

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 407**

51 Int. Cl.:

**B23K 26/38** (2014.01)

**B23K 26/03** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.12.2011 PCT/EP2011/071708**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12110129**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.12.2011 E 11790635 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2675588**

54 Título: **Procedimiento para el control de corte mecanizado sobre una pieza de trabajo**

30 Prioridad:

**15.02.2011 DE 102011004117**

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

**28.07.2017**

73 Titular/es:

**TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECHNIK GMBH  
(100.0%)  
Johann-Maus-Strasse 2  
71254 Ditzingen, DE**

72 Inventor/es:

**HAGENLOCHER, TOBIAS y  
ZIMMERMANN, MARKUS**

74 Agente/Representante:

**AZNÁREZ URBIETA, Pablo**

ES 2 627 407 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).

## PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE CORTE MECANIZADO SOBRE UNA PIEZA DE TRABAJO

### Descripción

5

La presente invención se refiere a un procedimiento para el control del corte mecanizado de una pieza para separar una parte de la misma del material residual, a lo largo de un contorno de corte deseado.

- 10 Un corte mecanizado, especialmente de piezas de trabajo planas como p.ej. chapa, puede realizarse por medio de un procesamiento térmico, p.ej. corte por rayo láser, o por medio de un procesamiento mecánico, p.ej. por taladro (perforación). El corte por rayos láser se realiza mediante un cabezal de mecanizado con láser que se desplaza a lo largo de un contorno de corte con
- 15 relación a una pieza dispuesta sobre una superficie de procesamiento. Para generar un movimiento relativo el cabezal de mecanizado por láser y/o la pieza se pueden mover sobre la superficie de procesamiento. Durante el corte de una pieza por medio de taladro, éste se realiza normalmente con una prensa troqueladora fija, pudiéndose mover la pieza sobre la superficie de procesamiento.
- 20 Se entiende que con la misma máquina herramienta se puede realizar un procesamiento tanto de taladro como térmico.

En un corte mecanizado se divide la pieza a lo largo de un contorno de corte (normalmente cerrado) en una o varias partes y una parte de material residual (pieza o rejilla residual) (ver EP-A-1433563). Durante el recorte total las partes de

25 la pieza caen de la rejilla residual y si se trata de piezas utilizables se pueden almacenar en elementos de carga dispuestos debajo de la rejilla residual. Sin embargo dichos fragmentos cortados de la pieza también pueden ser residuos que serán eliminados después del corte.

30

Durante el corte de separación puede suceder que por fallos del procedimiento o parámetros del proceso mal ajustados, haya fragmentos individuales de la pieza, especialmente pedazos de corte, que no se separen del todo de la rejilla residual

y por lo tanto no caigan de la misma, de forma que durante el corte mecanizado dentro del contorno de corte deseado no se produzca una rotura completa en la rejilla residual. Estos fallos normalmente no se detectan durante el proceso automatizado, sino que los descubre durante un control de calidad posterior un  
5 operador u otro participante en el proceso. Pedazos de corte son en este contexto fragmentos de la pieza recortados de piezas utilizables para el producto de contorno deseado y que serán mayormente desechados como residuos.

La patente US 4,504,727 describe un sistema para dirigir un proceso de  
10 mecanizado por láser sobre una platina. Durante proceso de perforación a través de varias capas, compuestas por diferentes materiales, se puede reconocer un punto final de corte mediante una señal fotoacústica generada por el rayo láser pulsado sobre el correspondiente material de capa, lo cual evita un fallo de corte.

15 La patente EP 1 886 757 A1 describe un dispositivo y un procedimiento para el control on-line, mediante una cámara de imagen térmica, de la calidad de un procesamiento por láser sobre una pieza. La cámara de imagen térmica detecta rayos en una zona de interacción del rayo láser con la pieza. Por medio de la imagen térmica se puede concluir, por ejemplo, una ruptura no completa de la  
20 pieza de trabajo durante el proceso de corte.

También la patente JP 03077790 A muestra una máquina para el procesamiento por láser que detecta fallos de corte durante el proceso de corte. Un fotodetector  
25 dispuesto debajo de la pieza en la zona de corte detecta rayos láser a través de la ranura de corte. Si el fotodetector no detecta más rayos la pieza no habrá sido atravesada completamente durante el corte por láser, de forma que se ha producido un fallo de corte.

