

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 029**

51 Int. Cl.:

H05H 1/34

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2010 PCT/IB2010/051085**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.09.2010 WO10103497**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2010 E 10712528 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2407012**

54 Título: **Antorcha de plasma con inyector lateral**

30 Prioridad:

12.03.2009 FR 0901158

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

01.12.2017

73 Titular/es:

**SAINT-GOBAIN CENTRE DE RECHERCHES ET
D'ETUDES EUROPEEN (100.0%)**

**18 avenue d'Alsace Les Miroirs
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**ALIMANT, ALAIN y
BILLIERES, DOMINIQUE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 645 029 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).

DESCRIPCION

Antorcha de plasma con inyector lateral

Ambito Técnico

5 La invención se refiere a un generador de plasma y a una antorcha de plasma que utiliza dicho generador de plasma.

Estado de la técnica

10 La técnica de proyección por plasma, en inglés "*plasma spraying*", sirve clásicamente para formar un revestimiento sobre un sustrato. Consiste, generalmente, en producir un arco eléctrico, en insuflar un gas plasmágeno a través de este arco eléctrico con el fin de generar un flujo de plasma a temperatura muy elevada y a gran velocidad, luego en inyectar en este flujo de plasma partículas para proyectarlas sobre el sustrato. Clásicamente, las partículas se funden, al menos parcialmente, en el plasma y pueden así adherirse eficazmente las unas a las otras y sobre el sustrato durante su enfriamiento.

15 Esta técnica puede así ser utilizada para revestir la superficie de un sustrato metálico, cerámico, de cermet, de polímero, de material orgánico o de material compuesto, en particular con matriz orgánica. Esta técnica se utiliza particularmente para revestir piezas de formas variadas, que presentan por ejemplo geometrías planas o de revolución, particularmente cilíndricas, o geometrías complejas, pudiendo estas piezas ser de tamaño variable, siendo el único límite la accesibilidad por el chorro de partículas. El objetivo puede ser, por ejemplo, aportar al sustrato una funcionalidad superficial tal como la resistencia a la abrasión, la modificación del coeficiente de fricción, la barrera térmica o el aislamiento eléctrico.

20 Esta técnica puede ser igualmente utilizada para fabricar piezas voluminosas, por una técnica llamada de "plasma formage" (formación de plasma). Gracias a esta técnica, resulta así posible aplicar un revestimiento con un espesor de varios milímetros, incluso más de 10 mm.

Las antorchas de plasma, o "*plasmatrones*", se describen por ejemplo en WO 96/18283, US 5.406.046, US 5.332.885, WO 01/05198 o WO 95/35647 o US5420391 o US 3.591.759 o US 5.444.209.

25 Los criterios de rendimiento de una antorcha de plasma en el uso industrial pueden establecerse como sigue:

- una productividad de proyección elevada, estando la productividad de proyección definida por la cantidad de materia depositada por unidad de tiempo,
- un alto rendimiento de proyección, estando el rendimiento de proyección definido por la relación, en porcentaje en peso, entre la cantidad de materia depositada y la cantidad de materia inyectada en el flujo de plasma,
- una calidad máxima para el revestimiento, y en particular la posibilidad de realizar un depósito homogéneo y reproducible, con un caudal de materia elevado incluido,
- un consumo energético mínimo,
- un tiempo de mantenimiento lo más bajo y un intervalo de tiempo entre dos operaciones de mantenimiento consecutivas lo más elevado posible, y
- una contaminación por pérdida de materia del cátodo reducida.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una antorcha de plasma que satisfaga, al menos parcialmente, estos criterios.

Resumen de la invención

40 A este respecto, la invención propone un generador de plasma según la reivindicación 1.

La reivindicación 10 reivindica un primer modo de realización.

45 La reivindicación 12, reivindica un segundo modo de realización. La relación R" es de preferencia superior a 1,25. Los inventores han observado que un generador de plasma según la invención permite realizar un depósito con una productividad y un rendimiento muy elevados, con un consumo eléctrico y una contaminación por el cátodo limitadas.

En particular, la invención conduce a excelentes rendimientos cuando el gas plasmágeno gira alrededor del cátodo, formando un vórtice.

De preferencia, un generador de plasma según la invención puede además presentar también una o varias de las características opcionales siguientes:

- Entre el conjunto de orificios de inyección del dispositivo de inyección, el indicado orificio de inyección es aquel o uno de los que presentan la posición axial la más río abajo.
- La distancia axial x es de preferencia inferior a 25 mm, de preferencia inferior a 18 mm y/o de preferencia superior a 5 mm, siendo una distancia x de aproximadamente 13 mm particularmente muy adecuada.
- 5 - La distancia axial x' es de preferencia inferior a 30 mm, de preferencia inferior a 25 mm y/o de preferencia superior a 9 mm, incluso superior a 15 mm, siendo una distancia x' de aproximadamente 20 mm particularmente muy adecuada.
- La distancia radial y_i es de preferencia inferior a 27 mm, de preferencia inferior a 20 mm incluso inferior a 15 mm y/o de preferencia superior a 6 mm, incluso superior a 10 mm, siendo una distancia y de aproximadamente 12 mm particularmente muy adecuada.
- 10 - La distancia axial x'' que separa la posición axial ρ_{AC} de la posición axial ρ_A desde el punto el más río abajo del ánodo es de preferencia inferior a 60 mm, de preferencia inferior a 50 mm y/o de preferencia superior a 30 mm, siendo una distancia x'' de aproximadamente 45 mm particularmente bien adaptada.
- 15 - La relación R''' entre la distancia radial mínima y_{AC} entre el ánodo y el cátodo en la posición axial ρ_{AC} y la mayor dimensión transversal D_C del cátodo en la cámara de arco es de preferencia inferior a 1,25, de preferencia inferior a 0,5 y de preferencia superior a 0,1, de preferencia superior a 0,2, siendo una relación R''' de aproximadamente 0,3 particularmente muy adecuada.
- El dispositivo de inyección comprende una pluralidad de orificios de inyección, al menos una de las condiciones, y de preferencia todas las condiciones, impuestas en las relaciones R , R' , R'' , y en las distancias x , x' , x'' e y , comprobándose sea cual fuere el orificio de inyección considerado.
- 20 - El dispositivo de inyección es un dispositivo de inyección de preferencia, como se describe a continuación.
- El cátodo comprende, en su extremo libre, una porción cónica, de preferencia en forma de punta o redondeada. El ángulo en el vértice δ de esta porción cónica es de preferencia superior a 30° . De preferencia superior a 40° y/o inferior a 75° , de preferencia inferior a 60° . La longitud, según el eje del cátodo, de la porción cónica es de preferencia superior a 3 mm y/o inferior a 15 mm, de preferencia inferior a 8 mm. El diámetro mayor de ésta porción cónica (a nivel de su base) es de preferencia superior a 6 mm, de preferencia superior a 8 mm y/o inferior a 14 mm, de preferencia inferior a 10 mm. De preferencia, la extremidad libre de la porción cónica está redondeada, siendo el radio de curvatura de ésta extremidad de preferencia superior a 1 mm y/o inferior a 4 mm.
- 25 - El cátodo comprende de preferencia inmediatamente río arriba de la porción cónica, una porción cilíndrica. La porción cilíndrica presenta de preferencia una longitud superior a 5 mm, de preferencia superior a 8 mm y/o inferior a 50 mm, de preferencia inferior a 25 mm, de preferencia todavía inferior a 20 mm, de preferencia inferior a 15 mm. La porción cilíndrica presenta de preferencia una sección circular y un diámetro superior a 4 mm, de preferencia superior a 6 mm, de preferencia superior a 8 mm y/o inferior a 20 mm, de preferencia inferior a 14 mm, de preferencia todavía inferior a 10 mm. De preferencia la porción cilíndrica presenta un diámetro sustancialmente igual al mayor diámetro de la porción cónica, con el fin de extenderse en la continuidad de esta última.
- 30 - De preferencia, el cátodo comprende, de preferencia inmediatamente río arriba de la porción cilíndrica, una porción troncocónica. De preferencia, la porción troncocónica, se extiende hasta el fondo (referencia 59 en la figura 2) de la cámara en la cual se genera el arco eléctrico. De preferencia el ángulo en el vértice γ de esta porción troncocónica es superior a 10° , de preferencia superior a 30° y/o inferior a 90° , de preferencia inferior a 45° . La longitud de la porción troncocónica puede ser superior a 5 mm y/o inferior a 15 mm. De preferencia, el mayor diámetro de la porción troncocónica es superior a 6 mm, de preferencia superior a 10 mm y/o inferior a 30 mm, de preferencia inferior a 20 mm, de preferencia todavía inferior a 18 mm y/o el diámetro más pequeño de la indicada porción troncocónica es superior a 4 mm, de preferencia superior a 6 mm, de preferencia superior a 8 mm y/o inferior a 20 mm, de preferencia inferior a 14 mm, de preferencia todavía inferior a 10 mm. De preferencia, este diámetro más pequeño es igual al diámetro de la porción cilíndrica, de forma que la porción troncocónica se extienda en la prolongación de la porción cilíndrica.
- 35 - En un modo de realización, la longitud de la porción cónica es inferior a la longitud de la porción cilíndrica. La relación entre la longitud de la porción cónica y la longitud de la porción cilíndrica puede en particular ser superior a 0,5 y/o inferior a 1.
- En un modo de realización, la longitud de la porción cilíndrica es sustancialmente idéntica a la longitud de la porción troncocónica.
- 40 - De preferencia, el cátodo comprende una porción cilíndrica, de preferencia de sección circular, de preferencia prolongada coaxialmente, en la cámara de arco, por una porción cónica. De preferencia todavía, el cátodo comprende, coaxialmente, una porción troncocónica prolongada por una porción cilíndrica, de preferencia de sección circular, de preferencia prolongada, en la cámara de arco, por una porción cónica.
- 45 - De preferencia, el cátodo comprende una porción troncocónica y al menos uno, de preferencia todos los orificios de inyección están dispuestos según uno o varios planos transversales que cortan la indicada porción troncocónica. En un modo de realización, todos los orificios de inyección pertenecen a un mismo plano transversal. Este plano transversal puede estar dispuesto, por ejemplo, a una distancia de la base de la porción troncocónica (correspondiente al diámetro mayor de la porción troncocónica) comprendida entre un 30% y un 90%, de preferencia entre un 40% y un 70% de la longitud de la porción troncocónica.
- 50 - El cátodo es un cátodo de plasma de arco soplado, de preferencia un cátodo caliente de tipo varilla.
- 55 - En un modo de realización, el cátodo es monobloque, es decir constituido en un solo material. En otro

modo de realización el cátodo comprende una varilla de tungsteno y una parte de cobre, en la cual se introduce la varilla de tungsteno.

