

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 069**

51 Int. Cl.:

C03B 33/02 (2006.01)

B23K 26/0622 (2014.01)

B23K 26/53 (2014.01)

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/402 (2014.01)

B23K 103/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2021** **E 21159650 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024** **EP 3872041**

54 Título: **Procedimiento para separar un elemento de vidrio y un elemento parcial de vidrio**

30 Prioridad:

28.02.2020 DE 102020105358

04.09.2020 DE 102020123197

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
02.12.2024

73 Titular/es:

SCHOTT AG (100.0%)

Hattenbergstraße 10

55122 Mainz, DE

72 Inventor/es:

SOHR, DAVID;

KUNISCH, CLEMENS y

NATTERMANN, KURT

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 991 069 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 separar un elemento de vidrio y un elemento parcial de vidrio

5 La presente invención se refiere a un método para separar un elemento de vidrio al menos por regiones en al menos dos elementos de pieza de vidrio a lo largo de una superficie de separación y un elemento de pieza de vidrio, en particular que se produce y/o se puede producir con el procedimiento de acuerdo con la invención.

Estado de la técnica

10 En la producción y transformación del vidrio es necesario separar regularmente los elementos de vidrio, como por ejemplo placas de vidrio, a lo largo de una superficie de separación exactamente definida.

15 El mantenimiento de un recorrido predefinido de la superficie de separación es de gran importancia, por ejemplo, para la inter-compatibilidad de los elementos de pieza de vidrio obtenidos después de la separación con otros componentes.

Además de una superficie de separación limpia, las especificaciones a menudo también exigen un valor de rugosidad bajo, así como una alta resistencia tanto de la superficie de separación como de sus bordes.

20 La razón de esto es que los elementos de pieza de vidrio cuyas superficies de separación y bordes presentan, por un lado, una rugosidad baja y, por otro, una alta resistencia, son en general menos sensibles a las influencias externas.

25 Esto puede, en cierta medida, evitar total o al menos parcialmente que se produzcan daños externos en la superficie de separación y sus bordes y que los defectos existentes continúen en el interior del vidrio o los defectos iniciales debidos a los efectos de tensiones externas (mecánicas, térmicas,...) conducen a la propagación de grietas y, por tanto, al fallo de la pieza de vidrio.

30 Los procedimientos comunes para llevar a cabo un proceso de separación que son conocidos por los expertos en la técnica incluyen la separación térmica por rayo de láser (TLS), por ejemplo mediante un láser de CO₂, el rayado mecánico, el rayado por láser o la separación térmica basada en láser (laser based thermal shock cutting).

Este último tiene como objetivo propagar una grieta inicial en el elemento de vidrio mediante tensiones termomecánicas, generalmente generadas por un láser de CO₂.

35 Sin embargo, lo que todos estos procedimientos tienen en común es que no pueden controlar el recorrido de la grieta dentro del vidrio, o lo hacen de forma insuficiente.

40 Especialmente si, como en el caso del rayado mecánico, solo se define una línea de rayado en la superficie, la superficie de separación real que se extiende en la región de profundidad solo se puede predecir de forma imprecisa.

Lo mismo ocurre con los procesos láser mencionados, aunque su efecto no se limita fundamentalmente solo al exterior del material de vidrio.

45 En el procedimiento de filamentos por láser, también conocido por el experto en la técnica, se eliminan con un láser zonas individuales del elemento de vidrio a separar a lo largo de la superficie de separación deseada.

Por ejemplo, en los lugares deseados se crea un orificio pasante y el material se presiona contra la pared lateral de la superficie de cilindro para crear varios espacios huecos, los llamados orificios de perforación, dentro del elemento de vidrio.

50 A continuación, el elemento de vidrio preprocesado se separa finalmente por rotura, ya sea mecánicamente o por escisión, a lo largo de la línea de perforación formada por los orificios de perforación.

55 Sin embargo, debido a los agujeros de perforación también aumenta el valor de rugosidad de la superficie de separación posterior.

Se ha observado sobre todo que, al romperse, la línea de grieta puede desviarse de la línea de perforación y alejarse de ella, lo que puede conducir a una superficie de separación que no se corresponde con el recorrido realmente deseado.

60 En particular, las perforaciones creadas por láser se han identificado como el punto de partida de micro-grietas, que continúan desde orificios de perforación individuales hasta el elemento de vidrio y, por lo tanto, pueden influir en el recorrido de la superficie de separación.

También se conocen procedimientos de separación, en los que en lugar de romperse se realiza un proceso de grabado después de la filamentación por láser.

5 Además de los aspectos causados por el proceso láser, el proceso de grabado necesario es complejo de preparar y realizar y, por lo tanto, requiere mucho tiempo y en general es caro.

Los expertos en la técnica también conocen procesos de ablación en los que el material de vidrio se elimina de forma iterativa utilizando un punto de ablación.

10 Sin embargo, estos procedimientos no suelen ser rentables porque su ejecución requiere mucho tiempo.

Lo que empeora las cosas es que un proceso de este tipo suele provocar una gran zona de daños en el elemento de vidrio.

15 Además, en los elementos de vidrio separados por medio de los procedimientos conocidos, las superficies de separación y sus bordes presentan una rugosidad comparativamente alta y una resistencia de los bordes comparativamente baja, lo que conduce a una desestabilización de la superficie de separación y de sus bordes y, como resultado, va acompañado de la mayor susceptibilidad a sufrir daños descritos anteriormente.

20 El documento DE 10 2018 126381 A1 se refiere en general al procesamiento de material de piezas de trabajo mediante la separación de la pieza de trabajo a lo largo de líneas designadas.

25 El documento US 2018/221988 A1 se refiere a dispositivos y procedimientos para el procesamiento por láser de piezas de trabajo transparentes, en particular la formación de líneas de contorno en piezas de trabajo transparentes para la separación de piezas de trabajo transparentes.

El documento US 2017/203994 A1 se refiere al procesamiento de vidrio y, en particular, a sistemas y procedimientos para procesar sustratos de vidrio con haces Airy dobles.

30 Por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento con el que se superen las desventajas conocidas del estado de la técnica y que haga posible separar un elemento de vidrio de forma segura, fiable y de una manera eficiente y económica, en donde en particular es posible una determinabilidad mejorada de la superficie de separación en toda la región de profundidad y las superficies de separación resultantes, incluidos sus bordes, presentan un valor de rugosidad bajo y los bordes también presentan una alta resistencia.

35 También es un objeto de la presente invención proporcionar un elemento de pieza de vidrio que presente superficies laterales o bordes con alta resistencia.

40 El término borde es aquí sinónimo de superficie de separación.

El objeto se logra mediante la invención de acuerdo con un primer aspecto dado que se propone un procedimiento para separar al menos por regiones un elemento de vidrio en al menos dos elementos de vidrio parciales a lo largo de una superficie de separación, que comprende los pasos:

45 proporcionar el elemento de vidrio, que comprende al menos un cuerpo de vidrio que presenta al menos un material de vidrio;

50 controlar al menos un enfoque de línea dentro del cuerpo de vidrio de manera que se formen al menos una zona de tensión de tracción y/o al menos dos zonas de tensión de compresión en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación;

introducir un daño inicial para formar al menos una grieta, en cada caso en el material de vidrio en la zona de tensión de tracción y/o entre las dos zonas de tensión de compresión; y

55 se propone hacer avanzar la grieta dentro del material de vidrio en la zona de tensión de tracción o entre las dos zonas de tensión de compresión para formar la superficie de separación y separar el elemento de vidrio a lo largo de esta superficie de separación.

60 Por lo tanto, la invención se basa en el sorprendente hallazgo de que la superficie de separación dentro del material de vidrio puede ajustarse de manera particularmente fiable y controlarse en toda la región de profundidad del material de vidrio, formando primero una zona de tensión de tracción en el material de vidrio a lo largo del recorrido deseado de la superficie de separación posterior.

Por medio de un daño inicial se puede formar entonces una grieta en esta zona de tensión de tracción y hacerla avanzar, "canalizándose" la grieta a través de esta zona de tensión de tracción conforme al recorrido predeterminado de la superficie de separación.

- 5 Al tener zonas de tensión de compresión rodeando la zona de tensión de tracción al menos por regiones, se evita eficazmente que la grieta abandone la zona de tensión de tracción y se propague al material de vidrio circundante.

Para la guía de grieta puede ser suficiente una zona de tensión de tracción o dos zonas de tensión de compresión (relativas).

- 10 Mediante un enfoque de línea es posible modificar toda la región de profundidad del cuerpo de vidrio, de modo que la zona de tensión de tracción junto con las zonas de tensión de compresión que la rodean se formen realmente en todo la región de profundidad.

- 15 Mediante el enfoque de línea se concentra de forma especialmente ventajosa la energía de la luz en una zona determinada, concretamente en la región de profundidad del cuerpo de vidrio, en la que las modificaciones en forma de cambios de tensión se pueden introducir entonces de forma especialmente ventajosa en el material de vidrio.

- 20 Sobre todo, el enfoque de línea se puede formar por todo el cuerpo de vidrio con calidad inalterada y con propiedades consistentes y el material de vidrio se puede modificar en consecuencia por todo el cuerpo de vidrio de manera uniforme.