En la patente JP 2002 331 383 A se describe un dispositivo para la vigilancia de  
30 un proceso de corte térmico, en el cual se comparan una anchura de ranura de corte presente con una anchura de ranura de corte deseada para determinar si hay fallos en el corte. Para determinar la anchura de la ranura de corte presente se ha dispuesto un dispositivo que gira alrededor de un dispositivo de corte por

oxígeno que permite observar la ranura de corte detrás del dispositivo de corte por oxígeno.

5 La patente DE 691 14 399 T2 muestra un mecanismo que permite reconocer el final de la perforación o del corte al cortar superficies de metal. Este mecanismo dispone de un sensor para reconocer la luz que se genera sobre la superficie de una pieza de trabajo (metálica) durante el mecanizado por láser. El mecanismo detecta el final del corte en un proceso de perforación por la disminución de la señal detectada. A continuación se inicia un proceso de corte y por medio de un  
10 valor de referencia de la tensión derivada de la señal, se determina si el proceso de corte es correcto o defectuoso.

Según la patente US 5,618,454 A se detecta el humo que se produce por la evaporación del material de la pieza de trabajo durante el mecanizado por láser.  
15 Mientras se detecte humo el mecanizado todavía no habrá concluido. Cuando deje de detectarse humo habrá concluido el mecanizado de la pieza.

La patente US 5,763,853 muestra una máquina de mecanizado por láser, en la que se utiliza una fuente de luz para detectar la presencia o la ausencia de la  
20 pieza de trabajo en la proximidad de una posición de mecanizado. Se produce una señal de detección que se corresponde con la luz de la fuente de luz de detección detectada por un sensor.

Objetivo de la invención  
25

El objetivo de la presente invención es ampliar el procedimiento del tipo antes mencionado de manera que se pueda revisar automáticamente el recorte completo de una parte de la pieza después del corte de mecanizado de la misma.

30 Objeto de la invención

El objetivo antes mencionado se alcanza según la invención mediante un procedimiento como el mencionado anteriormente, en el cual se realizan los

siguientes pasos después del corte mecanizado: irradiación de un rayo de láser especialmente pulsado o de una pulsación de láser sobre la pieza de trabajo en un punto dentro del contorno de corte deseado, detección de una radiación producida por la interacción entre el rayo láser y la pieza, evaluación de la radiación detectada para comprobar si en el proceso de corte mecanizado se ha separado totalmente una parte de la pieza de la parte residual de la misma.

Con un corte mecanizado correcto de contorno cerrado se separa la parte correspondiente a la pieza de trabajo, especialmente la pieza de corte, totalmente de la parte residual, cayendo desde el plano de la pieza de trabajo hacia abajo separándose de la parte residual de la pieza de trabajo o de la rejilla residual, de manera que no quede ningún material de la pieza de trabajo dentro del contorno de corte deseado. Si en este caso la dirección de propagación del rayo láser es esencialmente vertical con respecto a la superficie de la pieza de trabajo sobre un punto dentro del contorno de corte deseado, el rayo láser irradia al vacío a través de la perforación o agujero que se ha formado. En este caso no se produce ninguna interacción entre el rayo láser y la pieza de trabajo, de forma que la intensidad de radiación detectada será nula o muy escasa.

Sin embargo, si durante el corte mecanizado no se recorta del todo la parte de la pieza de trabajo, ésta se queda (posiblemente inclinada) en la rejilla residual. En este caso el rayo láser interactúa con la pieza de trabajo en la zona de la supuesta perforación o agujero al producirse una radiación por medio de la cual se puede reconocer un proceso de corte defectuoso. Normalmente es suficiente irradiar una sola pulsación de láser en un punto dentro del contorno de corte deseado, es decir un rayo láser con varias pulsaciones sucesivas no será necesario. Sin embargo, al contrario, la pulsación individual puede representarse también como varias pulsaciones sucesivas.

Por medio de la valoración del rayo detectado es por tanto posible un control inmediato automatizado del resultado del mecanizado. El control después del corte de mecanizado puede realizarse después de producirse un único contorno de corte (cerrado); alternativamente también es posible realizar el control una vez

que se hayan cortado todos y un grupo de contornos (cerrados) en una pieza de trabajo. Sin embargo si se descubre una parte de la pieza de trabajo no recortada totalmente después de uno o varios procesos sucesivos, p.ej. después de haber montado y lacado la pieza, el desperdicio así producido supone altos costes.

