

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 417**

51 Int. Cl.:
B23K 26/38 (2006.01)
F02M 61/16 (2006.01)
F02M 61/18 (2006.01)
B23K 26/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08841491 .7**
96 Fecha de presentación: **22.10.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2207641**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.07.2010**

54 Título: **Procedimiento para taladrar agujeros semejantes a botellas con una geometría definida por medio de una radiación láser pulsada**

30 Prioridad:
25.10.2007 DE 102007051408

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.07.2012

73 Titular/es:
**PRELATEC GMBH
WANKELSTRASSE 14
70563 STUTTGART, DE**

72 Inventor/es:
**WALTER, Herbert y
STAUPENDAHL, Gisbert**

74 Agente/Representante:
Lehmann Novo, Isabel

ES 2 384 417 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para taladrar agujeros semejantes a botellas con una geometría definida por medio de una radiación láser pulsada.

5 La invención concierne a un procedimiento para taladrar agujeros de geometrías definidas, especialmente secciones transversales de agujero definidas, por medio de una compleja tecnología láser según el preámbulo de la reivindicación 1 (véase, por ejemplo, el documento DE 101 05 674 A1). El objetivo principal es aquí la generación de secciones transversales de agujero mediante las cuales se pueda garantizar una atomización óptima de fluidos, siendo el campo de aplicación más importante la perforación de toberas de inyección para motores de combustión.

10 El desarrollo de la combustión en motores de gasóleo y de gasolina, además de depender de las condiciones prefijadas desde el lado del motor en cuanto a la forma de la cámara de combustión, el movimiento del aire y la posición de las toberas, depende de un gran número de parámetros del sistema de inyección. Se cuentan entre éstos la clase de construcción de las toberas y la posición, número y longitud correspondientes de los agujeros de las toberas para la atomización del carburante hacia dentro de la cámara de combustión, así como la altura y la evolución temporal de la presión de inyección.

15 En consecuencia, el incremento del rendimiento total del motor y la reducción de la emisión bruta vienen determinados en alto grado por la optimización de los sistemas de inyección. Mediante estos parámetros se puede lograr una mejora decisiva de la evolución de la combustión en motores de gasóleo y de gasolina.

20 Criterios decisivos son la reducción del tamaño de las gotitas de carburante y las pérdidas de flujo durante el proceso de inyección. Taladros de tobera más pequeños, en combinación con una presión más alta, conducen en general a un pequeño tamaño de las gotitas de carburante. El diámetro de los taladros y la configuración reotécnica de los taladros son aquí los parámetros relevantes.

25 Para implementar una preparación óptima de la mezcla se incrementa continuamente desde hace años la presión de inyección y se reduce el diámetro de los agujeros de las toberas. Dado que este proceder favorece fenómenos de cavitación en el agujero de cada tobera que dañan la tobera en casos extremos y que, en cualquier caso, reducen el caudal de la tobera debido a la fase gaseosa presente, se trabaja ya hoy en día con conicidad diferentes de los agujeros de las toberas que se estrechan aguas abajo. Asimismo, se ha visto que, en caso de que no se alcance un diámetro de agujero crítico de aproximadamente 100 µm, se presentan en el agujero de la tobera unos fenómenos de coquización que pueden disminuir netamente el flujo a la vez que aumentan la vida útil del conjunto. Se plantea ahora la cuestión de hasta dónde puede subir el rendimiento hidráulico de las toberas mediante una conformación deliberada del agujero de las mismas de modo que se impidan los efectos de coquitación y cavitación y se intensifique la ruptura del chorro para lograr una mejor aportación de aire a la pulverización y, por tanto, se pueda incrementar la vida útil de las toberas.

35 El estado actual de la técnica se caracteriza porque la forma de tales agujeros, independientemente de si se producen por taladrado mecánico, procedimientos de erosión, procedimientos de ultrasonidos o procedimientos de láser, es cilíndrica o cónica con paredes más o menos rectas. Sin embargo, no es posible de esta manera crear condiciones reotécnicamente óptimas para la atomización de fluidos.

40 Respecto de los procedimientos de láser, existen en la bibliografía de patentes numerosas propuestas para mejorar las precisiones, especialmente la redondez, la forma del agujero o la reducción de la influencia negativa de porciones fundidas sobre la calidad de la superficie del taladro, así como para ensanchar el agujero en la dirección de incidencia de la radiación. La pluralidad de consideraciones se efectúa mediante un puro acoplamiento geométrico-óptico con componentes mecánicos adecuados.

45 Dado que los parámetros de un rayo láser, especialmente su distribución de intensidad, no satisfacen los altos requisitos impuestos a la redondez de, por ejemplo, un agujero en toberas de inyección, existen diversas variantes optomecánicas para eliminar este problema. Ya en el documento DE-OS 32 17 226 A1 se propone para ello, por ejemplo, la rotación del haz de radiación alrededor del eje de simetría propio, lo que en el documento DE-OS 197 45 280 A1 se amplía a tres módulos que están dispuestos delante de la lente de enfoque y permiten adicionalmente variar el punto de incidencia del rayo sobre la pieza de trabajo y su inclinación de incidencia. Un rotador de imagen especial se describe, por ejemplo, en el documento DE-OS 197 41 029 A1.

50 Medidas para mejorar la calidad de la superficie del taladro se encuentra en el documento DE-OS 30 07 169 A1, en donde un calentamiento suficientemente fuerte de la pieza de trabajo durante el tratamiento con láser pretende generar una película fundida uniforme, en el documento DE-OS 27 13 904 A1, en donde un segundo rayo láser funciona como rayo de fusión y pretende fundir y eliminar la rebaba producida durante el proceso de taladrado propiamente dicho, o en la patente DE 101 40 533 B4, en donde una capa sacrificial pretende mejorar

cualitativamente el taladrado por medio de impulsos de láser ultracortos.

La patente GB 2 227 965 A se dedica a la forma del agujero, especialmente al ensanchamiento del agujero taladrado en la dirección del rayo. Se propone aquí un control del rayo respecto del ángulo de incidencia y la distancia entre el eje del rayo y el eje del taladro con el objetivo de materializar agujeros cónicos lo más variables posible con una inclinación de pared diferente. Sirven para el mismo objetivo las consideraciones más teóricas referentes al perfil de intensidad de la radiación de taladrado en la patente DE 10 2004 014 820 B4. La disposición que se describe en la patente DE 199 05 571 C1 sirve también para la generación de formas de agujero cónicas definidas con ensanchamiento en la dirección del rayo. Su idea básica reside en el giro síncrono de la dirección de polarización del rayo láser con un movimiento de balanceo del rayo que es generado por un dispositivo correspondiente.

Unos procedimientos de varias etapas, que consisten en un primer paso, el de pretaladrado, y un segundo paso, el de generación de la forma definitiva del agujero taladrado, sirven para, por un lado, la efectivización de todo el proceso de taladrado y, por otro, el incremento de la precisión del agujero realizado. En este caso, se puede utilizar un acoplamiento entre procedimientos de láser y de erosión, tal como describen, por ejemplo, las patentes EP 0 299 143 A1 y DE 10 2004 054 587 B3, o bien se emplean dos láseres con propiedades de radiación diferentes, tal como se representa en el documento DE-OS 101 44 088 A1. En el documento DE 10 2004 054 587 B3 se consigna, entre otras cosas, que – y aquí se parte también del estado de la técnica – en el caso de pequeños agujeros de inyección con diámetros del orden de magnitud de 80 μm se tienen que taladrar aproximadamente 24 agujeros por tobera para llegar a los volúmenes de inyección necesarios por unidad de tiempo. Con números tan grandes de agujeros se tiene que, aparte del consumo de trabajo incrementado, se ha de contar con una considerable degradación de la estabilidad de las toberas y, por tanto, de la seguridad de funcionamiento y de la vida útil. Las novedosas formas de agujero según la presente invención que se describen seguidamente con más precisión aportan también en este aspecto un sensible progreso frente al estado de la técnica, ya que, debido a las resistencias al flujo relevantemente reducidas en, especialmente, agujeros muy pequeños, se puede prescindir de números tan grandes de agujeros sin imponer, por ejemplo, requisitos elevados a la presión de inyección.

En todas las propuestas relacionadas anteriormente falta la deliberada consideración de características de interacción entre la radiación láser y el material que están acopladas con las propiedades de las ondas de la radiación láser, especialmente la difracción, para producir formas de agujero reotécnicamente óptimas. Por este motivo, se han limitado sustancialmente a agujeros cilíndricos y formas de agujero cónicas con un ángulo de abertura más o menos grande.

La presente invención se basa en el problema de crear, partiendo de las premisas técnicas citadas en el preámbulo de la reivindicación 1, por medio de novedosas formas de agujero y procedimientos para su producción, unas posibilidades mucho más favorables para resolver el problema de formas de agujero reotécnicamente óptimas, el cual sigue siendo ahora tan agudo como antes.

La idea básica reside aquí en no dejarse comprometer por las tecnologías de láser usuales hasta ahora a formas de agujero como las secciones transversales cilíndricas o cónicas citadas, sino en partir de formas de agujero reotécnicamente óptimas y proporcionar tecnologías y procedimientos adecuados para su generación.

