

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 649**

51 Int. Cl.:

B23K 10/02 (2006.01)

H05H 1/34 (2006.01)

C23C 4/134 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2013 PCT/US2013/076610**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.08.2014 WO14120358**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2013 E 13873874 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 2950964**

54 Título: **Boquilla de larga duración para una pistola de pulverización térmica y método de fabricación y uso de la misma**

30 Prioridad:

31.01.2013 US 201361759086 P

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

04.04.2019

73 Titular/es:

**OERLIKON METCO (US) INC. (100.0%)
1101 Prospect Ave.
Westbury NY 11590, US**

72 Inventor/es:

**MOLZ, RONALD J. y
HAWLEY, DAVE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 707 649 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

Boquilla de larga duración para una pistola de pulverización térmica y método de fabricación y uso de la misma

5 Antecedentes de la invención

10 Las boquillas utilizadas en las pistolas de pulverización térmica están generalmente revestidas con un material de revestimiento o funda para promover una vida más larga del hardware. Un material de revestimiento común es el tungsteno (W). Históricamente, el grosor de la pared del revestimiento de tungsteno se estableció arbitrariamente, es decir, basándose en consideraciones tales como el uso de una pieza en bruto de tungsteno de diámetro estándar o común para una familia completa de diámetros de orificio de boquilla, siendo la principal preocupación la facilidad de fabricación. Por lo tanto, no se intentó estudiar ni optimizar las características del material de revestimiento, como el grosor de la pared del revestimiento. El material de tungsteno típico utilizado para el material de revestimiento se eligió a menudo para ser el mismo que el utilizado para el cátodo de la pistola de plasma (es decir, el electrodo del cátodo). Esta elección también se realizó por razones de facilidad de fabricación, ya que solo requiere el abastecimiento de un solo material.

20 Aunque las boquillas de pistola de plasma revestidas con tungsteno han aumentado la vida, en comparación con las boquillas sin dichos materiales de revestimiento, están sujetas a roturas e incluso a fallas. Se cree que el agrietamiento es el resultado de altas tensiones térmicas localizadas que se producen dentro del tungsteno y empeoran con el tiempo a medida que se opera la pistola de plasma. El agrietamiento ocurre típicamente en un área o zona conocida como zona de unión al arco, como se describirá más adelante con referencia a la figura 3. Esta es una zona donde un arco de plasma hace contacto eléctrico con una superficie interior del material de revestimiento después de ser descargado de un área de la punta del cátodo. Es esta zona del revestimiento de tungsteno que se cree que experimenta la mayor tensión térmica.

30 En la mayoría de los casos, las grietas se alinean axialmente con el orificio de la pistola (o revestimiento de tungsteno). Estas grietas axiales (véase ref. AC en la figura 3) pueden tener un efecto en la vida útil general del hardware, así como en el comportamiento del arco. Sin embargo, en algunos casos, pueden formarse grietas que, en cambio, están orientadas circunferencialmente dentro del orificio de la boquilla de plasma (véase ref. LF en la figura 3). Estas grietas son más problemáticas que las grietas axiales, y se han asociado con el fallo catastrófico del revestimiento de tungsteno en el que porciones del revestimiento se separan realmente del material del revestimiento, entran en la corriente de plasma e incluso pueden introducirse en (o contaminar) el recubrimiento del sustrato que está siendo recubierto por la pistola de pulverización de plasma. Como mínimo, la presencia de estas grietas circunferenciales tiene un gran efecto adverso sobre la estabilidad del arco de plasma, lo que resulta en un efecto aún mayor que el producido por las grietas axiales. Para evitar esto, las boquillas normalmente se reemplazan de forma regular; Lo que se suma a los costes de fabricación del recubrimiento.

40 Dado que no hay manera de predecir el potencial de las grietas circunferenciales más problemáticas y la eventual falla catastrófica del material de revestimiento, el personal que opera pistolas de plasma equipadas con dichas boquillas debe ser extremadamente diligente en la comprobación de signos de posible agrietamiento, que a veces se puede detectar monitorizando el comportamiento del voltaje de la pistola de plasma. Basándose en tales signos, el operador generalmente detendrá el proceso de recubrimiento y reemplazará la boquilla con una nueva boquilla. Esta imprevisibilidad tiene, como mínimo, el efecto de reducir la ventaja de la vida útil operativa de las boquillas revestidas de tungsteno. Una boquilla para un soplete de corte por arco de plasma se conoce a partir del documento US 6,963,045 B2. La boquilla está provista de un inserto eléctricamente conductor y resistente al calor, preferiblemente de tungsteno o una aleación de tungsteno.

50 Por lo tanto, sigue existiendo la necesidad de mejorar la consistencia, la previsibilidad y la vida útil del hardware de la pistola de plasma, así como el rendimiento general de la pistola. Una forma de hacerlo es reducir el potencial de agrietamiento dentro del revestimiento de la boquilla o el orificio de la boquilla. El documento US 5 897 059 A se refiere a una boquilla en una pistola de pulverización térmica para aplicar un revestimiento, donde la boquilla tiene un material de revestimiento dispuesto dentro de un cuerpo de boquilla.

55 Sumario de la invención

60 La invención se define por las reivindicaciones. De acuerdo con un aspecto ventajoso de la invención, se proporciona una pistola o sistema de pulverización termo o térmica que supera una o más de las desventajas de los sistemas convencionales o existentes y/o reduce la posibilidad de agrietamiento o formación de grietas dentro del orificio de la boquilla, y especialmente dentro del material de revestimiento que recubre el orificio de la boquilla.

De acuerdo con un aspecto ventajoso de la invención, se proporciona una pistola de pulverización térmica que comprende un material de revestimiento mejorado que tiene una vida útil significativamente más larga y/o un potencial reducido para la formación de grietas.

65

De acuerdo con un aspecto ventajoso de la invención, se proporciona una boquilla para una pistola de pulverización térmica que comprende un grosor de pared de material de revestimiento (al menos a lo largo de una longitud axial predeterminada del orificio) que se ha adaptado al cuerpo de la boquilla para que las tensiones no se creen en un área de la zona de unión al arco.

5 De acuerdo con una realización no limitativa, se proporciona una boquilla para una pistola de pulverización térmica que comprende un material de revestimiento que tiene al menos una característica mecánica que se adapta o personaliza a una o más de las otras porciones de la pistola de plasma o boquilla, de manera que no se creen tensiones (o cuyo potencial se reduce significativamente) en el material del revestimiento, y especialmente en un
10 área del orificio conocida como la zona de unión al arco.

De acuerdo con la invención, se proporciona una pistola de pulverización térmica estructurada y dispuesta para aplicar un recubrimiento y que comprende un cuerpo de boquilla y un material de revestimiento dispuesto dentro del cuerpo de boquilla. Un material del cuerpo de la boquilla tiene una temperatura de fusión más baja que la del material de revestimiento. Una relación entre el grosor total de la pared de una porción de una boquilla y la del grosor de la pared del material de revestimiento tiene un valor determinado en relación a o que corresponde al grosor de la pared del material de revestimiento. El material de revestimiento comprende uno de:

15 un material distinto del tungsteno lantanado;
20 y un tungsteno lantanado y la relación está entre aproximadamente 4.75:1 y aproximadamente 5.75:1.

En realizaciones que no forman parte de la invención, la relación es igual a o mayor que aproximadamente 3.5:1.

25 En realizaciones que no forman parte de la invención, la relación es al menos uno de: entre aproximadamente 3.5:1 y aproximadamente 7:1; entre aproximadamente 4:1 y aproximadamente 6:1; aproximadamente de 5:1. Otras relaciones de ejemplo pueden incluir; igual a o mayor que aproximadamente 3:1; igual a o mayor que aproximadamente 4:1; igual a o mayor que aproximadamente 5:1; igual a o mayor que aproximadamente 6:1; e igual a o mayor que aproximadamente 7:1.

30 En realizaciones, el material de revestimiento es de tungsteno.

En realizaciones, el cuerpo de la boquilla está hecho de un material de cobre.

35 En realizaciones, el grosor de la pared del cuerpo de la boquilla y el material de revestimiento se miden cada uno en un área axial de una zona de unión al arco.

En realizaciones, en operación normal, mientras que el material de revestimiento experimenta más tensión térmica en un área de una zona de unión al arco que en un área corriente abajo de la zona de unión al arco, tales tensiones se reducen significativamente en comparación con las disposiciones de boquillas convencionales, de modo que el área de la zona de unión al arco experimenta tensiones por debajo de un nivel que causaría una falla de tensión, mejorando así significativamente la vida útil del material de revestimiento y la boquilla.

40 En realizaciones, el grosor de pared del material de revestimiento es al menos uno de entre: aproximadamente 0.25 mm y aproximadamente 1.25 mm; entre aproximadamente 0.50 mm y aproximadamente 1.0 mm; y más preferiblemente entre aproximadamente 0.75 mm y aproximadamente 1.0 mm.

En realizaciones, la pistola de pulverización térmica comprende además un cátodo y un cuerpo de ánodo a través del cual circula el fluido refrigerante.

50 De acuerdo con la invención, se proporciona una boquilla para una pistola de pulverización térmica que comprende un cuerpo de boquilla y un material de revestimiento dispuesto dentro del cuerpo de boquilla. Un material del cuerpo de la boquilla tiene una temperatura de fusión más baja que la del material de revestimiento. Una relación entre el grosor total de la pared de una porción de una boquilla a la del grosor de la pared del material de revestimiento tiene un valor determinado en relación a o que corresponde al grosor de la pared del material de revestimiento. El material de revestimiento comprende uno de: un material distinto al tungsteno lantanado; y un tungsteno lantanado y la relación está entre aproximadamente 4.75:1 y aproximadamente 5.75:1.

60 En realizaciones, la boquilla es una boquilla reemplazable.

En realizaciones, una primera porción del material de revestimiento tiene una sección ahusada interna y una porción principal del material de revestimiento es generalmente cilíndrica.

65 De acuerdo con una realización, se proporciona un método para fabricar una boquilla de cualquiera de los tipos descritos anteriormente, en donde el método comprende formar el material de revestimiento con un grosor de pared

cuyo valor tiene en cuenta la relación del grosor total de pared de una porción de la boquilla a la de un grosor de pared del material de revestimiento.