5

Según una variante la radiación detectada durante la interacción entre el rayo láser y la pieza de trabajo consiste en una luz generada por el proceso o en una radiación de calor. En una interacción entre el rayo láser y la pieza de trabajo o la parte de la pieza no recortada totalmente se genera una radiación con longitudes de onda que se encuentran normalmente en la zona ultravioleta visible. Esta radiación del proceso y/o radiación de calor (en la zona NIR o IR), que se genera al calentarse la pieza de trabajo con el rayo láser, puede detectarse por medio de un detector adecuado. Especialmente se pueden utilizar para dicha detección dispositivos de control de la radiación del proceso ya existentes en una máquina de mecanizado por láser. Durante la detección de la radiación del proceso o radiación de calor en la interacción del rayo láser con la parte de la pieza metálica no recortada totalmente, ésta normalmente se deteriora.

Según otra variante la radiación detectada en la pieza de trabajo es radiación láser reflejada. En este caso la pieza de trabajo consta de un material que refleja los rayos láser al menos parcialmente, lo cual sucede normalmente con piezas de trabajo metálicas, especialmente chapas metálicas. Si se detecta radiación de laser reflejada desde la pieza de trabajo, podrá irradiarse el rayo láser con menor intensidad que en la detección de radiación del proceso o de calor, ya que no será necesaria la fundición parcial de la pieza de trabajo en el punto en el que irradia el rayo láser. Además del rayo láser utilizado para el mecanizado se puede usar alternativamente otro láser, especialmente un láser con otra longitud de onda como por ejemplo un láser piloto, para radiar en el punto dentro del contorno de corte deseado.

30

Según otra variante el rayo láser pulsado o la impulsión de rayo láser penetra totalmente a través del punto en el que es irradiado sobre la pieza de trabajo. En este caso el rayo o la pulsación de láser pueden ser irradiados sobre la pieza de

trabajo con una intensidad y duración de tiempo suficientes para perforar totalmente la pieza de trabajo. Alternativamente a una duración específica del rayo láser pulsado o de la pulsación de láser se puede reconocer la perforación completa por medio de la radiación detectada o de la evolución temporal de la radiación detectada. En este caso el rayo o la pulsación de láser pueden desconectarse automáticamente en cuanto se haya determinado la perforación total.

Según un ejemplo de realización se determina, mediante la radiación detectada, un ángulo de inclinación entre la parte de la pieza de trabajo no recortada totalmente y la rejilla de residuos. Si la parte de la pieza de trabajo queda totalmente perforada por medio del rayo láser, se puede determinar la duración del proceso de perforación por el tiempo durante el cual se haya detectado mayor intensidad de radiación. Como el espesor de cada material perforado por rayo láser depende del ángulo de inclinación, se puede determinar dicho ángulo, según el tipo de material, por la duración del proceso de perforación. Alternativamente se puede perforar la pieza de trabajo y siempre que no se detecte, durante un tiempo determinado, una caída de la señal de radiación que indique una perforación total, se podrá determinar un ángulo de inclinación mayor que el ángulo de inclinación de referencia. En este caso no es necesario atravesar totalmente la pieza de trabajo.

Un aspecto que no es parte de la invención se refiere a una máquina de mecanizado por láser para el corte mecanizado de una pieza de trabajo para separar una parte de la pieza de trabajo de la pieza residual a lo largo de un contorno de corte deseado, que comprende: un cabezal de mecanizado por láser para irradiar un rayo láser pulsado o una pulsación de rayo láser sobre un punto dentro del contorno de corte deseado una vez finalizado el corte de mecanizado, una unidad de detección para detectar una radiación producida por la interacción entre el rayo láser y la pieza de trabajo, así como un dispositivo de valoración diseñado o programado para comprobar, por medio de la radiación detectada, si durante el corte de mecanizado se ha separado totalmente la parte de la pieza de trabajo de la parte de trabajo residual.

