

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 883**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/38** (2014.01)

**B23K 26/03** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2012** **E 17152950 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018** **EP 3189926**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de monitoreo y, en particular, para la regulación de un proceso de corte por láser**

30 Prioridad:

**07.02.2011 DE 102011003717**

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

**17.09.2018**

73 Titular/es:

**TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH + CO.  
KG (100.0%)  
Johann-Maus-Strasse 2  
71254 Ditzingen, DE**

72 Inventor/es:

**HESSE, TIM y  
SCHINDHELM, DAVID**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 681 883 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 de monitoreo y, en particular, para la regulación de un proceso de corte por láser

5 La presente invención se refiere a un dispositivo para el monitoreo y, en particular, para la regulación de un proceso de corte por láser en una pieza de trabajo. Un dispositivo y un procedimiento de este tipo ya se conocen del documento WO 2010/057661 A1, que se basa en el concepto general de las reivindicaciones 1 y 2. Un dispositivo de este tipo es conocido, por ejemplo, del documento DE 10 2005 024 085 A1. Para monitorear un proceso de operación por láser, el dispositivo descrito allí presenta, entre otras cosas, una cámara y un dispositivo de reproducción, que reproduce en la cámara el área a observar desde la zona de interacción o el área de interacción entre el rayo láser y la pieza de trabajo. Las señales de salida de la cámara son conducidas a un circuito de procesamiento, que procesa tanto las señales de la cámara como también las señales de un receptor sensible a la radiación, y sirve para caracterizar el curso del proceso de operación por láser. De este modo, el receptor sensible a la radiación y la cámara pueden detectar diferentes rangos espectrales. No se dan detalles sobre las características utilizadas para la caracterización y su evaluación específica.

15 El documento WO 91/04828 también describe un dispositivo de monitoreo en el que una cámara dispuesta en el cabezal de procesamiento láser de forma coaxial hacia el eje óptico de un rayo láser dirigido en dirección de la pieza de trabajo es empleada para determinar la posición de enfoque durante un proceso de corte por láser. En este caso, la cámara detecta una zona de interacción entre el rayo láser y la pieza de trabajo, y se cierra por el ancho de la zona de interacción en la posición de enfoque o la distancia entre el cabezal de procesamiento láser y la pieza de trabajo.

20 Del documento DE 10 2008 051 459 A1, se conoce otro dispositivo de monitoreo de este tipo, que se emplea en particular para la detección de bordes en el procesamiento por capas de cuerpos por medio de rayos láser. El dispositivo comprende un detector de reproducción de imágenes para la transferencia de una imagen digital modificada a la escala de grises o de colores genuinos / de colores codificados a un sistema de procesamiento de datos.

25 El documento DE 43 36 136 C2 describe un procedimiento para el procesamiento láser en el que la luz láser reflejada en la pieza de trabajo junto con la luz secundaria generada vuelve a un oscilador láser y allí, con la ayuda de un espejo, se separa una parte de la luz láser y de la luz secundaria. La luz secundaria es registrada por un sensor de luz de forma separada de la porción de luz láser, y de la porción de luz secundaria restante es desviada una señal de control para controlar el procesamiento del láser. En un ejemplo de realización, es irradiada la superficie de la pieza de trabajo y es detectada la radiación reflejada que pasa a través de una abertura de boquilla para determinar una trayectoria de corte o un punto de corte durante el corte por láser. La posición del punto de corte se compara con el centro de la boquilla para regular el proceso de corte por láser de modo que la posición del punto de corte coincida con el centro de la boquilla. Además, basándose en la observación de la abertura de la boquilla, se determina la deformación o una obstrucción de la abertura de la boquilla.

35 Además, con respecto al desplazamiento del centro de la boquilla, del documento EP 1 728 581 A1 se conoce un dispositivo y un procedimiento para la alineación de un rayo láser hacia el centro de la boquilla, en el que se registran respectivamente una imagen de una boquilla iluminada y un rayo láser enfocado y a través de una unidad de evaluación de imágenes son colocados en relación el uno al otro.

40 Además, a partir del documento JP 07116885 se conoce el monitoreo del impacto del frente de corte ("red heat region") para detectar la descamación del material. Si este se expande, se cambia a un gas inerte como gas de corte en lugar de oxígeno. El documento JP 11320149 da a conocer una valoración basada en una comparación de señales de luz recibidas para el mismo propósito o para distinguir entre un procesamiento correcto y otro incorrecto. En el documento DE 101 29 751, para detectar la descamación del material, la temperatura de la pieza de trabajo se monitorea cerca del corte y se compara con un límite de temperatura con la ayuda de dispositivos de medición de temperatura infrarroja.

45 A partir de los ejemplos dados del estado actual de la tecnología es evidente que la detección y la evaluación de una multitud de características que determinan la calidad del proceso de corte por láser es muy compleja debido a dispositivos y procedimientos basados en diferentes principios de detección y evaluación. Esto aplica tanto a la estructura del dispositivo mismo como también al procesamiento de la señal.

50 Sin embargo, el dispositivo descrito anteriormente y los procedimientos correspondientes para evaluar las imágenes registradas del proceso no proporcionan una imagen completa que sería adecuada para caracterizar todo el proceso de corte por láser. En particular, la calidad del corte en sí no se reproduce de forma suficiente y la regulación no se lleva a cabo completamente a lo largo de todo el curso del proceso. Bajo todo el curso del proceso, en este contexto, no se entiende sólo el proceso de corte como tal, sino que el curso del proceso también puede abarcar tanto el proceso de perforación, así como los diversos cortes sucesivos por láser dentro del alcance de una secuencia de proceso.

**Objetivo de la presente invención**

La presente invención tiene por objetivo proporcionar un dispositivo y un procedimiento para el monitoreo del proceso y en particular para la regulación del proceso, que permita la detección y evaluación en serie o en paralelo de un gran número de características que caracterizan el proceso de corte por láser.