- 25 Hay que destacar especialmente que con el procedimiento de acuerdo con la invención se puede conseguir en principio cualquier forma de la superficie de separación, siempre que una formación de las diferentes zonas de tensión en el material de vidrio solo sea posible de acuerdo con el recorrido deseado de la superficie de separación.

Sin embargo, esto también posibilita superficies de separación muy complejas, que no se pueden conseguir o solo se pueden conseguir con grandes dificultades mediante procedimientos convencionales.

- 30 Mientras que en los procedimientos de separación convencionales, que se basan en la formación de cavidades, los recorridos aleatorios de las grietas pueden conducir a que la separación no se realice a lo largo de la línea de perforación realmente prevista, sino también total o parcialmente paralela a ella por un lado o por el otro, este no es el caso aquí debido a la especificación de las zonas de tensión de acuerdo con la invención.

- 35 Otra ventaja especialmente importante de la presente invención, especialmente en procesos de mecanizado en condiciones de sala limpia, es que todo el proceso de separación se realiza sin desprendimiento de material y, por lo tanto, no provoca contaminación alguna del propio material ni del entorno.

- 40 La separación mecánica, por otro lado, puede producir cavidades y/o astillas, especialmente en caso de geometrías de superficie de separación más complejas.

- 45 De manera completamente sorprendente se ha demostrado también que el procedimiento de acuerdo con la invención aumenta en algunos casos considerablemente la resistencia de la superficie de separación y de sus bordes en comparación con los procedimientos de separación convencionales.

Los inventores atribuyen esto a que la zona de tensión de compresión estabiliza, por así decirlo, la superficie de separación posterior y, por lo tanto, aparentemente evita al mismo tiempo que se produzcan daños en la superficie de separación y los bordes o que continúen hacia el interior del material de vidrio.

- 50 Al mismo tiempo, los inventores también descubrieron que el procedimiento de acuerdo con la invención también se puede utilizar para reducir la rugosidad de la superficie de separación y sus bordes en comparación con los resultados con técnicas conocidas hasta ahora.

- 55 Los inventores explican esto diciendo que, al determinar exactamente el recorrido de la superficie de separación a través de la zona de tensión de tracción, la separación del elemento de vidrio se desarrolla por así decirlo de forma más ordenada, lo que significa que se producen menos perturbaciones.

Gracias a esta llamada separación tranquila, la superficie de separación es más lisa y, por tanto, menos rugosa.

- 60 Lo que resulta especialmente ventajoso del procedimiento de acuerdo con la invención es que el pretensado de los bordes no requiere el uso de líquido.

Más bien, los bordes ya están inherentemente pretensados.

Por lo tanto, en formas de realización especialmente preferidas hay que tener en cuenta que la superficie de separación y/o los bordes de la superficie de separación está o están pretensados inherentemente, en particular después de la separación del elemento de vidrio a lo largo de esta superficie de separación.

5 El procedimiento propuesto contribuye así de muchas maneras a mejorar el proceso de separación y el resultado, ya que se consigue un control claramente mejorado del recorrido de la grieta, es decir, controlando el campo de tensiones, es decir, sobre la superficie de separación, así como se mejoran los valores de rugosidad y resistencia.

10 Al mismo tiempo, el procedimiento de acuerdo con la invención se puede implementar utilizando medios comunes y, por lo tanto, se puede integrar fácilmente en sistemas existentes.

En particular, los procedimientos para cortar placas de vidrio y provocar recortes de placas de vidrio, se pueden llevar a cabo de forma especialmente eficiente y con resultados especialmente buenos.

15 En otras palabras, la invención también podría resumirse breve y sucintamente de tal manera que una región en el material de vidrio de un cuerpo de vidrio pueda modificarse mediante uno o más pases continuos y/o discretos con el láser a lo largo de toda la profundidad, de modo que en un paso posterior se pueda separar el elemento de vidrio a lo largo de una superficie especificada con precisión.

20 Por lo tanto, la invención hizo posible poder modificar elementos de vidrio, como por ejemplo placas de vidrio o lunas de vidrio, incluso con espesores grandes a partir de 0,6 mm, en particular con un espesor de entre 0,6 mm y 10 mm, preferiblemente entre 0,6 mm y 5 mm o entre 3 mm y 5 mm, más preferiblemente entre 0,6 mm y 3 mm, incluso más preferiblemente entre 0,6 mm y 2 mm o lo más preferido entre 0,6 mm y 1,5 mm, con un a sola pasada en toda la profundidad.

25 Por ejemplo, los elementos de vidrio pueden presentar un espesor de 1 mm a 50 mm, de 1 mm a 40 mm, de 1 mm a 30 mm, de 1 mm a 20 mm o de 1 mm a 15 mm.

30 Alternativa o adicionalmente, los elementos de vidrio tienen un espesor mayor que 1 mm, mayor que 5 mm o mayor que 10 mm.

En otras palabras, el procedimiento de acuerdo con la invención permite en principio procesar elementos de vidrio en un primer paso realizando modificaciones, por ejemplo modificaciones tubulares o cilíndricas.

35 En un paso adicional, se puede separar el elemento de vidrio o crear un contorno exterior cerrado aplicando tensiones mecánicas y/o térmicas al material.

En principio, también se pueden crear contornos interiores, por ejemplo, mediante grabado posterior.

40 En general, los procedimientos utilizados en el paso adicional provocan daños en la zona de tensión de tracción creada por las modificaciones.

45 En una forma de realización preferida, en el primer aspecto de la invención puede estar previsto alternativa o adicionalmente que el al menos un enfoque de línea dentro del cuerpo de vidrio se controle de tal manera que al menos una zona de tensión de tracción y dos o más zonas de tensión de compresión se forman en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación.

50 El experto en la técnica entiende que si algo ocurre "a lo largo" de la superficie de separación, por ejemplo la formación de zonas de tensión, tales como las zonas de tensión de compresión y/o tracción, la superficie de separación no necesariamente tiene que estar presente en ese momento (todavía), ya que solo está completamente formada después de que el elemento de vidrio se haya separado en los dos elementos de pieza de vidrio.

En su lugar, se trata entonces del área de separación planificada.

55 Por lo tanto, en formas de realización preferidas, el procedimiento puede comprender además, alternativa o adicionalmente, el paso:

determinar una superficie de separación planificada del elemento de vidrio.

60 Todo lo que se refiere a la superficie de separación en el elemento de vidrio aún no separado se refiere a la superficie de separación planificada.

Por ejemplo, controlar el enfoque de línea incluye entonces formar al menos una zona de tensión de tracción y/o al menos dos zonas de tensión de compresión en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación planificada.

El experto en la técnica entiende que el enfoque de línea debe formarse fundamentalmente dentro del cuerpo de vidrio.

5 Esto incluye casos en los que el enfoque de línea se forma completamente dentro del cuerpo de vidrio, es decir, no se forma enfoque de línea alguno fuera del cuerpo de vidrio.

10 La línea de enfoque se forma entonces preferiblemente hasta la superficie del cuerpo de vidrio dentro del cuerpo de vidrio, o la línea de enfoque está formada hasta una cierta distancia, por ejemplo una distancia de hasta 2 μm , hasta 1 μm o hasta 0,5 μm a la superficie respectiva dentro del cuerpo de vidrio.

15 Pero, naturalmente, también hay casos en los que el enfoque de línea también se forma en el cuerpo de vidrio, pero también se extiende fuera de él.

De hecho, esto representa incluso un caso preferido.

15 El objeto se logra mediante la invención de acuerdo con un segundo aspecto, dado que se propone un procedimiento para separar al menos por secciones un elemento de vidrio en al menos dos elementos de pieza de vidrio a lo largo de una superficie de separación, que comprende los pasos:

20 proporcionar el elemento de vidrio, que comprende al menos un cuerpo de vidrio que presenta al menos un material de vidrio;

25 controlar al menos un enfoque de línea dentro del cuerpo de vidrio de manera que se formen al menos una zona de tensión de tracción y al menos dos zonas de tensión de compresión en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación;

introducir un daño inicial para formar al menos una grieta, en cada caso en el material de vidrio en la zona de tensión de tracción y/o entre las dos zonas de tensión de compresión; y

30 hacer avanzar la grieta dentro del material de vidrio en la zona de tensión de tracción o entre las dos zonas de tensión de compresión para formar la superficie de separación y separar el elemento de vidrio a lo largo de esta superficie de separación.

35 Se puede hacer referencia a las declaraciones sobre el primer aspecto de la invención, que también se aplican aquí.

Por lo tanto, en el segundo aspecto de la invención, en formas de realización preferidas, el procedimiento también puede comprender alternativa o adicionalmente el paso:

40 determinar una superficie de separación planificada del elemento de vidrio.