5 De acuerdo con una realización, se proporciona un método para recubrir un sustrato usando una pistola de pulverización térmica, que comprende instalar la boquilla de cualquiera de los tipos descritos anteriormente en la pistola de pulverización térmica y rociar un material de recubrimiento sobre un sustrato.

10 De acuerdo con los aspectos ventajosos de la invención, también se proporciona un método para fabricar una boquilla que funciona óptimamente con una mínima cantidad de tensión térmica, cuyos materiales experimentan temperaturas de operación más bajas y que reduce el potencial para minimizar la ebullición del fluido refrigerante.

15 De acuerdo con otros aspectos ventajosos de la invención, también se proporciona un método para fabricar una boquilla que no muestra signos de agrietamiento circunferencial después de una operación prolongada y, por lo tanto, no experimenta, entre otras cosas, un fallo catastrófico del revestimiento de tungsteno, la fusión del revestimiento de tungsteno y la fusión interna del cuerpo de la boquilla de cobre.

Otras realizaciones y ventajas de ejemplo de la presente invención se pueden determinar revisando la presente divulgación y los dibujos adjuntos.

20 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describe adicionalmente en la descripción detallada que sigue, en referencia a los dibujos anotados por medio de una realización de ejemplo no limitativa de la presente invención, y en la que:

25 La figura 1 muestra una vista esquemática en sección transversal lateral de una pistola de pulverización térmica que tiene una boquilla con un material de revestimiento de tungsteno;

30 La figura 2 muestra una boquilla esquemática utilizada en la pistola de plasma de la figura 1 y con el material de revestimiento retirado para fines de ilustración;

35 La figura 3 muestra la boquilla de la figura 2 con un material de revestimiento de tungsteno dispuesto en ella. También se muestran ejemplos de ambas grietas axiales y una grieta de falla del revestimiento circunferencial formada en el revestimiento como puede ocurrir después de una cantidad significativa de uso en una pistola de plasma;

La figura 4 muestra una boquilla comercialmente utilizable similar a la de la figura 3 e ilustrando una zona de unión al arco que se muestra en corte transversal entrecruzado;

40 La figura 5 muestra una vista en sección transversal de la sección A-A en la figura 4;

La figura 6 muestra una sección transversal del modelo de ordenadora de una porción de orificio de un revestimiento de boquilla convencional e ilustra las tensiones térmicas localizadas (mostradas como regiones más oscuras) que ocurren en un área de la zona de unión al arco;

45 La figura 7 muestra una sección transversal del modelo de ordenadora de una porción de orificio de un revestimiento de boquilla de acuerdo con una realización de la invención y muestra una ausencia de tensiones térmicas localizadas en un área de la zona de unión al arco en contraste con la figura 6;

50 La figura 8 muestra una primera realización no limitativa de una boquilla de acuerdo con la invención;

La figura 9 muestra una segunda realización no limitativa de una boquilla de acuerdo con la invención;

La figura 10 muestra una vista en sección transversal de la sección B-B en la figura 9;

55 La figura 11a muestra una vista en sección transversal del modelo de ordenadora de una boquilla convencional e ilustra las tensiones térmicas localizadas (tensiones de tracción inducidas por la temperatura mostradas en regiones más oscuras) que ocurren en la boquilla cuando se opera con un parámetro de prueba dado. En la figura 11a, el agrietamiento mostrado se produce en la ubicación y profundidad típicas como las grietas observadas en las boquillas reales;

60 La figura 11b muestra una vista en sección transversal de una boquilla convencional real operada en el mismo parámetro de prueba que el modelado en la figura 11a, y por lo tanto exhibe un fallo de tensión catastrófico comparable al predicho en el modelo;

65 La figura 11c muestra un diagrama que ilustra y describe aspectos del fallo de tensión catastrófico mostrado en la figura 11b.

Descripción detallada de la invención

Los detalles que se muestran aquí son a modo de ejemplo y con propósitos de discusión ilustrativa de las realizaciones de la presente invención solamente y se presentan en la causa de proporcionar lo que se cree que es la descripción más útil y fácil de entender los principios y aspectos conceptuales de la presente invención. A este respecto, no se intenta mostrar detalles estructurales de la presente invención con más detalle del necesario para la comprensión fundamental de la presente invención, la descripción tomada con los dibujos hace evidente a los expertos en la técnica cómo las diversas formas de la presente invención se pueden materializar en la práctica.

Las pistolas de plasma utilizadas para pulverizar recubrimientos, como la que abarca la invención, tienen un cátodo y un ánodo. También se puede hacer referencia al ánodo como una boquilla en estas pistolas de plasma, ya que también cumple una función dinámica de fluidos, además de funcionar como el lado positivo del circuito eléctrico que forma el arco de plasma. La boquilla está refrigerada por líquido, es decir, con agua, para evitar la fusión y está construida típicamente de un material de cobre, ya que posee una alta conductividad térmica. Las boquillas que tienen un revestimiento de tungsteno ubicadas en un área del orificio interior que mira hacia el arco de plasma se producen para proporcionar una vida útil el hardware mejorada/más prolongada sobre las de cobre. El tungsteno posee una conductividad térmica relativamente alta, así como una temperatura de fusión muy alta. La figura 1 muestra esquemáticamente una sección transversal de una pistola de plasma que tiene una boquilla refrigerada por agua que puede usarse de acuerdo con la invención.

Las boquillas de plasma con revestimiento de tungsteno utilizan revestimientos de tungsteno que suelen tener un grosor de 1 mm o más. En algunos casos, el tungsteno puede tener más de 3 mm de grosor. La funda del material de revestimiento a menudo está hecha de tungsteno toriado, que es la misma composición utilizada en los cátodos o electrodos de las pistolas de plasma. Sin embargo, tanto la composición como el diámetro total del tungsteno utilizado para fabricar la boquilla se eligen típicamente por conveniencia. En muchos casos, el diámetro exterior del revestimiento de tungsteno utilizado se mantiene constante, mientras que el diámetro del orificio varía según una aplicación particular del tipo de pistola. En el diseño o la configuración de estas boquillas de pistola de plasma no se tiene en cuenta la selección del grosor de pared óptimo para el revestimiento de tungsteno.

Además del grosor del revestimiento de tungsteno, la relación entre el grosor de la pared del revestimiento y el grosor total de la pared del cuerpo de la boquilla desde la distancia más cercana al canal de agua de enfriamiento es generalmente de 1:2. Esto significa que el grosor de la pared del revestimiento de tungsteno es tan grueso como el grosor de la pared del cuerpo de cobre.

Como se mostrará a continuación con referencia a la figura 6, se ha descubierto que tener un revestimiento de tungsteno relativamente grueso (grosor de la pared) y una relación de grosor de tungsteno a cobre relativamente alta puede dar como resultado que se formen altas concentraciones de tensión interna en el revestimiento de tungsteno durante la operación. Esto puede resultar en la eventual falla del revestimiento de tungsteno como se mencionó anteriormente. La invención, que se describirá con referencia a las figuras 1-5 y 7-10, tiene en cuenta estas consideraciones.

La figura 1 muestra esquemáticamente una pistola de pulverización de plasma que se puede usar para practicar la invención. La pistola 1 de plasma, como una pistola de plasma convencional, incluye un cuerpo 10 de pistola que puede alojar una boquilla 20 y que incluye, entre otras cosas, los pasajes de refrigeración que circulan el fluido de refrigeración que entra por una entrada 11 y sale por una salida 12. Los pasajes de refrigeración son tales que el fluido de refrigeración ingresa a los espacios 30 que rodean la boquilla 20 y pasa (véase la dirección de las flechas) desde un primer espacio anular dispuesto en un lado de las lengüetas 24 de enfriamiento de la boquilla a un segundo espacio anular dispuesto en un lado opuesto de las lengüetas 24 de enfriamiento. El fluido de enfriamiento es calentado por las lengüetas 24 de enfriamiento y funciona para transferir el calor lejos de la boquilla 20 a través de la salida 12.

La boquilla 20 tiene un primer o un extremo 21 de recepción de cátodo y un segundo o un extremo 22 de descarga de plasma que tiene una brida. Las lengüetas 24 de enfriamiento rodean una porción intermedia de la boquilla 20 y funcionan para conducir el calor lejos de un área del orificio de la boquilla que experimenta calentamiento generado por el arco 40 eléctrico. El arco 40 se produce cuando se crea un potencial de voltaje entre un cátodo 50 y ánodo 60 cuya función es realizada por el cuerpo 10. El arco 40 puede formarse en cualquier porción del orificio en un área denominada zona 70 de unión al arco (véase figura 4). Debido a que esta zona experimenta un calentamiento muy significativo debido al arco 40, las lengüetas 24 de enfriamiento están dispuestas en un área del cuerpo de la boquilla que rodea esta zona. Como se explicó anteriormente, la boquilla 20 también puede incluir un material 23 de revestimiento que puede soportar temperaturas más altas que el material que constituye la porción principal o el cuerpo de la boquilla 20. En el ejemplo que se muestra en la figura 1, el material que constituye la porción principal de la porción o cuerpo de la boquilla 20 es un material de cobre, mientras que el revestimiento o el material 23 de revestimiento es un material de tungsteno.

Con referencia a las figuras 2-4, se puede ver que la boquilla 20 (con el revestimiento retirado) define una abertura 25 de recepción del revestimiento (véase figura 2) que es generalmente cilíndrica y se extiende entre el extremo 22

de descarga y un hombro 26 anular. El revestimiento 23 por lo general, tiene un diámetro cilíndrico exterior ligeramente más grande que la abertura 25, de modo que hay una interferencia que se ajusta allí hasta el punto en el que hace contacto con el hombro 26 anular (véase figura 3). Durante la fabricación de la boquilla 20, el orificio 29 principal y la sección 28 de entrada ahusada se mecanizan a los tamaños de especificación deseados. Como se explicó anteriormente, cuando la boquilla 20 se usa durante una cantidad significativa de tiempo durante la pulverización con plasma, se producen grietas axiales de AC e incluso grietas circunferenciales que conducen a un fallo del revestimiento LF. Estos se muestran en la figura 3 a modo de ilustración, y típicamente ocurren en la zona 70 de unión al arco ilustrada esquemáticamente en la figura 4. La zona 70 típicamente se extiende desde una posición 71 ubicada ligeramente corriente arriba de un punto 27 de transición de diámetro (véase figura 3) a una posición 72 ubicada corriente abajo del punto 27. El ancho de la zona 70 se puede definir con el valor "W". Aunque esta zona 70 puede variar en longitud axial, y el arco 40 no hace contacto ni se mueve por todas las porciones de la superficie interior en la zona 70 por igual, generalmente tiene un ancho axial máximo definido por las posiciones 71 y 72.

