40 19. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el dispositivo de evaluación (19), mediante el área de interacción (18) registrada, está diseñado para determinar un ángulo del frente de corte ( $\alpha$ ) del corte a modo de sierra (16) y/o una superación y/o una ubicación por debajo de un valor del ángulo del frente de corte ( $\alpha_G$ ) del corte a modo de sierra (16) como parámetro(s) característico(s) del proceso de corte, y donde el dispositivo (1) comprende además: un dispositivo de regulación (20) para regular el ángulo del frente de corte ( $\alpha$ ) a un valor ( $\alpha_G$ ) constante, predeterminado, a través de la influencia de al menos un parámetro de ajuste (v, P) del proceso de corte.
- 45 20. Dispositivo según la reivindicación 19, en donde el dispositivo de regulación (20) está diseñado para seleccionar el parámetro de ajuste (v, P) para regular el ángulo del frente de corte ( $\alpha$ ) en función de un contorno (31, 34) que debe cortarse en la pieza de trabajo (3).
- 50 21. Procedimiento para supervisar, en particular para regular, un proceso de corte en una pieza de trabajo (3), el cual comprende:

**caracterizado por**

la formación de un haz de observación (7a) para observar el área de interacción (18), mediante una óptica de representación de imágenes, desde una dirección de observación (R1) que se extiende bajo un ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (3),

así como por la generación de una imagen (B1) del área de interacción (18) desde la dirección de observación (R1) que se extiende bajo el ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (3), donde el haz de observación (7a) se proyecta excéntricamente con respecto al eje central del elemento de focalización (4)

y, con ello, se extiende en un recorrido óptico convergente entre el elemento de focalización (4) y la pieza de trabajo (3) bajo el ángulo ( $\beta$ ) con respecto al eje del haz (13) perteneciente al haz de gran potencia (3), así como por la modificación de la orientación de la dirección de observación (R1, R2, ...) en una proyección en un plano (X, Y) de forma perpendicular con respecto al eje del haz (13) en función de una dirección de avance (v) del proceso de corte.

5