45 Alternativa o adicionalmente, en el primer y segundo aspecto de la invención también puede estar previsto que (i) las zonas de tensión de compresión estén espaciadas entre sí al menos por regiones; (ii) la zona de tensión de tracción está rodeada al menos por regiones por al menos una zona de tensión de compresión; (iii) el control del enfoque de línea incluye formar al menos una zona de tensión de tracción y al menos dos zonas de tensión de compresión en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación, en donde la zona de tensión de tracción está rodeada al menos por regiones por al menos una de las dos tensiones de compresión zonas; (iv) el control del enfoque de línea incluye mover el elemento de vidrio con respecto al enfoque de línea, por lo que el enfoque de línea puede formarse preferiblemente, en particular de forma sucesiva o continua, al menos en las diferentes regiones locales; (v) el control del enfoque de línea conduce a una formación no destructiva de las zonas de tensión, introduce modificaciones del tipo "cambio suave del índice de refracción" en el material de vidrio, y/o incluye que el enfoque de línea se forme sucesivamente dentro de diferentes regiones locales del material de vidrio a lo largo de la superficie de separación y con ello el material de vidrio de cada una de estas regiones locales se modifica con respecto a sus valores de tensión locales, y en donde la distancia entre las regiones locales individuales se selecciona de manera que al menos las regiones locales inmediatamente adyacentes se superpongan al menos parcialmente, de modo que se forma un corredor continuo de modificaciones introducidas en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación, en donde preferiblemente mediante la superposición de las modificaciones de varias regiones locales se forman las diferentes zonas de tensión, y/o en donde las regiones locales individuales discurren en al menos un plano de sección transversal, preferiblemente que discurre paralelo a al menos una superficie, en particular que comprende al menos uno de los bordes de corte de la superficie de separación, del elemento de vidrio, a lo largo de un camino rectilíneo; y/o (vi) en al menos un plano de sección transversal, preferiblemente en todos los planos de sección transversal, paralelo a la superficie del cuerpo de vidrio, las regiones locales están formadas circulares y/o dos regiones locales inmediatamente adyacentes (a) presentan una distancia de centro-centro o una distancia de centro de gravedad-centro de gravedad que es menor que el mayor diámetro de su extensión, en particular la extensión en el plano de sección transversal, y/o (b) una distancia de centro-centro o una distancia centro de gravedad-centro de gravedad de 1000 nm

o menos, más preferiblemente de 100 nm o menos, más preferiblemente de 10 nm o menos, y lo más preferido de 1 nm o menos.

Dado que el control del enfoque de línea se desarrolla sin destrucción en el sentido de una cavidad, una fase separada o grietas en el cuerpo de vidrio o en el material de vidrio, es posible determinar de manera especialmente ventajosa el recorrido de la superficie de separación, concretamente mediante la formación de la zona de tensión de tracción, por un lado, y la realización de la separación física, es decir, introduciendo y haciendo avanzar una grieta en la zona de tensión de tracción, por otro lado, para separarse entre sí y así poder obtener un mayor control sobre el proceso de separación en comparación con los procedimientos convencionales.

En los procedimientos de separación conocidos hasta ahora, la especificación del proceso va acompañada ya de un debilitamiento del material, lo que a su vez puede conducir a daños poco controlables en el material de vidrio restante.

Sin embargo, con la invención es posible modificar el material de vidrio de tal manera que no se introduzcan grietas, espacios huecos o similares en el material.

La distancia se elige preferiblemente de modo que se evite una superposición de la zona de tensión de compresión en la zona central a lo largo de la superficie de separación planificada, correspondiendo la distancia a aproximadamente el doble del espesor de la zona de tensión de compresión.

De manera particularmente preferida, las distancias medias son de 20 a 200 nm, sin embargo también son posibles distancias más pequeñas.

Las modificaciones del tipo "cambio suave del índice refractivo" son modificaciones no destructivas, es decir, modificaciones que están libres de grietas radiales, cavidades o fuertes contrastes de fases, y que contienen cambios significativos en el estado de tensión.

En la literatura técnica, este tipo de modificación suele denominarse "cambio suave del índice refractivo" (soft refractive index change, del inglés) debido al cambio asociado en el índice de refracción.

La ventaja de tales modificaciones, cf. guías de ondas escritas con UKP, soldadura por láser UKP, es una menor interferencia en la expresión del enfoque de la línea debido a modificaciones anteriores.

Seleccionando diferentes regiones locales del material de vidrio para formar el enfoque de línea y modificando apropiadamente los valores de tensión del material de vidrio dentro de estas regiones locales del enfoque de línea, se pueden determinar y controlar selectivamente el recorrido y la formación de las zonas de tensión.

En particular, esto hace posible seleccionar ubicaciones discretas dentro del cuerpo de vidrio o del material de vidrio en las que se deben introducir zonas de tensión.

Mediante la superposición de regiones locales adyacentes se consigue una superficie de volumen continua en el cuerpo de vidrio con los correspondientes valores de tensión, es decir, por así decirlo, un corredor.

En particular, si la formación de las diferentes zonas de tensión, es decir, una zona de tensión de tracción y/o las dos zonas de tensión de compresión, se produce como resultado de la superposición de las modificaciones de tensión de regiones locales adyacentes, a pesar de varias zonas de tensión, solo se necesita un solo enfoque y solo una pasada para formarlas.

Por supuesto, también sería imaginable que para cada región local existieran varios enfoques del enfoque de línea.

Preferiblemente se pueden utilizar varios enfoques para expresar la modificación, debiendo presentar, en particular no todos estos enfoques, la misma geometría.

Para formar una superficie de separación rectilínea, las regiones locales individuales pueden seleccionarse de modo que discurren a lo largo de un camino rectilíneo.

El experto en la técnica entiende que una región local del material de vidrio puede ser en principio mayor que el área ocupada por el enfoque de línea en el material de vidrio.

Una región local se determina dado que en esta zona el material de vidrio se modifica, es decir, se cambia, mediante el enfoque de línea, con respecto a sus valores de tensión.

En formas de realización preferidas, alternativa o adicionalmente puede estar previsto que el control del enfoque de línea incluya guiar el enfoque de línea de forma continua o discreta a través del cuerpo de vidrio.

El experto en la técnica sabe que en el caso de un láser pulsado no es posible una formación continua del enfoque de línea, pero que el enfoque de línea formado con un láser de este tipo se puede guiar muy bien "de forma continua a través del cuerpo de vidrio" en el sentido de la invención.

Esto no significa otra cosa que el lugar donde se forma el enfoque de la línea cambia continuamente.

Los inventores han reconocido que el enfoque de línea se puede mover y/o desviar de varias maneras para formar las diferentes zonas de tensión a lo largo de la superficie de separación:

Por ejemplo, el enfoque de línea se puede mover (casi) continuamente a lo largo de la superficie de separación.

De este modo se pueden realizar modificaciones especialmente uniformes.

La velocidad del movimiento debería elegirse preferiblemente de modo que se puedan formar las respectivas zonas de tensión.

O el enfoque de línea alcanza consecutivamente posiciones discretas individuales, es decir, regiones locales.

Como se ha señalado, las posiciones deberían elegirse de modo que al menos las regiones locales adyacentes en las que se producen las modificaciones respectivas se superpongan al menos parcialmente.

Si, por ejemplo, el enfoque de línea presenta una sección transversal redonda e irradia perpendicular sobre la superficie, y por lo tanto las regiones locales se forman cilíndricas en el material de vidrio y el enfoque de línea representa por consiguiente un área circular en la superficie del cuerpo de vidrio, en formas de realización preferidas, la distancia entre posiciones adyacentes a lo largo de la superficie de separación podría ser menor que el diámetro simple, preferiblemente menor que la mitad del diámetro, del círculo.

Esto asegura que se formen zonas continuas de tensión de compresión y de tracción en el material de vidrio.

Por ejemplo, el diámetro único podría ascender a 2 μm y el diámetro medio a 1 μm .

Para otros enfoques de línea que conducen a otras regiones locales y superficies de separación con la superficie (generalmente diseñada) del cuerpo de vidrio, se aplican las consideraciones correspondientes y también se puede utilizar la distancia de centro de gravedad-centro de gravedad en lugar de la distancia de centro-centro.