- La cámara comprende una parte cilíndrica río arriba y/o una parte convergente (en dirección río abajo) intermedia y/o una parte cilíndrica río abajo. La parte convergente intermedia puede ser particularmente troncocónica o comprender varias partes troncocónicas, en particular dos partes troncocónicas, que se extienden coaxialmente en la prolongación entre sí (es decir sin una diferencia en la transición entre estas partes troncocónicas). De preferencia, el ángulo en el vértice ψ_1 de una primera parte troncocónica río arriba de una segunda parte troncocónica es superior al ángulo en el vértice ψ_2 de la indicada segunda parte troncocónica. El ángulo en el vértice ψ_1 puede estar comprendido entre 50 y 70°. El ángulo en el vértice ψ_2 puede estar en particular comprendido entre 10 y 20°.
- De preferencia, la cámara comprende sucesivamente, y coaxialmente desde río arriba a río abajo, una parte cilíndrica río arriba, una parte convergente intermedia y una parte cilíndrica río abajo. De preferencia, la longitud de la parte cilíndrica río arriba es superior a 5 mm y/o inferior a 40 mm, de preferencia inferior a 20 mm. De preferencia, la longitud de la parte convergente intermedia es superior a 10 mm y/o inferior a 80 mm, de preferencia inferior a 40 mm y de preferencia superior a 20 mm y/o inferior a 30 mm. De preferencia, la longitud de la parte cilíndrica río abajo es superior a 10 mm y/o inferior a 80 mm, de preferencia inferior a 40 mm y de preferencia superior a 20 mm y/o inferior a 30 mm.
- De preferencia, el diámetro de la parte cilíndrica río arriba es superior a 10 mm, de preferencia superior a 15 mm y/o inferior a 70 mm, de preferencia inferior a 40 mm, de preferencia inferior a 30 mm.
- El mayor diámetro de la parte convergente intermedia (base) es superior a 15 mm y/o inferior a 40 mm, de preferencia inferior a 25 mm. De preferencia, el diámetro de la parte cilíndrica río arriba es superior al mayor diámetro de la parte convergente intermedia, de forma que exista una diferencia entre estas dos partes.
- El diámetro más pequeño de la parte convergente intermedia es superior a 4 mm de preferencia superior a 5 mm y/o inferior a 20 mm, de preferencia inferior a 12 mm, de preferencia inferior a 9 mm.
- El diámetro de la parte cilíndrica río abajo es superior a 4 mm, de preferencia superior a 5 mm y/o inferior a 20 mm, de preferencia inferior a 12 mm, de preferencia todavía inferior a 9 mm.
- De preferencia todavía, el diámetro más pequeño de la parte convergente intermedia es sustancialmente igual al diámetro de la parte cilíndrica río abajo, de forma que la parte cilíndrica río abajo pueda extenderse en la continuidad de la parte convergente intermedia.
- La longitud de la parte cilíndrica río arriba es superior a la longitud de la porción troncocónica del cátodo.
- De preferencia aún, la suma de la longitud de la parte cilíndrica río arriba y de la parte convergente intermedia es superior a la longitud del cátodo en la cámara. En un modo de realización, el extremo libre del cátodo se extiende sustancialmente a la mitad de la extensión de la parte convergente intermedia de la cámara. En particular, la misma puede extenderse a una distancia, desde la base de la parte convergente intermedia, comprendida entre un 30 y un 70%, de preferencia entre un 40% y un 60% de la extensión de la parte convergente intermedia.

La invención se refiere igualmente a un dispositivo de inyección de gas plasmágeno conformado de forma que cree un vórtice alrededor del cátodo, en particular alrededor de la parte río abajo del cátodo que se extiende en la cámara del arco.

- 40 El dispositivo de inyección puede también comprender una o varias de las características opcionales siguientes:
- El dispositivo de inyección está dispuesto río arriba de la parte del cátodo que se extiende en la cámara de arco. El dispositivo de inyección puede en particular estar dispuesto en el extremo río arriba de la cámara.
 - El dispositivo de inyección comprende al menos un conducto de inyección. De preferencia, el dispositivo de inyección comprende al menos cuatro conductos de inyección, incluso al menos 8 conductos de inyección.
 - 45 - El diámetro del orificio de inyección de un conducto de inyección es de preferencia superior a 0,5 mm y/o inferior a 5 mm, de preferencia de aproximadamente 2 mm.
 - Un conducto de inyección está dispuesto de forma que la proyección del eje de inyección en un plano radial que pasa por el centro del orificio de inyección de dicho conducto de inyección forma un ángulo α con el eje X superior a 10°, superior a 20° e inferior a 70° o inferior a 60°.
 - 50 - Un conducto de inyección se coloca de forma que, en una posición ensamblada en la cual el dispositivo de inyección está integrado en un generador de plasma de eje X, pasando la proyección del eje de inyección en un plano transversal por el centro del orificio de inyección de dicho conducto de inyección forma un ángulo β con un radio que se extiende en el mencionado plano transversal y que pasa por el eje X y por el centro de dicho orificio de inyección, siendo el ángulo β inferior a 45°, de preferencia inferior a 30° y/o superior a 5°, de preferencia superior a 10°, incluso superior a 20°.
 - 55 - Varios conductos de inyección, de preferencia todos los conductos de inyección, presentan los mismos valores para x y/o x' y/o α y/o β .
 - El dispositivo de inyección presenta la forma de una corona, de preferencia extendiéndose según un plano transversal, siendo el eje de la corona el eje X.
 - 60 - El dispositivo de inyección comprende una pluralidad de orificios de inyección repartidos equiangularmente alrededor del eje X.

La invención se refiere igualmente a una antorcha de plasma que comprende:

- un generador de plasma según la invención, y
- medios de inyección de una materia a proyectar en un flujo de plasma generado por el indicado generador de plasma.

5 Los medios de inyección de la materia a proyectar pueden desembocar en el interior del generador de plasma, y en particular en la cámara de arco, o desembocar en el exterior del generador de plasma, en particular en la embocadura de la cámara de arco.

Los indicados medios de inyección de la materia a proyectar pueden estar dispuestos de forma que inyecten la mencionada materia a proyectar según un eje que se extiende en un plano radial (pasando por el eje X) y formando con un plano transversal al eje X un ángulo θ , en valor absoluto, inferior a 40° , inferior a 30° , inferior a 20° , siendo un ángulo inferior a 15° muy adecuado. El conducto de inyección puede ser girado hacia adentro (ángulo θ negativo, como se ha representado en la figura 8) con relación al flujo de plasma, girado hacia afuera (ángulo θ ángulo positivo), o ser orientado perpendicularmente con relación al eje X del generador de plasma ($\theta = 0$, como se ha representado en la figura 1).

15 **Breve descripción de las figuras**

Otras características y ventajas de la invención aparecerán todavía con la lectura de la descripción detallada que seguirá y con la lectura del dibujo adjunto en el cual:

- la figura 1 representa, en sección longitudinal, una antorcha de plasma en un modo de realización según la invención;
- 20 - la figura 2 represente un detalle de la figura 1;
- las figuras 3a y 3b representan, en sección longitudinal y en sección transversal, (según el plano A-A representado en la figura 3a), un dispositivo de inyección de gas plasmágeno utilizado en la antorcha de plasma de la figura 1;
- 25 - la figura 7a representa en sección longitudinal un dispositivo de inyección de gas plasmágeno utilizado en la variante de la antorcha de plasma según la figura 6 y las figuras 7b y 7c representan este dispositivo en sección transversal según los planos A-A y B-B representados en la figura 7a, respectivamente;
- las figuras 4, 5, 6 y 8 representan, en sección longitudinal, variantes de antorchas de plasma según la invención;
- 30 - la figura 9 representa un cátodo en un modo de realización preferido;
- la figura 10 representa un ánodo en un modo de realización preferido.

En las diferentes figuras, se utilizan referencias idénticas para designar elementos idénticos o análogos.

La descripción detallada y el dibujo son proporcionados para fines ilustrativos y no limitativos.

Definiciones

35 En la presente descripción, los calificativos «río arriba» y «río abajo» son utilizados en referencia al sentido de circulación del flujo de gas plasmágeno.

Un «plano transversal» es un plano perpendicular al eje X.

Un «plano radial» es un plano que contiene el eje X.

Por «posición axial», se designa una posición según el eje X. Dicho de otro modo, la posición axial de un punto se facilita por su proyección normal sobre el eje X.

40 La posición axial ρ_{AC} de aproximación radial máxima del ánodo y del cátodo se define como la posición, sobre el eje X, del plano transversal en el cual la distancia entre el ánodo y el cátodo es mínima. Esta distancia radial (es decir medida en un plano transversal) se llama «distancia radial mínima» e indicada por y_{AC} como se ha representado en la figura 2. Si la distancia entre el ánodo y el cátodo es mínima en varios planos transversales, la posición de ρ_{AC} designa la posición del plano el más río arriba.

45 La «cámara» es el volumen que se extiende desde la abertura de salida por la cual sale el plasma de dicho generador de plasma hacia el interior del generador de plasma. La cámara está constituida, río arriba, por una «cámara de expansión» en la cual el gas plasmágeno es inyectado, y por una «cámara de arco» en la cual se genera el arco eléctrico. Se considera que el plano transversal en la posición ρ_{AC} define el límite entre la cámara de expansión y la cámara de arco.

50 La mayor dimensión transversal D_C del cátodo en la cámara de arco se mide teniendo en cuenta solo la parte del

cátodo que se extiende en la cámara de arco. Cuando, como en el modo de realización preferido de la invención, el cátodo comprende, extendiéndose en la cámara de arco, una porción cilíndrica de sección circular, que termina por una porción cónica formando una punta, esta dimensión transversal corresponde al diámetro de la porción cilíndrica del cátodo.

5 Por "que comprende uno", se entiende, "que comprende al menos uno", salvo indicación contraria.

Descripción detallada

Ahora se hace referencia a la figura 1.

Una antorcha de plasma 10 comprende clásicamente un generador de plasma 20 y medios de inyección 21 de una materia a proyectar en el flujo de plasma producido por el generador de plasma 20.