Se entiende que el detector puede estar diseñado de forma que detecte luz propia del proceso, radiación de calor y/o radiación láser reflejada. También se puede regular o alargar la intensidad del rayo y la duración de pulsación del rayo láser de manera que atravesase totalmente la parte de la pieza de trabajo que pueda quedar  
5 en la rejilla de residuos. Esto se puede utilizar para determinar, con la ayuda de un dispositivo de evaluación, un ángulo de inclinación de la parte de la pieza de trabajo con respecto a la pieza residual de trabajo. Especialmente se puede utilizar un dispositivo de evaluación o sensor de medición que se haya utilizado ya para otras tareas, como por ejemplo para el control on-line del proceso de corte.  
10 Para este uso se puede programar adecuadamente el dispositivo de evaluación añadiendo un algoritmo de valoración apropiado.

La descripción y los dibujos nos muestran otras ventajas de la invención. Además las características ya mencionadas así como las que se describen a continuación  
15 pueden utilizarse de forma aislada o de forma conjunta en cualquier combinación. Las formas de realización mostradas y descritas no deben interpretarse como una enumeración definitiva, sino que más bien tienen carácter de ejemplos para la descripción de la invención.

20 Los dibujos muestran lo siguiente:

Fig. 1 una representación esquemática de una máquina de mecanizado por láser para el corte mecanizado de una pieza de trabajo  
Figs. 2a, b representaciones esquemáticas de un corte de mecanizado correcto (fig. 2a), así como de un corte de mecanizado defectuoso (fig. 2b) y  
25 Figs. 3a – c representaciones de las curvas de medida, en diferentes ángulos de inclinación, de la intensidad de los rayos láser, así como de la luz de proceso durante la interacción del rayo láser con una parte de la pieza de trabajo no recortada totalmente.

30

La figura 1 muestra en detalle una máquina de mecanizado por láser 1 para el corte mecanizado de una pieza de trabajo 2, que comprende una unidad de mecanizado en forma de un cabezal 3 de mecanizado por láser. El cabezal 3 de

mecanizado por láser contiene una lente de enfoque 4 de seleniuro de cinc para enfocar un rayo láser 5 de CO<sub>2</sub>, producido por un láser CO<sub>2</sub> (no mostrado), una boquilla de gas de corte 6, así como un espejo deflector 7. En el presente caso el espejo deflector 7 es semitransparente y refleja el rayo láser penetrante CO<sub>2</sub> 5  
5 (con una longitud de onda de alrededor de 10 μm) y transmite, para el control del proceso, la radiación 8 relevante proveniente de la pieza de trabajo 2 en una zona de ondas longitudinales que en el presente ejemplo se encuentra entre 550mm y 2000mm aproximadamente. Se entiende que la máquina de mecanizado por láser 1 aquí descrita puede contener también una fuente de rayos láser en estado  
10 sólido (no mostrada), como por ejemplo un disco láser o un láser de fibra, con una radiación en la zona 1 μm o frecuencia convertida.

En la máquina de mecanizado por láser 1 se ha dispuesto detrás del espejo semitransparente 7 otro espejo deflector 9 que desvía la radiación 8 a un detector  
15 en forma de cámara 10. Ésta puede ser una cámara de alta velocidad, dispuesta de forma coaxial con respecto al eje del rayo láser 11 o a la prolongación 11a del eje de rayo láser y, por tanto, no direccional. Para visualizar mejor el presente ejemplo se ha dispuesto entre el espejo semitransparente 7 y la cámara 10 un sistema óptico de imagen y focalización 12, representado en la figura 1 como una  
20 lente, que enfoca la radiación 8, relevante para el control del proceso, sobre la cámara 10. Como alternativa también se puede detectar una radiación sin resolución local utilizando como unidad detectora, por ejemplo, varios fotodiodos en lugar de la cámara 10. Para poder detectar radiación de láser reflejada en la pieza de trabajo 2 se puede sustituir el espejo deflector semitransparente 7 por  
25 otra forma de desviación de haces, como por ejemplo un espejo perforado, de manera que rayos con una onda longitudinal del rayo láser 5 puedan alcanzar la cámara 10 y ser detectados.