Los requisitos que tiene que satisfacer un agujero reotécnicamente favorable son claros: La cantidad de fluido a atomizar por unidad de tiempo deberá ser transportada hasta la abertura de salida del agujero con una resistencia al flujo lo más pequeña posible y, en consecuencia, con una pérdida de presión relativamente baja de modo que en este sitio reinen velocidades de flujo y condiciones de flujo (laminares-turbulentas) que aseguren una atomización óptima y, por tanto, en el caso concreto de una tobera de inyección de carburante, una distribución óptima del fluido en la cámara de combustión.

Este problema se resuelve con el procedimiento definido en la reivindicación 1.

Según la idea básica del procedimiento conforme a la invención, se genera una forma de agujero taladrado que se caracteriza por tres tramos que, considerado en la dirección del fluido circulante, consisten en un primer tramo, la parte cilíndrica para la entrada de fluido con el diámetro d_E , un segundo tramo adyacente a éste, en el que se estrecha este diámetro, y finalmente un tercer tramo que es de nuevo preferiblemente cilíndrico y posee el diámetro d_A de la abertura de salida de fluido. En consecuencia, el agujero taladrado posee una forma semejante a una botella, lo que se pone aún más claramente de manifiesto cuando se consideran las proporciones de las longitudes de los distintos tramos. El primer tramo (el “cuerpo de la botella”) deberá poseer una longitud L_E que, por ejemplo, es tres veces mayor que la longitud L_A del tercer tramo del taladro, el “gollete de la botella”. La forma del segundo tramo, la “zona de transición”, deberá garantizar una transición reotécnicamente favorable del tramo 1 al tramo 3. Esto se realiza de forma óptima por medio de una evolución continua, redondeada y exenta de aristas en el taladro desde d_E hasta d_A . El sentido de esta forma resulta claro inmediatamente si se considera el rápido caudal pretendido de un fluido a través de un taladro de esta clase, especialmente el rápido caudal de un carburante a través de una abertura de tobera de inyección. Expresado en forma simplificada a grandes rasgos, el tramo 1 con su diámetro relativamente grande (la relación d_E a d_A deberá estar preferiblemente en el intervalo de 1,3 a 2,0) sirve entonces

para la alimentación del fluido con una resistencia al flujo relativamente pequeña a la parte propiamente dicha del taladro con “función de tobera”, concretamente en los tramos 2 y 3. El estrechamiento del diámetro en el tramo 2 proporciona, debido a la ecuación de continuidad de la hidrodinámica, un aumento de la velocidad de flujo que es el parámetro decisivo para una atomización efectiva del fluido en la salida de la tobera de diámetro d_A . A causa de la longitud relativamente pequeña L_A del tramo 3, la resistencia al flujo que aquí se establece es relativamente pequeña cuando, por ejemplo, se realiza una comparación con agujeros convencionales de sección transversal cilíndrica. Es evidente que la forma de botella descrita, a iguales condiciones de flujo en la salida de la tobera, especialmente a igual velocidad de flujo de salida del fluido o igual cantidad de fluido saliente por unidad de tiempo, posee unas propiedades sensiblemente más favorables desde el punto de vista reotécnico que se reflejan, por ejemplo, en una presión de inyección necesaria considerablemente más pequeña en comparación con los agujeros de tobera cilíndricos o cónicos convencionales.

La forma básica descrita del agujero taladrado puede variarse dentro de amplios límites y adaptarse así a requisitos concretos para aprovechar todas las posibilidades ópticas y mecánicas disponibles. Así, por ejemplo, se pueden elegir las proporciones de diámetro y de longitud dentro de los límites que están definidos con más detalle en la reivindicación 1.

La generación de la forma de agujero taladrado representada según la invención requiere pasos de procedimiento adecuados que se explicarán seguidamente con más detalle. Aparte de los parámetros y pasos tecnológicos citados en el preámbulo de la reivindicación 1, los cuales, en último término, son generalmente necesarios para lograr un agujero taladrado de alto valor cualitativo, la esencia del procedimiento para generar tales agujeros según la invención consiste sobre todo en el aprovechamiento deliberado de las propiedades de propagación de la radiación láser en la zona del foco, es decir, por un lado, la cáustica y, por otro, las condiciones de absorción y reflexión integrales en el agujero taladrado. Las primeras vienen determinadas por la longitud de onda de la radiación, el perfil de intensidad de la radiación en el lugar de ubicación del elemento de enfoque, que es captado en general sumariamente por el coeficiente K de calidad de la radiación, y las propiedades de formación de imagen del elemento de enfoque, el cual consiste, en el caso más sencillo, en una lente afectada de defectos de formación de imagen lo más pequeños posible.

Las condiciones de absorción y reflexión en el propio agujero taladrado, es decir, en las zonas profundas que son más grande que el diámetro del agujero en la entrada de la radiación, se manifiestan como extraordinariamente complejas y, aparte de depender de la absorción de Fresnel usualmente discutida de manera exclusiva, la cual puede captarse teóricamente bien cuando se conozcan las constantes ópticas n y k del material, la polarización de la radiación y los ángulos de incidencia de la radiación, dependen de varios parámetros que son difícilmente accesibles a una captación exacta. Pertenecen a estos, por ejemplo, la absorción de la radiación por el vapor metálico existente en el agujero taladrado y el plasma inducido por el láser, pero también la dispersión de la radiación por finísimas partículas de material, la cual conduce a una sollicitación de radiación reforzada (y en general no deseada) de las paredes del agujero taladrado. Mientras que la absorción de plasma puede adoptar valores considerables especialmente en láseres de onda larga (láser de CO_2), hay que prestar atención especialmente a los láseres de onda corta (por ejemplo, láseres de Nd:YAG). Otros parámetros de influencia son el gas de trabajo empleado, la estructura superficial de las paredes del agujero taladrado (¡rugosidad!) que se forma durante el proceso de taladro y finalmente también las propiedades de conducción calorífica del material.

Para poder destacar claramente la esencia de la invención se deberán desprestigiar los efectos secundarios citados en las consideraciones siguientes y se deberán discutir solamente las magnitudes primariamente decisivas de forma de la cáustica y absorción de Fresnel bajo el aspecto de la generación de las formas de agujero taladrado según la invención. Como ejemplo deberá seguir sirviendo aquí la forma de botella anteriormente descrita.

Los tres tramos anteriormente definidos del agujero taladrado establecen en cierto modo también segmentos del proceso de taladrado que están caracterizado por parámetros de mecanización diferentes. Los respectivos específicos se reducen según la invención, como ya se ha mencionado anteriormente, a las magnitudes eventualmente variables con el tiempo consistentes en propagación de la radiación (forma de la cáustica) y la intensidad bajo el aspecto de la absorción de Fresnel en el agujero taladrado y teniendo en cuenta la longitud de onda de la radiación. En estos supuestos, se puede lograr una “forma de botella” de maneras diferentes, pudiendo subdividirse en principio el proceso de taladrado en dos segmentos,

- el segmento de pretaladrado y
- el segmento de taladrado de conformación.

1. Segmento de pretaladrado:

Esta primera parte del proceso de taladrado se caracteriza según la invención por dos objetivos de mecanización – por un lado, debe materializar ya ampliamente el “gollete de la botella” del taladro en su forma deseada y, por otro lado, debe crear premisas favorable para el segundo tramo del taladro. Esto último puede significar que, por ejemplo, debido a un taladro ciego de profundidad definida se fijan la longitud del gollete de la botella y, por tanto, el

punto de partida de la zona de ensanchamiento, o que se crea un taladro de paso que corresponde ya aproximadamente a las consignas en sus dimensiones en la zona del gollete de la botella, pero que requiere todavía una conformación en los tramos 2 y 3 del taladro. Para el segmento de pretaladrado se pueden utilizar tanto radiación láser como procedimientos alternativos, tales como mecanización con arranque de virutas, erosión o mecanización con ultrasonidos. Cuando se utilice radiación láser, es típico que el segmento de pretaladrado se realice en general con radiación de una longitud de onda fija, un perfil de intensidad fijo, es decir, un coeficiente K fijo, y, por tanto, finalmente una forma fija de la cáustica en la zona del foco.

2. Segmento de taladrado de conformación:

En esta segunda parte del proceso de taladrado se tienen que crear según la invención la zona de transición y la zona del “cuerpo de la botella” según las consignas reotécnicas. Este segmento forma un punto esencial de la solución del procedimiento según la invención. El objetivo, el ensanchamiento del agujero taladrado “hacia abajo” según consignas de forma definidas, puede materializarse de manera diferentes, pero requieren en cualquier caso una forma adecuada de la cáustica. Ésta

a) puede responder a la cáustica del proceso de pretaladrado y, en consecuencia, puede mantenerse constante durante todo el proceso de taladrado,

b) puede variarse desde la cáustica del proceso de pretaladrado hasta una forma de cáustica optimizada para el taladrado de conformación y puede mantenerse constante durante el taladrado de conformación hasta la terminación de todo el proceso de taladrado, o finalmente

c) puede estar caracterizada por una forma de cáustica temporalmente variable durante el taladrado de conformación.