10 El generador de plasma 20 comprende un cátodo 22 que se extiende según un eje X y un ánodo 24 dispuestos de forma que puedan generar, en una cámara 26, un arco eléctrico E bajo el efecto de una tensión eléctrica producida por medio de un generador eléctrico 28. El generador de plasma 20 comprende igualmente un dispositivo de inyección 30 con el fin de inyectar un gas plasmágeno G en la cámara 26.

15 El generador de plasma puede igualmente comprender una cámara de presurización o de uniformización de presión del gas plasmágeno, no representada, río arriba del dispositivo de inyección 30.

El generador de plasma 20 comprende por último un cuerpo 34 que permite solidarizar los otros órganos.

20 El cuerpo 34 aloja un soporte de cátodo 36 sobre el cual está fijado el cátodo 22, un soporte de ánodo 38 sobre el cual está fijado el ánodo 24 y un cuerpo aislante eléctricamente 40 interpuesto entre el conjunto constituido por el soporte de cátodo 36 y el cátodo 22 por un lado y el conjunto constituido por el soporte de ánodo 38 y el ánodo 24 por otro lado, con el fin de aislarlos eléctricamente uno del otro.

25 El cuerpo 34 está en general formado por dos cubiertas 34' y 34'' que se ajustan alrededor de los soportes de ánodo y de cátodo y del dispositivo de inyección como se ha representado en la figura 1. De preferencia, el cuerpo 34 es monobloque. En particular, en un modo de realización, el dispositivo de inyección constituye con el soporte de ánodo un cuerpo monobloque, como se ha representado por ejemplo en la figura 8. Ventajosamente, un cuerpo monobloque permite mejorar el centrado de las piezas con relación al eje de la antorcha y hace más fácil el montaje y el desmontaje de la antorcha.

30 El cuerpo aislante eléctricamente 40 está de preferencia constituido por un material resistente a la radiación del plasma. La naturaleza de los medios utilizados para el aislamiento eléctrico puede igualmente adaptarse en función de la temperatura local. Por ejemplo, como se ha representado en la figura 8, una pieza aislante 41 de resistencia térmica reducida puede colocarse en la zona que no esté directamente expuesta al plasma.

Los soportes de cátodo 36 y de ánodo 38 se encuentran respectivamente al mismo potencial eléctrico que el cátodo 22 y el ánodo 24. Sin embargo, el cátodo 22 y el ánodo 24 son clásicamente piezas de desgaste constituidas por cobre y tungsteno mientras que los cuerpos de cátodo 36 y de ánodo 38 son clásicamente de aleación de cobre.

35 Los terminales + y - del generador eléctrico 28 están conectados directa o indirectamente respectivamente al ánodo 24 y al cátodo 22. El generador eléctrico 28 está clásicamente adaptado para poder crear entre el ánodo y el cátodo una tensión superior a 40V y/o inferior a 120V.

La figura 2 muestra que el cátodo 22, en forma de varilla de eje X, comprende sucesivamente, coaxialmente, desde río arriba a río abajo, una porción troncocónica 45, de diámetro decreciente, una porción cilíndrica 46 de sección transversal circular y una porción cónica 48 de vértice redondeado.

40 En un modo de realización, la porción cilíndrica presenta un diámetro superior a 5 mm, superior a 6 mm y/o inferior a 11 mm, inferior a 10 mm, un diámetro de aproximadamente 8 mm es muy adecuado.

El diámetro de la porción cilíndrica 46, indicado por D_c , es llamado "diámetro del cátodo", y es de preferencia de aproximadamente 8 mm. La posición axial del extremo río abajo 50 del cátodo 22 se indica a continuación ρ_c

45 El cátodo 22 puede estar constituido por tungsteno, eventualmente dopado con un dopante que permite reducir el potencial de extracción del metal que constituye el cátodo con relación al del tungsteno. El tungsteno puede particularmente ser dopado por un óxido de torio y/o de lantano y/o de cerio y/o de itrio. Esto permite ventajosamente aumentar la densidad de la corriente en el punto de fusión del metal o disminuir la temperatura de funcionamiento en algunos centenares de grados °C con relación a la utilización de un cátodo de tungsteno puro.

El cátodo puede ser de un mismo material o no. Por ejemplo, en la figura 8, el cátodo 22 comprende una varilla

22" de tungsteno, dopado o no, y una parte de cobre 22', para la fijación al soporte de cátodo.

El ánodo 24 presenta la forma de un manguito de eje X, cuya superficie interior 54 comprende sucesivamente, desde río arriba a río abajo, una porción troncocónica 56 y una porción cilíndrica 58, de sección circular.

Como el cátodo, el ánodo puede ser de un mismo material o no.

- 5 Con el fin de reducir la erosión del ánodo por el pie de arco de la columna de plasma, al menos una parte de la superficie interior 54 del ánodo, y en particular río abajo de la zona de inicio del arco (situada en la porción troncocónica 56), se realiza en un metal refractario y conductor, preferentemente de tungsteno.

La superficie interior de la porción cilíndrica 58 del ánodo puede ser igualmente protegida por un revestimiento o una camisa 57, por ejemplo de tungsteno, como se ha representado en la figura 8.

- 10 La posición axial del ánodo 24 es tal que una parte de la porción cilíndrica 46 y la porción cónica 48 del cátodo 22 están dispuestas frente a la porción troncocónica 56, es decir en el volumen de la cámara 26 delimitado radialmente por la porción troncocónica 56.

En el modo de realización representado en la figura 1, la posición axial ρ_{AC} se sitúa sustancialmente a nivel de la unión entre la porción cilíndrica 46 y la porción cónica 48 del cátodo 22.

- 15 La cámara 26 comprende sucesivamente, desde río arriba a río abajo, una cámara de expansión 26' que se extiende axialmente desde el fondo 59 de la cámara 26, hasta la posición ρ_{AC} , luego una cámara de arco 26" que se extiende axialmente desde la posición ρ_{AC} hasta la posición ρ_A por una abertura de salida 60, delimitada por el extremo río abajo del ánodo y por el cual el plasma sale del generador de plasma.

- 20 De preferencia, el diámetro de la abertura de salida 60 es superior a 4 mm, de preferencia superior a 5 mm y/o inferior a 15 mm, de preferencia inferior a 9 mm.

La cámara 26 puede desembocar por la abertura de salida 60 por mediación de una tobera que se extiende de preferencia según el eje X y cuyo diámetro puede variar según la posición de la sección transversal considerada, como se ha representado por ejemplo en la figura 4 o ser constante, como se ha representado en la figura 1.

- 25 El dispositivo de inyección 30, representado con más detalle en las figuras 3a y 3b, está conformado y dispuesto con el fin de poder crear un flujo de gas que gira alrededor de la porción cilíndrica 46, incluso alrededor de la porción cónica 48, del cátodo 22. De preferencia, el dispositivo de inyección 30 presenta la forma de una corona de eje X.

La pared lateral 70 de esta corona está perforada con ocho conductos de inyección 72, sustancialmente rectilíneos. Cada conducto de inyección 72 desemboca hacia el interior de la corona por un orificio de inyección 74. El centro de un orificio de inyección 74 define la posición axial ρ_i y la distancia radial y_i de éste orificio de inyección.

- 30 La sección transversal de un conducto de inyección 72 es sustancialmente cilíndrica y presenta un diámetro D comprendido entre 0,5 mm y 5 mm.

La distancia radial y_i entre el eje X y el centro de uno cualquiera de los orificios de inyección es constante. La misma es de preferencia superior a 10 mm y/o inferior a 20 mm, una distancia radial y_i de aproximadamente 12 mm es muy adecuada.

- 35 Los orificios de inyección 74 están repartidos en un mismo plano transversal ρ (según la sección A-A). Presentan todos el mismo diámetro D, la misma posición axial $\rho (= \rho_i)$ y la misma distancia radial, y ($= y_i$).

Un conducto de inyección 72 desemboca hacia el eje de la corona, según un eje de inyección l_i . En un plano radial que pasa por el centro del orificio de inyección 74, la proyección del eje de inyección l_i forma, con el eje X, un ángulo α de 45°, como se ha representado en la figura 3a.

- 40 En un plano de proyección transversal, que pasa por el centro del orificio de inyección 74, el eje de inyección l_i forma, con un radio que pasa por el eje X y el centro de dicho orificio de inyección 74, un ángulo β de 25°, como se ha representado en la figura 3b.

El dispositivo de inyección 30 está dispuesto en la cámara de expansión 26'.

- 45 Se indica con x la distancia axial entre la posición axial ρ_{AC} de acercamiento radial máximo del cátodo 22 y del ánodo 24 y la posición ρ de los orificios de inyección del plano ρ , lo más río abajo. Se indica con R la relación entre x y el diámetro D_C de la porción cilíndrica 46 del cátodo 22 ($R = \rho_{AC} / D_C$). En el modo de realización de la figura 1 o de la figura 2, x es de aproximadamente 15 mm y la relación R es de aproximadamente 1,88.

Se indica con x' la distancia axial que separa la posición axial p_C del extremo río abajo 50 del cátodo 22 y la posición p . Se indica por R' la relación entre x' y el diámetro D_C del cátodo 22 ($R' = x'/D_C$). En el modo de realización de la figura 1 o de la figura 2, x' es igual a aproximadamente 20 mm y la relación R' es de 2,5.

5 Por último, se indica la relación R'' la relación entre la distancia radial y entre el eje X y los conductos de inyección 72 y el diámetro D_C del cátodo 22 ($R'' = y/D_C$). En el modo de realización de la figura 1 o de la figura 2, y es igual a aproximadamente 13 mm y la relación R'' es igual a aproximadamente 1,63.

10 Sin estar ligados por una teoría, los inventores han observado que cuando al menos una de las relaciones R , R' y R'' es conforme a la invención, los rendimientos de la antorcha de plasma son particularmente destacables, particularmente cuando el gas plasmágeno se inyecta río arriba del cátodo, y en particular se inyecta de forma que pueda girar alrededor del cátodo. La utilización de un dispositivo de inyección según la invención se muestra particularmente ventajosa a este respecto. Según la invención, el gas plasmágeno se inyecta muy cerca del extremo río abajo del cátodo. El chorro de gas plasmágeno es débilmente amortiguado en esta corta distancia y el gas plasmágeno está igualmente menos caliente en el momento en que alcanza el arco. Por consiguiente mantiene una viscosidad elevada facilitando el sostenimiento y el alargamiento del arco y permitiendo así aumentar la potencia del generador de plasma. Además, la rotación del gas alrededor del cátodo permite igualmente, ventajosamente, limitar el desgaste de los electrodos.