Alternativa o adicionalmente, en el primer y segundo aspecto de la invención también se puede prever que i. el enfoque de línea está formado por al menos un rayo luminoso, en particular en forma de un rayo láser, presentando preferiblemente dicho al menos un rayo láser un perfil de rayo Airy y/o un perfil de rayo Bessel al menos en la zona del enfoque de línea;

ii. el rayo de luz está diseñado al menos en la zona del enfoque de línea como un rayo de luz con alimentación de rayo asimétrica, en particular la energía se suministra de forma asimétrica, y preferiblemente (a) está diseñado de tal manera que el centro de gravedad de la distribución de energía se realiza al menos en un plano perpendicular al plano en el que se propaga el rayo, se encuentra en la zona del material de vidrio no modificada previamente, (b) los rayos parciales del rayo de luz solo inciden desde la mitad del espacio, o una parte del mismo, (c) los rayos parciales del rayo de luz solo inciden desde direcciones elegidas de manera que no se propaguen a través de áreas del cuerpo de vidrio en las que el material de vidrio ya ha sido modificado, (d) el rayo de luz presenta al menos un plano especular paralelo al plano en el que se propaga el rayo, (e) debe entenderse el término "asimétrico" en el sentido de "no rotosimétrico", en particular no se excluyen otras simetrías y/o (d) los rayos parciales del rayo de luz en cada plano paralelo a al menos una superficie del elemento de vidrio y/o en cada plano perpendicular al eje óptico del rayo de luz solo se inciden desde uno o solo desde dos cuadrantes;

iii. el rayo o rayos láser se generan mediante al menos un láser y el láser funciona en modo pulsado, en particular en modo de láser pulsado ultracorto;

iv. el láser presenta una longitud de onda de entre 300 nm y 1200 nm, preferiblemente 1064 nm, una duración de pulso de entre 0,1 ps y 100 ps, preferiblemente entre 0,1 ps y 10 ps, preferiblemente 1 ps u 8 ps, y/o, al menos por regiones en el enfoque de línea, una energía de pulso de entre 10 nJ/mm y 200 $\mu\text{J}/\text{mm}$, preferiblemente entre 10 nJ/mm y 100 $\mu\text{J}/\text{mm}$ o 110 $\mu\text{J}/\text{mm}$, para enfoques puntuales:

1 nJ a 100 nJ y para ráfaga 1 nJ - 20 nJ;
y/o

v. el enfoque de línea está formado total o parcialmente mediante al menos una máscara de fase, en particular que presenta una fase cúbica, mediante al menos un objetivo de microscopio, mediante al menos una estructura 4f, mediante al menos una alimentación de rayo asimétrica y/o mediante varios elementos de conformación del rayo, como por ejemplo lentes cilíndricas, en particular los elementos de conformación del rayo se seleccionan y/o disponen de tal manera que el enfoque de línea se forma mediante coma, astigmatismo y/o aberración esférica.

Los inventores han reconocido que la introducción de las zonas de tensión en el cuerpo de vidrio o en el material de vidrio se puede realizar de manera particularmente sencilla y eficaz utilizando medios comunes disponibles en el mercado si se utiliza un láser para este fin, es decir, los rayos de luz representan o incluyen rayos láser.

El uso de un rayo láser o de varios rayos láser permite una formación de alta precisión de las zonas de tensión en el material de vidrio.

Además, los componentes ópticos para sistemas láser están fácilmente disponibles.

Además, los láseres permiten crear incluso las estructuras más finas, en este caso zonas de tensión.

Preferiblemente el láser es un láser pulsado ultracorto.

En particular, el láser pulsado ultracorto emite pulsos con una longitud de pulso inferior a 20 ps, preferiblemente 10 ps o menos o 1 ps o menos.

Preferiblemente se utiliza un rayo láser pulsado ultracorto con enfoque de línea.

Si se elige adecuadamente la energía del pulso, no se crean cavidades en el material de vidrio, pero el material de vidrio se modifica en términos de sus valores de tensión.

De este modo se puede crear una zona de tensión de tracción, que está rodeada por ambos lados, por ejemplo, por una zona de tensión de compresión.

El experto sabe que una formación continua del enfoque de línea con un láser pulsado no es posible, pero que el enfoque de línea formado con un láser de este tipo puede "desplazarse continuamente a lo largo de la superficie de separación" en el sentido de la invención.

Esto no significa otra cosa que el lugar donde se forma el enfoque de la línea cambia continuamente.

Si el rayo láser presenta un perfil de rayo Airy o Bessel, se puede obtener de manera especialmente eficiente y sencilla un enfoque de línea.

Si el láser funciona en modo pulsado, la modificación se puede introducir de forma especialmente eficaz en el material de vidrio.

Es posible otro enfoque de línea, por ejemplo con una lente esféricamente aberrante, o (en varias pasadas) también enfoques de punto, por ejemplo con un enfoque Gauss estándar.

También se puede generar de forma especialmente sencilla y eficiente un rayo de Airy o un rayo de Bessel.

Por ejemplo, un rayo gaussiano puede servir como base de partida, que se convierte entonces en un rayo Bessel por medio de ópticas apropiadas, como por ejemplo un axicón.

Por ejemplo, un rayo de Airy puede ser una imagen de un rayo con una fase cúbica creada directamente mediante una máscara de fase (DOE o SLM) o una construcción con lentes cilíndricas.

La energía del pulso y/o la duración del pulso se eligen preferiblemente de modo que no se destruya el material de vidrio.

Una alimentación de rayo asimétrica conduce a un enfoque más estable del rayo láser, en particular si esto garantiza que los rayos parciales tengan longitudes de camino óptico menos desviadas en el camino hacia el enfoque.

El paralelismo entre la variación del índice de refracción y el enfoque de la línea es crucial, y más aún lo es la simetría.

Porque si el cambio en la longitud del camino óptico debido a la variación del índice de refracción es el mismo para todos los rayos parciales, se produce la menor cantidad de alteración en el enfoque.

La distribución asimétrica del rayo conduce así a una modificación selectiva del material de vidrio.

Sin embargo, también son imaginables formas de rayo simétricas, por ejemplo la del rayo de Bessel o la forma del rayo causada por una óptica/lente esféricamente aberrante.

5 El experto entiende que en el caso de un rayo asimétrico existe una disposición asimétrica de los rayos parciales, pero, naturalmente, en principio no se utilizan varias trayectorias de rayo para la alimentación de rayo asimétrica.

10 Un rayo de luz con alimentación de rayo asimétrica cumple de forma especialmente sencilla y eficaz la propiedad de reducir o eliminar los rayos parciales laterales.

A tal efecto (a modo de ejemplo mediante una óptica de conformación de rayo), la energía ya no se alimenta rotosimétrica sobre la línea focal a lo largo de un área cónica, sino ahora de forma asimétrica.

15 En otras palabras, el rayo de luz está conformado de tal manera que, a diferencia de los rayos de luz utilizados habitualmente, no presenta porciones del rayo de luz que puedan coincidir con las modificaciones ya introducidas.

20 De este modo se puede garantizar que el rayo de luz no se vea afectado en gran medida por las modificaciones existentes y, por lo tanto, se puedan formar zonas de tensión de calidad especialmente alta, ya que el enfoque de línea se puede configurar con una calidad alta constante en todo el rango de espesor del elemento de vidrio.

En relación con la alimentación de rayo o alimentación de energía, el término "asimétrico" se entiende en el presente caso en el sentido de "no rotosimétrico".

25 Esto significa que no se excluyen otras simetrías.

Por ejemplo, el rayo Airy tiene un plano especular paralelo al plano en el que se encuentra su recorrido arqueado.

30 Si la energía se suministra de forma asimétrica, preferiblemente de tal manera que el centro de gravedad de la distribución de energía se encuentre en el plano perpendicular a la dirección de propagación del rayo en la zona del material de vidrio no modificado previamente, se puede evitar de forma especialmente eficaz que el enfoque de la línea esté influenciado por las modificaciones existentes.

35 Los rayos parciales pueden discurrir por una mitad del espacio o por una parte del mismo, de esta manera se garantiza que los rayos parciales siempre discurran por la región de vidrio aún no modificada.

Un chorro Airy es especialmente apropiado para la alimentación de rayo asimétrica/lateral.

40 Un rayo Bessel es especialmente apropiado para una alimentación de rayo simétrica/radial.

En formas de realización preferidas se da el caso de que esté presente una línea de enfoque curva.

En tales casos, el experto habla también de un "rayo de luz acelerado".

45 Por lo tanto, se puede ver que, dependiendo de la situación, se pueden usar particularmente bien para la presente invención una gran cantidad de formas de rayo diferentes (por ejemplo, Gauss, Bessel, rayo esféricamente aberrado, etc.).

50 La relación entre el diámetro del rayo y la escala de la máscara de fase/aberración debería elegirse de modo que los máximos secundarios no perturben el proceso.

60 Alternativa o adicionalmente, en el primer y segundo aspecto de la invención también puede estar previsto que (i) en la zona de tensión de tracción y/o de compresión las isobaras de la primera tensión principal discurran paralelas a la superficie de separación; (ii) las dos zonas de tensión de compresión están separadas entre sí, en particular discurren paralelas y espaciadas entre sí; y/o (iii) en al menos un plano de sección transversal, preferiblemente en todos los planos de sección transversal, paralelo a la superficie del cuerpo de vidrio al menos por regiones, preferiblemente en todas, i. la zona de tensión de tracción está dispuesta en forma de sándwich, en particular directamente, entre las dos zonas de tensión de compresión; y/o ii. la zona de tensión de tracción presenta un primer espesor y la zona de tensión de compresión presenta un segundo espesor, en donde preferiblemente el primer o segundo espesor se mide en el plano de sección transversal en una dirección perpendicular a la dirección de extensión principal de la superficie de separación y/o el espesor máximo de la zona de tensión de compresión o de tracción es en cada caso el plano de sección transversal respectivo, y en donde en particular el primer espesor es menor que 50 μm , preferiblemente menor que 10 μm , más preferiblemente menor que 5 μm , incluso más preferiblemente menor que 2 μm , incluso más

preferiblemente menor que 1 μm y lo más preferido entre 0,1 μm y 1 μm , y/o el segundo espesor es menor que 100 μm y/o mayor que 1 nm, en particular entre 10 nm y 1 μm .

