(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 332 302**

(51) Int. Cl.:
H05H 1/34 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **00945501 .5**
(96) Fecha de presentación : **11.07.2000**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1195077**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **10.04.2002**

(54) Título: **Electrodo anódico para estructura de plasmatrón.**

(30) Prioridad: **13.07.1999 US 353036**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
02.02.2010

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
02.02.2010

(73) Titular/es: **Duran Technologies Inc.**
2078 Shaughnessy Street
Port Coquitlam, British Columbia V3C 3C5, CA

(72) Inventor/es: **Delcea, Lucian, Bogdan**

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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).

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

Electrodo anódico para estructura de plasmatrón.

Campo de la invención

Esta invención se refiere a una estructura de plasmatrón que comprende un electrodo anódico estabilizador de raíz de arco capaz de funcionar en característica ascendente superior de voltio-amperios y relación reducida de flujo de gas a potencia en la que el arco es transferido desde una punta de cátodo a un taladro anódico aguas abajo remoto y la unión de raíz de arco es estabilizada en el taladro anódico. La estabilización y el control de la unión de raíz de arco al taladro anódico permite conseguir un funcionamiento de tensión de arco estable para arcos extendidos, caudales de gas variables, presión de gas y aplicaciones de potencia produciendo por tanto una corriente de plasma con parámetros superiores.

Antecedentes de la invención

Los plasmatrones usan un arco eléctrico para generar una corriente de gas a temperatura elevada y son usados actualmente en muchas aplicaciones, incluyendo la unión a diversas configuraciones de soplete de plasma y boquilla de plasma usadas para pulverización por plasma. En un plasmatrón, un gas formador de plasma fluye a través de una cámara de arco y una corriente de plasma es generada por un arco eléctrico formado entre un cátodo y un ánodo situados generalmente en los lados opuestos de la cámara de arco. En diseños de técnica anterior, la unión de raíz de arco y la estabilidad operativa de plasmatrón dependen del caudal de gas de plasma, la presión de gas o la operación de potencia eléctrica. En el uso práctico de plasmatrones, las condiciones de caudal de gas, presión de gas o potencia eléctrica varían accidentalmente. Tales variaciones accidentales producen cambios incontrolados en las propiedades de la corriente de plasma.

Generalmente, un caudal constante de gas a través del plasmatrón tiene que ser controlado como medio para mantener una longitud estable de arco y evitar fluctuaciones excesivas de raíz de arco. Sin embargo, en la práctica, aunque el flujo de gas de plasma sea controlado estrictamente, la raíz de arco exhibe desviaciones longitudinales ocasionales e imprevisibles con efectos nocivos para la aplicación del soplete de plasma.

Es conocido que el uso de arcos de tensión alta-amperaje reducido para hacer funcionar un soplete de plasma tiene ciertas ventajas en términos de desgaste reducido de electrodos y rendimiento térmico mejorado del soplete. Como la ley de Ohm es aplicable a una corriente de plasma, para aumentar la tensión del arco, el experimentador puede usar diversos medios tales como: (a) aumentar la resistividad eléctrica del gas de plasma aumentando la presión, aumentando el flujo de gas, usando gases de plasma con resistividad eléctrica mayor o constriñendo el flujo de gas de plasma, (b) extender la longitud del arco.

La influencia del diámetro de canal de arco sobre el campo eléctrico es descrita por el criterio de K_E como se deriva de la ley de Ohm:

$$K_E = (\sigma \text{ x } E \text{ x } d^2) \text{x } I^{-1}$$

donde:

"E" es la intensidad de campo eléctrico, "d" es el diámetro del canal de arco, "I" es la corriente eléctrica de arco y "σ" es la conductancia eléctrica específica del gas de plasma.