La adaptación de la forma de la cáustica al desarrollo deseado del proceso de taladrado y, por tanto, a la forma deseada del agujero puede materializarse, supuesto un elemento de enfoque temporalmente invariable, por medio de las variantes seguidamente discutidas de la conformación por radiación.

1. Se varía el perfil de intensidad o el coeficiente K de la radiación láser, bien internamente, es decir, en el propio resonador del láser, con ayuda de medidas adecuadas, tales como una variación temporal del proceso de bombeo o una modificación de la configuración óptica del resonador, o bien externamente, es decir, fuera del resonador del láser, por ejemplo mediante la incorporación de elementos ópticos adecuados, tales como ópticas difractivas en la vía de la radiación. Dado que en general se aspira a un funcionamiento extremadamente fiable del láser y las intervenciones en el funcionamiento del láser, sobre todo en el servicio industrial permanente, albergan en sí mismas el peligro de inestabilidades, los métodos externos de variación del perfil de la radiación son de un especial interés práctico. Así, por ejemplo, en la transición del segmento de pretaladrado al segmento de taladrado de conformación se puede poner en el camino del rayo con rapidez, es decir, en la práctica sin pérdida de tiempo, un componente óptico difractivo que conforme el rayo láser de la manera deseada. Otra ventaja reside aquí en que son posibles sin problema unas drásticas variaciones que no se podrían materializar en esta amplitud por intervenciones en el funcionamiento del láser.

2. Se varía el diámetro del rayo en el lugar de ubicación del elemento de enfoque. Gracias a esta medida se puede, por un lado, variar dentro de amplios límites la divergencia de la radiación en la conformación y, por otro lado, se influye al mismo tiempo sobre el diámetro del foco, que depende, de manera inversamente proporcional, del diámetro del rayo en el lugar de ubicación del elemento de enfoque.

3. Se varía la divergencia del rayo antes del enfoque. Proporcionalmente a esto se modifica el diámetro del foco, pero al mismo tiempo se modifica también la posición del foco.

Las posibilidades 2 y 3 se pueden materializar, por ejemplo, por medio de telescopios variables u ópticas adaptativas en el camino del rayo.

En las variantes anteriormente mencionadas de conformación del rayo se ha partido de la consideración de que se utiliza un láser para el proceso de taladrado. La utilización de, por ejemplo, dos láseres que posean preferiblemente una longitud de onda diferente y, por tanto, proporcionen nuevas posibilidades de adaptación de la forma de la cáustica del foco a las necesidades de las diferentes fases de taladrado, ofrece un coste tecnológico sensiblemente mayor, pero, en cambio, habilita numerosos grados de libertad nuevos para la materialización de formas de agujero óptimas en el sentido de la invención. Típica sería aquí la utilización de un láser de longitud de onda más corta (por ejemplo, en el rango de 1 µm o menos) para un proceso de pretaladrado realizado con precisión y la utilización de un láser de longitud de onda mayor (por ejemplo, un láser de CO₂ de aproximadamente 10 µm) para el segmento de taladrado de conformación.

El procedimiento básico para generar las formas de agujero descritas según la invención se basa en la utilización de un único láser de una longitud de onda adaptada al diámetro del agujero, pudiendo suponerse como regla empírica

que la longitud de onda para casos típicos deberá ser aproximadamente un orden de magnitud más pequeña que el diámetro del agujero. Si se emplea, por ejemplo, un láser de CO₂, se pueden taladrar de manera especialmente favorable unos agujeros con diámetros del orden de magnitud de 100 μm. En este ejemplo concreto la dependencia de la difracción respecto de la longitud de onda hace que la cáustica de un rayo láser enfocado de esta clase posea una forma sensiblemente diferente a la de, por ejemplo, la mayoría de los láseres utilizados para taladrar tales agujeros con longitudes de onda en torno a aproximadamente 1 μm. La difracción diez veces mayor de la radiación del láser de CO₂, en combinación con un enfoque adecuado y la cooperación del coeficiente K de calidad del rayo del láser, así como las absorciones de Fresnel específicas que se presentan en las paredes del agujero taladrado, son la clave para la obtención de la forma de botella deseada.

El proceso de taladrado completo se efectúa aquí desde una dirección, estando situado especialmente en la forma de botella el sitio más estrecho del agujero taladrado en la entrada del rayo y estando situado el tramo ensanchado en la dirección del rayo en la parte inferior del material taladrado. Se satisfacen así, por ejemplo, los requisitos geométricos para agujeros en una tobera de inyección.

Para una conformación activa del agujero taladrado en el curso del proceso de taladrado se pueden variar la forma de la cáustica del foco y su posición, tal como se ha expuesto en general más arriba. A continuación, se describirán una vez más a título de ejemplo posibles influencias de las variantes descritas de conformación del rayo sobre el proceso de taladrado.

a) Durante el proceso de taladrado se varía el coeficiente de calidad K del rayo de la radiación láser. Así, por ejemplo, se puede iniciar el proceso de taladrado con una calidad del rayo relativamente baja y, en consecuencia, con un diámetro de foco relativamente grande (segmento de pretaladrado). Después del taladrado del "gollete de la botella" se consigue, mediante un incremento del coeficiente K, una significativa reducción del diámetro del foco y se protege así el afilado canto de salida de fluido generado en el primer tramo del taladro contra una nociva fusión en el curso ulterior del taladrado. Esta opción es aún más importante debido a que en el segmento de taladrado de conformación, es decir, durante la generación de las partes ensanchadas del agujero taladrado, se tiene que trabajar con intensidades de radiación relativamente altas.

b) Se pueden lograr resultados análogos mediante una variación del diámetro del rayo láser en la lente de enfoque durante el proceso de taladrado. Esta variación de diámetro puede materializarse, por ejemplo, por medio de ópticas adaptativas rápidas adecuadas. Dado que el diámetro del foco depende, de manera inversamente proporcional, del diámetro del haz en la lente, se varían de esta manera tanto el diámetro del foco como la forma de la cáustica. En este procedimiento se podría iniciar, por ejemplo, el proceso de taladrado con un diámetro del rayo relativamente pequeño y, en consecuencia, con un diámetro del foco relativamente grande. Análogamente al punto a), mediante un agrandamiento del diámetro del rayo se incrementa la precisión del enfoque y, por tanto, se protege también el canto de salida de fluido generado en el segmento de pretaladrado contra la nociva fusión.

c) Otra posibilidad de utilización de ópticas adaptativas rápidas consiste en variar durante el proceso de taladrado la divergencia del haz de radiación que incide sobre el elemento de enfoque. Se puede conseguir así que varíe la posición del foco en un orden de magnitud tal que se influya de una manera deseada sobre la forma del agujero taladrado.

En este punto se entrará todavía en los detalles específicos de la producción de agujeros muy pequeños con forma de botella que se caracterizan, por ejemplo, por aberturas de salida de fluido con diámetros en el rango de unas pocas decenas de μm. Este rango se mantiene cerrado al láser de CO₂ y su límite puede indicarse con aproximadamente 60 μm. No obstante, con unas aperturas tan pequeñas, la difracción con su influencia sobre la forma del agujero taladrado se hace perceptible ya al utilizar láseres con longitudes de onda situadas, por ejemplo, en el intervalo de 1 a 2 μm, de modo que las consideraciones de principio anteriormente realizadas para agujeros finísimos puede transferirse también, por ejemplo, a la utilización de láseres de Nd:YAG. En láseres de esta clase se puede variar el coeficiente de calidad del rayo dentro de amplios límites, lo que puede aprovecharse para ampliar los tramos inferiores del agujero taladrado, por ejemplo ventajosamente en combinación con la difracción de la radiación en la abertura muy pequeña de salida de fluido que se ha materializado en el segmento de pretaladrado.

Como ya se ha insinuado, la posición de la cáustica del foco se puede aprovechar también activamente para conformar agujeros taladrados según la invención. Así, solamente por variación de la posición del foco con relación a la pieza de trabajo es posible que, aparte de la forma de botella comentada, se generen todavía una serie de otras modificaciones de la sección transversal del agujero. Colocando el foco a una profundidad mayor o menor dentro del material que se debe taladrar, se puede colocar, por ejemplo, la parte más estrecha del agujero taladrado en el interior de la pieza de trabajo. Un caso especial de esto es un agujero taladrado de "forma de reloj de arena", en el que el talle del agujero taladrado se encuentra exactamente en la mitad de la longitud del agujero taladrado (es decir, del espesor del material). Se puede materializar también las etapas intermedias más diferentes entre la forma de botella y la forma de reloj de arena.