5 Al hacer que las isobaras de la primera tensión principal discurren paralelas a la superficie de separación planificada en las zonas de tensión de compresión y/o tracción, se consigue una "canalización" especialmente fiable de la grieta y, con ello, se puede lograr una formación especialmente fiable de la superficie de separación de acuerdo con el recorrido deseado.

10 Debido a que las zonas de tensión de compresión encierran a modo de sándwich la zona de tensión de tracción, se garantiza especialmente bien que la grieta discurra dentro de la zona de tensión de tracción y no salga de ella.

Esto puede favorecer de forma especialmente ventajosa la propagación de la grieta y con ello la formación de la superficie de separación de acuerdo con el recorrido deseado.

15 Eligiendo espesores adecuados para las zonas de tensión de compresión o de tracción se pueden conseguir muy buenos resultados en cuanto a la superficie de separación con una modificación mínima del material de vidrio.

20 En particular, si el primer y el segundo espesor guardan entre sí una relación preferida, se consigue una coordinación especialmente buena de la propagación de los dos tipos de zona y con ello, con la menor modificación posible, se consiguen un buen control de la superficie de separación y buenas propiedades tanto de la superficie de separación como del borde.

Los valores preferidos para el primer espesor son < 50 μm , 10 μm , 5 μm , 2 μm , 1 μm , en particular 0,1 μm - 1 μm .

25 Los valores preferidos para el segundo espesor son < 100 μm (o mayor), > 1 nm, en particular 10 nm - 1 μm .

La anchura de la zona de tensión de tracción o la distancia entre las zonas de tensión de compresión debe ser lo más pequeña posible para definir la ubicación de la superficie de separación final con la mayor precisión posible.

30 El espesor de las zonas de tensión de compresión, por el contrario, debe ser lo más grande posible para obtener un producto lo más estable posible (gran profundidad de pretensado).

También existe una interdependencia entre el espesor de la zona de tensión de compresión y la amplitud, que debe optimizarse (como al pretensar el vidrio).

35 Alternativa o adicionalmente, en el primer y segundo aspecto de la invención también se puede prever que i. el daño inicial se introduce en el material de vidrio mediante un láser pulsado, que presenta preferiblemente una energía de pulso de entre 80 $\mu\text{J}/\text{mm}$ y 300 $\mu\text{J}/\text{mm}$ y/o una duración de pulso de entre 0,1 ps y 20 ps; ii. la grieta se hace avanzar mediante rotura mecánica, escisión y/o mediante al menos un proceso de láser pulsado ultracorto (UKP); y/o iii. la superficie de separación discurre y/o se forma dentro de la zona de tensión de tracción y/o entre dos zonas de tensión de compresión.

40 Si el daño inicial se introduce en el material de vidrio mediante un láser pulsado, la grieta se puede iniciar espacialmente de forma muy selectiva y con una energía de pulso optimizada para el caso de aplicación.

45 Para el daño inicial, la energía de pulso es preferiblemente de 80 $\mu\text{J}/\text{mm}$ - 300 $\mu\text{J}/\text{mm}$ a 0,1 ps - 20 ps.

50 Si la grieta se propaga mediante rotura mecánica, escisión y/o mediante al menos un proceso de láser pulsado ultracorto (UKP), esto se puede hacer mediante medios convencionales y confiables que están fácilmente disponibles y son bien controlables para este propósito.

55 En formas de realización preferidas, en el primer y segundo aspecto de la invención puede estar previsto alternativa o adicionalmente que la superficie de separación discurra y/o esté formada dentro de la zona de tensión de tracción y/o entre las dos zonas de tensión de compresión formadas por el enfoque de línea controlado.

60 Alternativa o adicionalmente, en el primer y segundo aspecto de la invención también puede estar previsto que las regiones locales en el material de vidrio sean al menos por secciones tubulares y/o cilíndricas y/o curvadas, en particular en forma de hoz en al menos al menos un plano de sección transversal, y/o preferiblemente se extienden desde la superficie del cuerpo de vidrio hasta la superficie del cuerpo de vidrio opuesta a la superficie a través de todo el rango de espesor del cuerpo de vidrio encerrado entre las dos superficies.

En formas de realización preferidas, las regiones locales se extienden en una dirección perpendicular a la dirección de extensión principal de la superficie de separación.

Alternativa o adicionalmente, en el primer y segundo aspecto de la invención también puede estar previsto que el elemento de vidrio, en particular el cuerpo de vidrio, tenga al menos parcial y/o completamente forma de disco y/o que el material de vidrio sea al menos parcialmente vidrio de silicato, tal como vidrio de aluminosilicato y/o vidrio de borosilicato.

El objeto se logra mediante la invención de acuerdo con un tercer aspecto dado que se propone un elemento de pieza de vidrio, en particular producido y/o producible usando un procedimiento de acuerdo con el primer y/o segundo aspecto de la invención, que comprende al menos un cuerpo de vidrio que presenta al menos al menos un material de vidrio, que presenta al menos una superficie lateral, correspondiendo los valores de tensión del cuerpo de vidrio en al menos un plano al menos por regiones, preferiblemente por completo, a una tensión de compresión, preferiblemente de 1 MPa a 3000 MPa, en particular entre 50 MPa y 700 MPa, discurriendo el plano preferiblemente paralelo a la superficie lateral.

Por lo tanto, la invención se basa en el sorprendente hallazgo de que se puede conseguir una alta resistencia para una superficie lateral y sus bordes, por así decirlo, proporcionando un plano en el material de vidrio "detrás" de la superficie lateral en el que los valores de tensión del cuerpo de vidrio corresponden a una tensión de compresión.

Los inventores explican esta propiedad positiva diciendo que la tensión de compresión en el cuerpo de vidrio estabiliza la superficie lateral desde el interior y contribuye así a una resistencia mejorada de los bordes.

Hay que destacar que las zonas con tensión de compresión no tienen que estar directamente en la superficie lateral o directamente detrás de ella, sino que también las tensiones de compresión en zonas que aparecen ligeramente desplazadas hacia el interior, por así decirlo, conducen a una mejora significativa de la resistencia del borde.

Sin embargo, es fundamentalmente ventajoso que el volumen próximo a la superficie lateral también esté sometido a tensión de compresión.

La zona de tensión de tracción es preferiblemente bastante ancha en comparación con la zona de tensión de compresión.

Preferiblemente, la superficie lateral se encuentra completamente en la zona de tensión de compresión.

Alternativa o adicionalmente, en el tercer aspecto de la invención también puede estar previsto que los valores de tensión en la superficie lateral del cuerpo de vidrio correspondan a una tensión de tracción, al menos por regiones, el plano se encuentra en un rango de volumen en el que los valores de tensión del cuerpo de vidrio corresponden a una tensión de compresión y/o en el plano las isobaras de la primera tensión principal del cuerpo de vidrio discurren paralelas a la superficie lateral.

Una estructura especialmente preferida se obtiene cuando en el plano las isobaras de la primera tensión principal del cuerpo de vidrio discurren paralelas a la superficie lateral.

Esta es una característica deseable (intermedia) del producto.

Alternativa o adicionalmente, en el tercer aspecto de la invención también puede estar previsto que a lo largo de la superficie lateral, la resistencia del borde del elemento de pieza de vidrio, en particular del cuerpo de vidrio, sea mayor que 100 MPa y/o sea constante en toda la superficie lateral.

La mayor resistencia posible de los bordes conduce a un elemento de pieza de vidrio especialmente estable y, por tanto, fácil de usar.

Alternativa o adicionalmente, en el tercer aspecto de la invención también puede estar previsto que la superficie lateral presente, al menos por regiones, una rugosidad superficial, preferiblemente central, con una profundidad de rugosidad RZ de 5 nm a 10 μm , en particular de 0,1 μm - 5 μm .

Sorprendentemente, una rugosidad superficial reducida favorece la alta resistencia del borde provocada por la zona de tensión de compresión y conduce así a un elemento de pieza de vidrio especialmente estable y, por tanto, fácil de usar.

Alternativa o adicionalmente, en el tercer aspecto de la invención también puede estar previsto que la superficie lateral sea plana y/o curvada, preferiblemente en al menos un plano de sección transversal perpendicular a la superficie lateral, al menos por secciones en recorrido parabólico y/o circular y/o un recorrido de acuerdo con una ecuación de cuarto grado.

En el caso de una superficie lateral curvada, las fuerzas que actúan sobre ella se pueden disipar de forma especialmente ventajosa y, por tanto, se puede aumentar la estabilidad de la superficie lateral y de sus bordes.

Breve descripción de las figuras

Otras características y ventajas de la invención se desprenden de la siguiente descripción, en la que se explican formas de realización preferidas de la invención mediante dibujos esquemáticos.

Muestran:

la Fig. 1 un patrón de tensión para una modificación única (discreta) en un elemento de vidrio;
la Fig. 2 un elemento de vidrio con zonas de diferente tensión como superposición de modificaciones (discretas);
la Fig. 3a una primera vista de sección transversal de un modelo de trazado de rayos de un rayo Airy en un primer plano de sección transversal; y
la Fig. 3b una segunda vista de sección transversal de un modelo de trazado de rayos de un rayo Airy en un segundo plano de sección transversal.