## 5 Objeto de la presente invención

Este objetivo se resuelve mediante un dispositivo según la presente invención de acuerdo con la reivindicación 1. Para monitorear el proceso de corte por láser, se propone tomar una imagen de una sección (es decir, de un área monitoreada) de la pieza de trabajo, que puede abarcar típicamente la zona de interacción entre el rayo láser y la pieza de trabajo durante un proceso de perforación o un proceso de corte, es decir, durante un movimiento relativo entre el rayo láser y la pieza de trabajo, así como una ranura de corte por formarse o ya formada. La unidad de evaluación puede detectar dos o más límites del material sobre la base de la imagen tomada y determinar al menos un parámetro característico del proceso de corte sobre la base de una relación geométrica entre los límites del material. Adicional o alternativamente, con una elección adecuada del rango de longitud de onda detectado, por ejemplo, en el rango NIR, puede registrarse una imagen térmica o una iluminación propia del proceso del área monitoreada, en particular, de la zona de interacción, y el dispositivo de evaluación puede determinar al menos un parámetro característico del proceso de corte por láser sobre la base de la imagen térmica o de la iluminación propia del proceso. También es posible una detección de la iluminación del proceso con la ayuda de los rayos UV, en cuyo caso por lo general se detecta la radiación que emana de un plasma. En particular, con el dispositivo pueden determinarse los parámetros característicos con la ayuda de la misma lógica de detección y evaluación, de modo que se simplifican la estructura del dispositivo, así como la implementación del procedimiento. En este caso, el dispositivo de evaluación está diseñado o programado para determinar o calcular los parámetros característicos sobre la base de los datos suministrados por el dispositivo de detección.

Con este dispositivo pueden de este modo determinarse un gran número de dimensiones o características de proceso a consultar para el proceso de monitoreo y/o regulación sobre la base de algunas características geométricas registrables por la unidad de detección relacionadas con el proceso o de la zona de interacción con la ayuda de la unidad de evaluación. Los parámetros suministrados por la unidad de evaluación pueden ser consultados para la regulación del proceso de operación por láser a través de una evaluación, que puede tener lugar tanto en la unidad de evaluación como también en una de las unidades lógicas posteriores (por ejemplo, un dispositivo de regulación).

Como parámetros característicos pueden determinarse, por ejemplo: La formación de cráteres durante el proceso de perforación, el ancho, trazo de corte y descamación del material (self-burning) durante el proceso de corte, calidad del corte (formación de rebabas) durante el proceso de corte, así como interferencias, por ejemplo, debido a un espaciado insuficiente de las boquillas y conexión y/o desconexión del rayo láser no sincronizado con proceso. Uno de estos parámetros característicos que determinan la calidad del proceso de monitoreo y/o proceso de regulación es también el ángulo frontal de corte. La determinación del parámetro mencionado anteriormente se describirá a continuación en detalle. El dispositivo de evaluación está diseñado para detectar como límites del material un borde superior frontal de corte de una superficie de una pieza de trabajo orientada hacia el rayo láser incidente y un borde inferior frontal de corte de una superficie de una pieza de trabajo opuesta al rayo láser incidente y para determinar un ángulo frontal de corte del proceso de corte por láser, teniendo en cuenta el grosor de la pieza de trabajo como parámetro característico. El ángulo frontal de corte durante un proceso de corte por láser depende de varios parámetros de corte, en particular, de la velocidad de avance o corte. Si el ángulo frontal de corte difiere de un valor deseado o de un rango deseado, esto puede indicar un error de corte que puede ser corregido por medio de medidas adecuadas, como, por ejemplo, un ajuste de la velocidad de corte.

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un procedimiento mencionado al principio que comprende los siguientes pasos: La determinación de al menos un parámetro característico del proceso de corte por láser, en particular, una calidad de corte, sobre la base de una relación geométrica entre al menos dos de los límites del material detectados y/o sobre la base de la zona de interacción. Durante el procedimiento para monitorear un proceso de corte por láser pueden tener lugar, en particular, las formas de realización o desarrollos adicionales descritos anteriormente en relación con el dispositivo o con el dispositivo de evaluación, como pasos de procedimiento adicionales, que lógicamente no se abordarán a continuación en mayor detalle para simplificarlo, durante el procedimiento el ángulo frontal de corte es determinado como parámetro característico del proceso de corte por láser. Otras ventajas de la presente invención se desprenden a partir de la descripción y los dibujos. Asimismo, las características mencionadas anteriormente y otras figuran pueden emplearse individualmente o en cualquier combinación como se define en las reivindicaciones adjuntas. En estos se ilustra:

55 Fig. 1 una representación esquemática de una forma de realización de un dispositivo según la presente invención para monitorear y regular un proceso de corte por láser con una unidad de captura de imágenes,

Fig. 2 una representación de una imagen tomada con la unidad de captura de imágenes de la pieza de trabajo,

Fig. 3 una representación de una imagen de la pieza de trabajo, mediante la cual se detecta un extremo del corte en un borde de la lámina de metal de la pieza de trabajo,

Fig. 4 una representación de una imagen de la pieza de trabajo, mediante la cual se detecta un extremo del corte en un perfil ya cortado, mediante la cual se determinan múltiples parámetros característicos del proceso de corte,

Fig. 5 otra representación de una imagen de la pieza de trabajo, mediante la cual se detecta un inicio del corte,

Fig. 6 una representación de una imagen de la pieza de trabajo durante un proceso de perforación,

Figs. 7a-c representaciones de una imagen térmica del área monitoreada de la pieza de trabajo durante el corte por fusión y ante un corte de calidad (Fig. 7a), un residuo (Fig. 7b) y una rebaba (Fig. 7c), así como

Fig. 8 una representación de una imagen térmica durante un oxicorte ante un corte de calidad.

Fig. 1 muestra a modo de ejemplo una estructura de un dispositivo 1 para el monitoreo y regulación de proceso de un proceso de corte por láser en una pieza de trabajo 2 por medio de un sistema de procesamiento por láser de CO<sub>2</sub>, del que en la Fig. 1 sólo se representa una unidad de procesamiento 3 (parte de un cabezal de procesamiento por láser) con una lente de enfoque 4 a partir de seleniuro de zinc para enfocar un rayo láser de CO<sub>2</sub> 5 del sistema de procesamiento de láser, una boquilla de gas de corte 6, así como un espejo deflector 7. En el presente caso, el espejo deflector 7 está diseñado parcialmente permeable y forma, por lo tanto, un componente del lado de la entrada del dispositivo 1 para el monitoreo del proceso.