Otra forma de agujero especial según la invención se caracteriza porque en un paso adicional del procedimiento el agujero taladrado rotacionalmente simétrico es provisto de una estructura preferiblemente de forma de hendidura en

- la salida del fluido para controlar el compartimiento de atomización del fluido de modo que, por ejemplo en motores de combustión, se origine una optima distribución. Las dimensiones de esta estructura de forma de hendidura pueden variar dentro de amplios límites, pero deberán estar situadas típicamente en los intervalos citados en la reivindicación 10. Esta estructura adicional puede generarse con el propio láser de onda larga, es decir,
- 5 preferiblemente con un láser de CO₂, con un láser de onda más corta o con un procedimiento alternativo comentado. Para el caso especial de que los agujeros a producir, por ejemplo en toberas de inyección, estén situados sobre el mismo círculo de agujeros, se puede modificar el procedimiento de fabricación de esta estructura de tal manera que ya antes del proceso de taladrado propiamente dicho se produzca sobre el círculo de agujeros taladrados una
- 10 depresión continua de las dimensiones deseadas, bien por erosión definida del material mediante radiación láser o bien mediante procedimientos alternativos, pudiendo poseer en principio la sección transversal de esta depresión unas formas de cualquier naturaleza, pero preferiblemente simétricas con respecto al círculo de agujeros, tal como una forma triangular, rectangular, semicircular o similares.
- Para optimizar la calidad del agujero taladrado producido en cuanto a la calidad de la superficie y a la precisión del canto, se puede, según la invención, subdividir el proceso de taladrado con láser en dos segmentos respecto del gas
- 15 de trabajo, generándose en el primer segmento la forma de agujero deseada aprovechando un primer gas de trabajo que fomenta la configuración de la forma del agujero y acelera el proceso de taladrado, y materializándose en el segundo segmento, por medio de un segundo gas de trabajo, una mejora de la calidad de la superficie de las paredes del taladro. Gases de trabajo típicos serían, por ejemplo, oxígeno para el primer segmento y argón para el según segmento.
- 20 El objeto de la invención se explica seguidamente ayudándose de ejemplos de realización que se representan esquemáticamente en los dibujos. Muestran en éstos:
- La figura 1, una sección transversal del agujero de inyección según un primer ejemplo de realización de la invención,
- Las figuras 2a,b, una sección transversal del agujero de inyección con arreglo a un segundo y un tercer ejemplos de realización de la invención,
- 25 La figura 3, una vista en planta y una sección transversal de un agujero de inyección según la invención con una hendidura transversal definida en la salida de fluido,
- La figura 4, un cabezal de una tobera de inyección con agujeros de inyección según la invención y con una hendidura transversal continua en el círculo de agujeros a la salida del fluido,
- La figura 5, unas variantes de la modificación de la geometría del foco durante el proceso de taladrado,
- 30 a) una variación del coeficiente K de la radiación láser durante el proceso de taladrado,
- b) una variación del diámetro del haz de la radiación láser en el lugar de ubicación del elemento de enfoque durante el proceso de taladrado,
- c) una variación de la divergencia del haz del rayo láser en el lugar de ubicación del elemento de enfoque durante el proceso de taladrado,
- 35 La figura 6, la variación de la divergencia (a) y del diámetro (b) del rayo láser en el lugar de ubicación del elemento de enfoque por medio de una óptica adaptativa.
- La figura 7, un taladrado de dos etapas de un agujero de inyección según la invención,
- a) primera etapa: taladro ciego,
- b) primera + segunda etapas: taladro completo,
- 40 La figura 8, un taladrado de dos etapas de un agujero de inyección según la invención,
- a) primera etapa: taladro pasante (pretaladrado) con diámetro pequeño,
- b) primera + segunda etapas: taladro completo, y
- La figura 9, un taladrado de dos etapas de un agujero de inyección según la invención,
- a) primera etapa: taladrado del "gollete de la botella" con posición del foco dispuesta en la magnitud Δz por encima de la superficie de la pieza de trabajo,
- 45 b) primera + segunda etapas: taladro completo; posición del foco sobre la superficie de la pieza de trabajo en la segunda etapa.

La figura 1 muestra la sección transversal del agujero de una tobera según la invención en un primer ejemplo de realización, que reproduce al mismo tiempo la forma básica del agujero, a saber, una “forma de botella”. Este agujero se caracteriza por tres tramos parciales que son el resultado de consideraciones reotécnicas. Considerado en la dirección de flujo 8 del fluido, este agujero posee inicialmente un primer tramo relativamente ancho 30 de diámetro d_E que se extiende una longitud L_E desde la abertura 7 de la entrada de fluido hasta la zona de transición 5, en la que se produce un estrechamiento de este diámetro hasta d_A . Esta zona de entrada de fluido casi cilíndrica 6 (el “cuerpo de la botella”) tiene la misión de transportar el fluido con una resistencia al flujo lo más pequeña posible y, por tanto, con una pérdida de presión mínima hasta el segundo tramo 31 del agujero taladrado, la zona de transición 5 y, finalmente, el tercer tramo 32 decisivo para la naturaleza de la salida de fluido, por ejemplo para su atomización, o sea, la zona de salida de fluido casi cilíndrica 4 (el “gollete de la botella”). Cuando el fluido es un líquido prácticamente incompresible, se efectúa en la zona 5 a una diferencia de presión prefijada $p_E - p_A$ (p_E es la presión estática del fluido en la abertura de entrada de fluido 7 y p_A es la presión estática en la abertura de salida de fluido 3), a causa de la ecuación de continuidad de la hidrodinámica, un aumento de la velocidad de flujo de v_E en la abertura de entrada de fluido 7 hasta v_A en la abertura de salida de fluido 3. La diferencia $v_A - v_E$ viene determinada por la relación de d_E al diámetro d_A de la abertura de salida de fluido 3 y se cumple que $v_A/v_E = d_E^2/d_A^2$. En general, se aspira a una v_A lo más grande posible para una $p_E - p_A$ prefijada a fin de lograr una atomización eficiente de fluido. Como consecuencia final, la magnitud de v_A , aparte de depender de la diferencia de presión $p_E - p_A$, depende de la resistencia total al flujo del agujero. Su longitud L viene prefijada sustancialmente por el espesor L_W del material 1, el cual es el resultado de consideraciones de resistencia durante la concepción de la tobera.

Si se tiene que taladrar oblicuamente el agujero a través del material 1, lo cual constituye un requisito típico en modernas toberas de inyección optimizadas, resulta que $L > L_W$, lo que, naturalmente, tiene también repercusiones sobre la resistencia al flujo. Aquí entra en acción otra ventaja esencial de la forma de tobera según la invención, la cual se aprecia inmediatamente con claridad si se compara, por ejemplo, un taladro cilíndrico con la forma de botella. Mientras que con el taladro cilíndrico el agrandamiento de la longitud del taladro conduce automáticamente a un aumento de la resistencia al flujo, esta acción negativa de un agujero taladrado oblicuo con la forma de botella es prácticamente despreciable, ya que en éste la resistencia al flujo se concentra sobre todo en el gollete 4 de la botella con su longitud L_A relativamente pequeña en comparación con L . Esta última puede variarse sin problemas mediante variaciones mínimas de los parámetros de taladrado de modo que resulten una misma resistencia al flujo o una misma velocidad de salida y una misma cantidad de salida para todos los agujeros de una tobera, independientemente de su inclinación individual con respecto a la normal a la superficie de la pieza de trabajo.

En general, en la optimización del funcionamiento de la forma de un agujero de tobera según la figura 1 juega un gran papel la posibilidad de principio de poder variar los parámetros d_E , d_A , L_A y L_E dentro de límites suficientemente amplios durante la producción del agujero.

Es importante también el hecho de que el agujero tiene que producirse a partir de una dirección de mecanización 2, ya que en numerosos casos de aplicación importantes de tales agujeros de tobera, por ejemplo en toberas de inyección de motores de combustión, es prácticamente imposible un taladrado de dos etapas de los lados delantero y trasero debido a la geometría de la tobera total.

El gas de trabajo 17 juega un papel esencial en el proceso de taladrado. Para el taladrado de agujeros en toberas de inyección, tal como ya se ha mencionado anteriormente, se utilizan de preferencia oxígeno y argón.

La figura 2 muestra dos formas de realización típicas del agujero de taladrado según la invención, en las que el “talle” del agujero taladrado 9 está situado dentro de la pieza de trabajo. Si dicho talle está situado exactamente en el centro de la pieza de trabajo (figura 2b), resulta una forma semejante a un reloj de arena.

La figura 3 muestra en sección transversal y en vista en planta otra forma de realización del agujero taladrado según la invención. Esta forma de agujero se caracteriza por una hendidura auxiliar 10 de una anchura b_s y una profundidad t_s , en donde t_s no deberá ser mayor que la longitud L_A del gollete de la botella. Su función consiste en una modificación definida de la característica de atomización del agujero taladrado redondo original 3.

La figura 4 ilustra una forma de realización especial de agujeros taladrados con hendidura auxiliar. Si se presupone, por ejemplo, una tobera que posee varios agujeros de inyección cuya salidas de fluido están situadas todas ellas sobre el mismo círculo de agujeros, la hendidura auxiliar puede ser producida como una hendidura auxiliar continua 12 de anchura b_s mediante procedimientos muy diferentes, por ejemplo por medio de láser o procedimientos de arranque de virutas, antes del proceso de taladrado propiamente dicho. La sección transversal de la hendidura auxiliar continua 12 puede poseer en principio formas de cualquier clase, pero de preferencia colocadas simétricamente con respecto al círculo de agujeros, tal como una forma triangular, rectangular, semicircular o similares.