15 El gas plasmágeno G cuya circulación se representa en la figura 2 por la flecha F, es de preferencia un gas seleccionado entre el argón y/o el hidrógeno y/o el helio y/o el nitrógeno.

20 El generador de plasma 20 comprende igualmente medios de enfriamiento aptos para enfriar el ánodo 24 y/o el cátodo 22 y/o el soporte de cátodo 36 y/o el soporte de ánodo 38. En particular, estos medios de enfriamiento pueden comprender medios para hacer circular un fluido refrigerante, por ejemplo agua, de preferencia con un régimen turbulento, definiendo el número de Reynolds el régimen turbulento de este fluido que puede ser de preferencia superior a 3000, de preferencia aún superior a 10000.

25 Una cámara de enfriamiento 76, de eje X, puede particularmente estar prevista en el soporte de ánodo 38 con el fin de permitir una circulación del líquido refrigerante cerca del ánodo 24.

Los medios de enfriamiento pueden ser igualmente comunes al cuerpo 34, al ánodo y al cátodo, como se ha representado en la figura 8.

30 La antorcha de plasma 10 comprende, además del generador de plasma 20, medios de inyección 21 dispuestos, en el modo de realización representado, con el fin de inyectar la materia en partículas a proyectar cerca de la abertura de salida 60 de la cámara 26. Todos los medios de inyección clásicamente utilizados, en el interior o en el exterior de la cámara de arco 26'', pueden considerarse. Así, los medios de inyección de la materia en partículas a proyectar no son necesariamente exteriores al generador de plasma, sino que pueden estar integrados en éste, como se ha representado en la figura 5.

35 En el modo de realización representado en la figura 1, los medios de inyección 21 están dispuestos de forma que al menos una parte de la materia a proyectar sea inyectada hacia el eje X según un eje que forma con un plano transversal P' un ángulo θ de aproximadamente 0° . En la figura 8, el ángulo θ es de aproximadamente 15° .

La figura 9 representa una variante para el cátodo 22.

El cátodo 22 comprende una varilla 22'' de tungsteno y una parte de cobre 22', en la cual se introduce la varilla 22'' de tungsteno.

40 Se distingue una parte río arriba 22a y una parte río abajo 22b del cátodo, destinadas a extenderse fuera de la cámara 26 y dentro de la cámara 26, respectivamente (ver por ejemplo la figura 2). En lo que sigue de la descripción, solo la parte río abajo 22b se describe.

45 El extremo libre de la parte río abajo 22b constituye una porción cónica 82 en forma de punta redondeada. El radio de curvatura de este extremo es superior a 1 mm e inferior a 4 mm. El ángulo en el vértice δ de esta porción cónica es de aproximadamente 45° . La longitud L_{82} , según el eje del cátodo, de la porción cónica 82 es superior a 3 mm e inferior a 8 mm. El mayor diámetro D_{82} de esta porción cónica (a nivel de su base) es superior a 6 mm e inferior a 10 mm.

50 El cátodo 22 comprende, inmediatamente río arriba de la porción cónica 82, una porción cilíndrica 84 de sección circular, que presenta un diámetro igual a D_{82} . La porción cilíndrica 84 presenta una longitud L_{84} superior a 5 mm e inferior a 15 mm.

El cátodo comprende también, inmediatamente río arriba de la porción cilíndrica 84, una porción troncocónica 86. El ángulo en el vértice γ de esta porción troncocónica 86 es superior a 30° e inferior a 45° . La longitud L_{86} de la

porción troncocónica 86 es superior a 5 mm e inferior a 15 mm. El mayor diámetro D_{86} de la porción troncocónica 86 es superior a 6 mm y/o inferior a 18 mm. El diámetro más pequeño de la indicada porción troncocónica 86 es sustancialmente igual a D_{82} , de forma que la porción troncocónica 86 se extienda en la prolongación de la porción cilíndrica 84.

- 5 De preferencia, el cátodo está conformado de forma que en servicio, al menos uno, de preferencia todos los orificios de inyección estén dispuestos según un plano transversal ρ_i que corta la indicada porción troncocónica 86. En un modo de realización, está dispuesto a una distancia «z» de la base de la porción troncocónica 86 comprendida entre un 30% y un 90% de la longitud L_{86} de la porción troncocónica 86.

- 10 La figura 10 representa una variante para el ánodo 24. Este ánodo comprende una primera parte 24a de cobre o de aleación de cobre y una segunda parte 24b de tungsteno o de aleación de tungsteno. La segunda parte 24b se introduce en la primera parte 24a de forma que defina con ella una parte río abajo de la cámara 26, extendiéndose río abajo de una parte cilíndrica río arriba 26a, representada con líneas de trazo interrumpido, y definida por el dispositivo de inyección 30.

La segunda parte 24b está en particular destinada para definir la cámara de arco.

- 15 La parte río abajo de la cámara 26 comprende sucesivamente, desde río arriba a río abajo, una parte convergente (a río abajo) intermedia 26b y una parte cilíndrica río abajo 26c.

- 20 La parte convergente intermedia 26b comprende primera y segunda partes troncocónicas, 26b' y 26b'', que se extienden coaxialmente en la prolongación una de la otra. El ángulo en el vértice ψ_1 de la primera parte troncocónica 26b' río arriba de una segunda parte troncocónica, comprendido entre 50 y 70°, es superior al ángulo en el vértice ψ_2 de la indicada segunda parte troncocónica 26b'', comprendido entre 10 y 20°.

La longitud L_{26a} de la parte cilíndrica río arriba 26a está comprendida entre 5 y 20 mm.

La longitud L_{26b} de la parte convergente intermedia 26b es de aproximadamente 24 mm.

La longitud $L_{26b'}$ de la primera parte troncocónica 26b' está comprendida entre 2 y 10 mm, por ejemplo de aproximadamente 5 mm.

- 25 La longitud L_{26c} de la parte cilíndrica río abajo 26c está comprendida entre 20 y 30 mm.

El diámetro D_{26a} de la parte cilíndrica río arriba 26a es superior a 10 mm e inferior a 30 mm.

El mayor diámetro D_{26b} de la parte convergente intermedia 26b (base) es de aproximadamente 18 mm.

El diámetro D_{26a} de la parte cilíndrica río arriba es superior al mayor diámetro D_{26b} de la parte convergente intermedia, de forma que exista una diferencia 80 entre estas dos partes.

- 30 El diámetro más pequeño d_{26b} de la parte convergente intermedia 26b es superior a 4 mm e inferior a 9 mm.

El diámetro de la parte cilíndrica río abajo 26c es igual a d_{26b} .

- 35 De preferencia, la longitud L_{26a} de la parte cilíndrica río arriba 26a es superior a la longitud L_{86} de la porción troncocónica 86 del cátodo 24. De preferencia aún, la suma ($L_{26a} + L_{26b}$) de la longitud de la parte cilíndrica río arriba 26a y de la parte convergente intermedia 26b es superior a la longitud L_{22b} del cátodo 22 en la cámara 26. Cuando el cátodo 22 se pone en posición de servicio en la cámara 26 definida por el ánodo 22, el extremo libre del cátodo se extiende de preferencia sustancialmente a mitad de la longitud de la parte convergente intermedia de la cámara.

- 40 El funcionamiento de una antorcha de plasma según la invención es similar al de las antorchas de plasma según la técnica anterior. Una tensión eléctrica se crea por medio del generador eléctrico 28 entre el cátodo 22 y el ánodo 24 con el fin de crear un arco eléctrico E. El gas plasmágeno G es entonces inyectado con un caudal típicamente superior a 30 l/min e inferior a 100 l/min, a una temperatura superior a 0°C e inferior a 50°C, y a una presión absoluta inferior a 10 bares por medio del dispositivo de inyección 30 río arriba del extremo río abajo 50 del cátodo 22. El flujo de gas plasmágeno G gira alrededor del cátodo 22 progresando dentro de la cámara 26 hacia la abertura de salida 60. Atravesando el arco eléctrico E, el gas plasmágeno G se transforma en plasma a temperatura muy alta, típicamente a una temperatura superior a 8000 K, incluso superior a 10000 K. El flujo de plasma sale de la cámara 45 26, sustancialmente según el eje X, a una velocidad típicamente superior a los 400 m/s e inferior a los 800 m/s.

Simultáneamente, la materia a proyectar, en forma de partículas, se inyecta en el flujo de plasma por medio de los medios de inyección 21.

La materia a proyectar puede en particular ser un polvo inorgánico, metálico y/o cerámico y/o de cermet, incluso un

polvo orgánico, o eventualmente un líquido tal como una suspensión o una solución de la materia a proyectar.

Esta materia es entonces arrastrada por el flujo de plasma y calentada, incluso fundida por el calor del plasma. Cuando la antorcha de plasma 10 está orientada hacia un sustrato, la materia es así proyectada contra este sustrato. En el enfriamiento, la misma se solidifica y se adhiere al sustrato.

5 **Ejemplos**

Los ejemplos siguientes se facilitan a fines ilustrativos y no limitan el alcance de la invención.

10 Dos antorchas de plasma T1 y T2, similares a la representada en la figura 8, han sido comparadas con dos antorchas comerciales disponibles en el mercado, una antorcha clásica tipo «F4» y una antorcha tricátodo de última generación. Para las dos antorchas de plasma de la técnica anterior, las condiciones de utilización (parámetros eléctricos, composición de gas plasmágeno, caudal de inyección de polvo, distancia de tiro) corresponden a las condiciones nominales preconizadas por el fabricante o a condiciones consideradas como mejores aún. Las condiciones de utilización de las antorchas de plasma T1 y T2 han sido seleccionadas con el fin de obtener los mejores rendimientos posibles.

15 La tabla 1 siguiente resume las características técnicas de las antorchas de plasma sometidas a ensayo así como las condiciones del ensayo. Las dos antorchas de plasma comerciales comprenden orificios de inyección de gas plasmágeno que desembocan en el fondo de la cámara. Los parámetros dimensiones que definen el dispositivo de inyección del gas plasmágeno según la invención no se aplican por consiguiente a estas dos antorchas de plasma.