El campo eléctrico depende exponencialmente del diámetro "d" puesto que varía con su potencia al cuadrado. Teóricamente, un canal de arco largo y estrecho debería producir tensiones de arco más altas. El impedimento práctico es impedir que el arco se una aleatoriamente a la pared interna del canal o las desviaciones axiales aleatorias de la raíz de arco. Las desviaciones axiales pueden ser reducidas parcialmente aumentando el flujo de gas o la presión de gas y acortando la longitud de arco. Esto no sería económico y sería perjudicial para el rendimiento del soplete de plasma. Otro impedimento práctico se refiere a mantener una unión estable de raíz de arco y por tanto una longitud estable de arco cuando la refrigeración por agua, el flujo de gas de plasma, la presión de gas de plasma o la aplicación de potencia varía accidentalmente o es variada intencionadamente por el operador del soplete.

Un procedimiento para controlar la unión de raíz de arco dentro de un conducto recto de plasma es hallado en las Patentes de EE.UU. nº 4.841.114 y nº 4.916.273 de Browning. Browning describe una discontinuidad superficial singular formada en una posición aguas abajo a lo largo de un taladro de boquilla anódica de sección transversal constante, siendo la discontinuidad en forma de una acanaladura, un resalte anular, un avellanado cilíndrico o un resalte de salida. La discontinuidad pretende impedir el desplazamiento de la raíz de arco hacia el final de la salida de boquilla anódica y producir desgaste de la salida de boquilla anódica. Es evidente que este diseño funciona con caudales de gas significativamente más grandes. El gran flujo de gas empuja el arco hacia delante extendiendo por tanto el arco linealmente mientras la discontinuidad es exigida para impedir que la unión de raíz de arco se desplace más aguas abajo de la discontinuidad. Como se muestra en Browning, la unión de la raíz de arco en una acanaladura superficial, incluso si eso es posible, puede producir por sí misma inestabilidades imprevisibles asociadas con la turbulencia de

gas desarrollada dentro del canal de acanaladura. Variaciones en la velocidad de refrigeración del taladro de boquilla anódica o variaciones en el caudal de gas pueden determinar fácilmente que la raíz de arco escape al efecto de la discontinuidad y por tanto se desplace sustancialmente a lo largo del eje, aunque solo durante un tiempo breve. Tales inestabilidades afectan a los parámetros de la corriente de plasma, que entonces afectarán negativamente a la calidad y la repetibilidad de los revestimientos pulverizados por plasma. Los caudales de gas elevados necesarios para hacer funcionar los diseños de Browing producirán costes operativos elevados del soplete de pulverización por plasma.

Un procedimiento diferente para controlar la unión de raíz de arco a un ánodo remoto anular y liso es hallado en la Patente de EE.UU. nº 5.332.885, de Landes, que describe una pluralidad de cátodos que generan una pluralidad de arcos dentro de una cámara común de arcos, uniéndose los arcos a un taladro anódico común. Una sección intermedia comprende una pluralidad de anillos circulares eléctricamente neutros a los que Landes se refiere como "neutrodos". El aparato expuesto por Landes es muy complicado y la pluralidad de arcos interferirán entre sí produciendo un funcionamiento inestable del soplete. Aunque Landes usara un solo cátodo, cuando un plasma ionizado es generado, los anillos de neutrodos actúan como condensadores eléctricos, obteniendo por tanto una carga eléctrica en su superficie interior. Esto produce formación de arco eléctrico a los anillos debida al efecto de electrodo secundario, afectando por tanto nocivamente al funcionamiento del plasmatrón. Un procedimiento similar para el uso de ánodos segmentados eléctricamente flotantes es descrito en la Patente de EE.UU nº 5.900.272 de Goodman.