La figura 5 ilustra tres variantes referentes al modo en que se puede variar la cáustica del foco durante el proceso de taladrado. El objetivo es aquí también nuevamente la realización de formas definidas de agujeros taladrados.

En la figura 5a se muestra el modo en que se agranda el diámetro de foco $2w_{F1}$ de un primer rayo 25 con el

coeficiente de calidad K_1 hasta un diámetro de foco $2w_{f2}$ cuando el coeficiente de calidad K_2 del rayo modificado 26 es más pequeño que K_1 . La variación del coeficiente de calidad del rayo puede efectuarse aquí internamente, es decir, por intervenciones en el proceso del láser, o externamente, es decir, sobre el camino del rayo desde el láser hasta la pieza de trabajo, por ejemplo por incorporación de un elemento óptico difractivo 33. Los demás parámetros del rayo se presuponen aquí como constantes.

La figura 5b muestra la influencia de la variación del diámetro del rayo en la lente de enfoque 24 durante el proceso de taladrado sobre el respectivo diámetro del foco. Mientras que el rayo láser original 19 con mayor diámetro da como resultado el diámetro de foco preciso $2w_{f1}$, el resultado de una reducción del diámetro del rayo en la lente (rayo 23) es un agrandamiento del diámetro de foco $2w_{f3}$. Puede verse aquí claramente la magnitud en que se modifica la forma total de la cáustica del foco, lo que genera la significativa influencia deseada sobre la forma del agujero.

Por último, la figura 5c muestra la influencia de una variación de la divergencia del rayo láser durante el proceso de taladrado sobre la posición del foco. El rayo láser 22 con una divergencia que se ha agrandado en comparación con el rayo original 19 posee una posición de foco que se ha desplazado en la magnitud Δz con respecto al foco del rayo original en dirección a un agrandamiento de la distancia a la lente de enfoque.

La figura 6 ilustra con algo más de precisión las dos variantes últimamente citadas de la modificación del rayo. Se ha supuesto aquí que el rayo original 19 puede ser modificado por una óptica adaptativa 20 de tal manera que resulte un rayo láser 22 con divergencia modificada (figura 6a) o un rayo láser 23 con diámetro modificado (figura 6b), los cuales se enfocan ambos desde la lente de enfoque 24 en dirección a la pieza de trabajo 1. En el caso a) la posición 27 del foco del rayo 21 no influenciado y la posición 28 del foco del rayo láser 22 con divergencia modificada son diferentes y en el caso b) el rayo láser 23 con diámetro reducido posee un diámetro 29 agrandado en comparación con el foco original.

La figura 7 muestra una posibilidad del taladrado de los agujeros deseados por medio de un procedimiento de dos etapas según la invención, en el que se subdivide el proceso de taladrado completo en un segmento de pretaladrado y un segmento de taladrado de conformación. La figura 7a ilustra el agujero ciego pretaladrado 14 obtenido en el primer paso del procedimiento, el cual se produce, por ejemplo, por medio de un láser de radiación de onda corta o de procedimientos alternativos, tales como mecanización con arranque de virutas, erosión por chispa o mecanización de precisión por ultrasonidos. En el segundo paso del procedimiento (figura 7b) se efectúa el retaladrado del agujero 18 hasta la forma definitiva, por ejemplo por medio de un láser de radiación de onda larga, especialmente un láser de CO_2 .

El modo de proceder ilustrado en la figura 8 es análogo. La única diferencia consiste en que en el primer paso del procedimiento se efectúa por medio de uno de los procedimientos antes citado un taladro pasante completo 15 de la pieza de trabajo que se ensancha nuevamente en el segundo paso del procedimiento hasta la forma definitiva 18.

La figura 9 ilustra una modificación adicional del modo de procedimiento de dos etapas. El objetivo principal es aquí la protección óptima del afilado borde superior del taladro con el diámetro d_A generado en la primera fase de taladrado. Como muestra la figura 9b, se ha colocado aquí el talle del foco en una magnitud definida Δz sobre la superficie de la pieza de trabajo. En el segundo paso del procedimiento se hace uso ahora del hecho de que de esta manera el diámetro d_A es algo mayor que el diámetro del talle del rayo. En efecto, si se desplaza ahora el lugar de ubicación del foco hacia abajo en la magnitud Δz y, en consecuencia, se le lleva hasta la superficie de la pieza de trabajo, el borde superior afilado del agujero es alcanzado solamente todavía por rayos marginales del haz tan débiles que no se produce ninguna fusión. Al mismo tiempo, se han creado premisas óptimas para el retaladrado del agujero hasta la forma definitiva con el diámetro de entrada de fluido d_E .

Lista de símbolos de referencia

- 1 Material
- 2 Dirección de mecanización
- 3 Abertura de salida de fluido
- 4 Zona de salida de fluido casi cilíndrica (“gollete de botella”)
- 5 Zona de transición
- 6 Zona de entrada de fluido casi cilíndrica (“cuerpo de botella”)
- 7 Abertura de entrada de fluido
- 8 Dirección de flujo del fluido

	9	“Talle” del agujero taladrado
	10	Hendidura auxiliar
	11	Cuerpo de tobera de inyección
	12	Hendidura auxiliar continua para atomización de fluido
5	13	Dirección de mecanización para pretaladrado
	14	Agujero ciego pretaladrado
	15	Agujero de paso pretaladrado
	16	Dirección de mecanización para mecanización final
	17	Gas de trabajo
10	18	Agujero terminado
	19	Rayo láser original
	20	Óptica adaptativa
	21	Estado 1 del rayo láser después de la óptica adaptativa
	22	Rayo láser con divergencia modificada
15	23	Rayo láser con diámetro modificado
	24	Lente de enfoque
	25	Rayo láser con coeficiente de calidad K_1
	26	Rayo láser con coeficiente de calidad $K_2 < K_1$
	27	Mancha focal del rayo láser 21
20	28	Posición de foco modificado del rayo láser 22
	29	Diámetro de foco modificado del rayo láser 23
	30	Primer tramo del agujero taladrado
	31	Segundo tramo del agujero taladrado
	32	Tercer tramo del agujero taladrado
25	33	Elemento óptico difractivo
	b_s	Anchura de la hendidura auxiliar para atomización de fluido
	d_A	Diámetro de la abertura de salida de fluido
	d_E	Diámetro de la abertura de entrada de fluido
	d_T	Diámetro del talle del agujero taladrado
30	L	Longitud del taladro
	L_A	Longitud del “gollete de botella”
	L_E	Longitud del “cuerpo de botella”
	L_s	Longitud de la hendidura auxiliar para atomización de fluido
	t_s	Profundidad de la hendidura auxiliar para atomización de fluido
35	v_A	Velocidad de flujo en la abertura de salida de fluido

ES 2 384 417 T3

v_E	Velocidad de flujo en la abertura de entrada de fluido
$2w_{f1}$	Diámetro de foco del rayo con un coeficiente K igual a K_1
$2w_{f2}$	Diámetro de foco del rayo con un coeficiente K igual a $K_2 < K_1$
$2w_{f3}$	Diámetro de foco del rayo con diámetro reducido
5 Δz	Desplazamiento de la posición del foco