Con referencia a la figura 6, se puede ver que si el revestimiento 23 no tiene el tamaño adecuado para la boquilla 20 (como es el caso convencional), el resultado es que se pueden crear tensiones térmicas localizadas muy significativas en el material del revestimiento, y están especialmente ubicados en la zona de unión al arco. Esto es evidente en el modelo de ordenador que se muestra en la figura 6, que muestra las áreas de mayor tensión térmica en el sombreado oscuro que se ubican en la porción de la zona de unión al arco del material de revestimiento. El objetivo de la invención es evitar el tipo de tensiones evidentes en la figura 6, pero toma en consideración la información que se proporciona. Además, cuando se compara el ejemplo de la figura 6 con el de la figura 3, se puede apreciar que las concentraciones de tensión que se producen dentro de una boquilla de plasma revestida con tungsteno mal diseñada pueden conducir al agrietamiento interno como se observa en la figura 3. Tal como está aparente, el agrietamiento que se muestra en la figura 3 se produce en la misma área de la figura 6, que muestra la mayor tensión, es decir, dentro del área conocida como la zona 70 de unión al arco.

Con referencia a la figura 7, se puede ver que si el revestimiento 23 tiene el tamaño adecuado para las características de la boquilla 20 (como es el objetivo de la invención), el resultado es que ya no se crean tensiones térmicas localizadas muy significativas en el material del revestimiento, y especialmente no está concentrado en la zona 70 de unión al arco. Esto es evidente en el modelo de ordenador que se muestra en la figura 7, que (en contraste con la figura 6) ya no muestra las áreas de mayor tensión térmica que se encuentran en la zona de unión del material de revestimiento. En su lugar, el modelo de ordenador muestra una ausencia de tensiones térmicas localizadas en un área de la zona de unión de arco. En particular, a diferencia de la figura 6, las tensiones térmicas resultantes de la invención están menos localizadas, están más atenuadas, no se producen en mayor medida en la zona de unión de arco, se reducen de manera muy significativa en la zona de unión de arco y se distribuyen más uniformemente a lo largo de la longitud corriente abajo del orificio de la boquilla.

Las figuras 11a-11c muestran una comparación entre un modelo de ordenador que genera una falla de tensión del revestimiento de tungsteno (figura 11a) y una falla de tensión real observada en la cubierta de tungsteno (figura 11b). Como debería ser evidente, el modelo que se muestra en la figura 11a fue capaz de producir una falla de tensión en el revestimiento de tungsteno de una boquilla convencional de una manera comparable a la observada realmente en la figura 11b. Como se puede discernir claramente a partir de una revisión de las figuras 11b y 11c de, el fallo del revestimiento de tungsteno se debe a la formación de grietas que se producen en el revestimiento de tungsteno. Es importante destacar que las grietas se producen en la misma ubicación general y tienen la misma orientación general tanto en el modelo como en la boquilla real. En la boquilla observada (figura 11b), el área y el tipo de agrietamiento se corresponden estrechamente con los de la concentración de tensión más alta (región más oscura) que se muestra en el modelo por ordenador de la figura 11a. Pruebas exhaustivas han demostrado repetidamente que este patrón de agrietamiento ocurrirá en esta ubicación y tendrá esta orientación. Esto ha llevado a los inventores a concluir que reducir o eliminar las concentraciones de tensión en la región de concentración de tensión más oscura que se muestra en la figura 11a puede reducir o eliminar la formación de grietas en esta área y, por lo tanto, evitar el fallo del revestimiento de tungsteno.

Con referencia a la figura 8, se puede ver cómo un cuerpo de boquilla del tipo mostrado en las figuras 2 y 3 puede diseñarse para incluir un revestimiento de acuerdo con la invención con el objetivo de lograr el perfil de tensión mostrado en la figura 7. En esta realización, la boquilla 120 se fabrica con una funda 123 de material de revestimiento de tal manera que elimine o reduzca significativamente las tensiones térmicas localizadas asociadas con las boquillas convencionales, y especialmente en un área de la zona de unión al arco. Esto se puede lograr de varias maneras, como se describirá aquí. En la realización de la figura 8, esto se logra fabricando la boquilla 120 de modo que la funda 123 de material de revestimiento tenga un diámetro "A" cilíndrico exterior, un diámetro "B" cilíndrico interior (que también define el orificio central de la boquilla 120), y un grosor "C" de pared. Además, el grosor "C" de la pared se dimensiona en relación con una o más características de la porción del cuerpo principal de la boquilla 120. Estas características incluyen, entre otras cosas, el grosor "D" de la pared y/o el diámetro "E" general del cuerpo de la boquilla 120. El diámetro "E" se puede extender típicamente a través del ancho "Y" axial en la figura 8. Las características adicionales incluyen la adaptación de la conductividad térmica (que es una función del grosor "C" de pared) del revestimiento 123 a la de la porción del cuerpo que rodea el revestimiento, es decir, al grosor "D" de la pared. Este es especialmente el caso en un área de las lengüetas 124 y una porción del cuerpo dispuesta

inmediatamente corriente abajo de las lengüetas 124 y que tiene una superficie que puede colocarse en contacto con el fluido de enfriamiento, es decir, el grosor "D" de la pared dentro del ancho axial de la zona de unión al arco. La longitud "Y" axial de la porción del cuerpo de la boquilla 120 a la que se adapta el grosor "C" de pared del revestimiento 123 puede extenderse desde un extremo corriente arriba de las lengüetas 124 hasta la brida ubicada en el extremo 122 corriente abajo como se muestra en la figura 8. Sin embargo, el valor "C" se mide desde el punto 127 hasta el extremo 122 en la figura 8, y es de mayor preocupación dentro de un área definida por el ancho axial de la zona de unión al arco.

En la realización no limitativa de la figura 8, el grosor "D" de la pared debe ser mayor que el grosor "C" de la pared. Una relación entre el grosor "D" de la pared y la del grosor "C" de la pared que comienza desde una ubicación axial correspondiente a la transición 127 y se extiende hacia el extremo 122 en una cantidad que es una fracción de la longitud "Y" debe ser un foco de preocupación. Sin embargo, como se indicó anteriormente, el foco principal debe ser los valores dispuestos dentro de una longitud axial más corta que "Y", como la que contiene la zona de unión al arco (véase ref. 70 en la figura 4). Por ejemplo, uno debe tener en cuenta, al menos específicamente, los valores "C", "D" y "E" dentro de la longitud "W" axial definida por la zona de unión al arco (véase también la figura 4). A modo de ejemplos no limitativos, con el cuerpo de la boquilla 120 hecho de un material de cobre y el revestimiento 123 hecho de un material de tungsteno, estos valores pueden ser los especificados en la tabla a continuación.

De acuerdo con un ejemplo no limitativo, una boquilla de pistola de plasma del tipo que se muestra en la figura 1 puede configurarse para utilizar una boquilla 120 comparable a la de la figura 8 y que utiliza un revestimiento o revestimiento 123 de Tungsteno cuyo grosor "C" de pared es de aproximadamente 1.04 mm y utiliza una relación de grosor total (C+D) a grosor C de pared de revestimiento de tungsteno de aproximadamente 5.2. Usando tales valores, la boquilla 120 puede hacerse funcionar con el perfil de tensión más cercano al de la figura 7, evitando las concentraciones de tensión mostradas en la figura 6. Al igual que en la figura 4, el revestimiento 123 puede incluir una porción 128 ahusada corriente arriba que generalmente coincide con la porción ascendente ahusada del cuerpo de la boquilla y se extiende a la transición 127 como se muestra en la figura 8. El revestimiento 123 también puede incluir la porción 129 de orificio principal que se extiende desde la transición 127 hasta el extremo 122 de la boquilla 120.

Con referencia a las figuras 9 y 10, se puede ver cómo se puede implementar la invención en una boquilla 120' utilizable comercialmente. En esta realización, el revestimiento 123' está dimensionado y configurado para el cuerpo de la boquilla 120' como se divulga en este documento e incluye además una brida FL que se puede asentar en un ensanchador de tamaño similar formado en el extremo 122'. En este ejemplo, la boquilla 120' está configurada y dimensionada de manera similar para utilizar una funda 123' de material de revestimiento de tal manera que se eliminen o se reduzcan significativamente las tensiones térmicas localizadas asociadas con las boquillas convencionales, y especialmente en la zona de unión al arco. El perfil de tensión térmica resultante debe estar más cerca del que se muestra en la figura 7 en oposición al de la figura 6.

De acuerdo con otro ejemplo no limitativo de la invención, se proporciona una boquilla de pistola de plasma de cualquiera de los tipos mostrados en las figuras 1, 4, 8 o 9 que tienen una pared delgada de revestimiento de tungsteno que cumple los siguientes requisitos. El grosor "C" de la pared no debe hacerse tan delgado que el revestimiento de tungsteno deje de proteger el cobre hasta el punto donde se produce la fusión del cobre subyacente. Por otro lado, el grosor "C" de la pared no puede hacerse demasiado grueso ya que permitirá que las concentraciones de tensión se acumulen rápidamente y resulten en una falla catastrófica potencial del revestimiento de tungsteno. Teniendo esto en cuenta, se puede usar un cuerpo de boquilla de cobre existente en combinación con un revestimiento de tungsteno que tiene un grosor "C" de pared generalmente cilíndrico entre aproximadamente 0.25 mm y aproximadamente 1.25 mm, y preferiblemente entre aproximadamente 0.5 mm y aproximadamente 1.0 mm, y más preferiblemente entre aproximadamente 0.75 mm y aproximadamente 1.0 mm.