La Patente de EE.UU. nº 5.296.668, de Foreman y otros, muestra un cátodo refrigerado por gas, aislado eléctricamente por medio de un collar aislante y que funciona en conjunción con un tubo anódico alargado y liso que tiene una pequeña porción cónica de entrada. Este diseño también se basa en el caudal de gas y refrigeración suficiente del talador de boquilla anódica para empujar el arco y forzar un desplazamiento aguas abajo y una unión aleatoria de la raíz de arco. No hay disposiciones para estabilizar la posición de raíz de arco y la raíz de arco se desplazará longitudinalmente sin ningún medio para controlarla eficazmente.

Otra técnica anterior describe el uso de elementos constrictores de flujo de gas para incrementar la resistividad al gas y elevar la tensión de arco así como el uso de manguitos eléctricamente aislantes dentro de la cámara de arco para extender el arco y evitar la formación de arco a la pared de la cámara. Tal técnica anterior es hallada en las Patentes de EE.UU. nº 4.882.465 de Smith y otros, nº 5.008.511 de Ross, nº 5.420.391 de Delcea y nº 5.514.848 de Ross y otros. El elemento constrictor de arco idéntico que el descrito por Ross y otros también es descrito en la Patente de Unión Soviética SU nº 1623846, de Granovski, en la que el arco es empujado por el gas a través del elemento constrictor y es transferido a la pieza a trabajar que es polarizada positivamente. La Patente de EE.UU. nº 4.317.984, de Fridlyand, describe un aparato de soplete de plasma que comprende un método de plasmatrón mediante el que un arco generado en la punta de cátodo es empujado a través de un primer elemento constrictor situado próximo a la punta de cátodo y es transferido adicionalmente a un avellanado cilíndrico de ánodo situado aguas abajo de un segundo elemento constrictor. Esta disposición funciona solo con gases adicionales de soporte o ajuste de plasma que son introducidos en el espacio anular entre los elementos constrictores primero y segundo, por tanto es demasiado complicada y sin ningún beneficio aparente para estabilizar la unión de raíz de arco. Ambos elementos constrictores descritos por Fridlyand tienen sección transversal relativamente grande y funcionan como medios para transferir el arco al interior del avellanado cilíndrico actuando principalmente como guías de columna de arco.

Smith, Ross y otros, Delcea y Granovski describen el uso general de elementos constrictores en el paso de flujo de gas, con el flujo de gas actuando para empujar eficazmente el arco eléctrico a través de la garganta del elemento constrictor. Esto produce una reducción en la relación de amperaje a tensión (A/V) menor que la que sería deseable y además los diseños son sensibles a variaciones en el flujo de gas. En Ross y otros y en Delcea, el arco es empujado a través de la garganta del elemento constrictor por la velocidad del gas suficientemente para pasar a través de la garganta y unirse a una superficie cilíndrica lisa de un electrodo anódico, situando relativamente pronto aguas abajo de la salida del elemento constrictor. Para conseguir este efecto, una gran relación de flujo de gas a aplicación de potencia sería necesaria para impedir la unión de arco al elemento constrictor y fluctuaciones en el funcionamiento eléctrico del soplete. Se deja que la raíz de arco fluctúe axialmente de una manera incontrolada e imprevisible. En la patente de Ross y otros, el funcionamiento estable es descrito como siendo dependiente de la aplicación de potencia dada a los electrodos y, por tanto, los parámetros de trabajo de la estructura de electrodos variará con cualesquier variaciones en la aplicación de potencia mientras que, teóricamente, se espera que la tensión de arco obtenible por tal diseño sea significativamente menor que 200 V.

El inventor halló que la relación de flujo de gas a potencia es un parámetro importante de un plasmatrón, particularmente cuando es usado para pulverización por plasma. Este parámetro es indicativo de la entalpía o, en otras palabras, el contenido de calor por unidad de gas de plasma, por ejemplo medido en kJ/mol de gas. Cuanto mayor es la entalpía, más calor está disponible en el gas de plasma para fundir el polvo. Cuando flujos reducidos de gas de plasma son usados en conjunción con un arco de tensión alta-potencia alta, son generadas corrientes de plasma de mayor entalpía y revestimientos superiores pueden ser pulverizados por plasma. La dificultad en generar un gran arco estable no está con respecto a estirar y constreñir el arco que son fácilmente obtenibles por la forma y la longitud apropiadas de la pared de cámara de arco, en cambio, la dificultad está en mantener una longitud estable de arco y controlar el movimiento axial de la unión de raíz de arco.