El espejo deflector 7 refleja el rayo láser de CO<sub>2</sub> 5 incidente (con una longitud de onda de aproximadamente 10 µm) y transmite radiación 8 relevante para el monitoreo del proceso, reflejada por la pieza de trabajo 2, así como emitida por la zona de interacción, en un rango de longitud de onda que en el presente ejemplo se encuentra entre unos 550 nm y 2000 nm. Como alternativa al espejo deflector 7 parcialmente permeable, también puede emplearse un espejo rascador o un espejo perforado para conducir la radiación del proceso 8 al dispositivo 1. Sin embargo, el empleo de un espejo raspador típicamente da como resultado el desvanecimiento de una parte de la radiación del proceso, así como la limitación del diámetro del haz en bruto. El empleo de un espejo perforado por lo general da como resultado efectos de difracción de la radiación del proceso, así como a una fuerte influencia en la radiación láser (de CO<sub>2</sub>).

En el dispositivo 1, detrás del espejo 7 parcialmente permeable, se dispone otro espejo deflector 9, que desvía la radiación del proceso 8 en una cámara de alta resolución geométrica 10 como unidad de captura de imágenes. La cámara 10 puede tratarse de una cámara de alta velocidad, que esté dispuesta de forma coaxial al eje del rayo del láser 11 o a la prolongación del eje del rayo del láser 11 y, por lo tanto, de sentido independiente. En principio, cabe la posibilidad de tomar la imagen por medio de la cámara 10 también en el proceso de luz incidente, es decir, en el rango de longitud de onda VIS, eventualmente también en el rango de longitud de onda NIR, siempre que se prevea una fuente de iluminación adicional que irradie en el rango NIR, así como, alternativamente, el registro de la iluminación propia del proceso en un rango de longitud de onda entre UV y NIR/IR.

Para obtener una mejor reproducción, en el presente ejemplo, se proporciona entre el espejo parcialmente permeable 7 y la cámara 10, un sistema óptico 12 de enfoque, de reproducción representado en la Fig. 1 como una lente, que enfoca en la cámara 10 la radiación relevante 8 para monitorear el proceso. Como resultado de un diseño esférico del sistema óptico de reproducción o de la lente 12 para el enfoque, pueden evitarse o al menos reducirse las aberraciones esféricas en la reproducción.

En el ejemplo mostrado en la Fig. 1, es ventajoso un filtro 13 frente a la cámara 10 si se excluyen del registro con la cámara 10 otros componentes de radiación o de longitud de onda. El filtro 13 puede estar diseñado, por ejemplo, como un filtro de paso de banda de banda estrecha con baja anchura a media altura, para evitar o reducir aberraciones cromáticas. La posición de la cámara 10, así como el elemento óptico de reproducción 12 existente en el presente ejemplo y/o el filtro 13 a lo largo del eje del rayo láser 11 puede ser ajustado, así como cambiado según sea necesario a través de un sistema de posicionamiento 14 conocido por el experto, representado por una doble flecha 14 para simplificarlo.

En el presente ejemplo la cámara 10 funciona en el proceso de luz incidente, es decir, se prevé una fuente de iluminación adicional 15 por encima de la pieza de trabajo 2, que a través de otro espejo parcialmente permeable 16 se acopla por radiación lumínica 17 de forma coaxial al eje del rayo láser 11 en la trayectoria del rayo. Como una fuente de iluminación adicional 15 pueden preverse diodos de láser, por ejemplo, con una longitud de onda de 658 nm o diodos de láser de una longitud de onda de 808 nm, que, como se muestra en la Fig. 1, estén dispuestos de forma coaxial pero también fuera del eje hacia el rayo láser 11. La fuente de iluminación adicional 15 también puede, por ejemplo, estar dispuesta fuera (en particular junto a) la unidad de procesamiento 3 y dirigida hacia la pieza de trabajo 2; Alternativamente, la fuente de iluminación 15 puede disponerse dentro de la unidad de procesamiento 3, sin embargo, no se puede dirigirse de forma coaxial al rayo láser 5 sobre la pieza de trabajo 2.

Como se muestra en la Fig. 2, la cámara 10 captura una imagen de alta resolución 20 de un área a monitorear 21 (sección) de la pieza de trabajo 2. La imagen 20 está delimitada por el perfil interno circular 6a (compara con Fig. 1) de la boquilla 6.

5 En el ejemplo representado en la Fig. 2, la imagen 20 muestra el área a monitorear 21 durante un proceso de corte por fusión láser, en el que la pieza de trabajo 2 se mueve en una dirección de avance VBLECH con relación a la boquilla 6 o a la unidad de procesamiento 3 (cabezal de procesamiento de láser). Alternativa o adicionalmente, el movimiento relativo entre la pieza de trabajo 2 y la boquilla 6 o la unidad de procesamiento 3 (cabezal de procesamiento de láser) es llevado a cabo a través del movimiento de la boquilla 6 o la unidad de procesamiento 3.  
10 Durante el proceso de corte por fusión, se forma un área de interacción 22, 23 entre el rayo láser 5 y la pieza de trabajo 2, que comprende una zona de avance de calor 22, así como un frente de corte 23, al que le sigue una ranura de corte 24 (a continuación, también indicado como junta de corte) en la dirección de avance VBLECH.

Un dispositivo de evaluación 18 mostrado en la Fig. 1 sirve para evaluar la imagen 20 y, en particular, para detectar límites del material dentro del área monitoreada 21 en la parte superior 2a y la parte inferior 2b de la pieza de trabajo 2. El dispositivo de evaluación 18 está conectado a prueba de fallos a un dispositivo de regulación 19 que también se muestra en la Fig. 1, este controla o regula el proceso de corte por láser, a saber, en función de los parámetros característicos del proceso de corte por láser determinados por el dispositivo de evaluación 18.  
15

Entre otras cosas, la unidad de evaluación 18 puede determinar las siguientes características de un proceso de corte por láser sobre la base de la imagen de la cámara 20 para determinar los parámetros característicos: Límites del material en la parte superior e inferior de la pieza de trabajo 2a, 2b, en particular, bordes de la pieza de trabajo, borde de boquilla y centro de boquilla de la boquilla de procesamiento por láser, dimensiones geométricas de la junta de corte (no sólo bordes de corte opuestos, sino también el área de la zona de interacción, por ejemplo, el frente de corte), posición de la junta de corte en relación al borde/centro de la boquilla, posición de las áreas ya cortadas en relación a la actual posición de corte, etc. La detección de estas y otras características para determinar los parámetros característicos del proceso de operación por láser se describen con más detalle a continuación.  
20