En el ejemplo mostrado en la figura 1 es ventajoso disponer un filtro 13 delante de  
30 la cámara 10 para excluir de la detección de la cámara 10 otros factores de radiación o de longitudes de onda. El filtro 13 puede consistir por ejemplo en un filtro de banda estrecha con una semianchura escasa. En esencia esto permite que la cámara 10 grabe una imagen por luz incidente (utilizando una fuente

adicional de luz (no mostrada)) en la zona de longitudes de onda de alcance visible o también en la zona de infrarrojo cercano (NIR), siempre que la fuente adicional de luz irradie en la zona de infrarrojo cercano (NIR), así como alternativamente grabar luz natural del proceso o la imagen de radiación térmica

5 en la zona de longitudes de onda ultravioleta e infrarrojo cercano/infrarrojo (NIR/IR). En particular, también se puede detectar radiación láser reflejada en una zona de longitudes de onda de aproximadamente  $10\mu\text{m}$  por medio de un detector adicional (no mostrado), que se puede disponer por ejemplo en la parte exterior del cabezal de mecanizado por láser 3. Se entiende que un control de la radiación

10 relevante para un proceso de corte mecanizado por láser se puede efectuar también de otro modo, como por ejemplo el descrito en la patente DE 10 2010 028 179.4 de la solicitante, que en lo que se refiere a ese aspecto se incluye como contenido de la presente solicitud.

15 Para efectuar un control de corte durante el proceso de corte por láser mostrado en la figura 1, en el cual se forma una apertura de corte 14 en la pieza de trabajo 2, se ha dispuesto un dispositivo de evaluación 18 mostrado en la figura 1, que evalúa la intensidad  $I$  medida por el detector 10. El dispositivo de evaluación 18 puede utilizarse durante el proceso de corte mecanizado para la monitorización en

20 línea. En la presente realización se utiliza también para el control de corte una vez finalizado el corte por láser, en particular, para determinar si en el corte mecanizado a lo largo de un contorno de corte 20 deseado (ver figura 2a,b) se ha recortado totalmente la parte de la pieza de trabajo 2b que debe separarse de la parte residual 2a. Este control puede realizarse justo después de haber cortado

25 un contorno de corte individual o alternativamente puede realizarse también una vez cortados todos los contornos o un grupo de contornos (cerrados) de la pieza de trabajo 2 (chapa).

En el presente ejemplo el contorno de corte deseado 20 es circular, pero se

30 entiende que la geometría del contorno de corte 20 puede ser, en principio, cualquiera. El contorno de corte deseado 20 es normalmente cerrado en sí mismo, aunque esto no es obligatorio. Así, por ejemplo, cuando el borde de la parte de la pieza de trabajo que se desea separar forma el borde exterior de la

pieza, se puede realizar la separación de la parte de pieza de trabajo de la parte residual sin necesidad de un contorno cerrado. Durante el corte mecanizado puede ocurrir que, como consecuencia de una elección inadecuada de los parámetros del proceso, el contorno cortado no se corresponda con el contorno  
5 de corte deseado, de manera que queden por ejemplo conexiones en forma de banda entre la parte residual 2a y la parte de la pieza de trabajo 2b.

La figura 2 muestra el caso de un corte mecanizado concreto, en el cual durante el corte a lo largo de un contorno de corte deseado 20 (no mostrado en la figura  
10 2a) se ha separado totalmente la pieza de trabajo de la pieza o parte residual 2a y ha caído desde ésta, de forma que se ha formado en la pieza residual 2a un orificio circular 21. En este caso no ha quedado material alguno en la zona interior del contorno de corte 20.

15 La figura 2b muestra, sin embargo, el caso de un corte mecanizado defectuoso, en el cual no se ha separado del todo la parte de la pieza de trabajo 2b de la parte residual 2a y se mantiene en ésta, ya que la parte de la pieza de trabajo 2b queda unida a la parte residual 2a por medio de una conexión en forma de banda.