La técnica anterior ofrece solo un grado limitado de control sobre la estabilidad de la longitud de arco y por tanto está sujeta a desviaciones longitudinales imprevisibles de la raíz de arco. En los diseños de técnica anterior, el caudal de gas y la aplicación de potencia al plasmatrón desempeñan una parte significativa en controlar tanto la longitud de

arco como la relación de amperaje a tensión así como impedir el movimiento axial excesivo de la raíz de arco sobre la superficie de ánodo. Además, las relaciones elevadas de flujo de gas a potencia necesarias para hacer funcionar los plasmatrones de técnica anterior producen menor entalpía y menor rendimiento de pulverización por plasma.

Hay sopletes de pulverización por plasma exigidos para aplicar un revestimiento de pulverización por plasma dentro de tubos de diámetros pequeño en los que un arco muy corto de plasma es generado entre una punta de cátodo y el taladro de boquilla. Tales sopletes de plasma de técnica anterior generan una tensión baja, potencia baja y una corriente de plasma ionizado débilmente al interior de la cual el polvo es inyectado y, por tanto, se sabe que son muy ineficientes. Ejemplos son hallados y por tanto se sabe que son muy ineficientes. Ejemplos son hallados en las Patentes de EE.UU. nº4.970.364 de Muller, nº 4.661.682 de Gruner y otros y nº 5.837.959 de Muelberger y otros. Sería deseable emplear una corriente de plasma más ionizado para mejorar la calidad de revestimiento. Siempre que tales sopletes de pulverización por plasma necesitan un plasma de magnitud mayor que el plasma generado por un plasmatrón, una pluralidad deseada de plasmatrones pueden ser dispuestos dentro de un solo aparato de soplete de plasma que combina las pluralidades de plasmas en una sola corriente de plasma aplicable. Ejemplos son hallados en las Patentes de EE.UU. nº 5.008.511 de Ross, nº 3.140.380 de Jensen, nº 3.312.566 de Winzeler y otros y nº 5.556.558 de Ross y otros. Un ejemplo esquemático de tal uso múltiple de plasmatrones en relación convergente también es hallado en la página 31 de un Libro Ruso de Donskoi y otros, Leningrado, 1979. La Patente nº 5.008.511 enseña el uso de secciones transversales en forma de "C" y forma de "D" aplicables a una pluralidad de canales de plasma convergentes dentro de una boquilla común de salida de pulverización por plasma.