25 En el ejemplo mostrado en la Fig. 2, se determina como parámetro característico el ancho A2 de la junta de corte 24 sobre la base de la imagen de alta resolución de la cámara 20, mientras que la unidad de evaluación 18 detecta los bordes de corte K1.1 y K1.2 de la junta de corte 24 y determina su distancia, que coincide con el ancho de corte A2. En un proceso de corte por láser, los bordes de corte K1.1, K1.2 generalmente se extienden (prácticamente) de forma paralela, de modo que el ancho de corte A2, en particular, en el caso de un corte en blanco, es (prácticamente) constante.  
30

La propia unidad de evaluación 18 o una lógica posterior, por ejemplo, el dispositivo de regulación 19, puede determinar por medio de la comparación con el ancho de corte deseado previamente definida y colocado para la comparación, si, por ejemplo, en el caso de un ancho de la ranura de corte mínimo A2MIN insuficiente se produzca un trazo de corte, es decir, la ausencia completa de una junta corte, o en el caso de un ancho de la ranura de corte mínimo A2MAX excedido se produzca una descamación del material (self-burning) o en el caso de un oxicorte de acero estructural se presenten lixiviaciones (vórtices).  
35

Alternativa o adicionalmente, una descamación del material también puede ser determinada a través de la modificación (temporal) en el ancho de la ranura de corte A2, tanto con respecto a una modificación absoluta como también a través de la velocidad de modificación. También pueden realizarse de forma paralela varios procedimientos de evaluación respecto al ancho. Una descamación del material conduce a un ensanchamiento de los bordes de corte K1.1, K1.2, así como del frente de corte 23, que, eventualmente, puede llegar a ser tan grande que la ranura de corte 24 se haga más ancha que la abertura de la boquilla 6a o el contorno de la boquilla K3, de modo que los bordes de corte K1.1, K1.2 en el área monitoreada 21 ya no pueda ser reconocida. En este caso, se modifica la imagen 20 de la ranura de corte 24 mostrada en la Fig. 2 con los bordes de corte K1.1, K1.2 prácticamente paralelos a un frente de corte casi semicircular o la sección 21 de la pieza de trabajo 2 sólo muestra un radio correspondiente al frente de corte. Con la descamación del material, el frente de corte no termina directamente con el rayo láser 5, sino que está situado delante de este, ya que en este caso el gas de corte domina el proceso de combustión.  
40  
45

Alternativa o adicionalmente a la insuficiencia de la distancia mínima A2MIN, puede detectarse un trazo de corte sobre debido a una superficie F2 que esté formada entre un borde frontal K2.1 y un borde posterior K2.2 del frente de corte 23 detectado. Para este fin, la superficie F2, que corresponde a la proyección del frente de corte 23 en el plano XY, se coloca en relación a un área de referencia. Se produce un trazo de corte cuando la superficie F2 alcanza el tamaño de la superficie de referencia, es decir, la relación superficie de referencia / F2 es igual a uno. En este caso, la superficie de referencia corresponde al área del frente de corte proyectado en el caso de un corte en blanco, es decir, en el caso de un corte con buena calidad de corte. El trazo de corte también puede ser detectado si el brillo del frente de corte 23 es mayor al de un corte de referencia en blanco, donde la iluminación puede presentarse continua y/o esporádicamente, y donde el área luminosa es aproximadamente igual o mayor al ancho de la junta de corte A2.  
50  
55

En base a una imagen 20, como se muestra en la Fig. 2, también pueden reconocerse vórtices en el oxicorte de acero estructural cuando estos comienzan desde arriba (es decir, desde la parte superior de la pieza de trabajo 2a), a saber, en base a un aumento no periódico del ancho de la ranura de corte A2 o en base a la pérdida (al menos temporal) de paralelismo entre los bordes de la ranura de corte K1.1, K1.2. Al observar una iluminación de proceso, como se describe a continuación en relación con las Figs. 7a-c y la Fig. 8, los vórtices también pueden ser detectados por una disminución del brillo, así como por la aparición de destellos, es decir, aumentos cortos e intensos del brillo en el área del frente de corte 23, a saber, típicamente de forma puntual en el frente de corte exterior, en el área de transición a los bordes de corte paralelos K1.1, K1.2.

Además de la determinación de un trazo de corte o una descamación del material o de vórtices, a través del ancho de la junta de corte A2 también puede determinarse la posición del punto central de la herramienta P2, que a continuación también se indicará como TCP (Tool Center Point). Cuya posición en la dirección Y está definida por una línea central 25 que se extiende de forma paralela y central a los bordes de corte opuestos K1.1, K1.2 de la junta de corte 24. La posición del TCP P2 también puede determinarse en la dirección X, a saber, como línea central entre los bordes K5.1, K5.2 de otra junta de corte 27, que en el ejemplo mostrado en la Fig. 2 fue producida en un proceso de corte por láser anterior (con dirección de avance en dirección Y). En base a las dos juntas de corte 24, 27, el punto central de la herramienta P2 puede definirse claramente en el plano XY (paralelo a la superficie de la pieza de trabajo). Se entiende que, en principio, en lugar de la junta de corte 27 que se muestra extendiéndose de forma perpendicular a la junta de corte 24, para determinar el punto central de la herramienta P2 en el plano XY también puede recurrirse a cualquier otra junta de corte 24 que no se extienda de forma paralela a la junta de corte.

El punto central de la herramienta P2 determinado de esta manera puede emplearse para ajustar y monitorear la posición de la boquilla de la boquilla de corte 6 a través de la cual pasa el rayo láser 5, a saber, con referencia al centro de la boquilla P1. En este caso, el centro de la boquilla P1 se determina a partir del contorno (interno) de la boquilla circular K3 detectado a través de la unidad de captura de imágenes 10, cuando de cuyo punto central circular se determina el centro de la boquilla P1. De esta forma, puede determinarse una distancia A3 entre el centro de la boquilla P1 y el punto central de la herramienta P2. En particular, al detectar una desviación entre el centro de la boquilla P1 y el punto central de la herramienta P2 puede intervenir en el proceso de corte por láser con ayuda del dispositivo de regulación 19 para corregir la posición del rayo láser 5 en relación a la boquilla 6, de modo que el punto central de la herramienta P2 coincida con el centro de la boquilla P1.