Ejemplos

La Figura 1 muestra un elemento de vidrio 1 rectangular en forma de disco en una vista superior.

El elemento de vidrio 1 incluye un cuerpo de vidrio 3 que presenta un material de vidrio.

Al formar un enfoque de línea dentro del cuerpo de vidrio 3, que discurre perpendicular a la superficie (que discurre paralela al plano de dibujo de la Figura 1) del elemento de vidrio 1, el material de vidrio se modificó en relación a los valores de tensión en todo el rango de profundidad (que discurre perpendicular al plano de dibujo de la Figura 1).

Es decir, se formaron una zona de tensión de tracción 5 y una zona de tensión de compresión 7 (en cada plano de sección transversal paralelo al plano de dibujo en la Figura 1), estando la zona de tensión de tracción 7 rodeada por la zona de tensión de compresión 5.

En el interior debe haber una zona de tensión de tracción rodeada por una zona de tensión de compresión.

Con energías de pulso más altas (no consideradas aquí), se crea un canal (abierto) cuyas paredes están bajo presión del material desplazado.

Sin embargo, de acuerdo con la invención no se produce un desplazamiento de material,

Dado que el enfoque de línea presenta una sección transversal circular, la zona de tensión de tracción 5 también es circular y la zona de tensión de compresión 7 está dispuesta de forma anular, concéntrica y directamente adyacente a la zona de tensión de tracción 5.

En relación con la invención, la superficie (volumétrica) con las zonas de tensión de compresión y tracción 5, 7 en el cuerpo de vidrio 3 correspondería a una superficie local de acuerdo con la invención.

La Figura 2 muestra un elemento de vidrio 11 rectangular en forma de disco en una vista superior.

El elemento de vidrio 11 incluye un cuerpo de vidrio 13 que presenta un material de vidrio.

Se controló un enfoque de línea dentro del cuerpo de vidrio 13 de tal manera que, en el material de vidrio se forman al menos una zona de tensión de tracción 17 y al menos dos zonas de tensión de compresión 19 en la superficie de separación (planificada), cuyo recorrido es perpendicular al plano de dibujo de la Figura 2 y que se indica mediante el borde 15, estando rodeada la zona de tensión de tracción 17 al menos por regiones por al menos una de las dos zonas de tensión de compresión 19.

El control del enfoque de línea incluye que el enfoque de línea se forme consecutivamente dentro de diferentes regiones locales del material de vidrio a lo largo de la superficie de separación (planificada) y modificando así el material de vidrio en cada una de estas regiones locales con respecto a su valores de tensión locales.

Para ello se mueve el elemento de vidrio 11 con respecto al enfoque de línea, pudiendo formarse el enfoque de línea consecutivamente dentro de las diferentes regiones locales.

En cada región local, el enfoque de línea crea un patrón de tensión como se describe con referencia a la Figura 1.

La distancia entre las regiones locales individuales se elige de tal manera que al menos las regiones locales inmediatamente adyacentes se superpongan al menos parcialmente, de modo que a lo largo de la superficie de separación (planificada) se forme un corredor continuo de modificaciones introducidas en el material de vidrio.

Específicamente, dos regiones locales inmediatamente adyacentes tienen una distancia de centro-centro que es menor que el mayor diámetro de la extensión de las regiones locales en el plano de sección transversal paralelo al plano de dibujo en la Figura 2.

Al superponer las modificaciones de varias regiones locales, finalmente se forman las diferentes zonas de tensión a lo largo de la superficie de separación (planificada).

En el plano de dibujo de la Figura 2 y en todos los planos de sección transversal paralelos al mismo, la zona de tensión de tracción 17 está dispuesta a modo de sándwich directamente entre las dos zonas de tensión de compresión 19.

También se puede ver claramente en la Figura 2 el corredor que discurre a través del cuerpo de vidrio 13 en forma de las zonas de tensión 17 y 19.

Posteriormente, se puede introducir un daño inicial dentro de la zona de tensión de tracción 17 para formar una grieta y ésta puede hacerse avanzar dentro, de modo que el elemento de vidrio 11 se puede separar en dos elementos de pieza de vidrio en la superficie de separación (planificada), con un recorrido de acuerdo con el borde 15.

Se debe enfatizar que en la Figura 2, con fines ilustrativos, las zonas de tensión 17, 19 no se muestran formadas en todo el rango de anchura, es decir, no a lo largo de todo el borde 15, del elemento de vidrio 11, que por supuesto es necesario para separar el elemento de vidrio 11.

En principio, el enfoque de línea podría representar un enfoque de línea de un rayo láser, estando configurado el rayo láser en forma de un rayo de Airy.

La Figura 3a muestra una primera vista en sección transversal de un modelo de trazado de rayos de un rayo de Airy en un primer plano en sección transversal.

El primer plano en sección transversal discurre paralelo a la superficie de separación de un elemento de vidrio hipotético (por ejemplo, cuboide).

Es decir, la superficie de separación se sitúa en el plano x-z (en $y=0$) y corta el enfoque lineal curvado completo.

En la Figura 3a, el enfoque de línea presenta su máxima intensidad en su centro, es decir, en el área alrededor del punto ($x=0$; $z=0$).

Conforme al enfoque de línea curvado, las regiones locales discurren igualmente curvadas.

En el procedimiento de acuerdo con la invención se suceden regiones locales adyacentes en dirección x positiva.

La Figura 3b muestra una segunda vista en sección transversal del modelo de trazado de rayos del rayo de Airy en un segundo plano en sección transversal.

El segundo plano de sección transversal es perpendicular al primer plano de sección transversal.

Por ejemplo, podría ser la superficie del elemento de vidrio hipotético (en forma de cuboide), o un plano paralelo dentro del elemento de vidrio.

En el procedimiento de acuerdo con la invención se suceden regiones locales adyacentes en dirección x positiva.

El plano de sección transversal de la Figura 3b intersecta el enfoque de línea del rayo láser en el área alrededor del punto ($x=0$; $y=0$).

En el intervalo de valores x positivos se pueden observar además los haces parciales laterales del rayo láser.

Como se desprende adicionalmente de la Figura 3b, el rayo Airy no presenta en esta componentes laterales hacia valores x negativos.

En lugar de ello, de acuerdo con una forma de realización preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, el rayo se alimenta de forma asimétrica, es decir, en la situación de la Figura 3b solo desde partes del semiespacio con valores x positivos.

5 Como resultado, cuando el enfoque de línea se desplaza relativamente en la dirección del eje x positivo, no aparecen rayos parciales en el área de modificaciones anteriores.

Como ya se ha mencionado, en relación con la alimentación de rayos o la alimentación de energía, el término "asimétrico" se entiende en el sentido de "no rotosimétrico".

10

Esto significa que no se excluyen otras simetrías.

Por ejemplo, el rayo Airy descrito ahora tiene un plano especular paralelo al plano x-z, como se desprende de la Figura 3b.

15

Las características reveladas en la descripción anterior, en las reivindicaciones y en los dibujos pueden ser esenciales para la invención en sus diversas realizaciones, tanto individualmente como en cualquier combinación.

Lista de signos de referencia

20

- 1 elemento de vidrio
- 3 cuerpo de vidrio
- 5 zona de tensión (tracción)
- 7 zona de tensión (presión)
- 25 11 elemento de vidrio
- 13 cuerpo de vidrio
- 15 borde (planificado)
- 17 zona de tensión
- 19 zona de tensión

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para separar al menos por regiones un elemento de vidrio (1, 11) en al menos dos elementos de pieza de vidrio a lo largo de una superficie de separación, que comprende los pasos:

- proporcionar el elemento de vidrio (1, 11), que comprende al menos un cuerpo de vidrio (3, 13) que presenta al menos un material de vidrio;
- controlar al menos un enfoque de línea dentro del cuerpo de vidrio (3, 13) de modo que se formen al menos una zona de tensión de tracción (17) y/o al menos dos zonas de tensión de compresión (19) en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación;
- introducir un daño inicial para formar al menos una grieta, en casa caso en el material de vidrio en la zona de tensión de tracción (17) y/o entre las dos zonas de tensión de compresión (19); y
- hacer avanzar la grieta dentro del material de vidrio en la zona de tensión de tracción (17) o entre las dos zonas de tensión de compresión (19) para formar la superficie de separación y separar el elemento de vidrio (1, 11) a lo largo de esta superficie de separación.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde

- (i) las zonas de tensión de compresión están separadas al menos por regiones entre sí;
- (ii) la zona de tensión de tracción (17) está rodeada al menos parcialmente por al menos una zona de tensión de compresión (19);
- (iii) controlar el enfoque de línea incluye formar al menos una zona de tensión de tracción (17) y al menos dos zonas de tensión de compresión (19) en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación, estando rodeada la zona de tensión de tracción (17) al menos por regiones por al menos una de las dos zonas de tensión de compresión (19);
- (iv) controlar el enfoque de línea incluye mover el elemento de vidrio (1, 11) con respecto al enfoque de línea, por lo que el enfoque de línea puede formarse preferiblemente, en particular de forma sucesiva o continua, al menos en las diferentes regiones locales;
- (v) controlar el enfoque de línea conduce a una formación no destructiva de las zonas de tensión, introduce modificaciones del tipo "cambio suave del índice de refracción" en el material de vidrio, y/o incluye que el enfoque de línea se forme sucesivamente dentro de diferentes regiones locales del material de vidrio a lo largo de la superficie de separación y con ello el material de vidrio de cada una de estas regiones locales se modifica con respecto a sus valores de tensión locales, y la distancia entre las regiones locales individuales se selecciona de manera que al menos las regiones locales inmediatamente adyacentes se superpongan al menos parcialmente, de modo que se forma un corredor continuo de modificaciones introducidas en el material de vidrio a lo largo de la superficie de separación, preferiblemente mediante superposición de las modificaciones de varias regiones locales, se forman las diferentes zonas de tensión, y/o en donde las regiones locales individuales, que se forman en al menos una superficie del cuerpo de vidrio (3, 13), preferiblemente paralela a al menos uno, en particular al menos uno de los bordes de corte de la superficie de separación, y/o al plano de sección transversal del elemento de vidrio (1, 11), que discurre perpendicular al eje óptico del rayo de luz, discurren a lo largo de un camino rectilíneo;
- y/o
- (vi) en al menos un plano de sección transversal, preferiblemente en todos los planos de sección transversal, paralelo a la superficie del cuerpo de vidrio (3, 13), las regiones locales son circulares y/o dos regiones locales inmediatamente adyacentes (a) presentan una distancia de centro-centro o una distancia de centro de gravedad-centro de gravedad que es menor que el mayor diámetro de su extensión, en particular la extensión en el plano de sección transversal, y/o (b) una distancia de centro-centro o una distancia de centro de gravedad-centro de gravedad de 1000 nm o menos, más preferiblemente de 100 nm o menos, más preferiblemente de 10 nm o menos, y lo más preferido de 1 nm o menos.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en donde

- i. el enfoque de línea está formado por al menos un rayo de luz, en particular en forma de un rayo láser, presentando preferiblemente dicho al menos un rayo láser un perfil de rayo Airy y/o un perfil de rayo Bessel al menos en la zona del enfoque de línea;
- ii. el rayo de luz está diseñado al menos en la zona del enfoque de línea como un rayo de luz con alimentación de rayo asimétrica, en particular la energía se suministra de forma asimétrica, y preferiblemente (a) está diseñado de tal manera que el centro de gravedad de la distribución de energía se realiza al menos en un plano perpendicular al plano en el que se propaga el rayo, se encuentra en la zona del material de vidrio no modificada previamente, (b) los rayos parciales del rayo de luz solo inciden desde la mitad del espacio, o una parte del mismo, (c) los rayos parciales del rayo de luz solo inciden desde direcciones elegidas de manera que no se propaguen a través de áreas del cuerpo de vidrio en las que el material de vidrio ya ha sido modificado, (d) el rayo de luz presenta al menos un plano especular paralelo al plano en el que se propaga el rayo, (e) debe entenderse el término "asimétrico" en el sentido de "no rotosimétrico", en particular no se excluyen otras simetrías y/o (d) los rayos parciales del rayo de luz en cada plano paralelo a al menos una superficie del elemento de vidrio y/o en cada plano perpendicular al eje óptico del rayo de luz solo se inciden desde uno o solo desde dos cuadrantes;

- iii. el rayo o rayos láser se generan mediante al menos un láser y el láser funciona en modo pulsado, en particular en modo de láser pulsado ultracorto;
- iv. el láser presenta una longitud de onda de entre 300 nm y 1200 nm, preferiblemente 1064 nm, una duración de pulso de entre 0,1 ps y 100 ps, preferiblemente entre 0,1 ps y 10 ps, preferiblemente 1 ps u 8 ps, y/o, al menos por regiones en el enfoque de línea, una energía de pulso de entre 10 nJ/mm y 200 µJ/mm, preferiblemente entre 10 nJ/mm y 100 µJ/mm o 110 µJ/mm, para enfoques de punto: 1 nJ a 100 nJ y para ráfaga 1 nJ - 20 nJ; y/o
- v. el enfoque de línea está formado total o parcialmente mediante al menos una máscara de fase, en particular que presenta una fase cúbica, mediante al menos un objetivo de microscopio, mediante al menos una estructura 4f, mediante al menos una alimentación de rayo asimétrica y/o mediante varios elementos de conformación del rayo, como por ejemplo lentes cilíndricas, en particular los elementos de conformación del rayo se seleccionan y/o disponen de tal manera que el enfoque de línea se forma mediante coma, astigmatismo y/o aberración esférica.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
- (i) en donde en la zona de tensión de tracción y/o compresión (17, 19) las isobaras de la primera tensión principal discurren paralelas a la superficie de separación;
- (ii) en donde las dos zonas de tensión de compresión (19) están separadas entre sí, en particular discurren paralelas y espaciadas entre sí;
- (iii) en donde en al menos un plano de sección transversal, preferiblemente en todos los planos de sección transversal, paralelo a la superficie del cuerpo de vidrio (3, 13) al menos por regiones, preferiblemente en todas,
- i. la zona de tensión de tracción (17) está dispuesta en forma de sándwich, en particular directamente, entre las dos zonas de tensión de compresión (19);
- ii. la zona de tensión de tracción (17) presenta un primer espesor y la zona de tensión de compresión (19) presenta un segundo espesor, en donde preferiblemente el primer o segundo espesor se mide en el plano de sección transversal en una dirección perpendicular a la dirección de extensión principal de la superficie de separación y/o el espesor máximo de la zona de tensión de compresión o de tracción (17, 19) en el plano de sección transversal respectivo, y en particular el primer espesor es menor que 50 µm, preferiblemente menor que 10 µm, más preferiblemente menor que 5 µm, incluso más preferiblemente menor que 2 µm, incluso más preferiblemente menor que 1 µm y lo más preferido entre 0,1 µm y 1 µm, y/o el segundo espesor es menor que 100 µm y/o es mayor que 1 nm, en particular entre 10 nm y 1 µm.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde
- i. el daño inicial se introduce en el material de vidrio mediante un láser pulsado, que presenta preferiblemente una energía de pulso de entre 80 µJ/mm y 300 µJ/mm y/o una duración de pulso de entre 0,1 ps y 20 ps;
- ii. la grieta se hace avanzar mediante rotura mecánica, escisión y/o mediante al menos un proceso de láser pulsado ultracorto (UKP);
- iii. la superficie de separación discurre y/o se forma dentro de la zona de tensión de tracción (17) y/o entre dos zonas de tensión de compresión (19).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
- en donde las regiones locales en el material de vidrio discurren al menos parcialmente tubulares y/o cilíndricas y/o curvadas, en particular en forma de hoz en al menos un plano de sección transversal, y/o se extienden preferiblemente desde la superficie del cuerpo de vidrio (3, 13) hasta la superficie del cuerpo de vidrio (3, 13) opuesta a la superficie a través de todo el rango de espesor del cuerpo de vidrio (3, 13) encerrado entre las dos superficies.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
- en donde el elemento de vidrio (1, 11), en particular el cuerpo de vidrio (3, 13), está formado al menos por regiones y/o por completo en forma de disco y/o el material de vidrio comprende al menos parcialmente vidrio de silicato, tal como vidrio de aluminosilicato y/o vidrio de borosilicato.
8. Elemento de pieza de vidrio, en particular fabricado y/o fabricable de acuerdo con un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7,
- que comprende al menos un cuerpo de vidrio (3, 13) que presenta al menos un material de vidrio y que presenta al menos una superficie lateral,
- en donde los valores de tensión del cuerpo de vidrio (3, 13) en al menos un plano corresponden al menos por regiones, preferiblemente por completo, a una tensión de compresión, preferiblemente de 1 MPa a 3000 MPa, en particular de 50 MPa a 700 MPa, discuriendo el plano preferiblemente paralelo a la superficie lateral.
9. Elemento de pieza de vidrio de acuerdo con la reivindicación 8, en donde los valores de tensión en la superficie lateral del cuerpo de vidrio (3, 13) corresponden al menos por regiones a una tensión de tracción, el plano se encuentra

en una región de volumen en la que los valores de tensión del cuerpo de vidrio (3, 13) corresponden a una tensión de compresión y/o en la que las isobaras de la primera tensión principal del cuerpo de vidrio (3, 13) discurren paralelas a la superficie lateral.

5 10. Elemento de pieza de vidrio de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 9, en donde a lo largo de la superficie lateral la resistencia del borde del elemento de vidrio, en particular del cuerpo de vidrio (3, 13), es mayor que 100 MPa y/o es constante en toda la superficie lateral.

10 11. Elemento de pieza de vidrio de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 10, en donde la superficie lateral presenta al menos parcialmente una rugosidad superficial, preferiblemente central, con una profundidad de rugosidad RZ de 5 nm a 10 μm , en particular de 0,1 μm a 5 μm .

15 12. Elemento de pieza de vidrio de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 11, en donde la superficie lateral es plana y/o curvada, en particular preferiblemente en al menos un plano de sección transversal perpendicular a la superficie lateral, al menos por secciones, presenta un recorrido parabólico y/o circular y/o un recorrido de acuerdo con una ecuación de cuarto grado.