20 En ambos casos, para comprobar si la parte de la pieza de trabajo 2b se ha separado por completo de la parte residual 2a, se coloca el cabezal de mecanizado por láser 3 y/o la pieza de trabajo 2 en el plano XY, mediante dispositivos de desplazamiento (no mostrados), de tal manera que un rayo láser 5 orientado esencialmente de forma vertical con respecto a la superficie de la pieza  
25 de trabajo 2 irradie sobre ésta en un punto 22 dentro del contorno de corte 20. Si, como muestra la figura 2a, se ha formado un orificio 21, el rayo láser 5 irradia hacia el vacío. En consecuencia el detector 10 detectará una intensidad de radiación I muy escasa o nula. Sin embargo si, como muestra la figura 2b, la parte de la pieza de trabajo 2b no se ha separado totalmente de la parte residual 2a, el  
30 rayo láser 5 interacciona en la zona del supuesto orificio cortado con la pieza de trabajo 2, es decir con la parte de la pieza de trabajo 2b no recortada. En este caso se forma una radiación 8 en forma de luz natural del proceso, radiación térmica a causa del calentamiento de la pieza de trabajo 2 o radiación láser

reflejada, que puede ser detectada por el detector 10 u otro detector adicional de la forma antes descrita.

Si el dispositivo de evaluación 18 (ver figura 1) determina, según la radiación 8  
5 detectada, que la parte de la pieza de trabajo 2b no ha sido recortada totalmente, se transmitirá una señal de error a un dispositivo de control 19 en conexión de señalización funcional con el dispositivo de evaluación 18. El dispositivo de control 19 podrá opcionalmente marcar el elemento o parte de la pieza de trabajo defectuoso, emitir una advertencia a un operador, interrumpir el proceso de corte,  
10 retomar el proceso de corte de todo o parte del contorno de corte utilizando nuevos parámetros, etc.

Como viene detallado en las figuras 3a – c, el dispositivo de evaluación 18 puede determinar no solo un corte mecanizado defectuoso, sino también un fallo en el  
15 ángulo de inclinación  $\alpha$  de la parte de la pieza de trabajo 2b no recortada por completo con respecto al plano (XY) de la pieza de trabajo 2. La inclinación se produce por el propio peso de la parte de la pieza de trabajo 2b que ha quedado unida a la parte residual 2a por una conexión en forma de banda p.ej.

20 Las figuras 3a – c muestran respectivamente una señal de luz propia del proceso 30 así como una señal de intensidad 31 del rayo láser 5 (pulsado). En las medidas mostradas en las figuras 3a – c la pieza de trabajo 2 consistía en acero con un grosor de alrededor de 1mm.

25 En el caso mostrado en la figura 3a la parte de la pieza de trabajo 2b no recortada por completo se encontraba sin inclinación en el plano de la pieza residual 2a (ángulo de inclinación  $\alpha = 0^\circ$ , ver figura 2b). La duración total de la pulsación de láser 31 fue de 2ms. Al comienzo de la pulsación de láser 31 aumentó bruscamente la señal de luz de proceso 30 cayendo bruscamente al cabo de 0,3  
30 ms. En ese momento el material de la parte de la pieza de trabajo 2b quedó totalmente perforado.

En el caso mostrado en la figura 3b la parte de la pieza de trabajo 2b se encontraba inclinada hacia abajo con respecto a la parte residual 2a (plano XY) con un ángulo de inclinación de  $\alpha = 15^\circ$ . La pulsación de láser 31 duró en este caso 10 ms. El nivel medido de señal de luz propia del proceso 30 fue menor que  
5 en el ejemplo mostrado en la figura 3a y el tiempo de perforación hasta la caída de la señal de luz propia del proceso 30 fue mayor.

En el caso mostrado en la figura 3c la parte de la pieza de trabajo 2b no recortada por completo se encontraba aún más inclinada, en particular con un ángulo de  
10 inclinación de  $\alpha = 45^\circ$ . La duración de la pulsación láser 31 también fue de 10 ms. El nivel de medición de la señal de luz del proceso 30 fue menor que en el caso mostrado en la figura 3b y el tiempo de perforación aumentó más.

Como puede comprobarse en las figuras 3a – 3c por medio de la señal de luz 30  
15 propia del proceso, concretamente por medio del curso del nivel medido durante el proceso de perforación, en particular el tiempo de perforación, se puede determinar el ángulo de inclinación  $\alpha$  que presenta la parte de la pieza de trabajo 2b que permanece en la pieza residual 2a con respecto al plano de la pieza residual 2a. Por medio de pruebas anteriores al proceso de corte, practicadas  
20 sobre un material de pieza de trabajo predeterminado (y con un grosor predeterminado), se puede realizar una calibración de medición.