En la detección del contorno interno K3 de la boquilla 6, en particular, debido a la forma geométrica de la boquilla de corte, puede producirse un deterioro mecánico de la misma, a saber, al reconocerse desviaciones del contorno deseado (típicamente circular) de la boquilla 6. Los deterioros pueden producirse, entre otras cosas, por una colisión de la boquilla 6 con la pieza de trabajo 2, con bandas de soporte (no mostradas) u otros contornos que interfieran, o por una fuerte excentricidad del rayo láser (con respecto al centro de la boquilla P1), donde el rayo láser 5 afecta el borde interno de la boquilla 6a y lo derrite localmente. Debido a un daño de este tipo, que generalmente no es detectado por el operador de la máquina, la dinámica del gas de corte y, por lo tanto, la calidad del corte puede modificarse negativamente.

A continuación, mediante las ilustraciones de las Figs. 2 y 1 se explicará la determinación del ángulo frontal de corte en un proceso de corte por láser de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 2. Para determinar el ángulo frontal de corte, primero se determina una distancia A4 entre el borde superior frontal de corte K2.1 y el borde inferior frontal de corte K2.2, los cuales, como se describió anteriormente, se detectan con la ayuda del dispositivo de evaluación 18 como límites del material. El ángulo frontal de corte  $\alpha$  mostrado en la Fig. 1 viene dado por la función trigonométrica  $\alpha = \arctan(A4/d)$  de la distancia A4 entre el borde superior frontal de corte K2.1 y el borde inferior frontal de corte K2.2 medido a lo largo del centro de la ranura 25, así como desde el ancho d de la pieza de trabajo 2.

Con la ayuda del dispositivo 1 de la Fig. 1, también es posible determinar una distancia A5 entre la boquilla del gas de corte 6 y la pieza de trabajo 2, más precisamente, la parte superior de la pieza de trabajo 2a. Con este propósito, la lente 12 que precede a la unidad de captura de imágenes 10 se desplaza a lo largo del eje óptico 11 con la ayuda del sistema de posicionamiento 14, de modo que se modifica la distancia entre un plano de la imagen 10a del dispositivo de captura de imágenes 10 para capturar la imagen 20 y de la lente 12. En una primera distancia b1 entre el plano de la imagen 10a y la lente 12, la pieza de trabajo 2 o su parte superior 2a se encuentra dentro del rango de la profundidad de campo del dispositivo de captura de imágenes 10, de modo que puede detectarse al menos un límite del material de la pieza de trabajo 2, por ejemplo, los bordes de corte K1.1, K1.2. A una segunda distancia b2, la boquilla 6 se encuentra en el rango de la profundidad de campo del dispositivo de captura de imágenes 10, de modo que el dispositivo de evaluación 18 detecta un contorno interno K3 de la boquilla 6 como límite del material. En base a la diferencia b1 - b2 entre las dos distancias b1, b2, en las cuales se detecta el contorno interno de la boquilla K3 o los bordes de corte K1.1, K1.2 por el dispositivo de evaluación 18, puede ser calculada la distancia A5 entre la boquilla 6 y la pieza de trabajo 2.

En la Fig. 3 se muestra una detección de un extremo de corte al alcanzar o pasar un borde de una lámina de metal K4 en el borde externo de la pieza de trabajo 2. La posición del borde de la lámina de metal K4 detectado es dispuesto en este caso hacia el punto central de la herramienta P2 para determinar una distancia (no mostrada en la Fig. 3) entre el punto central de la herramienta P2 y el borde de la lámina de metal K4. Al conocer esta distancia, el

dispositivo de regulación 19 puede desconectar el rayo láser 5 tan pronto como este alcance el borde de la lámina de metal K4, de modo que se evita que la pieza de trabajo 2 separada resulte dañada por un rayo láser 5 encendido por demasiado tiempo. Dependiendo de la aplicación específica, dicha desconexión de este tipo también puede llevarse a cabo antes de que el punto central de la herramienta P2 alcance el borde de la lámina de metal, a saber, tan pronto como la distancia al borde de la lámina de metal K4 sea lo suficientemente pequeña para poder realizar una separación completa de la pieza de trabajo 2 a pesar de la desconexión.

De forma análoga a la Fig. 3, la Fig. 4 muestra una detección de un extremo de corte de un contorno ya cortado, es decir, de una junta de corte 27 ya existente. La desconexión del rayo láser 5 puede tener lugar de forma análoga al alcanzar o pasar el borde de la lámina de metal K4 en la Fig. 3, cuyo papel en la imagen 20 mostrada en la Fig. 4 se toma por el primer borde de corte K5.1 orientado en la dirección del proceso de corte.

Alternativamente, mediante la detección de los dos bordes de corte K5.1, K5.2 ya existentes de la ranura de corte adicional 27, puede definirse el ancho de la ranura de corte A1 y, a su vez, el punto de extremo P3 de la ranura de corte 24 que entra en la junta de corte 27. Este punto de extremo P3 típicamente se encuentra centrado, es decir, está dispuesto a la misma distancia (0,5 A1) a los bordes de corte opuestos K5.1, K5.2. Pero, dependiendo de la aplicación, este punto de extremo P3 también puede desplazarse en la dirección del borde de corte K5.1 que sea alcanzado primero por el corte, por ejemplo, si la junta de corte 24 entrante es más grande que la junta de corte 27 ya existente que se extiende transversalmente hacia ella. En el caso inverso, es decir, si la junta de corte 24 entrante es más pequeña que la junta de corte 27 que se extiende transversalmente hacia ella, un desplazamiento hacia atrás del punto de extremo P3 también puede ser favorable, siempre que el rayo láser 5 se apague al menos a tiempo para evitar un daño del borde de corte posterior 5.2 de la junta de corte 27 adicional.

En general, por medio de la detección de la posición relativa de una junta de corte 27 ya generada en un punto central de la pieza de trabajo (TCP) P2 en el proceso, también se puede detectar una desviación de trayectoria y corregirla con la ayuda del dispositivo de regulación 19 si excede el rango de tolerancia.