20 Tabla 1

Antorcha de plasma	T1	T2	Antorcha clásica tipo «F4»	Antorcha tricátodo de última generación	
Posición del dispositivo de inyección del gas plasmágeno con relación al cátodo	lateral	lateral	desde atrás	desde atrás	
Dispositivo de inyección del gas plasmágeno	Angulo α	45°	No aplicable	No aplicable	
	Angulo β	25°			
	$x (= \rho_{AC} \cdot \rho_i)$	13 mm			
	$R (= x/D_C)$	1,6			
	$x' (= \rho_C \cdot \rho_i)$	20 mm			
	$R' (= x'/D_C)$	2,5			
	y	12,5 mm			
Cámara de arco	$R'' (= y/D_C)$	1,75			
	Diámetro del cátodo (D_C)	8 mm			
	$R''' (= y_{AC}/D_C)$	0,3			
	$X'' (= \rho_A - \rho_{AC})$	43,5 mm	43,5 mm		
Generador eléctrico	Diámetro abertura de salida (canal cilíndrico)	6,5 mm		9 mm	
	Corriente eléctrica (A)	750	700	630	
	Tensión eléctrica (V)	72	66	68,5	
Gas plasmágeno	Potencia eléctrica (kW)	54	46,2	43	
	Argón (l/min)	50	40	38	
	Hidrógeno (l/min)	16	12	13	
Proyección del polvo	Helio (l/min)	0	0	0	
	Gas portador	Ar	Ar	Ar	
	Caudal gas portador (l/min)	$3 \times 4 \pm 1$	$1 \times 4,5 \pm 1$	3,2	$3 \times 3,5$
	Caudal de inyección del polvo (g/min)	120	45	40	100
	Distancia de tiro (distancia abertura de salida-sustrato) (mm)	140	120	110	90
	Diámetro orificio de inyección del polvo a proyectar	2 mm	2 mm	1,5 mm	1,8 mm
	Distancia entre los medios de inyección del polvo y el eje de la antorcha	9 mm	9 mm	6 mm	6,5

	Angulo de inyección con relación al eje de la antorcha	90°	90°	90°	90°
	Composición del polvo proyectado	Oxido de cromo		Oxido de cromo	
	Granulometría del polvo proyectado	17-45 µm		17-45 µm	
Resultados	Rendimiento de proyección (%)	52	45	40	50
	Productividad (g/min)	62,4	20	16	50
	Consumo energético por kg depositado (kWh)	14,4	38,5	44,8	18,3

Como ahora se refleja claramente, una antorcha de plasma según la invención permite alcanzar un rendimiento y una productividad particularmente elevadas, para un consumo energético reducido.

5 La comparación de los rendimientos de las antorchas de plasma T1 y T2 muestra que la antorcha de plasma T1 permite obtener, con rendimiento de proyección (52%) aproximado, incluso más elevado (rendimiento de proyección de T2 : 45%), una productividad (superior al 62%) más de tres veces superior a la de la antorcha de plasma T2 para la cual el ángulo β es nulo (20% aproximadamente).

10 Las mediciones de desgaste han mostrado que, con potencia equivalente, el desgaste de los electrodos de una antorcha de plasma según la invención, en particular con los ángulos α y β tales como se han descrito anteriormente, es inferior al de las antorchas clásicas, y en particular a la de los electrodos de la antorcha de plasma F4. Ventajosamente, la contaminación por cobre y/o tungsteno de la capa depositada es por ello reducida.

Bien entendido, la invención no se limita a los modos de realización descritos y representados.

En particular, una antorcha de plasma según la invención puede ser de cualquier tipo conocido, en particular del tipo «de plasma por arco soplado» o «de cátodo caliente», particularmente «de cátodo caliente de tipo varilla».

15 El número y la forma de los ánodos y cátodos no están limitados a los descritos y representados.

En un modo de realización, el generador de plasma comprende varios ánodos y/o varios cátodos, y en particular al menos tres cátodos. De preferencia sin embargo, el generador de plasma comprende un solo cátodo y/o un solo ánodo. Ventajosamente, el generador de plasma es más fácil de pilotar.

La forma de la cámara tampoco es limitativa.

20 El dispositivo de inyección puede igualmente ser diferente del representado en la figura 1. Por ejemplo, puede comprender una única corona o varias coronas.

El número de conductos de inyección no es limitativo. Su sección no es necesariamente circular, y podría ser, por ejemplo oblonga o poligonal, en particular rectangular.

25 La disposición de los conductos de inyección podría ser igualmente diferente de la representada en la figura 1. Los conductos de inyección podrían por ejemplo extenderse según una hélice o, de forma general, estar dispuestos de forma que los orificios de inyección no estén todos en un mismo plano transversal. Podrían particularmente extenderse según dos (como se ha representado en la figura 6), tres, cuatro o más planos transversales.

En el dispositivo de inyección representado en la figura 6 y detallado en las figuras 7a, 7b y 7c, veinte orificios de inyección 74 están repartidos en los primero y segundo planos transversales, P_1 y P_2 .

30 Ocho orificios de inyección 74₁, equiangularmente repartidos alrededor del eje X, se extienden en el primer plano transversal P_1 . Presentan todos un mismo diámetro D_1 y la misma distancia radial, y_1 . La proyección de un eje de inyección I_1 de un orificio de inyección 74₁ en un plano transversal forma un ángulo β_1 con un radio que se extiende en el indicado plano transversal y que pasa por el eje X y por el centro de dicho orificio de inyección.

35 Los otros doce orificios de inyección 74₂ equiangularmente repartidos, se extienden en el segundo plano transversal P_2 , río abajo de P_1 , y presentan un mismo diámetro D_2 , más grande que D_1 , y una misma distancia radial y_2 , igual a y_1 . La proyección de un eje de inyección I_2 de un orificio de inyección 74₂ en un plano transversal forma un ángulo β_2 con un radio que se extiende en el indicado plano transversal y que pasa por el eje X y por el centro de dicho orificio de inyección. El ángulo β_2 es inferior al ángulo β_1 .

40 De preferencia, la relación de la sección acumulada S_1 de los orificios 74₁ y de la sección acumulada S_2 de los orificios 74₂ ($=S_1/S_2$) está comprendida entre 0,25 y 4,0. Se llama «sección acumulada» la suma de las áreas de todas las secciones transversales de un conjunto de orificios.

En un modo de realización y_1 podría ser diferente de y_2 . Los orificios pertenecientes a un mismo plano transversal podrían igualmente presentar distancias radiales y_i diferentes las unas de las otras.

5 Los orificios de inyección podrían igualmente reagruparse en grupos de dos, tres o más. Así, en un modo de realización, el dispositivo de inyección puede comprender cuatro pares de orificios, estando los indicados pares de preferencia repartidos equiangularmente.

Cuando los orificios de inyección están dispuestos en varios planos transversales, los orificios de inyección de un primer plano pueden alinearse según la dirección del eje X o desplazados con los de un segundo plano, por ejemplo desplazados angularmente por un ángulo constante.

10 En el dispositivo de inyección representado en la figura 6 y detallado en las figuras 7a, 7b y 7c, veinte orificios de inyección 74 están repartidos en los primero y segundo planos transversales P_1 y P_2 .

Ocho orificios de inyección 74_1 , equiangularmente repartidos alrededor del eje X, se extienden en el primer plano transversal P_1 . Presentan todos un mismo diámetro D_1 y la misma distancia radial, y_1 . La proyección de un eje de inyección I_1 de un orificio de inyección 74_1 en un plano transversal forma un ángulo β_1 con un radio que se extiende en el indicado plano transversal y que pasa por el eje X y por el centro de dicho orificio de inyección.

15 Los doce otros orificios de inyección 74_2 equiangularmente repartidos, se extienden en el segundo plano transversal P_2 , río debajo de P_1 , y presentan un mismo diámetro D_2 , más grande que D_1 , y una misma distancia radial y_2 , igual a y_1 . La proyección de un eje de inyección I_2 de un orificio de inyección 74_2 en un plano transversal forma un ángulo β_2 con un radio que se extiende en el indicado plano transversal y que pasa por el eje X y por el centro de dicho orificio de inyección. El ángulo β_2 es inferior al ángulo β_1 .

20 De preferencia, la relación de la sección acumulada S_1 de los orificios 74_1 y de la sección acumulada S_2 de los orificios 74_2 ($=S_1/S_2$) se encuentra comprendida entre 0,25 y 4,0. Se llama «sección acumulada» la suma de las áreas de todas las secciones transversales de un conjunto de orificios.

En un modo de realización y_1 podría ser diferente de y_2 . Los orificios pertenecientes a un mismo plano transversal podrían igualmente presentar distancias radiales y_i diferentes las unas de las otras.

25 Los orificios de inyección podrían igualmente reagruparse en grupos de dos, tres o más. Así, en un modo de realización, el dispositivo de inyección puede comprender cuatro pares de orificios, estando los indicados pares de preferencia repartidos equiangularmente.

30 Cuando los orificios de inyección están dispuestos en varios planos transversales, los orificios de inyección de un primer plano pueden ser alineados según la dirección del eje X o desplazados con los de un segundo plano, por ejemplo desplazados angularmente por un ángulo constante.

REIVINDICACIONES

1. Antorcha de plasma que comprende:

- un generador de plasma que incluye:

5 -un cátodo (22) que se extiende según un eje X y un ánodo (24), estando el cátodo y el ánodo dispuestos de forma que puedan generar, en una cámara (26), un arco eléctrico entre el ánodo y el cátodo bajo el efecto de una tensión eléctrica; y

- un dispositivo de inyección (30) de un gas plasmágeno que comprende un conducto de inyección (72) que desemboca, según un eje de inyección (l_i), por un orificio de inyección (74) en la cámara,

10 - medios de inyección de una materia a proyectar en un flujo de plasma generado por el indicado generador de plasma,

estando la antorcha de plasma caracterizada por que

- la relación R" entre:

- la distancia radial (y_i) de dicho orificio de inyección, definida como la distancia mínima entre el eje X y el centro de dicho orificio de inyección,

15 - la mayor dimensión transversal (D_C) del cátodo en la región de la cámara río abajo de la posición ρ_{AC} , designando ρ_{AC} la posición axial de acercamiento radial máximo del ánodo y del cátodo, es inferior a 2,5, y

20 - la proyección del eje de inyección (l_i) en un plano transversal que pasa por el centro del orificio de inyección de dicho conducto de inyección forma un ángulo β inferior a 45° y superior a 5° con un radio que se extiende en el indicado plano transversal y que pasa por el eje X y por el centro de dicho orificio de inyección, comprendiendo la cámara (26) sucesivamente, desde río arriba a río abajo, una cámara de expansión (26') que se extiende axialmente desde el fondo (59) de la cámara (26), hasta la posición ρ_{AC} , luego una cámara de arco (26'') que se extiende axialmente desde la posición ρ_{AC} hasta la posición ρ_A de una abertura de salida (60), delimitada por el extremo río abajo del ánodo y por la cual el plasma sale del generador de plasma,

designando la posición axial una posición según el eje X.