En resumen, mediante el proceso antes descrito, se puede realizar una comprobación automática del corte completo de una parte de la pieza de trabajo  
25 de la pieza residual. Esta comprobación aquí descrita se puede realizar muy rápidamente, ya que el movimiento relativo entre la pieza de trabajo y el cabezal de mecanizado por láser para posicionar el rayo láser dentro del contorno de corte, así como el proceso de perforado comprenden solo unos pocos milisegundos.

30

Se entiende que el corte mecanizado no se tiene que realizar forzosamente por rayo láser, sino que para el corte mecanizado puede usarse también una estación punzonadora adicional (p.ej. recortadora), provista en la máquina de mecanizado

por láser. También en este caso, una vez finalizado el corte mecanizado, se puede colocar el rayo láser encima del área de la parte de la pieza de trabajo a recortar.

## Reivindicaciones

- 5
1. Procedimiento para el control del corte mecanizado de una pieza (2) para separar una parte de la misma (2b) de la parte residual (2a) a lo largo de un contorno de corte deseado (20), **caracterizado porque** después del corte mecanizado se realizan los siguientes pasos:
- Radiación de la pieza (2) por un rayo láser, especialmente pulsado, o por una impulsión (5) de rayo láser en un punto (22) situado dentro del contorno de corte deseado (20),
- 10
- Detección de una radiación (8) producida por una interacción entre el rayo láser (5) y la pieza (2), así como
- Evaluación de la radiación (8) detectada para comprobar si durante el corte mecanizado se ha separado totalmente la parte (2b) de la pieza de la parte residual (2a).
- 15
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la radiación detectada es luz propia del proceso y/o una radiación térmica producida durante la interacción entre el rayo láser (5) y la pieza (2).
- 20
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en el cual la radiación detectada (8) es una radiación láser reflejada por la pieza (2).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual si la parte (2b) de la pieza no se ha separado totalmente, el rayo láser (5)
- 25
- perfora totalmente dicha parte (2b) de la pieza en el punto (22) en el cual incide sobre dicha parte (2b) de la pieza.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual por medio de la radiación detectada (8) se determina un ángulo de inclinación ( $\alpha$ ) entre la parte (2b) de la pieza de trabajo no separada totalmente y la
- 30
- parte residual (2a) de dicha pieza.