De acuerdo con un ejemplo que abarca la invención, se proporciona una boquilla de pistola de plasma que tiene una pared delgada de revestimiento de tungsteno que se ajusta a los siguientes requisitos. Se toma en consideración la relación entre el grosor total de la pared de cobre y tungsteno, es decir, C+D en la figura 8, (la distancia más corta desde el orificio hasta el paso o canal del agua de enfriamiento) y el grosor C del revestimiento de tungsteno. Si esta relación es demasiado grande, la temperatura experimentada por el revestimiento de tungsteno aumenta, lo que aumenta la tensión térmica entre el revestimiento de tungsteno y el cuerpo de la boquilla de cobre. Esto puede incluso provocar la fusión del propio revestimiento de tungsteno. Por otro lado, si la relación es demasiado baja, entonces se puede transferir demasiado calor al canal de agua, lo que provoca una ebullición interna del fluido de refrigeración y pérdidas térmicas excesivas. Esto también puede resultar en la fusión del material de cobre en contacto con el revestimiento de tungsteno. Teniendo esto en cuenta, se puede fabricar una boquilla en la que la relación de C+D a C está entre aproximadamente 3.5:1 y aproximadamente 7:1, y preferiblemente entre aproximadamente 4:1 y aproximadamente 6:1, y lo más preferiblemente es aproximadamente 5:1.

Otros valores y relaciones de ejemplo se muestran en la tabla siguiente que presenta varios valores para dos tipos de pistola de plasma Sulzer Metco de ejemplo. En la parte superior de la tabla, tres boquillas antiguas, es decir, una boquilla de 6 mm, una boquilla de 7 mm y una boquilla de 8 mm para una pistola de plasma Sulzer Metco F4 se comparan con las nuevas boquillas de tamaño comparable para la misma pistola de plasma F4. En la parte inferior

ES 2 707 649 T3

5 de la tabla, se comparan seis boquillas antiguas, es decir, una boquilla G-W, una boquilla GH-W, una boquilla 930W, una boquilla 931W, una boquilla 932W y una boquilla 933W para una pistola de plasma Sulzer Metco 9MB se compara con boquillas de tamaño comparable para la misma pistola de plasma 9MB. Las pruebas exhaustivas han demostrado que las boquillas hechas con los nuevos valores tienen una vida útil significativamente más larga y los perfiles de tensión térmica más cercanos a los que se muestran en la figura 7 y, por lo tanto, evitan el perfil de tensión térmica mostrado en la figura 6 que se cree está asociado con los valores anteriores.

Boquilla	A Diámetro de Tungsteno (mm)	E Diámetro Total (mm)	B Diámetro del Orificio (mm)	C/(C+D) Variación del grosor	(C+D)/C del relación del grosor	C Grosor de pared (mm)
F4						
Existente 6mm	11.89	17.00	6.00	0.54	1.87	2.95
Existente 7mm	11.89	17.00	7.00	0.49	2.04	2.45
Existente 8mm	11.89	17.00	8.00	0.43	2.31	1.95
Optimizada 6mm	8.08	17.00	6.00	0.19	5.29	1.04
Optimizada 7mm	9.04	17.00	7.00	0.20	4.90	1.02
Optimizada 8mm	9.70	17.00	8.00	0.19	5.29	0.85
9MB						
Existente G-W	9.04	14.73	6.35	0.32	3.12	1.35
Existente GH-W	9.04	14.73	6.35	0.32	3.12	1.35
Existente 930W	9.04	12.45	6.35	0.44	2.27	1.35
Existente 931W	9.04	12.45	5.54	0.51	1.97	1.75
Existente 932W	9.04	12.45	6.35	0.44	2.27	1.35
Existente 933W	9.04	12.45	5.54	0.51	1.97	1.75
Optimizada G-W	8.08	14.73	6.35	0.21	4.84	0.87
Optimizada GH-W	8.08	14.73	6.35	0.21	4.84	0.87
Optimizada 930W	7.62	12.45	6.35	0.21	4.80	0.64
Optimizada 931W	6.86	12.45	5.54	0.19	5.23	0.66
Optimizada 932W	7.62	12.45	6.35	0.21	4.80	0.64
Optimizada 933W	6.86	12.45	5.54	0.19	5.23	0.66

10 En la tabla anterior, el valor para C+D se puede calcular a partir de la ecuación $(E-B)/2$ y el valor para D se puede calcular a partir de la ecuación $(E-A)/2$.

15 En los casos en que la relación preferida entre el grosor total de la pared de cobre y tungsteno $(C+D)/C$ y el grosor de la pared preferida de tungsteno (C) no se puedan cumplir simultáneamente, entonces se debe dar preferencia a la relación total. En la tabla anterior, los valores preferidos para la relación y el grosor de la pared no se pueden cumplir al mismo tiempo para los ejemplos 930W a 933W. Como un resultado, se prefiere que estos ejemplos

tengan la relación preferida, con el efecto de que el revestimiento de tungsteno es ligeramente más delgado de lo que se prefiere.

Los experimentos han demostrado que se puede mejorar la vida útil del hardware de una boquilla antigua F4 de 6 mm que funciona en una condición de parámetro extrema en aproximadamente un 30% en promedio. Por lo tanto, la nueva boquilla F4 de 6 mm puede tener una vida útil del hardware mejorada que la boquilla F4 de 6 mm de la siguiente manera: una vida útil del hardware de aproximadamente 17 horas (6 mm antigua) a aproximadamente 23 horas (6 mm nueva). Lo que es más importante, el hardware antiguo sufrió una tasa de fallas catastróficas del 30%, mientras que ninguna boquilla nueva ha fallado catastróficamente a la fecha de presentación de la presente solicitud. Además, la variación en la vida del hardware como tal pasó de aproximadamente +/- 4 horas a menos de +/- 1.5 horas. Esta consistencia mejorada y la falta de fallas catastróficas asociadas con las nuevas boquillas representan una mejora muy significativa sobre el hardware antiguo, al menos en lo que se refiere a la boquilla F4 de 6 mm. La prueba de las boquillas F4 de 8 mm ha mostrado resultados similares sin que se observen fallas catastróficas y con una mejora en la vida promedio del hardware alrededor del 25%. La prueba de la boquilla G-W con una pistola de plasma 9MB mostró nuevamente una mejora comparable. Otras boquillas revestidas de tungsteno listadas aún no se han sometido a tales pruebas, pero se cree (según la experiencia pasada) que también es probable que experimenten una mejora comparable significativa.

Experimentos adicionales con revestimientos de tungsteno que tienen una relación del grosor total de cobre a tungsteno menor a 3.00 y un grosor de pared de tungsteno de 2.00 mm demostraron que los beneficios de la presente invención son menos espectaculares. Aproximadamente el 10% de las boquillas probadas experimentaron una falla catastrófica del revestimiento de tungsteno en comparación con el 30% para las boquillas convencionales y el 0% para la relación y el grosor de pared más preferidos. Del mismo modo, los experimentos con revestimientos de tungsteno con una relación mayor que 7 y un grosor de pared de tungsteno menor que 0.5 mm dieron como resultado una serie de boquillas en las que el cobre debajo del revestimiento de tungsteno, en la región de unión al arco, se fundió y el cobre se mezcló a través de las grietas axiales de la horquilla. Aunque esto no resulta en una falla catastrófica del revestimiento de tungsteno, tiene efectos indeseables como escupir el cobre y una vida útil más corta del hardware debido a la caída acelerada del voltaje.

Aunque las diversas realizaciones de la boquilla divulgadas en el presente documento se pueden fabricar de varias maneras, se puede hacer lo mismo, a modo de ejemplo no limitativo, colocando primero una barra de tungsteno sólido en un molde de fundición y fundiendo una funda de material de cobre alrededor la varilla de tungsteno. Una vez retirado del molde de fundición, el conjunto de fundición se puede mecanizar para formar tanto el perfil exterior como el perfil interior que se muestran en, por ejemplo, las figuras 8-10. El perfil interior incluye específicamente las secciones 128 y 129 de mecanizado del revestimiento que se muestra en la figura 8. Durante el mecanizado, se debe tomar referencia a las especificaciones mostradas en la tabla mencionada anteriormente y/o al criterio aquí divulgado para adaptar los diversos valores A-E descritos en el presente documento. La mayor parte del mecanizado puede realizarse a través de un torno CNC con las lengüetas 124 formadas en una fresadora CNC.

En cada una de las realizaciones divulgadas en el presente documento, la composición del revestimiento de tungsteno puede incluir cualquier material de tungsteno dopado que incluye, entre otros, toriados, lantanzados, ceriados, etc. Otras consideraciones materiales incluyen aleaciones con alto contenido de tungsteno como CMW 3970, Molibdeno, Plata e Iridio. Como se usa en este documento, una aleación es una solución sólida de un metal y al menos otro elemento, generalmente otros metales para formar una sola fase cristalina. Ejemplos de latón, Inconel, acero inoxidable. En el caso de la aleación de tungsteno, el tungsteno contiene pequeñas cantidades de níquel y hierro en una solución sólida o aleación. También como se usa en el presente documento, una sustancia dopada es una en la que se agrega un contaminante o impureza (agente dopante) a un material, generalmente un metal o semiconductor. El resultado es una matriz de un material con una segunda sustancia incrustada. Los agentes dopantes típicos son las cerámicas tales como el óxido de aluminio, el óxido de torio y el óxido de lantano; y elementos tales como boro, fósforo y azufre. En el caso del tungsteno toriado o lantanzado, el tungsteno contiene pequeñas impurezas cristalinas de óxido de torio u óxido de lantano. Cuando se utilizan materiales distintos al tungsteno, se deben ajustar los grosores y las proporciones en consecuencia para tener en cuenta las posibilidades de fusión, tensiones y propiedades de conductividad. Tanto Moly como CMW 3970 han sido probados con cierto éxito. La plata y el iridio pueden considerarse, pero actualmente son demasiado costosos.