25 **2.** Antorcha de plasma según la reivindicación anterior, en la cual la proyección del eje de inyección (l_i) en un plano radial que pasa por el centro del orificio de inyección de dicho conducto de inyección (72) forma un ángulo α con el eje X superior a 10° e inferior a 70° .

3. Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual

- el ángulo α es superior a 20° e inferior a 60° y/o

30 - el ángulo β es inferior a 30° .

4. Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual, entre el conjunto de orificios de inyección de dicho dispositivo de inyección, el indicado orificio de inyección es aquel o uno de aquellos que presentan la posición axial (ρ_i) la más río abajo.

35 **5.** Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la distancia radial (y_i) de dicho orificio de inyección es inferior a 27 mm y superior a 6 mm.

6. Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual el dispositivo de inyección (30) está dispuesto río arriba de la posición ρ_{AC} .

40 **7.** Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual el cátodo comprende una porción troncocónica (86) y el o todos los orificio(s) de inyección está o están dispuesto(s) según uno o varios planos transversales (ρ_i) cortando la indicada porción troncocónica.

8. Antorcha de plasma según la reivindicación inmediatamente anterior, en la cual el o los indicados planos transversales están dispuestos, a una distancia de la base de la indicada porción troncocónica (86) comprendida entre un 30% y un 90%, de la extensión de la indicada porción troncocónica.

45 **9.** Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la distancia axial x'' que separa la posición axial ρ_{AC} de la posición axial (ρ_A) desde el punto el más río abajo del ánodo es superior a 30 mm

y/o es inferior a 60 mm.

10. Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la relación R entre:

- la distancia axial x entre la posición axial ρ_{AC} y la posición axial (ρ_i) de dicho orificio de inyección, y

- la mayor dimensión transversal (D_C) del cátodo en la región de la cámara río abajo de la posición ρ_{AC}

5 es inferior a 3,2.

11. Antorcha de plasma según la reivindicación anterior, en la cual la distancia axial x es superior a 5 mm e inferior a 25 mm.

12. Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la relación R' entre:

10 - la distancia axial x' que separa la posición axial ρ_C del extremo río abajo del cátodo y la posición axial (ρ_i) de dicho orificio de inyección, y

- la mayor dimensión transversal (D_C) del cátodo en la región de la cámara río abajo de la posición ρ_{AC} ,

es inferior a 3,5.

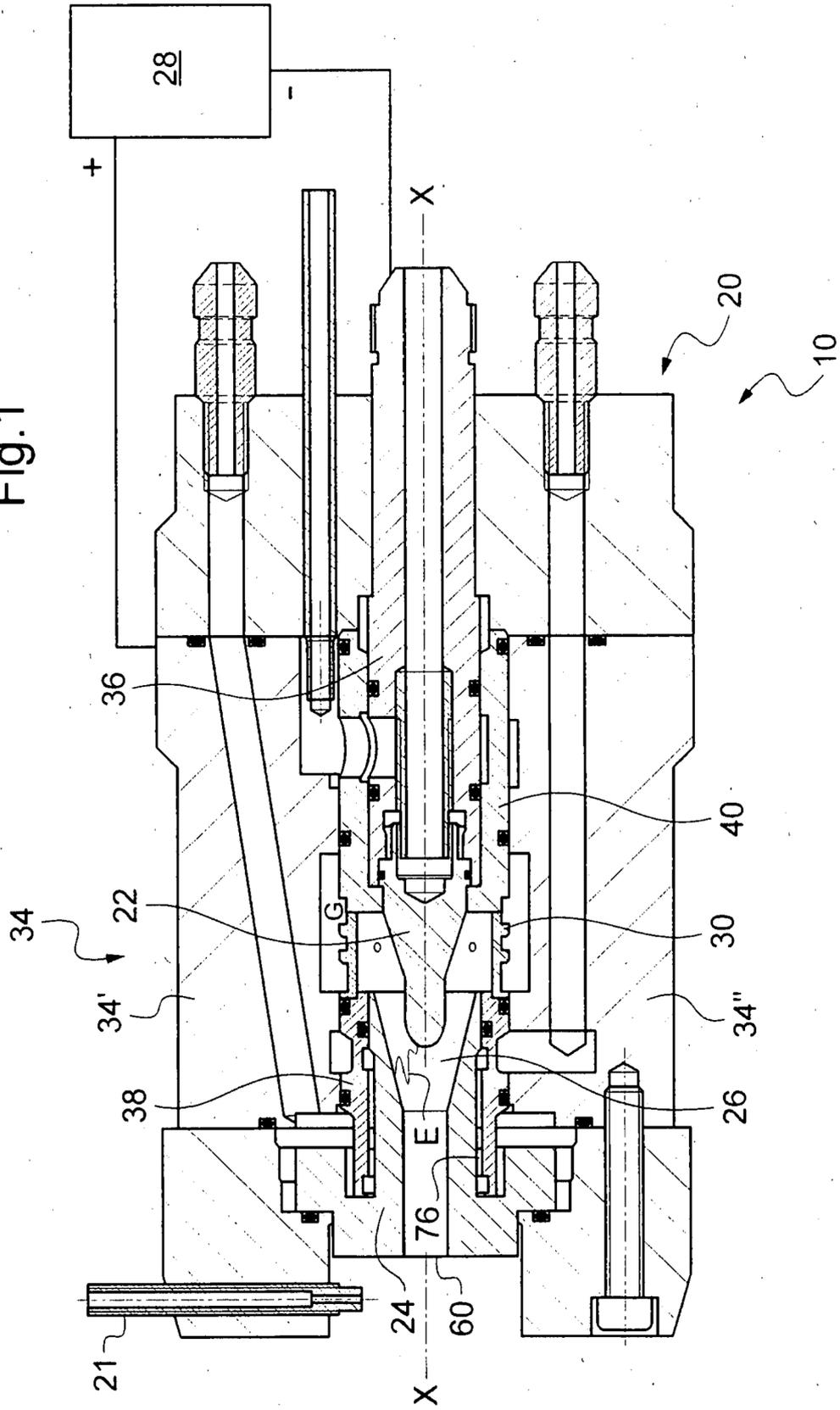
13. Antorcha de plasma según la reivindicación anterior, en la cual la distancia axial x' es superior a 9 mm e inferior a 30 mm.

15 **14.** Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual la relación R''' entre la distancia radial mínima y_{AC} entre el ánodo y el cátodo en la posición ρ_{AC} y la mayor dimensión transversal (D_C) del cátodo en la región de la cámara río abajo de la posición ρ_{AC} es inferior a 1,25.

20 **15.** Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual el dispositivo de inyección comprende una pluralidad de orificios de inyección, al menos una de las condiciones sobre las relaciones R, R' y R'', y sobre las distancias x, x', x'' y la distancia radial y_i , comprobándose sea cual fuere el orificio de inyección considerado.

25 **16.** Antorcha de plasma según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la cual el cátodo (22), en forma de varilla de eje X, comprende sucesivamente, coaxialmente, desde río arriba a río abajo, una porción troncocónica (45), de diámetro decreciente, una porción cilíndrica (46) de sección transversal circular y una porción cónica (48) de vértice redondeado.