La mayoría de los aparatos de pulverización por plasma inyectan material de pulverización por plasma que exhibe poca o ninguna ionización. El único aparato que podría generar aparentemente una corriente de plasma más ionizado de algún modo es descrito en la técnica anterior citada de Browning. Sin embargo, Browning reivindica que su método y aparato pretende inyectar polvo dentro del gas caliente que no exhibe ionización. La Patente de EE.UU. nº 4.788.402, de Browning, enseña los beneficios de inyectar material de pulverización dentro de una llama ionizada expandida pero el aparato descrito en ella usa cantidades tremendamente grandes de gas de plasma costoso a una presión muy alta de unos 1.200 kPa, mientras alcanza una tensión óptima de arco de trabajo de 180 a 190 V solamente. Estas condiciones de trabajo no son adecuadas para producir ionización suficiente del gas del segundo grado y una entalpía intensificada del plasma. En la patente nº 4.788.402, la unión de raíz de arco es empujada aguas abajo por el flujo de gas muy alto y se sitúa en el borde de salida de la boquilla de plasma. Es bien conocido que esta unión de arco produce un deterioro rápido de la salida de boquilla y la experiencia práctica ha demostrado que, en esta situación, el arco es muy inestable, saliendo frecuentemente del taladro de boquilla para unirse en la cara frontal del soplete de plasma. Otra desventaja del método en la patente nº 4.788.402 es el margen muy estrecho de error con respecto al flujo de gas operativo óptimo como se expone en ella, indicando por tanto que este diseño funciona solo con un flujo de gas muy grande, que también debe ser controlado estrictamente dentro de límites restrictivos. Un ejemplo de cómo el uso de flujos de gas y presiones de gas grandes pueden producir un plasma poco ionizado de baja temperatura a pesar de tensiones de arco más altas es hallado en la Patente de EE.UU. nº 5.637.242, de Muehlberger, donde una temperatura de corriente de plasma comunicada que está en el intervalo de 3.000ºK es prácticamente insuficiente para ionizar suficientemente el gas de plasma y transferir calor adecuado a las partículas de polvo. Esto es una desventaja importante para pulverizar materiales de punto alto de fusión tales como cerámica. Por ejemplo, la conductividad térmica de un plasma de nitrógeno, en otras palabras la capacidad de plasma para transmitir calor y fundir las partículas de polvo, es de unos 0,45 W/mºK a 3.000ºK, unos 2,8 W/mºK a 6.000ºK y unos 5,3 W/mºK a 7.000ºK.

El solicitante ha descubierto, sin tener una explicación completa, que revestimientos superiores de pulverización por plasma pueden ser producidos cuando el material de alimentación es inyectado dentro de una región ionizada suficientemente de una corriente de plasma y después es confinado para desplazarse suficientemente a través de tal región ionizada. La ionización intensificada es visible como una llama de mayor intensidad y una corriente de material de pulverización en polvo más brillante que la normal es proyectada a través de la corriente de plasma, siendo esto indicativo de calentamiento superior y fusión del polvo. Se cree que la tensión de arco más alta (mayor que 120 V y típicamente en el intervalo de 200 a 500 V) aplicada a flujos menores de gas cruza el umbral necesario para producir una ionización intensificada de gas de plasma del segundo grado, suficiente para expandir considerablemente la región ionizada de segundo grado de la corriente de plasma. Así, una corriente de plasma más caliente es generada con una temperatura media estimada significativamente mayor que 3.000ºK y típicamente más alta que 5.000ºK. Por consiguiente, cuando tal corriente de plasma es usada con un soplete de pulverización por plasma, la fusión del material en polvo inyectado dentro de una corriente de plasma ionizado suficientemente que tiene una entalpía intensificada es superior que los métodos y aparatos de soplete de pulverización por plasma, debido principalmente a la transmisión calorífica incrementada al polvo, debido particularmente a recombinaciones iónicas exotérmicas intensificadas de segundo grado.

Por tanto, sería deseable proporcionar un plasmatrón capaz de funcionar con un arco estable a tensiones más altas mientras se usan flujos de gas o presiones de gas inferiores y, por tanto, producir entalpía de plasma y temperatura de corriente de plasma más altas. También sería deseable proporcionar un plasmatrón que genere un arco estable controlando la ubicación de raíz de arco en el electrodo anódico, con influencia reducida por el flujo de gas, la presión de gas o las fluctuaciones eléctricas. Sería deseable además proporcionar un plasmatrón que funciones óptimamente con un arco eléctrico estable dentro de un intervalo más amplio de flujos de gas, presiones de gas y aplicaciones de potencia. Todas las exigencias anteriores para un plasmatrón superior serían satisfechas si la unión de raíz de arco anódica es estabilizada en el ánodo y las fluctuaciones de tensión ocurren dentro de límites controlados. Este objetivo ha sido conseguido con un electrodo anódico según la reivindicación 1 y un plasmatrón según la reivindicación 5.