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para taladrar agujeros (9, 18) en un intervalo de diámetro de 20 μm a 500 μm por medio de radiación láser (19) aprovechando, por un lado, la calidad del rayo de fuentes de radiación láser y, por otro lado, la polarización de la radiación (19), los parámetros de los impulsos de láser utilizados y la naturaleza y la presión del gas de trabajo utilizado, **caracterizado** porque se establece, en consonancia con el coeficiente de calidad K del rayo y la longitud de onda λ , la relación entre el diámetro del rayo en el lugar de ubicación del elemento de enfoque y la distancia focal de éste, que está comprendida entre 1 y 6, de modo que se obtenga un agujero taladrado (9, 18) de longitud L, cuya forma es semejante a una botella y se caracteriza por un diámetro superior más pequeña d_A , un gollete de botella adyacente (4) de longitud L_A con ensanchamiento subsiguiente en una zona de transición (5) hasta un diámetro d_E y la parte cilíndrica (6) que constituye el volumen principal de todo el agujero taladrado (9, 18) o se ensancha ligeramente hasta el extremo inferior del agujero taladrado de la abertura de entrada de fluido (7), en donde la relación de la longitud del agujero taladrado (9, 18) al diámetro de la abertura de salida de fluido L/d_A es de 2 a 20 y la relación de la longitud del agujero taladrado (9, 18) a la longitud del gollete de la botella L/L_A está en el intervalo de 3 a 10, y porque el proceso de taladrado está subdividido en un primer segmento, el segmento de pretaladrado, que, por un lado, deberá materializar ya ampliamente el gollete de botella de taladro en su forma deseada y, por otro lado, deberá crear premisas favorables para el segundo tramo del taladro, y un segundo segmento, el segmento de taladrado de conformación, en el que se tienen que crear la zona de transición y la zona del cuerpo de la botella según las consignas reotécnicas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la relación del diámetro de la abertura de entrada de fluido al diámetro de la abertura de salida de fluido d_E/d_A está en el intervalo de 1,3 a 2,0.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el agujero taladrado (9) tiene forma de reloj de arena y su talle con el diámetro d_T está situado en la mitad de la longitud del agujero taladrado, con lo que el agujero taladrado se ensancha simétricamente de preferencia en la dirección de la abertura de entrada de fluido (7) y la abertura de salida de fluido (3), y las relaciones entre el diámetro de la abertura de entrada de fluido y el diámetro del talle del agujero taladrado d_E/d_T , así como entre el diámetro de la abertura de salida de fluido y el diámetro del talle del agujero taladrado d_A/d_T están preferiblemente en el intervalo de 1,3 a 2,0.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el agujero taladrado (9) tiene forma de reloj de arena y su talle con el diámetro d_T se encuentra en la mitad superior del agujero taladrado, con lo que la relación del diámetro de la abertura de salida de fluido al diámetro del talle del agujero taladrado d_A/d_T está preferiblemente en el intervalo de 1,1 a 1,5 y la relación del diámetro de la abertura de entrada de fluido al diámetro del talle del agujero taladrado d_E/d_T está preferiblemente en el intervalo de 1,3 a 2,0.
5. Procedimiento según la reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el proceso de taladrado se realiza con radiación de onda larga, preferiblemente de un láser de CO_2 .
6. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se genera con un láser de radiación de onda corta, preferiblemente con una longitud de onda de 0,3 μm a 2 μm , el segmento de pretaladrado del taladro con el diámetro d_A , incluido el gollete de botella (4), y se generan en el segmento de taladrado de conformación con un láser de radiación de onda larga, preferiblemente con un láser de CO_2 , los tramos ensanchados de la zona de transición (5) y de la zona de entrada de fluido (6) del taladro.
7. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se genera por medio de mecanización de arranque de virutas, erosión con chispa o mecanización de precisión con ultrasonidos el segmento de pretaladrado del taladro de diámetro d_A , incluido el gollete de botella (4), y se generan en el segmento de taladrado de conformación por medio de un láser de radiación de onda larga, preferiblemente un láser de CO_2 , los tramos ensanchados de la zona de transición (5) y de la zona de entrada de fluido (6) del taladro.
8. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se efectúa en el segmento de pretaladrado por medio de láser de radiación de onda corta o por medio de mecanización de arranque de virutas, erosión con chispa o mecanización de precisión con ultrasonidos un taladro pasante completo de la pieza de trabajo con el diámetro libre más pequeño del agujero taladrado, y en el segmento de taladrado de conformación se generan los ensanchamientos deseados del agujero taladrado por medio de un láser de radiación de onda larga, preferiblemente un láser de CO_2 .
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque se utiliza para el segmento de conformación un láser de radiación de onda corta, preferiblemente en el intervalo de longitud de onda de 0,3 a 2 μm , y de un pequeño coeficiente de calidad K del rayo, en donde se cumple preferiblemente que $K < 0,2$.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque en un paso de procedimiento adicional se ensancha el agujero taladrado rotacionalmente simétrico (18) en la zona de la abertura de salida de fluido (3) por medio de unas hendiduras (10) cuyas dimensiones están comprendidas dentro de los

intervalos siguientes:

anchura de hendidura $b_s = (0,5 - 1) \times$ diámetro d_A de la abertura de salida de fluido,

longitud de hendidura $L_s = (1,5 - 3) \times$ diámetro d_A de la abertura de salida de fluido,

profundidad de hendidura $t_s = (0,1 - 0,3) \times$ longitud L del taladro.

- 5 11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado** porque las hendiduras (10) se generan a continuación del taladrado de la parte rotacionalmente simétrica del agujero taladrado (18) por medio del láser de onda larga, preferiblemente un láser de CO_2 , o del láser de onda corta o por mecanización de arranque de virutas, erosión con chispa o mecanización de precisión con ultrasonidos.
- 10 12. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque los agujeros taladrados están previstos en un círculo de agujeros unitario (12) y porque en el círculo de agujeros está situada una depresión continua de anchura b_s que está en el intervalo de $(0,5 - 1) \times$ diámetro d_A de la abertura de salida de fluido, y una profundidad t_s que está en el intervalo de $(0,5 - 2) \times$ diámetro d_A de la abertura de salida de fluido, antes o después del proceso de taladrado, bien por arranque de material mediante radiación láser o mediante mecanización productora de virutas, erosión con chispa o mecanización de precisión con ultrasonidos, poseyendo de preferencia la sección transversal de esta depresión unas formas colocadas simétricamente con respecto al círculo de agujeros (12), tal como una forma triangular, rectangular semicircular o similares.
- 15 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque se varía durante el proceso de taladrado el diámetro del haz del rayo láser (19) en el lugar de ubicación del elemento de enfoque (24).
- 20 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque se varía durante el proceso de taladrado la divergencia del haz del rayo láser (19) en el lugar de ubicación del elemento de enfoque (24).
- 15 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque se modifica durante el proceso de taladrado el coeficiente de calidad del rayo láser (19).
- 25 16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 y 14, **caracterizado** porque la variación del diámetro o de la divergencia del rayo láser se efectúa por medio de una óptica adaptativa (20).
- 25 17. Procedimiento según la reivindicación 15, **caracterizado** porque se varía el coeficiente de calidad del rayo láser (25 ó 26) en el resonador del láser o en el camino del rayo desde el láser hasta la lente de enfoque (24), preferiblemente por incorporación selectiva de un elemento óptico difractivo (33) en el trayecto del rayo.
- 30 18. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, **caracterizado** porque el proceso de taladrado con láser se subdivide en dos segmentos, generándose en el primer segmento la forma de agujero deseada por aprovechamiento de un primer gas de trabajo, preferiblemente oxígeno, que fomenta la configuración de la forma del agujero y acelera el proceso de taladrado, y mejorándose en el segundo segmento la calidad de la superficie de las paredes del taladro por medio de un segundo gas de trabajo, preferiblemente argón.