Fig.1



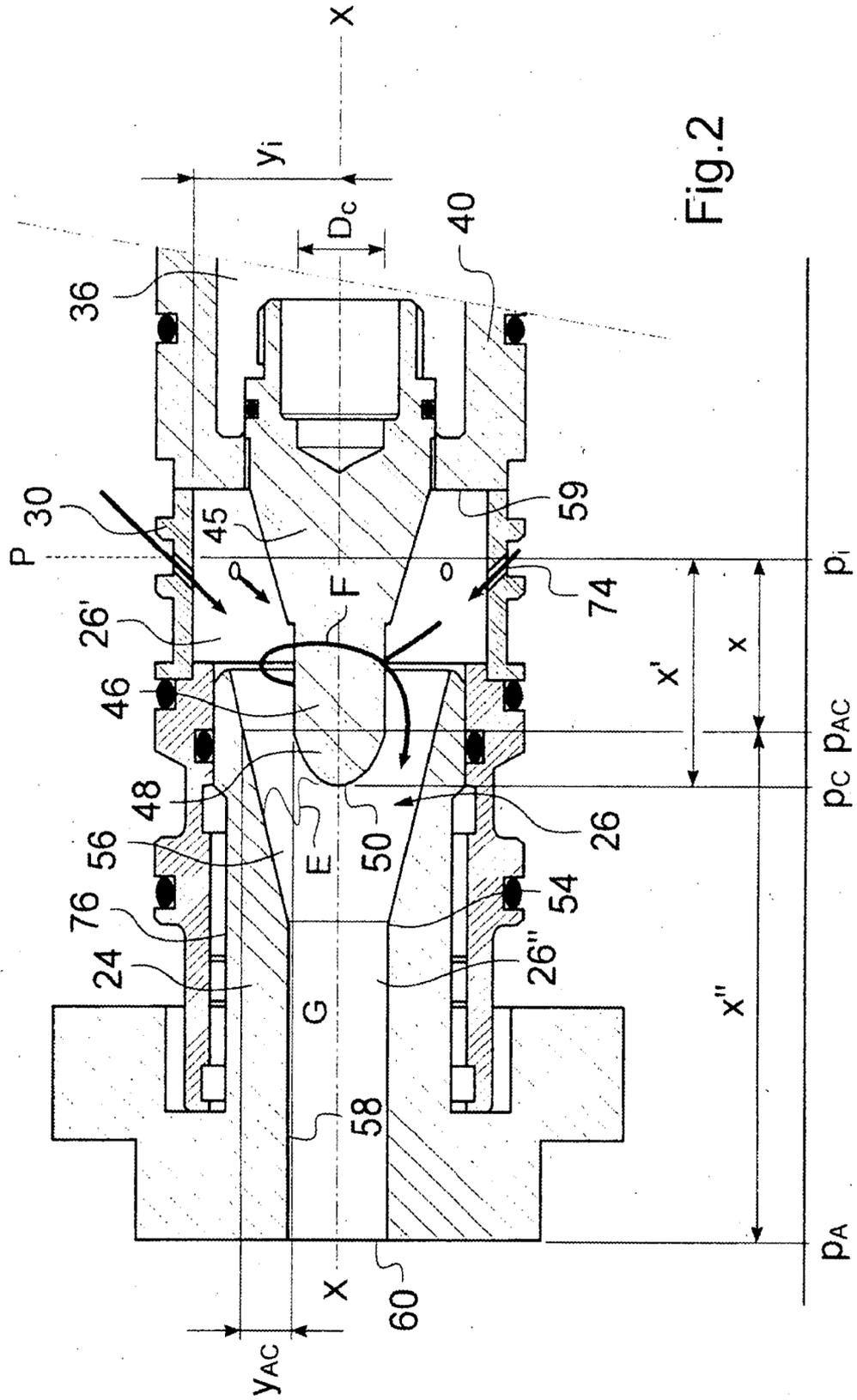


Fig. 2

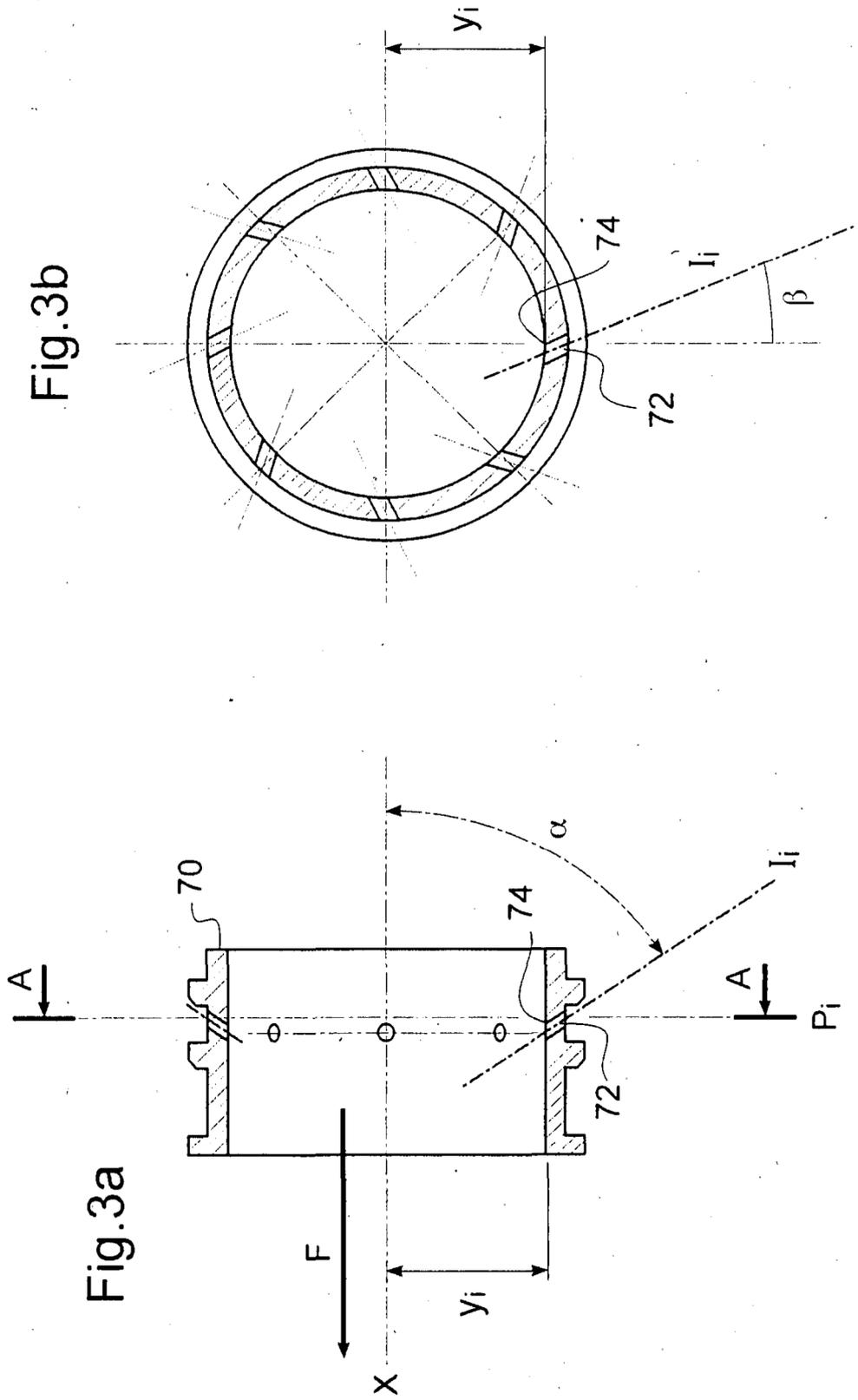
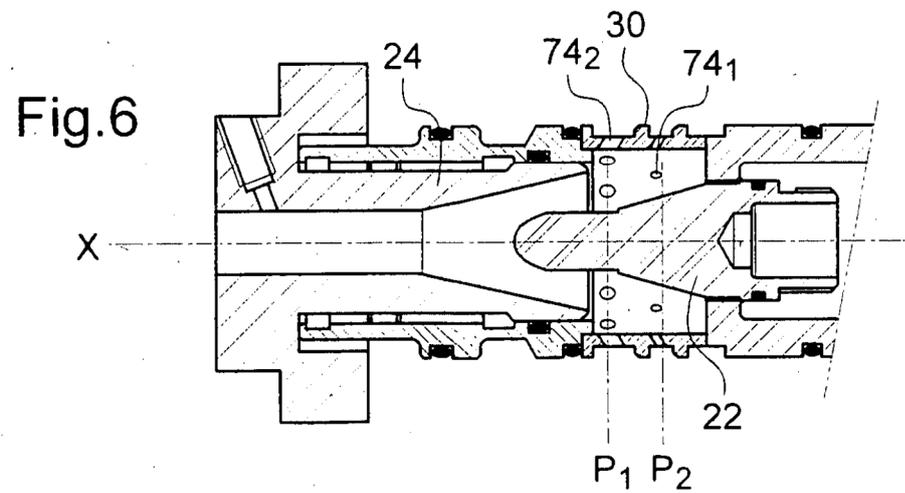
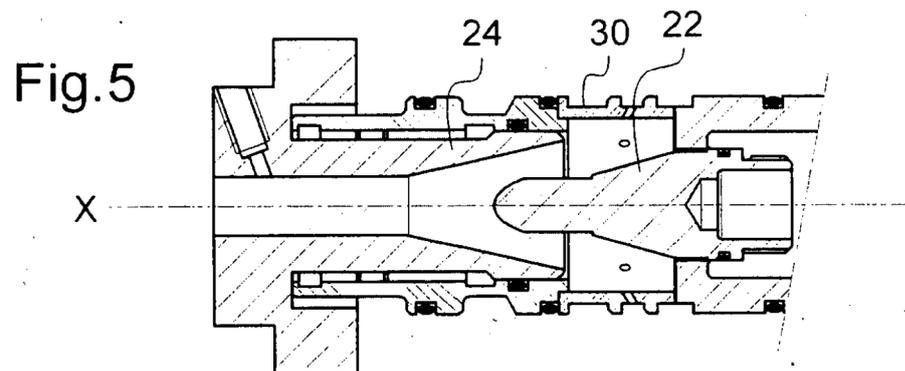
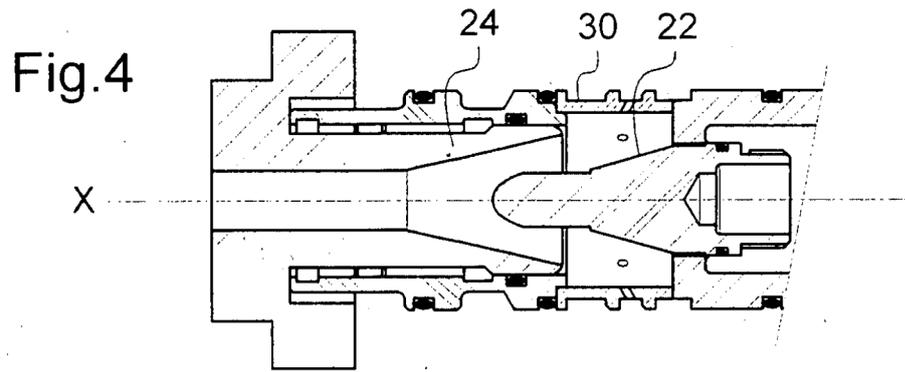