Dado que en el pasado se sabe que los materiales de revestimiento de tungsteno se agrietan o fracturan (y por lo tanto reducen la vida útil del hardware), otros materiales pueden ofrecer alguna mejora al respecto. Tales materiales deberían tener preferiblemente las siguientes propiedades. Deben ser más dúctiles y tolerantes a las fracturas que el tungsteno, especialmente con cargas térmicas elevadas y gradientes de temperatura elevados. También deben tener un alto punto de fusión similar o cercano al del tungsteno. Y cuando están más bajos, deben tener una conductividad térmica lo suficientemente alta como para compensar por tener un punto de fusión más bajo que el tungsteno. Los materiales potenciales incluyen metales puros como la plata, el iridio y el molibdeno, ya que tienen muchas de las propiedades deseadas indicadas anteriormente. Aunque, como se señaló anteriormente, la plata e iridio son posiblemente demasiado caros para el uso práctico, el molibdeno es asequible. Otras opciones incluyen tungsteno aleado con pequeñas cantidades de hierro o níquel, ya que tienen propiedades aceptables. Preferiblemente, tales materiales incluyen al menos el 90% del metal primario, es decir, tungsteno en el caso de una

5 aleación de tungsteno. Para seleccionar el material, se puede graficar la temperatura diferencial frente a la
conductividad térmica y determinar cuál es probable que resista el contacto directo con el arco de plasma. Esta
temperatura diferencial es preferiblemente la diferencia entre el punto de fusión y la temperatura promedio del
plasma (aproximadamente 9000 K) y al menos una inversa de la temperatura de fusión. Cuando esto se realiza para
10 los materiales discutidos anteriormente, es decir, el molibdeno, el iridio, el tungsteno, el cobre y la plata están más
cerca de tener muchas de las propiedades deseadas, incluso cuando poseen diferencias significativas en lo que
respecta a la ductilidad, y son aceptables para el choque térmico y el agrietamiento. Los materiales preferidos
incluyen tungsteno y molibdeno y sus aleaciones tales como tungsteno que contiene aproximadamente 2.1% de
níquel y aproximadamente 0.9% de hierro. Otras aleaciones de tungsteno incluyen aquellas con cantidades más
15 altas de níquel y cobre, pero con puntos de fusión y conductividad térmica más bajos, pero con mayor ductilidad, así
como aquellas con cantidades más bajas de níquel y cobre, pero con puntos de fusión y conductividad térmica más
altos, pero con menor ductilidad. Otros materiales que pueden ser aleados con tungsteno incluyen osmio, rodio,
cobalto y cromo. Estos metales poseen un punto de fusión suficientemente alto y una alta conductividad térmica, de
modo que pueden alearse con tungsteno y utilizarse en un material de revestimiento de boquilla. El Molibdeno de
calidad comercial y una aleación de tungsteno con 2.1% de níquel y 0.9% de hierro han sido probados y utilizados
en revestimientos de boquillas por el solicitante, y se han comparado con una boquilla de cobre solamente.

20 Además de las realizaciones ejemplares discutidas anteriormente, la invención también abarca una boquilla que
utiliza un revestimiento de tungsteno lantano que tiene un grosor C de pared de entre aproximadamente 0.75 mm
y aproximadamente 1.26 mm, y opcionalmente entre aproximadamente 0.84 y aproximadamente 1.10 mm o entre
aproximadamente 0.75 mm y aproximadamente 1.10 mm, en combinación con una relación, es decir, (C+D)/C, de
entre aproximadamente 4.75 o 4.75:1 y aproximadamente 5.75 o 5.75:1.

25 Se observa que los ejemplos anteriores se han proporcionado simplemente con el propósito de explicación y de
ninguna manera deben considerarse como limitantes de la presente invención. Aunque la presente invención se ha
descrito con referencia a una realización de ejemplo, se entiende que las palabras que se han utilizado aquí son
palabras de descripción e ilustración, en lugar de palabras de limitación. Se pueden realizar cambios, dentro del
alcance de las reivindicaciones adjuntas, como se indica y enmenda actualmente, sin apartarse del alcance de la
30 presente invención en sus aspectos. Aunque la presente invención se ha descrito en el presente documento con
referencia a medios, materiales y realizaciones particulares, la presente invención no pretende limitarse a los
detalles divulgados en el presente documento; más bien, la presente invención se extiende a todas las estructuras,
métodos y usos funcionalmente equivalentes, tales como los que están dentro del alcance de las reivindicaciones
adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una pistola (1) de pulverización térmica estructurada y dispuesta para aplicar un recubrimiento que comprende:
- 5 un cuerpo de boquilla;
- un material (23) de revestimiento dispuesto dentro del cuerpo de la boquilla; y
- 10 un material del cuerpo de boquilla que tiene una temperatura de fusión más baja que la del material (23) de revestimiento;
- caracterizado porque
- 15 una relación de un grosor de pared total de una porción de una boquilla (20) a la de un grosor de pared del material (23) de revestimiento que tiene un valor determinado en relación a o que corresponde al grosor de pared del material (23) de revestimiento,
- en donde el material (23) de revestimiento comprende uno de:
- 20 un material distinto del tungsteno lantanado; y
- un tungsteno lantanado y la relación es de entre aproximadamente 4.75:1 y aproximadamente 5.75:1.
2. La pistola (1) de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que el material (23) de revestimiento es un
- 25 material distinto al tungsteno lantanado y la relación es igual a o mayor que aproximadamente 3.5:1.
3. La pistola (1) de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que el material (23) de revestimiento es un material distinto al tungsteno lantanado y la relación es al menos uno de:
- 30 entre aproximadamente 3.5:1 y aproximadamente 7:1;
- entre aproximadamente 4.1:1 y aproximadamente 6:1; y
- aproximadamente 5:1.
- 35 4. La pistola (1) de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que el material (23) de revestimiento es un material distinto al tungsteno lantanado y comprende una aleación de tungsteno.
5. La pistola (1) de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que el material (23) de revestimiento es un
- 40 material distinto al tungsteno lantanado y comprende uno de:
- Molibdeno;
- 45 Plata; e
- Iridio
6. La pistola de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que el cuerpo de la boquilla está hecho de un material de cobre.
- 50 7. La pistola (1) de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que el grosor de la pared del cuerpo de la boquilla y el material (23) de revestimiento se miden cada uno en un área axial de una zona (70) de unión al arco.
8. La pistola (1) de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que, en funcionamiento normal, el material (23) de revestimiento experimenta una tensión térmica menor o comparable en un área de una zona (70) de unión al arco que en un área corriente debajo de la zona de unión al arco.
- 55 9. La pistola (1) de pulverización térmica de la reivindicación 1, en la que el grosor de la pared del material (23) de revestimiento es al menos uno de:
- 60 entre aproximadamente 0.25 mm y aproximadamente 1.25 mm;
- entre aproximadamente 0.50 mm y aproximadamente 1.0 mm; y
- 65 entre aproximadamente 0.75 mm y aproximadamente 1.0 mm.

10. Una boquilla (20) para una pistola (1) de pulverización térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 9 que comprende:

5 un cuerpo de boquilla;

un material (23) de revestimiento dispuesto dentro del cuerpo de la boquilla; y

10 un material del cuerpo de boquilla que tiene una temperatura de fusión más baja que la del material (23) de revestimiento;

10 caracterizado porque

15 una relación de un grosor total de pared de una porción de la boquilla (20) a la de un grosor de pared del material (23) de revestimiento que tiene un valor determinado en relación a o que corresponde al grosor de pared del material (23) de revestimiento,

en donde el material (23) de revestimiento comprende uno de:

20 un material distinto del tungsteno lantanado; y

un tungsteno lantanado y la relación es de entre aproximadamente 4.75:1 y aproximadamente 5.75:1.

11. La boquilla (20) de la reivindicación 10, en la que la boquilla es una boquilla reemplazable.

25 12. La boquilla (20) de la reivindicación 10, en la que el grosor de la pared del cuerpo de la boquilla y el material (23) de revestimiento se miden cada uno en un área axial de una zona (70) de unión al arco.

30 13. La boquilla (20) de la reivindicación 10, en la que una primera porción del material de revestimiento tiene una sección interna ahusada y una porción principal del material de revestimiento es generalmente cilíndrica.

35 14. Un método para fabricar la boquilla (20) de la reivindicación 10, que comprende: formar el material (23) de revestimiento con un grosor de pared cuyo valor tiene en cuenta al menos uno de:

un grosor de pared de una porción del cuerpo de la boquilla; y

una relación de un grosor de pared total de una porción de la boquilla a la de un grosor de pared de una porción del material (23) de revestimiento.

40 15. Un método para recubrir un sustrato utilizando una pistola (1) de pulverización térmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 9, que comprende:

instalar la boquilla (20) de la reivindicación 10 en la pistola (1) de pulverización térmica; y

45 el plasma pulveriza un material de recubrimiento sobre un sustrato utilizando la pistola (1) de pulverización térmica.