Sumario de la invención

El objeto de esta invención es proporcionar una estructura anódica superior que estabilice la unión de raíz de arco en el taladro anódico y controle las fluctuaciones de tensión.

El objeto adicional de la presente invención es proporcionar un plasmatrón superior para unión a sopletes de plasma, incluyendo sopletes de pulverización por plasma capaces de funcionar de modo estable con relaciones reducidas de flujo de gas a potencia y con característica ascendente más alta de voltio-amperios, generado de tal modo un arco transferido extendido y estable para producir una corriente de plasma más ionizado.

La presente invención se refiere a una estructura de electrodo anódico superior para uso en un plasmatrón, comprendiendo el ánodo una pluralidad de anillos superficiales separados por acanaladuras anulares formadas dentro del taladro anódico, siendo las acanaladuras de profundidad y anchura suficientes para perturbar la capa límite y crear turbulencia suficiente para causar que el arco se una al talador anódico, sustancialmente en la superficie interior del taladro extendida entre dos acanaladuras consecutivas, e impedir que la raíz de arco se desplace más allá de cualquiera de los anillos aguas arriba o aguas abajo, estabilizando así la longitud de arco y confinando su unión de raíz dentro del taladro de electrodo anódico.

La presente invención se refiere además a un plasmatrón que tiene un eje longitudinal y comprende un cátodo y el electrodo anódico, estando el cátodo y el ánodo dispuestos axialmente en los extremos opuestos de una cámara de arco que tiene una pared interior, estando el cátodo y el ánodo separados longitudinalmente y aislados eléctricamente entre sí y siendo usados para formar un arco eléctrico para generar una corriente de plasma que se mueve dentro de la cámara en la dirección del electrodo anódico. La corriente de plasma generada por el plasmatrón es descargada en el extremo aguas abajo del electrodo anódico. Un pasaje de gas se extiende axialmente desde alrededor del electrodo catódico hasta la salida aguas abajo del plasmatrón, con la pared interna de dicho pasaje de gas definiendo sustancialmente la pared interior de la cámara de arco. El gas formador de plasma fluye a través de la cámara de arco en la dirección del ánodo. Un potencial eléctrico es aplicado entre el cátodo y el ánodo, suficiente para encender y mantener un arco eléctrico generado en la punta del cátodo. El arco eléctrico se extiende a lo largo de la cámara de arco y es transferido al taladro anódico. Una pluralidad de anillos superficiales separados por acanaladuras anulares están formados dentro del taladro anódico, siendo las acanaladuras de profundidad y anchura suficientes para perturbar la capa límite y crear turbulencia suficiente para causar que el arco se una al taladro anódico, sustancialmente en la superficie interior del taladro extendida entre dos acanaladuras consecutivas, e impedir que la raíz de arco se desplace más allá de los anillos aguas arriba o aguas abajo, estabilizando así la longitud de arco y confinando el movimiento de su unión de raíz al taladro de electrodo anódico.

Las superficies guiadoras de flujo de gas y arco pueden ser formadas en la pared interior de la cámara de arco para determinar y controlar la longitud y la forma del arco eléctrico, estableciendo de tal modo una columna de arco continuo transferido desde la punta de cátodo al taladro de electrodo anódico. El arco eléctrico, que tiene su raíz estabilizada en el ánodo, es capaz de generar una corriente de plasma con propiedades termodinámicas superiores tales como ondulación reducida de tensión, mayor entalpía y mayor conductividad térmica.

Un campo de aplicación para el plasmatrón de la presente invención es la pulverización por plasma. Por tanto, boquillas de plasma de salida pueden ser provistas para recibir la corriente de plasma descargada en la salida del plasmatrón, y conductos de suministro de material de alimentación también pueden ser provistos para descargar material de alimentación al interior de la corriente de plasma que fluye a través de la boquilla de plasma de salida. Calor y cantidad de movimiento aumentados son transferidos al material de alimentación y este se hace impactar además sobre una superficie para producir revestimientos mejorados pulverizados por plasma.