El caso representado en la figura 5 de la detección del inicio del corte se efectúa de forma comparable a la detección del extremo de corte descrito en las Fig. 3 y 4. Pero, en contraste con la detección del extremo de corte, el rayo láser 5, en función de la relación (de la posición) del punto central de la pieza de trabajo P2 a la junta de corte 27 que se extiende transversalmente (o también en un ángulo diferente), no está apagado, sino activado o encendido. Se entiende que la detección de un inicio de corte en un borde de lámina de metal K4 tiene lugar de forma análoga al procedimiento descrito en relación con la Fig. 3. La detección de un inicio de corte es adecuada, en particular, al reanudar de un proceso de corte después de un trazo de corte o al reanudar un proceso de corte después de un movimiento relativo entre la unidad de procesamiento 3 y la pieza de trabajo 2, por ejemplo, debido a ciclos en los que el proceso de corte por láser es interrumpido y posteriormente debe volver a iniciarse o ser retomado exactamente en el mismo lugar.

La Fig. 6 muestra la imagen 20 de un área a monitorear 21 de la pieza de trabajo 2 durante un proceso de perforación, en el que se realiza un orificio circular 28 en la pieza de trabajo 2. Los dos factores principales que influyen en el proceso de perforación, a saber, la composición química del material y el acabado de la superficie de la pieza de trabajo 2, pueden variar de un fabricante a otro o de un lote a otro. En el proceso de perforación, en particular, en acero estructural, por ejemplo, con espesores del material de 15 mm, pueden surgir eventualmente problemas durante el proceso de perforación debido a estas diferencias en las propiedades del material. El proceso de perforación en acero estructural grueso se altera de tal manera que el rayo láser no realiza la perforación de un orificio fino, sino que debido al sobrecalentamiento y a la posterior reacción exotérmica del hierro y el oxígeno, forma un cráter cónico, cuyo contorno se representa en la Fig. 6. El dispositivo de evaluación 18, en este caso, puede detectar el contorno interno K6.1 del orificio 28, así como el borde externo del cráter K6.2, de modo que se detecta una inminente formación de cráteres y el dispositivo de regulación 19 puede disponer de contramedidas apropiadas como, por ejemplo, una pausa de refrigeración. La disposición de contramedidas puede tener lugar, por ejemplo, cuando se excede un valor límite para la distancia A6 entre el límite interno K6.1 y el límite exterior K6.2 (borde del cráter) del orificio de perforación 28. Se entiende que también puede concluirse la formación de cráteres cuando el contorno externo K6.2 del orificio de perforación 28 llega a ser tan grande que desaparece del área 21 captada por la cámara 10 a través de la boquilla 6.

Las Figs. 7a-c muestran respectivamente una imagen 20 de la iluminación del proceso en el rango NIR/IR de un área de interacción 31 en un proceso de corte por fusión que se capta con la cámara 10 al emplear un filtro 13 que sólo era translúcido para la radiación del proceso 8 en el rango (cercano al) infrarrojo, donde los contornos mostrados representan los límites entre áreas de diferente intensidad del proceso de radiación 8 y los contornos de la pieza de trabajo 2 no son detectados. La radiación del proceso 8 detectada por la imagen 20 se trata de una iluminación propia del proceso de corte por láser que típicamente (al menos parcialmente) comprende el baño de fusión. La imagen 20 de la iluminación del proceso no puede ser equiparada directamente con una distribución de temperatura dado que la intensidad medida I (compárese con la Fig. 1) depende sustancialmente de la temperatura T de acuerdo con la siguiente fórmula:  $I = \epsilon \cdot T^4$ , donde  $\epsilon$  indica el grado de emisión (entre 0 y 1). Dado que el grado de emisión  $\epsilon$ , en el presente caso, puede ser cercano a cero, las afirmaciones sobre la temperatura son difíciles de deducir de la distribución de intensidad. Sin embargo, a continuación, para simplificarlo, la distribución de intensidad medida también se identificará eventualmente como imagen térmica.

En base a las imágenes (térmicas) 20, puede determinarse la formación de rebabas o su ausencia durante el corte por láser y, por lo tanto, la calidad del corte. La Fig. 7a muestra la imagen 20 del área de interacción 31, en la que se produce un corte de calidad (con bordes de corte prácticamente lisos). El área de interacción 31 presenta a lo largo de la dirección de avance VBlech un único halo central o un único destello de luz 29. Además, cuando se observa la estela del área de interacción 31 durante un período de tiempo más largo (varios segundos), se produce un centelleo esporádico. La forma del área de interacción 31 mostrada en la Fig. 7a, así como el centelleo esporádico (es decir, el aumento y la disminución repetitivos en el brillo) se deben a una expulsión de masa fundida homogénea, que, en un corte de calidad, se desplaza hacia adelante y hacia atrás en la dirección de avance. Si no se observa un centelleo, esto es una indicación de formación de rebabas durante el proceso de corte (a saber, de la presencia de rebaba).

La Fig. 7b muestra una imagen 20 del área de interacción 31 en presencia de formación de rebabas, a saber, en la formación de residuos, en el que, en el presente ejemplo, se observan dos tiras brillantes de luz 30a, 30b orientadas desde el frente de corte 23 hacia atrás junto a los dos bordes de corte (no mostrados), así como otra tira de luz 30c, que se extiende en el medio entre las dos tiras de luz exteriores 30a, 30b. Las tiras de luz 30a-c son, en este caso, relativamente largas, lo que indica la presencia de un flujo de fusión azimutal con una formación de residuo muy por detrás en la estela.

La imagen 20 del área de interacción 31 representada en la figura 7c apunta asimismo a una formación de rebaba, concretamente a un reborde de rebaba. En este caso, no se observa ningún halo central o tira de luz, ya que el volumen completo de la masa fundida alimenta la rebaba. Tampoco se produce ninguna proyección de chispas directamente por debajo de la boquilla 6 de gas de corte, de modo que no se produce ningún centelleo en este caso; más bien, el proceso de corte por láser se desarrolla sin fluctuaciones apreciables en la intensidad detectada de la radiación del proceso 8.

Finalmente, en la figura 8 se muestra una imagen térmica 20 o una imagen de la iluminación propia del proceso en el rango NIR/IR, como la que se produce en un proceso de oxicorte de acero estructural (que emplea oxígeno como gas de corte). En un proceso de este tipo, las partes superiores de los bordes de corte presentan ranuras recurrentes periódicamente, las cuales pueden observarse en la imagen térmica 20 como estrías 33. En el área del frente de corte 23 se presenta en la imagen 20 del área de interacción 31 en presencia de un corte en blanco, es decir, sin formación de rebabas, un mínimo local 32 con una intensidad de radiación reducida con relación a la intensidad en el entorno. El tamaño del área F1 de mínimo de intensidad 32 (declive de radiación) puede monitorearse y, en caso de que este disminuya demasiado, se contrarresta con la formación de rebabas al cambiar adecuadamente los parámetros del proceso.