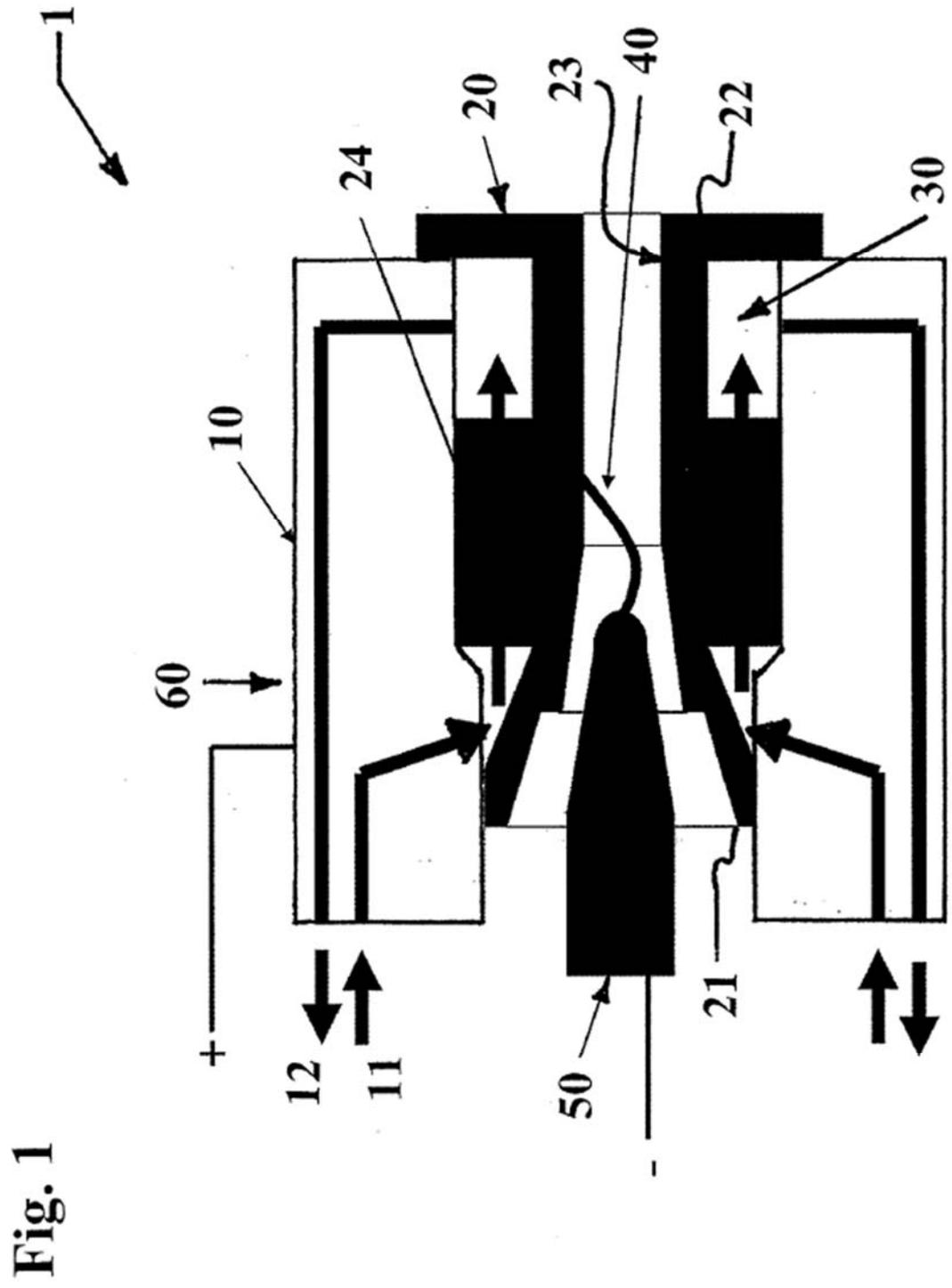


Fig. 1

Fig. 2

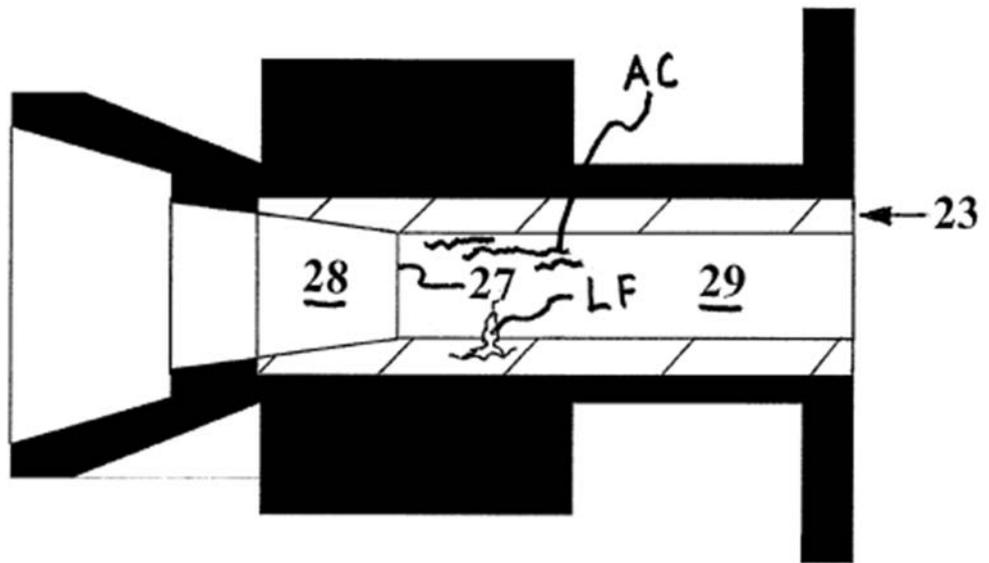
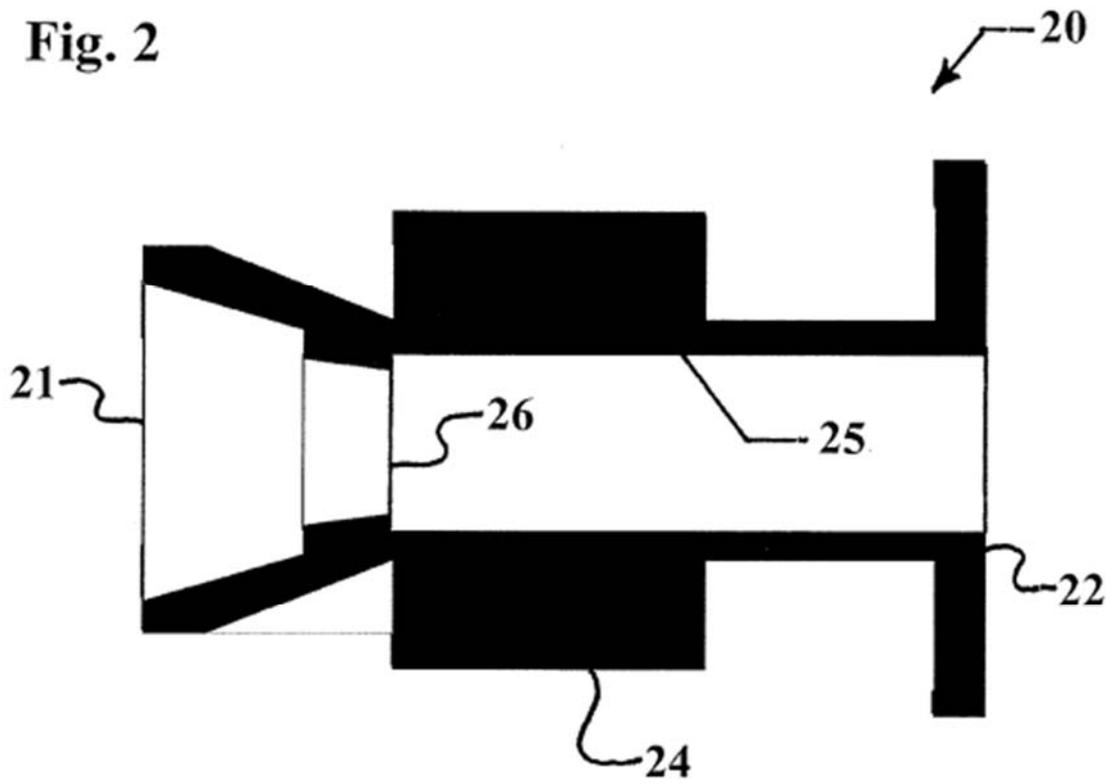


Fig. 3

Fig. 4

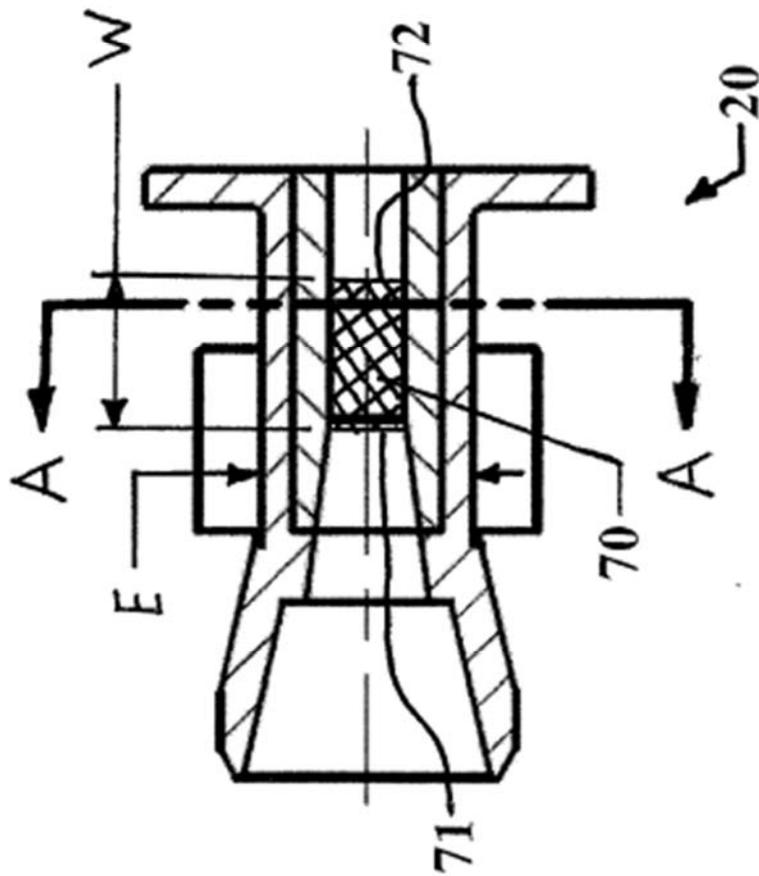
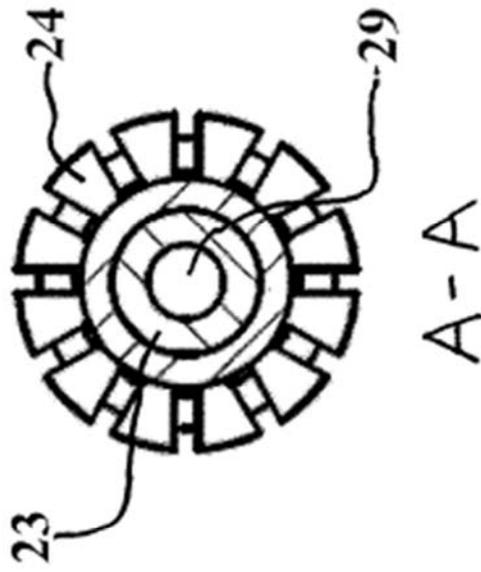