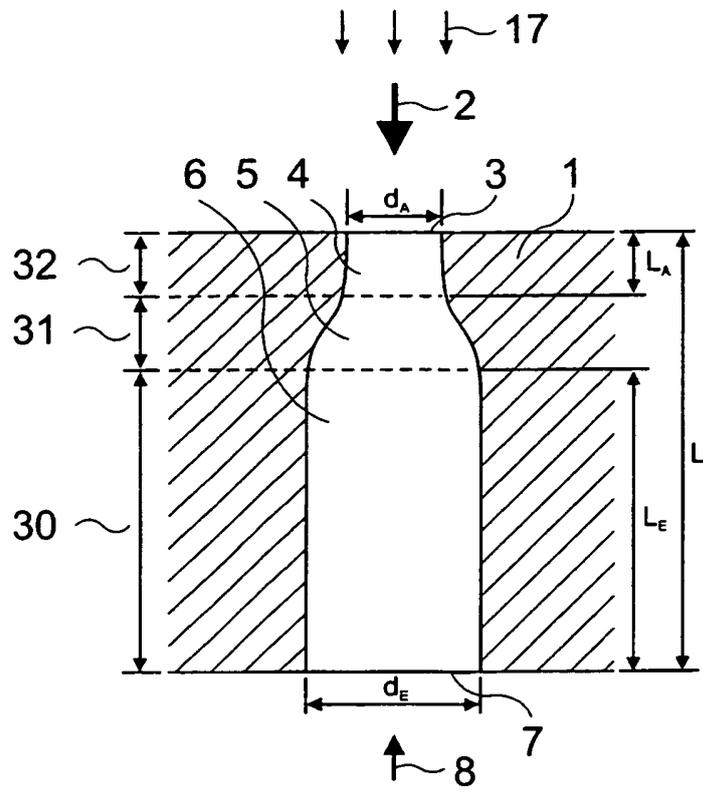


Fig. 1

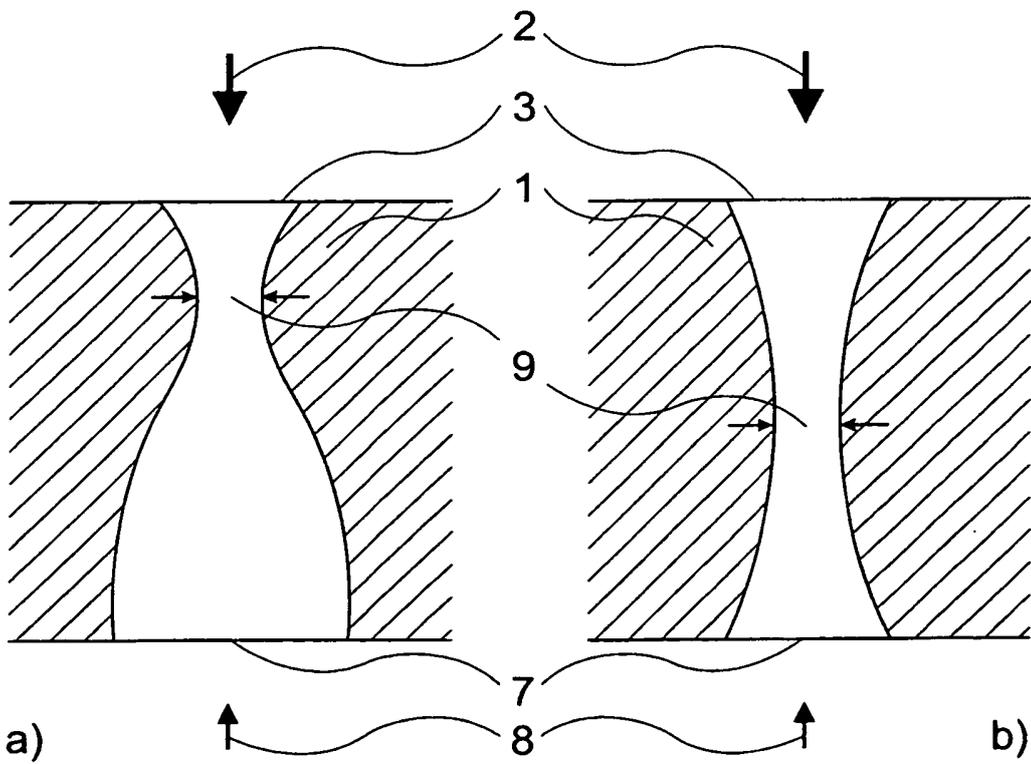


Fig. 2

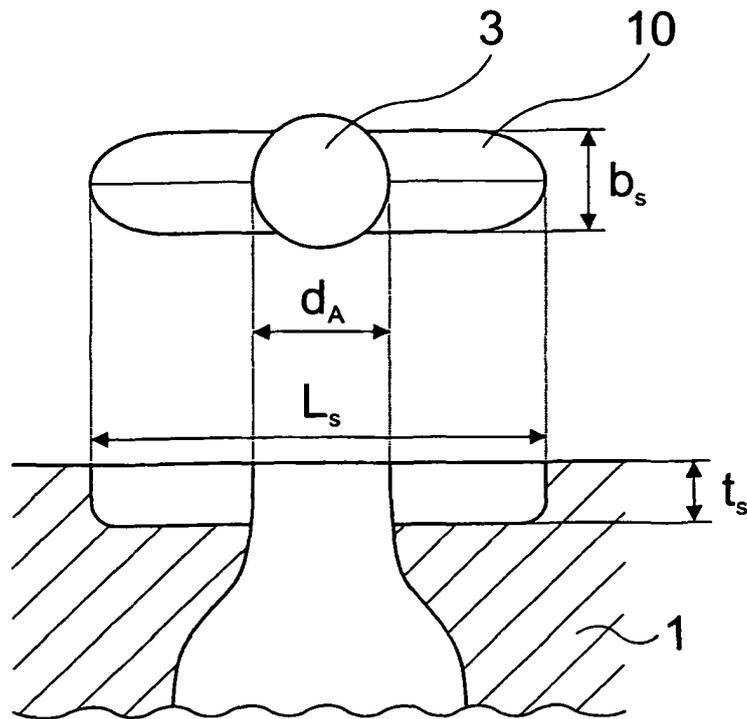


Fig. 3

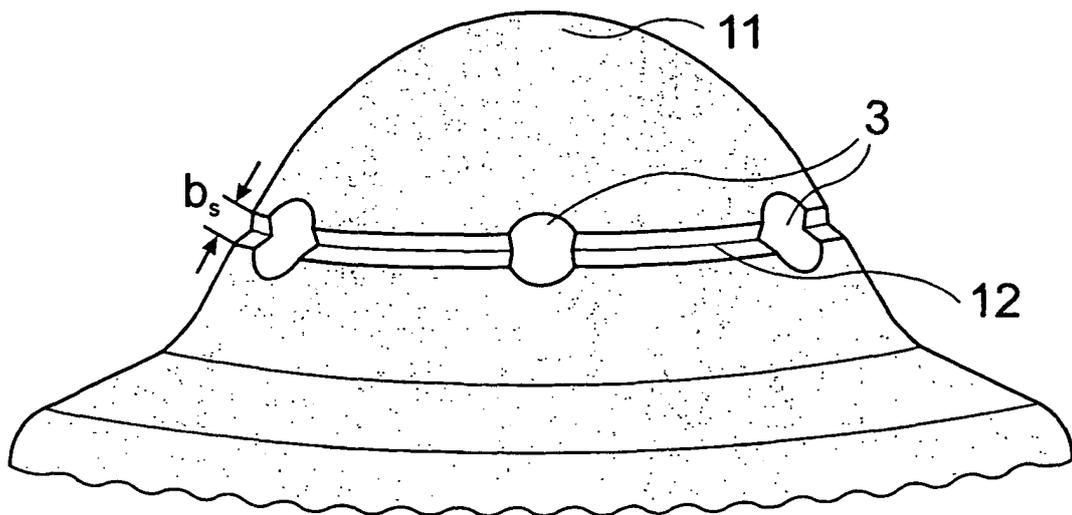
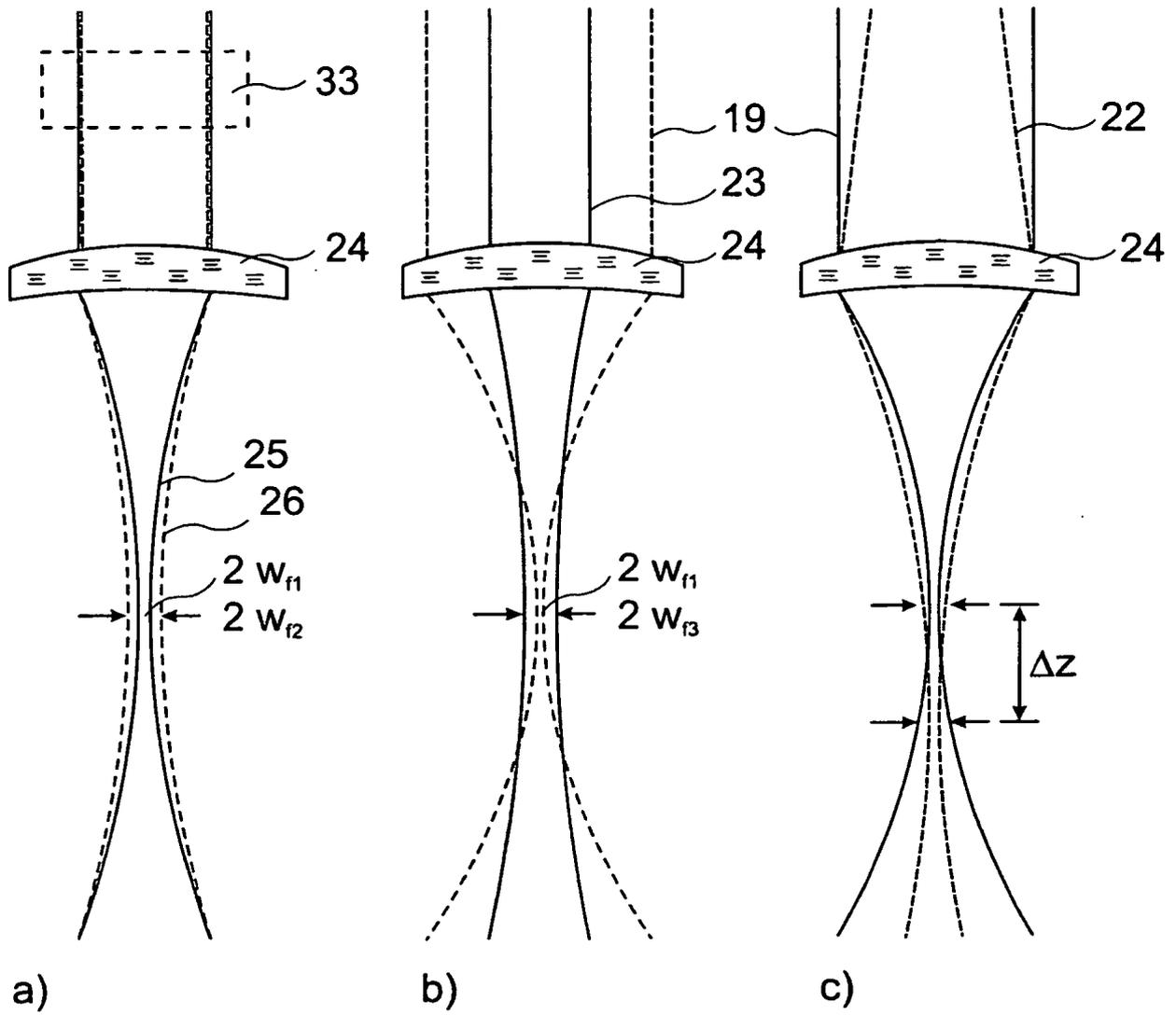