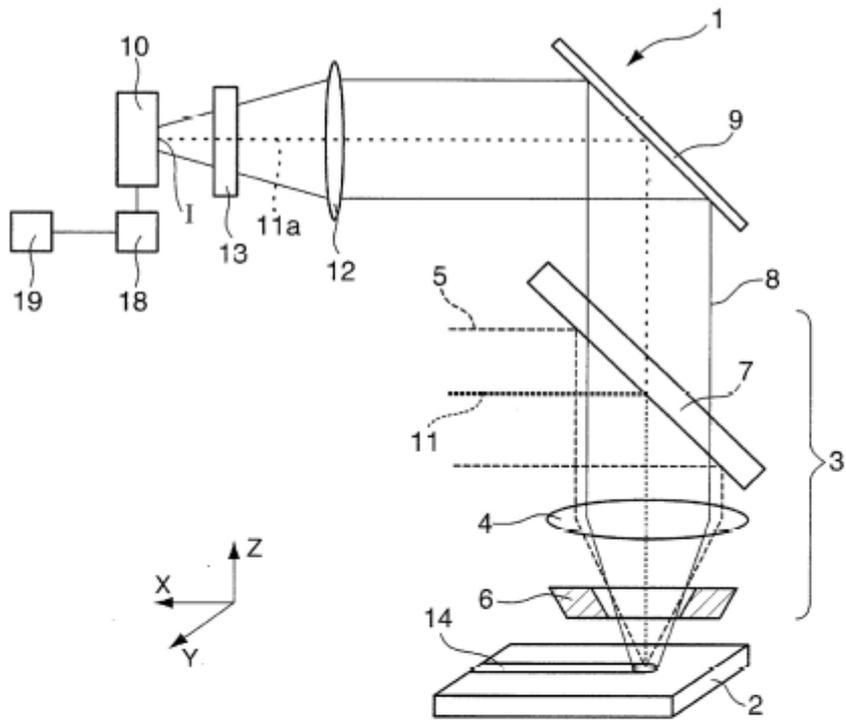


Fig. 1

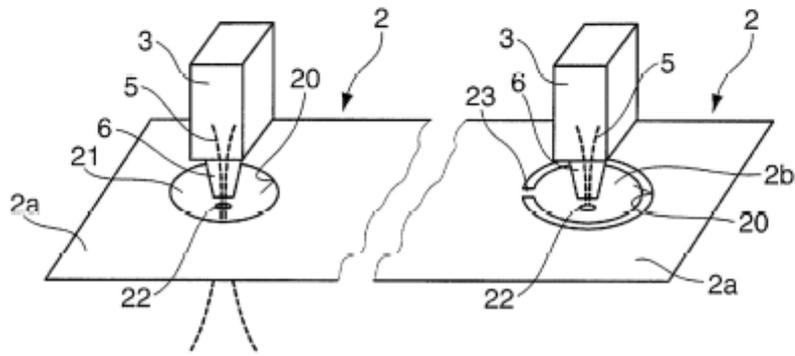


Fig. 2a

Fig. 2b

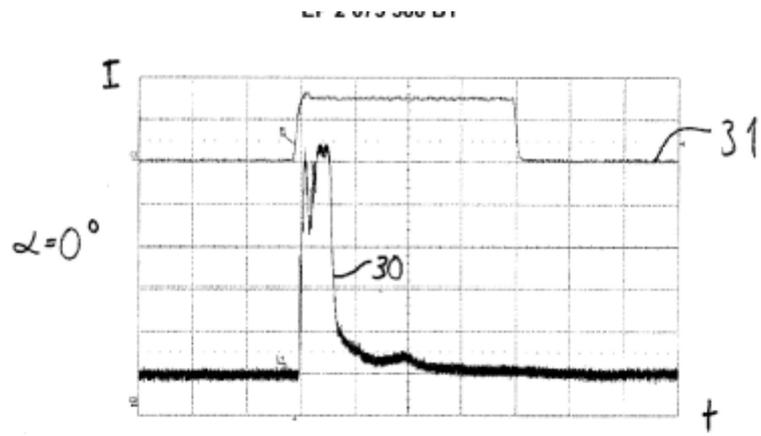


Fig. 3a

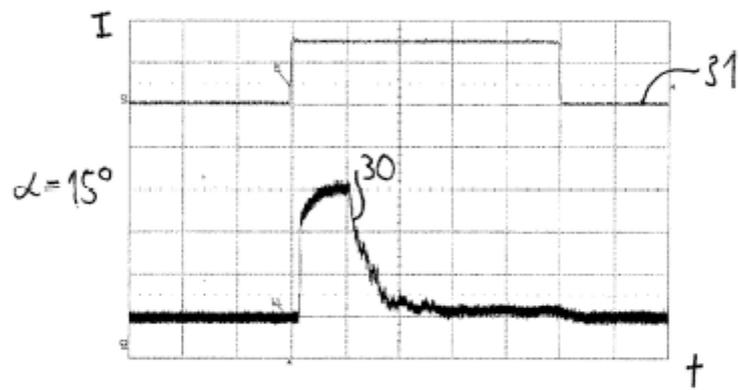


Fig. 3b

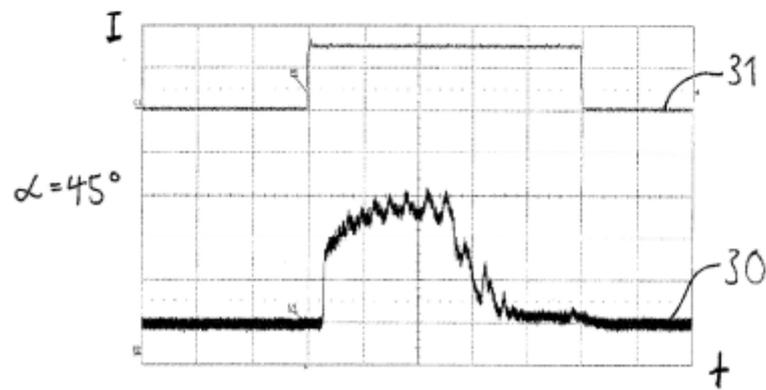


Fig. 3c