Fig. 5



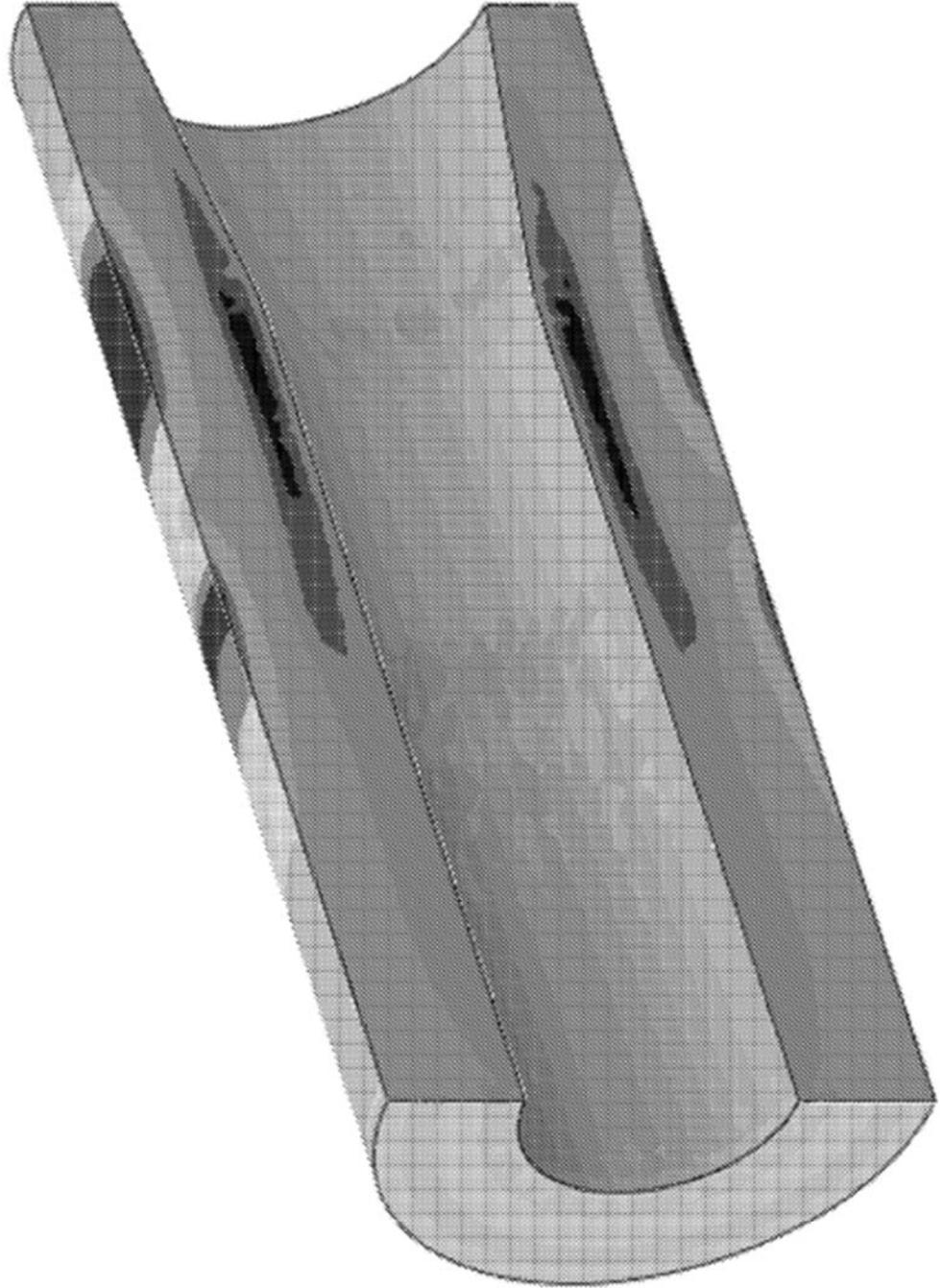


Fig. 6

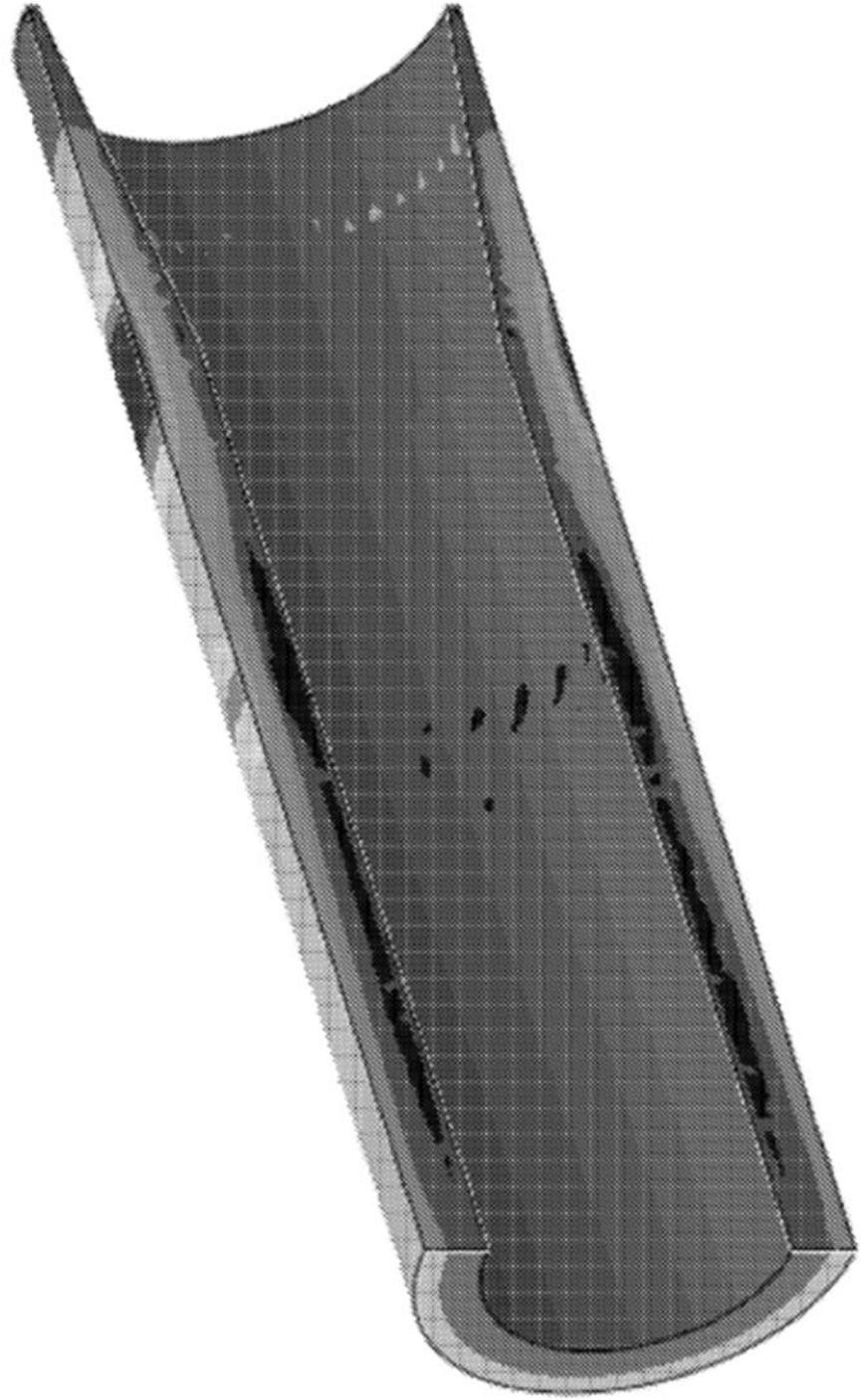


Fig. 7

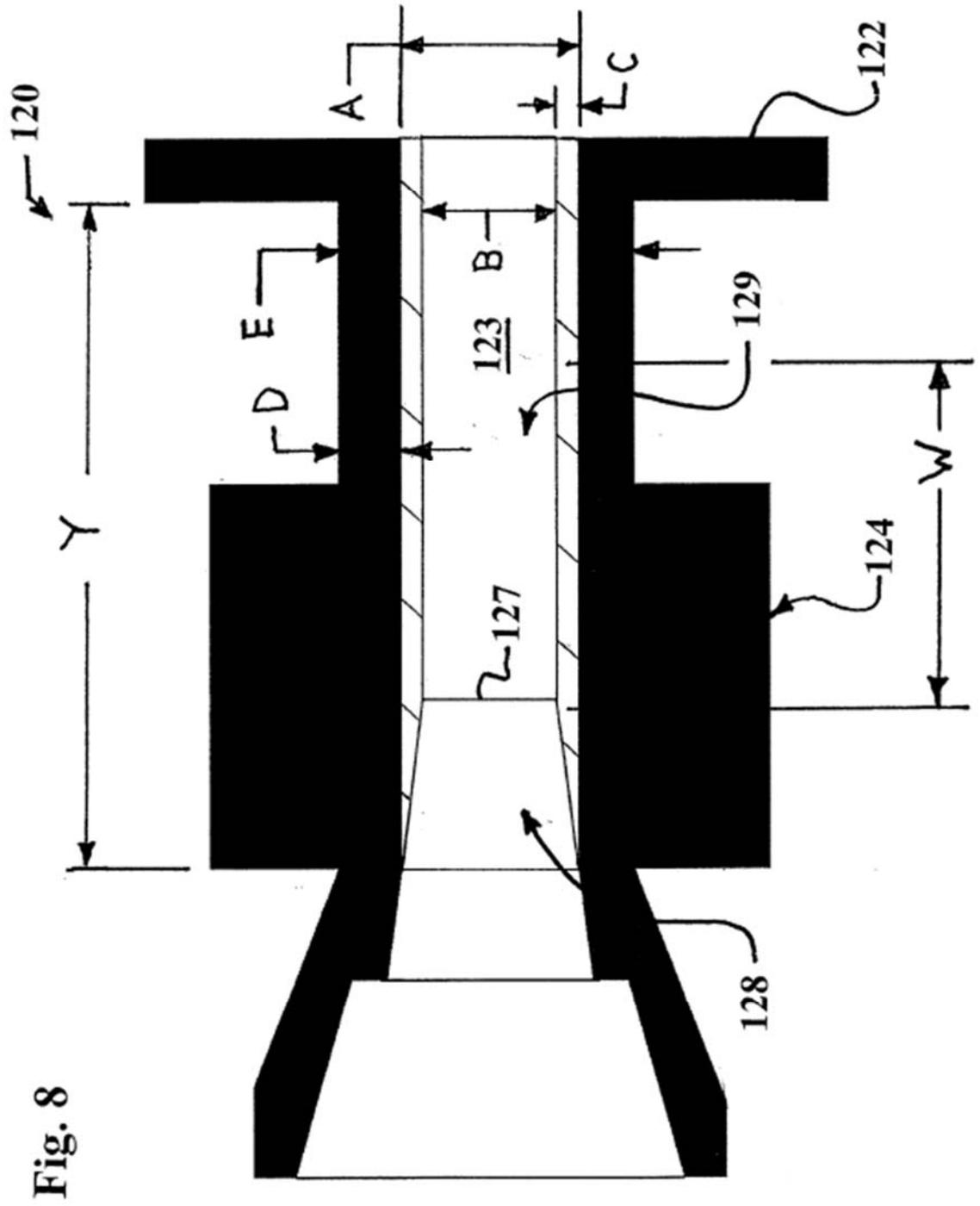


Fig. 8

Fig. 9