En base a la imagen térmica de la Fig. 8, también puede detectarse la inminencia de una descamación del material. En este caso, puede aprovecharse que la frecuencia  $f$  de las estrías 33 en la imagen térmica 20 del área de interacción 31 disminuye en la zona del borde de corte en el que es inminente una descamación del material, de modo que pueden tomarse las contramedidas apropiadas para prevenir la aparición de erosiones del material. Las estrías 33 o una disminución en la frecuencia  $f$  de las estrías alternativamente también pueden detectarse en el rango VIS.

También puede ser detectada una descamación del material ya producida y/o justo antes de producirse en la base a un aumento del brillo en la intensidad general de la imagen térmica 20 se puede detectar, debido a que el área luminosa que se observa a través de la boquilla 6 aumenta en el caso de una descamación del material. Adicional o alternativamente, una descamación del material también puede detectarse en base a una mayor fluctuación del valor de brillo total en relación a un proceso de corte convencional.

Por supuesto que las imágenes térmicas 20 pueden ser comparadas con los límites de los materiales (contornos de la pieza de trabajo 2) detectados (en longitudes de onda en un rango visible) con el fin de mejorar la determinación de los parámetros característicos para el proceso de corte por láser. En este caso, puede ser detectado un trazo de corte, en particular, en piezas de trabajo de acero inoxidable, cuando el ancho de la superficie luminosa en la imagen térmica capturada, que sustancialmente corresponde al ancho del frente de corte, es mayor que el ancho A2 de la ranura de corte perpendicular a la dirección de avance VBlech (compárese con Fig. 2).

Tanto la detección de los límites del material como también la detección de la imagen térmica del área de interacción se llevan a cabo en el dispositivo mostrado en la Fig. 1 con la ayuda de una sola cámara como dispositivo de captura de imágenes. Para este fin, el filtro de longitud de onda 13 se ajusta adecuadamente o se desplaza dentro de la trayectoria del rayo de la luz del proceso 8 hacia dentro y nuevamente hacia afuera. Se entiende que, para la detección en paralelo de los límites del material y la imagen térmica, el dispositivo de captura de imágenes 10 también puede presentar otras cámaras o detectores.

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo (1) para el monitoreo y, en particular, para la regulación de un proceso de corte por láser en una pieza de trabajo (2), que comprende:
- 5 un dispositivo de captura de imágenes (10) para la captura de una imagen (20) de un área a monitorear (21) de la pieza de trabajo (2), que comprende en particular un área de interacción (22, 23, 31) de un rayo láser (5) con la pieza de trabajo (2), así como
- un dispositivo de evaluación (18) para detectar límites del material (K1.1 bis K6.1, K1.2 hasta K6.2, K3; K4), en particular, de bordes (K1.1 hasta K6.1, K1.2 hasta K6.2, K4) de la pieza de trabajo (2), en base a las imágenes tomadas (20),
- 10 donde el dispositivo de evaluación (18) ha sido diseñado para determinar en base a una relación geométrica entre al menos dos de los límites del material (K1.1 bis K6.1, K1.2 hasta K6.2, K4) detectadas y/o en base al área de interacción (22, 23, 31), al menos un parámetro característico, en particular, una cualidad de corte del proceso de corte por láser,
- caracterizado porque
- 15 el dispositivo de evaluación (18) está diseñado para detectar como límites de material un borde superior frontal de corte (K2.1) de una superficie de una pieza de trabajo (2a) orientada hacia el rayo láser incidente (5) y un borde inferior frontal de corte (K2.2) de una superficie de una pieza de trabajo (2b) opuesta al rayo láser incidente (5) y para determinar un ángulo frontal de corte ( $\alpha$ ) del proceso de corte por láser, teniendo en cuenta el grosor (d) de la pieza de trabajo (2) como parámetro característico.
- 20 2. Procedimiento para el monitoreo y, en particular, para la regulación de un proceso de corte por láser en una pieza de trabajo (2), que comprende:
- la captura de una imagen (20) de un área a monitorear (21) de la pieza de trabajo (2), que comprende en particular un área de interacción (22, 23, 31) de un rayo láser (5) con la pieza de trabajo (2), así como la evaluación de la imagen tomada (20) para detectar límites del material (K1.1 bis K6.1, K1.2 hasta K6.2, K3; K4), en particular, de
- 25 bordes (K1.1 hasta K6.1, K1.2 hasta K6.2, K4) de la pieza de trabajo (2),
- la determinación de al menos un parámetro característico del proceso de corte por láser, en particular, una calidad de corte, sobre la base de una relación geométrica entre al menos dos de los límites del material detectados (K1.1 hasta K6.1, K1.2 hasta K6.2, K4) y/o sobre la base de la zona de interacción (22, 23, 31),
- caracterizado porque
- 30 un borde superior frontal de corte (K2.1) de una superficie de una pieza de trabajo (2a) orientada hacia el rayo láser incidente (5) y un borde inferior frontal de corte (K2.2) de una superficie de una pieza de trabajo (2b) opuesta al rayo láser incidente (5) son detectados como límites del material y que a partir de ello se determina un ángulo frontal de corte ( $\alpha$ ) del proceso de corte por láser, teniendo en cuenta el grosor (d) de la pieza de trabajo (2) como parámetro característico.
- 35