Fig. 4

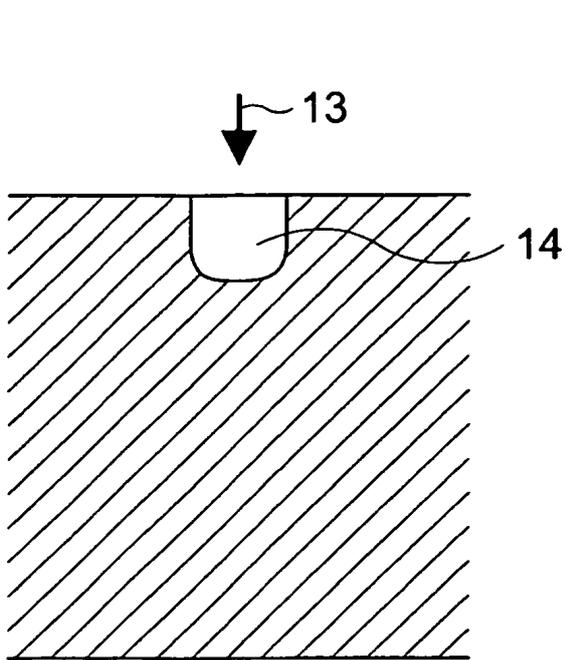


a)

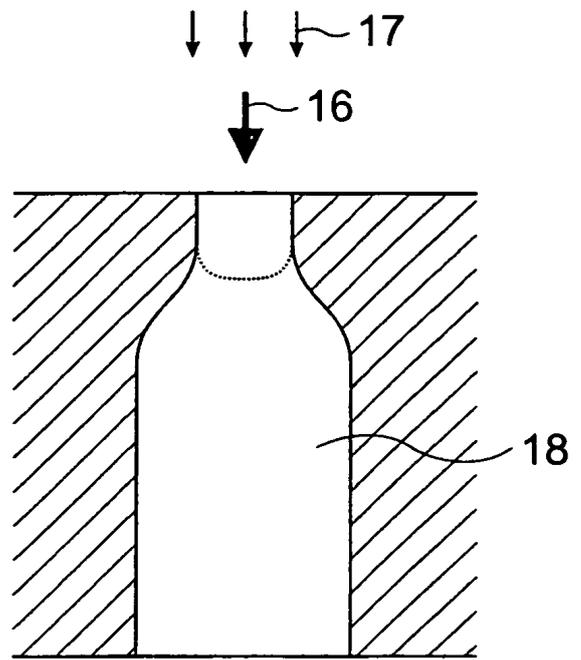
b)

c)

Fig. 5

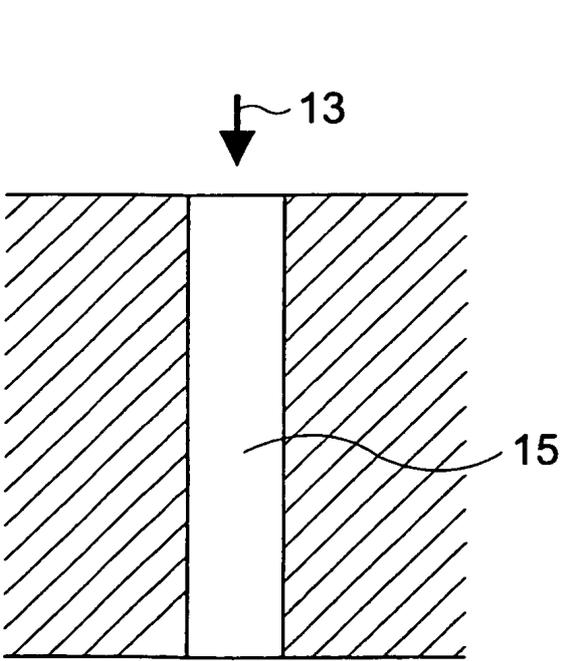


a)

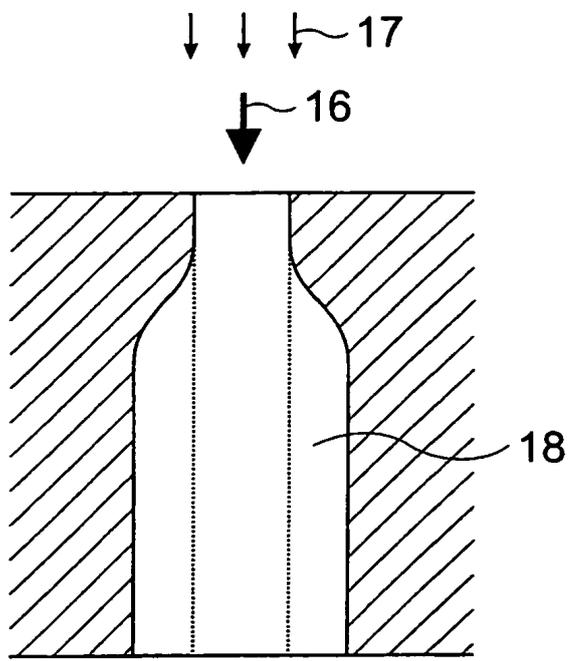


b)

Fig. 7



a)



b)

Fig. 8

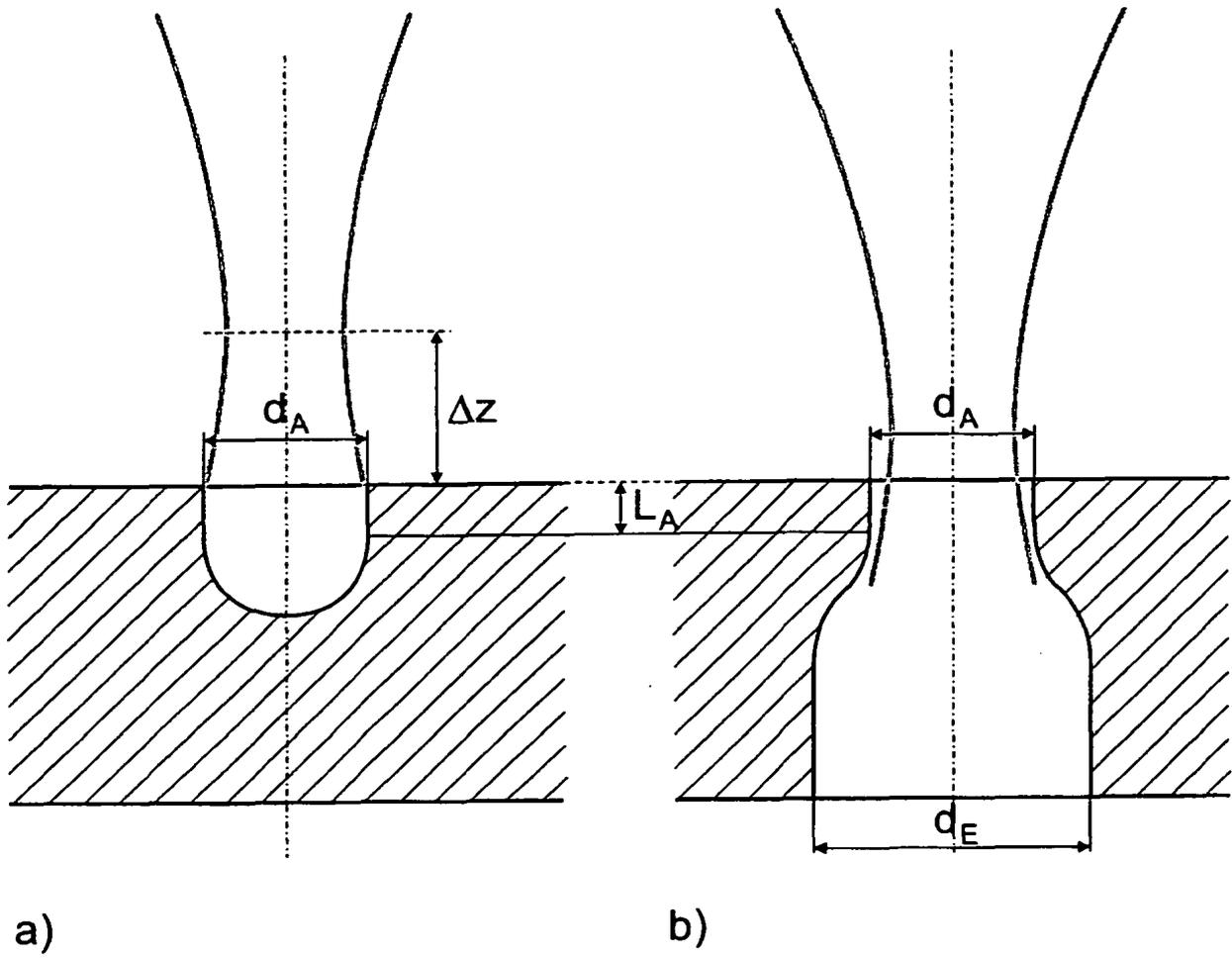


Fig. 9