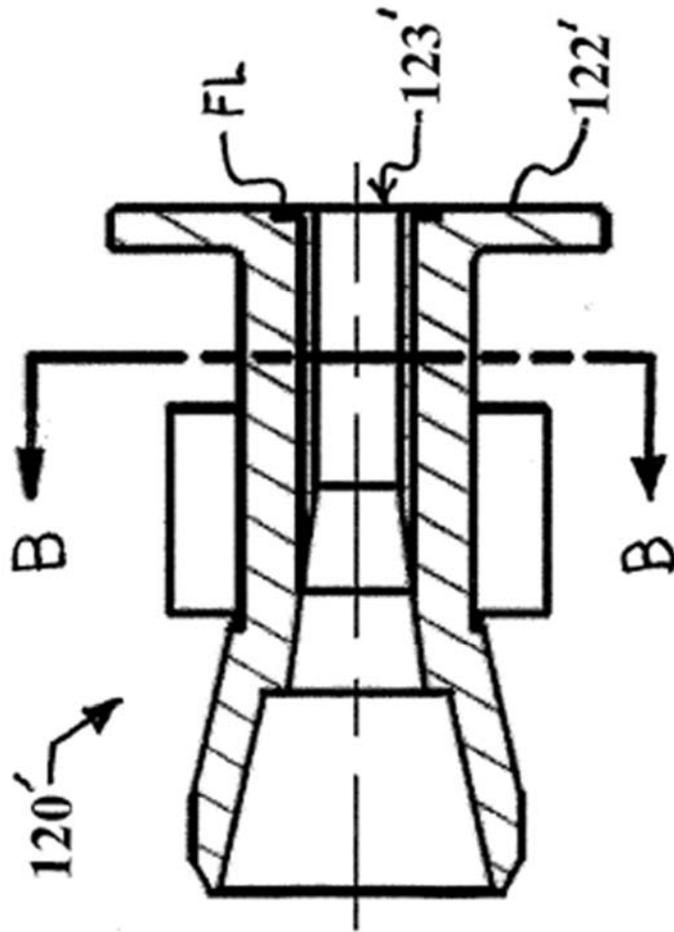
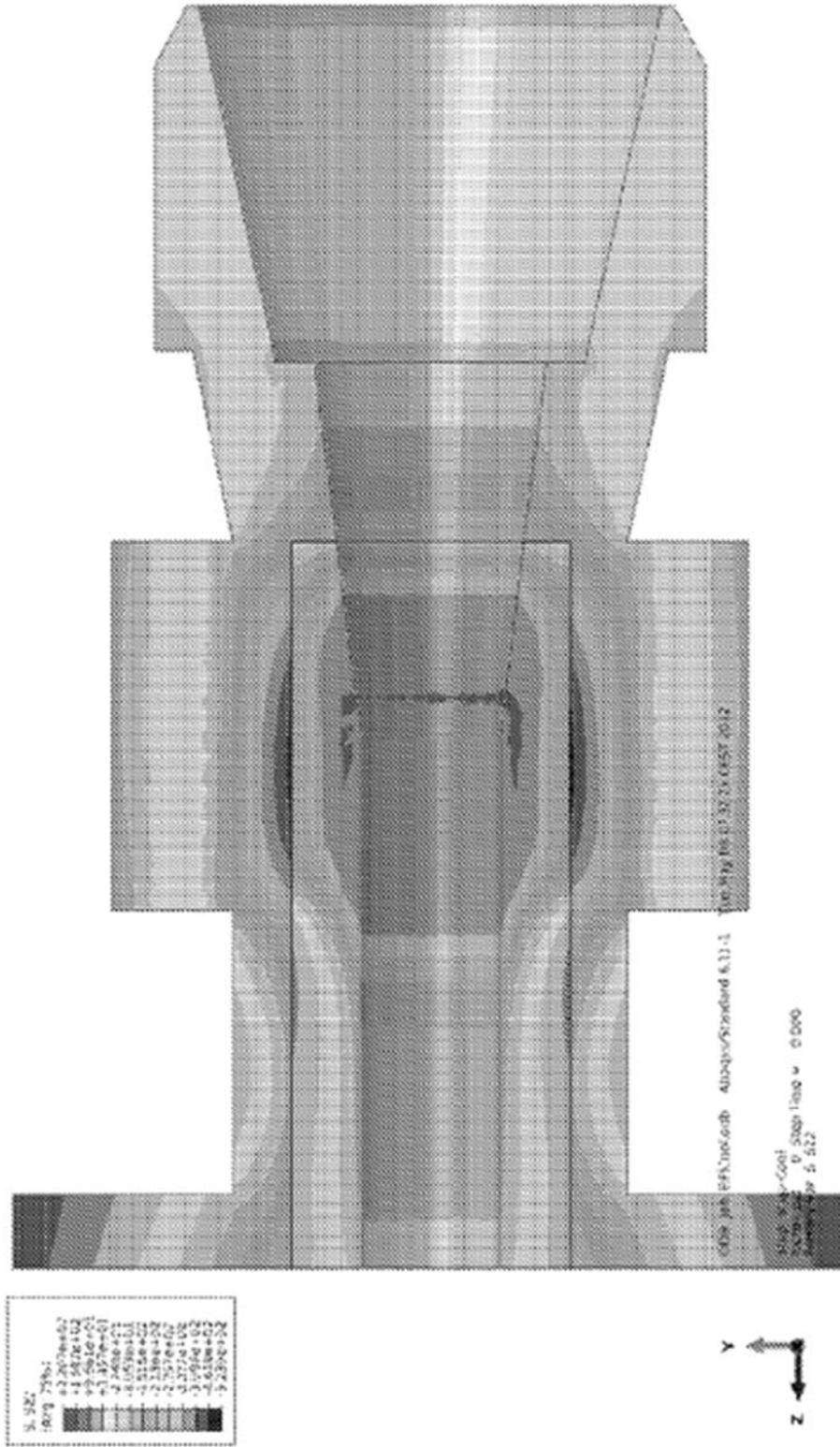


Fig. 10



Fig. 11a



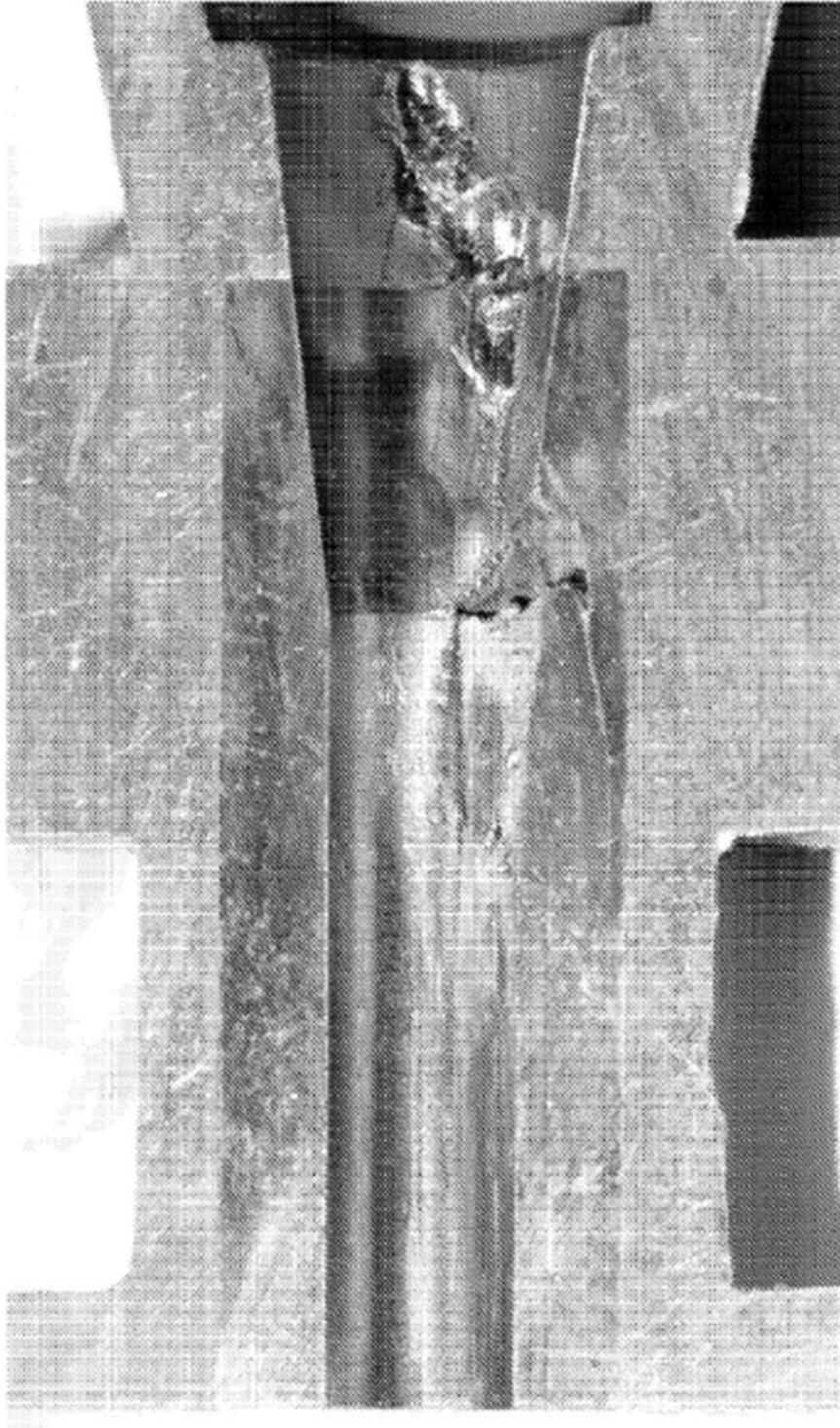


Fig. 11b

Fig. 11c