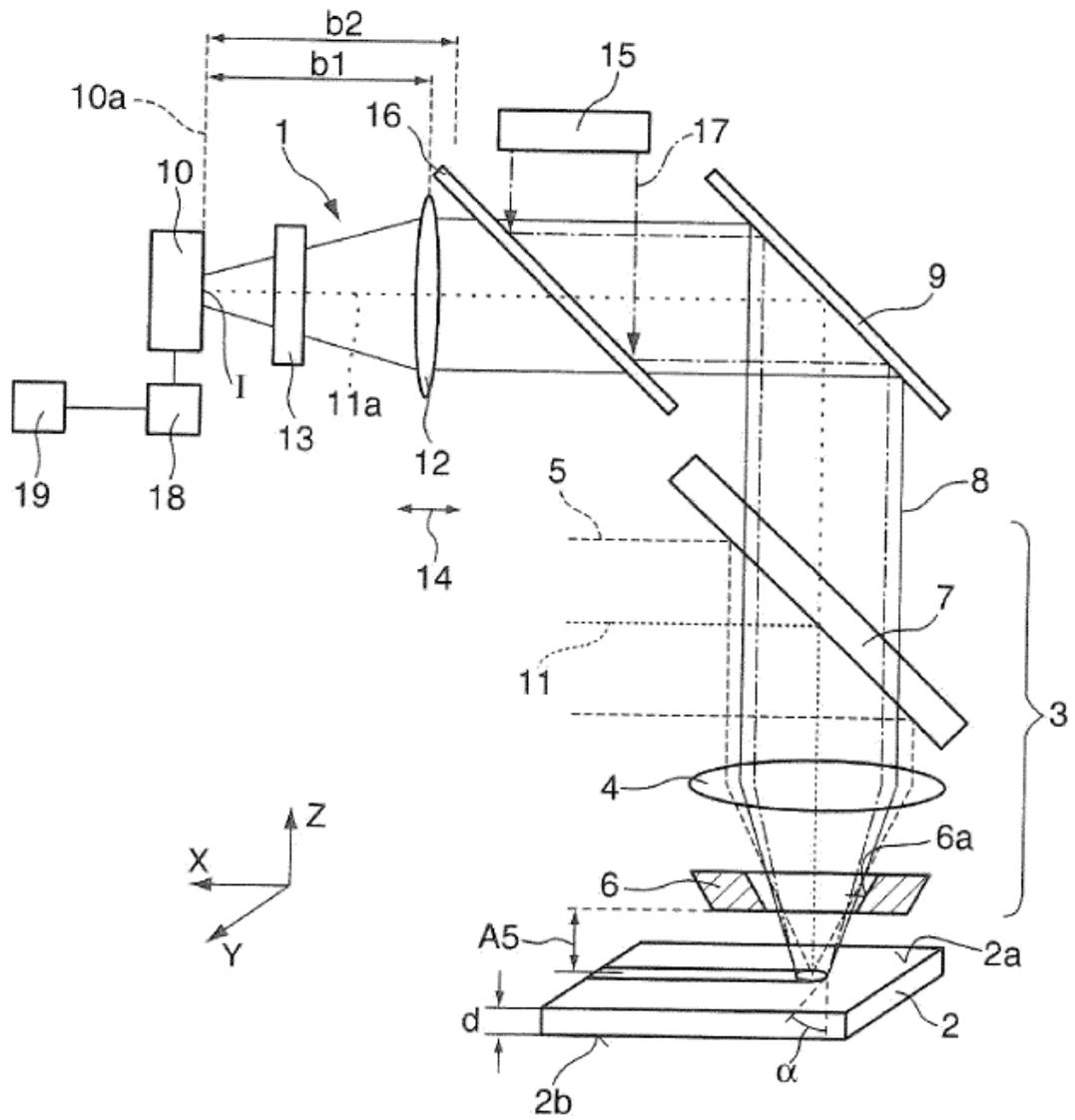


Fig. 1



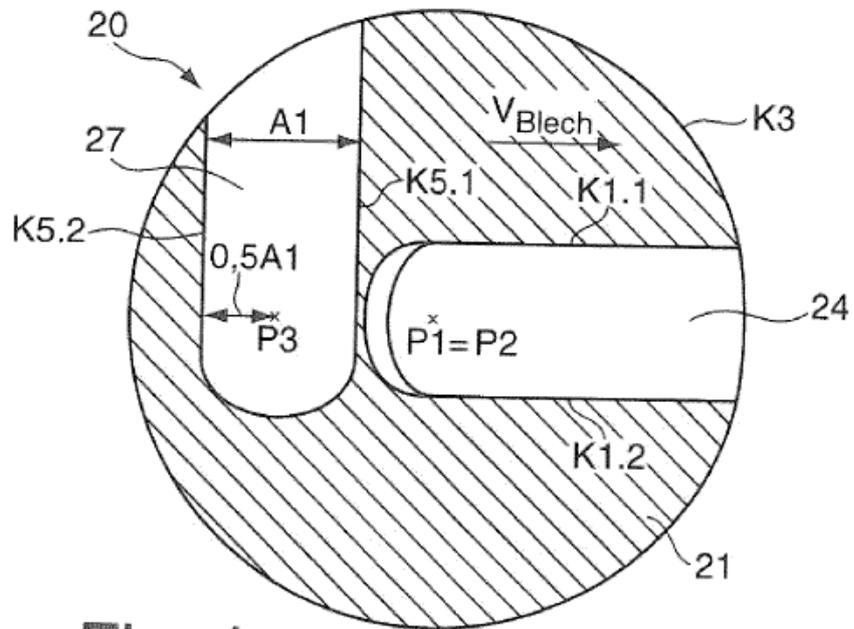


Fig. 4

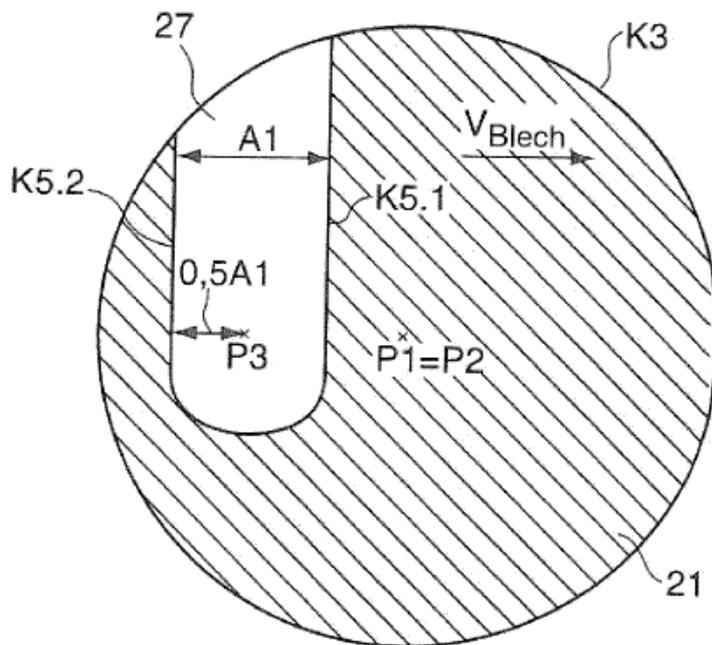


Fig. 5