Fig.3b

Fig.3a



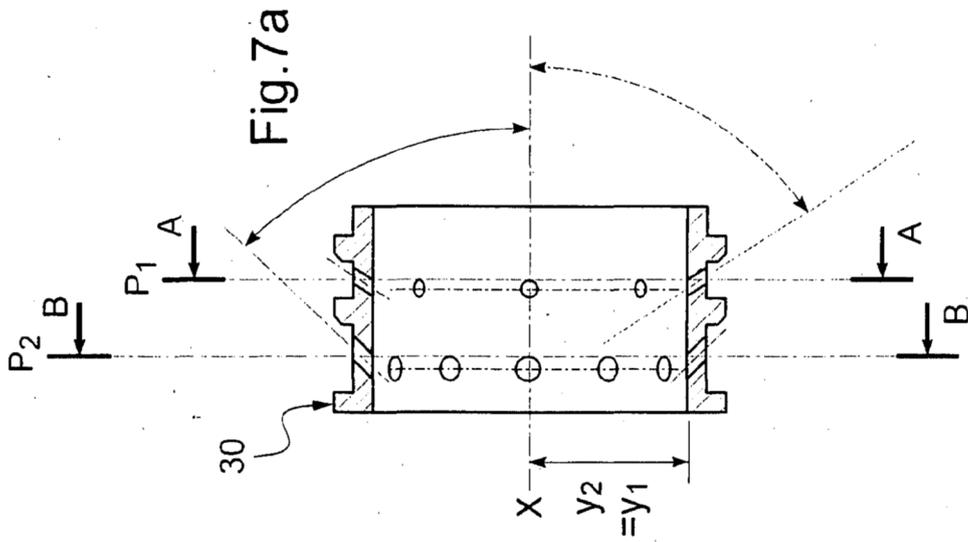


Fig. 7b

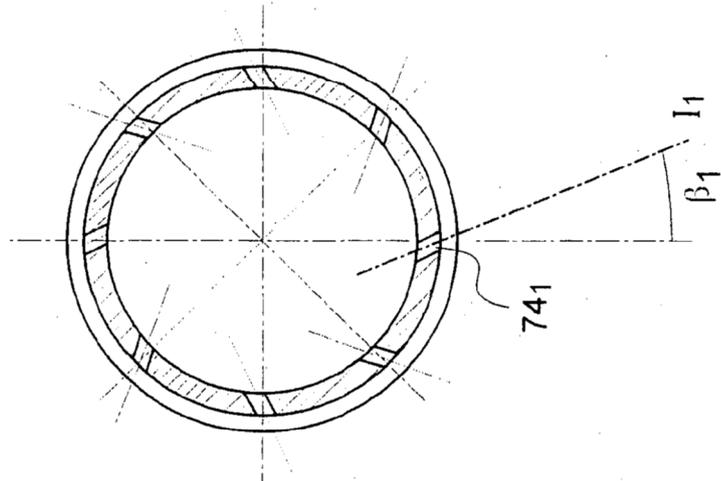
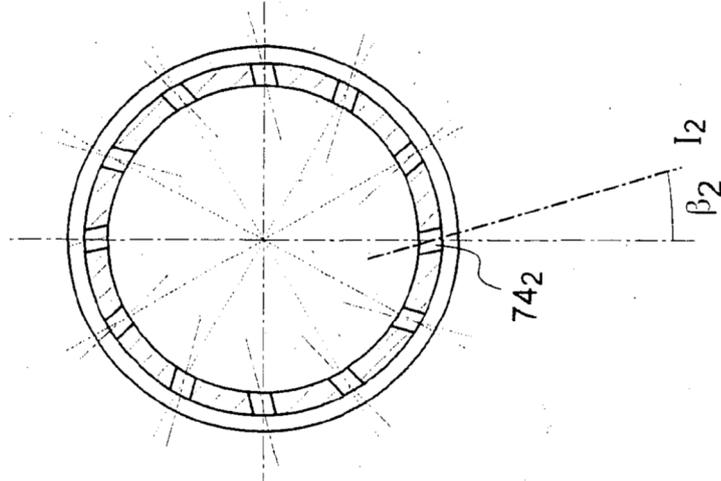


Fig. 7c



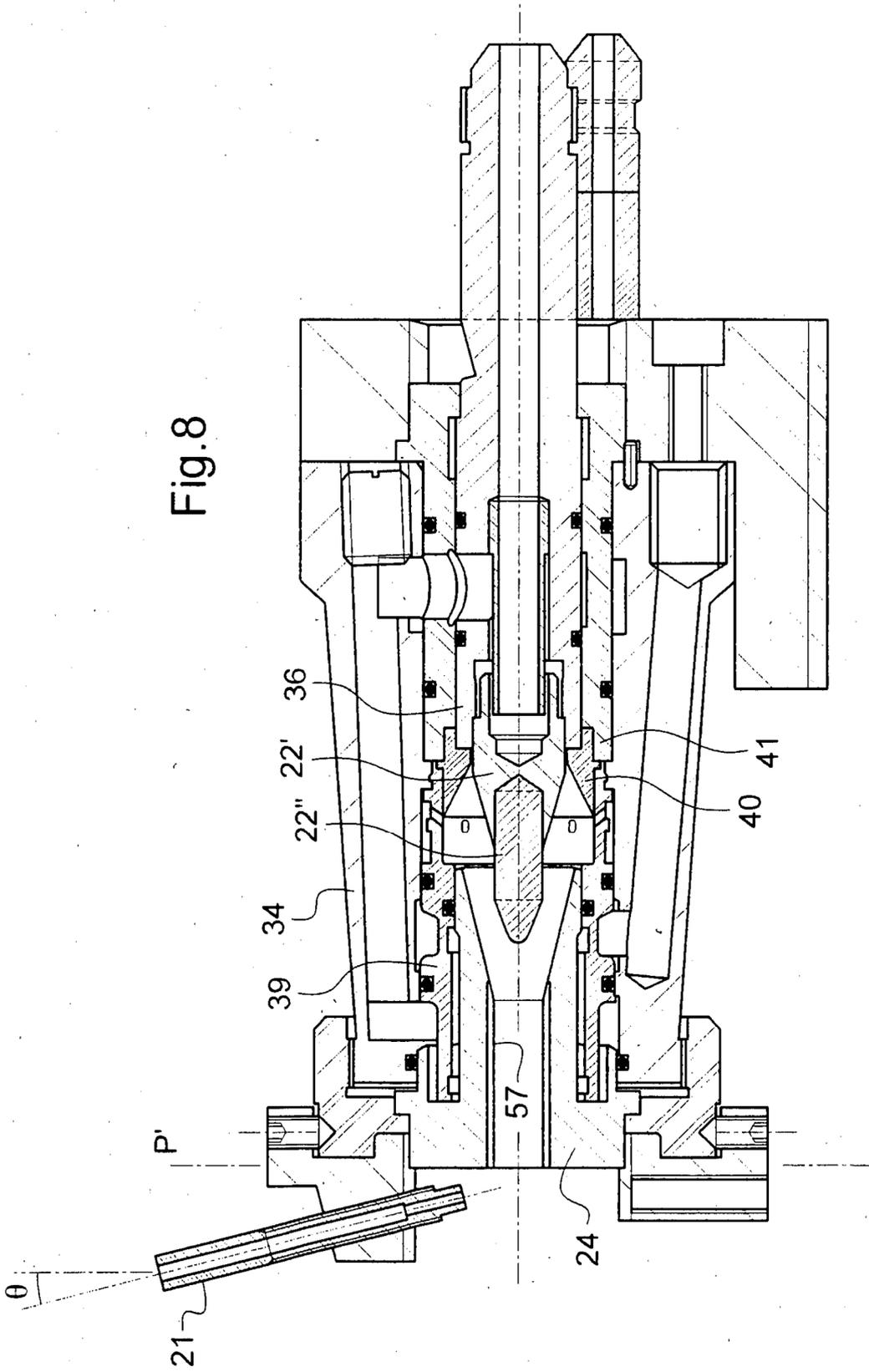


Fig.9

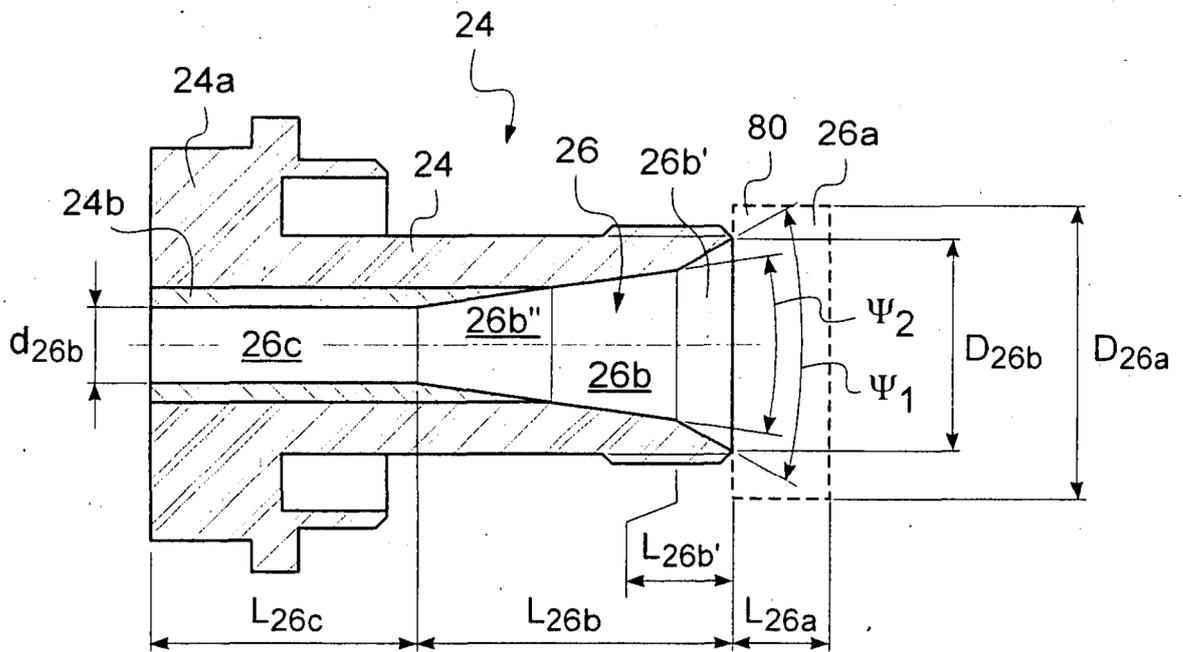
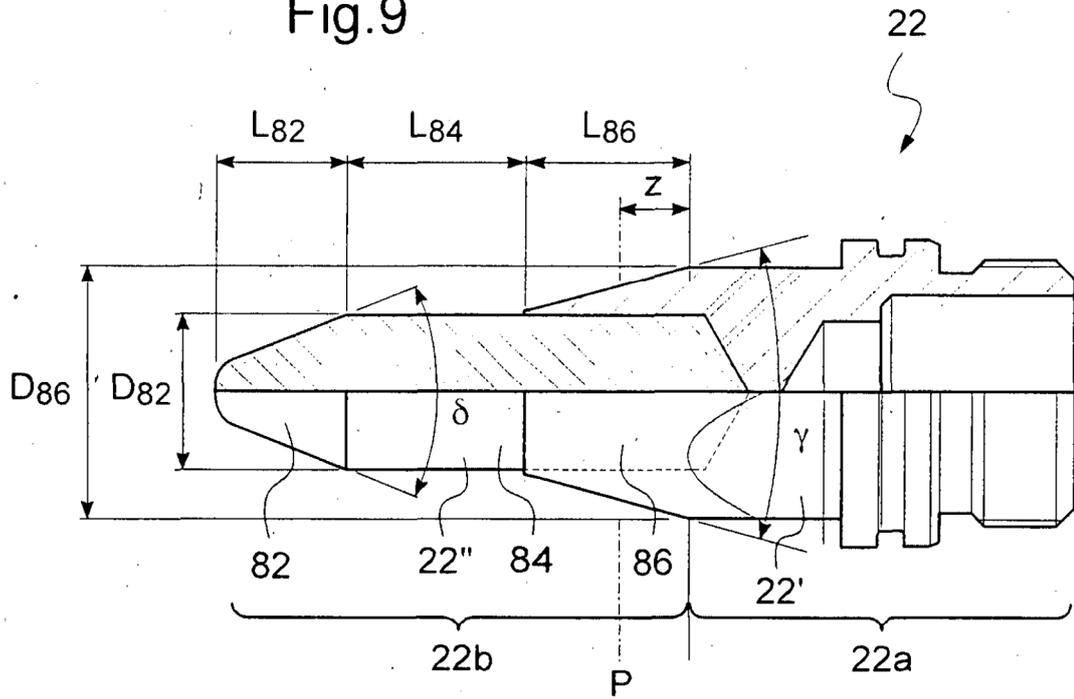


Fig.10