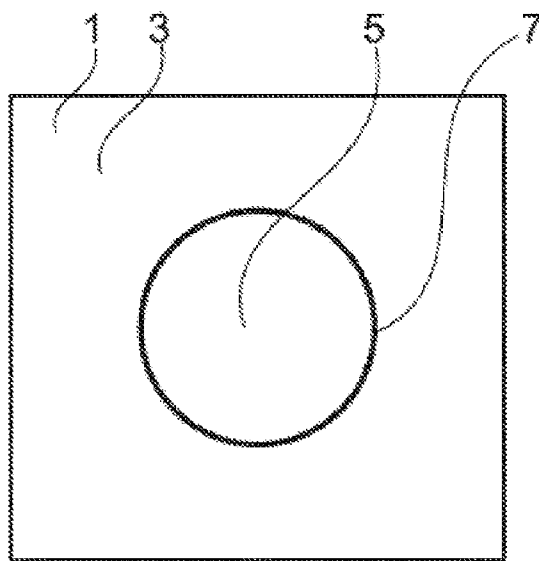


Fig. 1

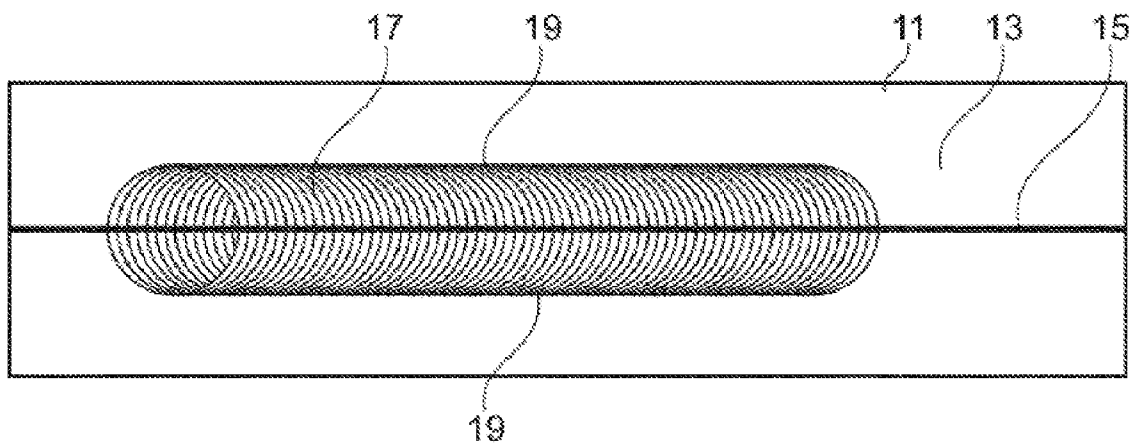


Fig. 2

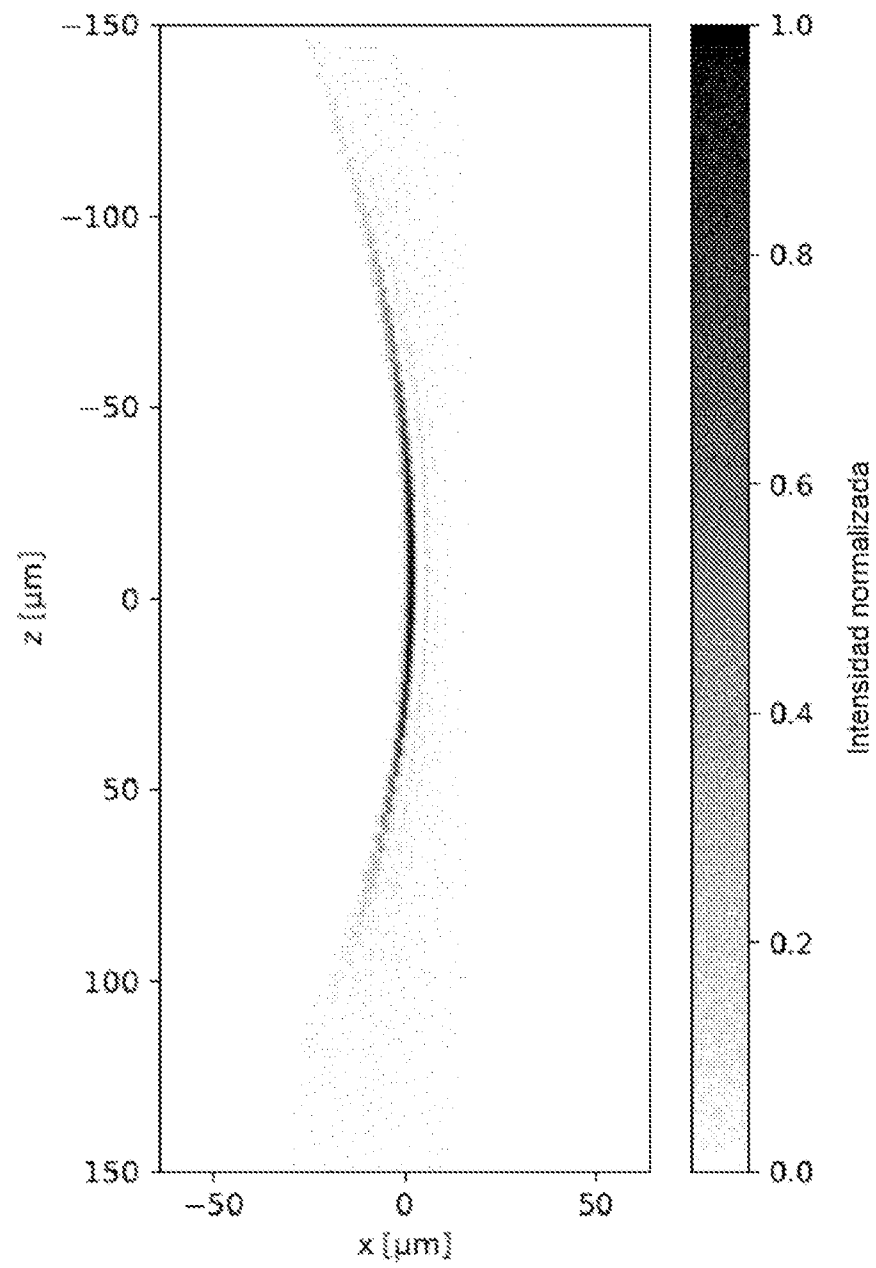


Fig. 3a

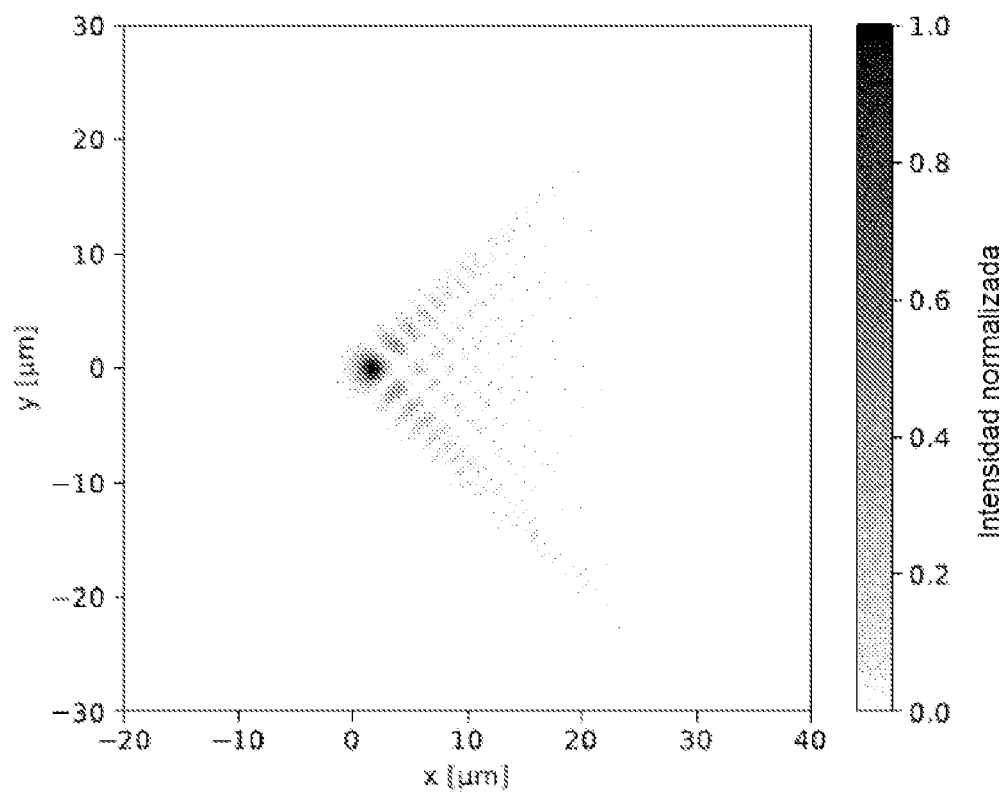


Fig. 3b