Descripción breve de los dibujos

Características y ventajas adicionales serán evidentes a partir de la descripción detallada siguiente de las realizaciones preferidas de la presente invención y en conjunción con los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una vista en alzado frontal esquemática del plasmatrón y el ánodo de la presente invención, mostrada en corte transversal;

la Figura 2 es una vista a escala ampliada del área de corte transversal dentro del círculo “B” en la Figura 1;

la Figura 3 es una vista a escala ampliada del área de corte transversal dentro del círculo “B” en la Figura 1, mostrando una realización alternativa del ánodo en el que los anillos adyacentes a una superficie de unión de raíz de arco tienen diámetros diferentes;

la Figura 4 es una vista en alzado frontal de una realización alternativa de la estructura de electrodo anódico de la presente invención, mostrada en corte transversal, en la que los anillos adyacentes a una acanaladura tienen diámetros diferentes;

la Figura 5 es una vista a escala ampliada de un área de corte transversal dentro del círculo “B” en la Figura 1, mostrando otra realización del ánodo, en el que la acanaladura está definida por dos anillos en ángulo;

las Figuras 6A, 6B, 6C y 6D son vistas en alzado frontal esquemáticas, en corte transversal, de la porción extrema aguas abajo de un soplete de pulverización por plasma que emplea el plasmatrón de la presente invención, y mostrando una selección de posiciones y ángulos alternativos para conductos de alimentación de polvo, o sea, en la Figura 6A el polvo es alimentado internamente al interior de una boquilla recta de plasma; en la Figura 6B el polvo es alimentado externamente al interior del mismo tipo de boquilla, mientras que la Figura 6C y la Figura 6D muestran modos alternativos de alimentar polvo al interior de una boquilla desviadora de plasma.

Descripción detallada

Con fines de sencillez, los medios de refrigeración por agua y otros medios tecnológicos convencionales de soplete de plasma han sido eliminados intencionadamente en todas las figuras en esto.

Refiriéndose inicialmente a la Figura 1 de los dibujos, se muestra un plasmatrón indicado generalmente en el cuerpo 3 que tiene un eje longitudinal 1. El plasmatrón 3 tiene una cavidad longitudinal extendida desde el extremo aguas arriba al extremo aguas abajo de la envoltura de plasmatrón, con la cavidad y los elementos superficiales en ella definiendo la pared interior de una cámara de arco. El cátodo 2 está situado axialmente en el extremo aguas arriba del plasmatrón y se muestra rodeado por un material eléctricamente aislante, tal como un collar o un manguito, para impedir la formación de arco eléctrico a la pared adyacente de cámara. La punta de cátodo está fabricada de un material con una función de trabajo superficial suficiente para mantener un arco estable a través de la emisión termoiónica intensificada de electrones. Materiales convencionales para el cátodo incluyen wolframio, circonio, hafnio o grafito con impurezas. Un flujo de gas de plasma es suministrado desde una fuente externa y es forzado a fluir en un vórtice 5 a través del espacio anular 35 definido por el cátodo 2 y el collar aislante 4 y a fluir además a través de toda la longitud de la cámara de arco en la dirección del ánodo 24. Medios convencionales para producir el vórtice de gas son descritos por la técnica anterior citada en Smith, Delcea y Ross y otros. Otros medios convencionales para producir el vórtice de gas son descritos en la lista de componentes para el soplete de plasma Modelo SG-100 publicada por Miller Thermal Inc. y tienen la forma de un collar eléctricamente aislante que comprende una pluralidad de canales de gas dispuestos en ángulo en una relación de torbellino para crear un vórtice de gas de plasma alrededor de la punta de cátodo.

Cuando un arco constreñido es necesario, la superficie interna de collar 4 se une con un difusor convergente 6. El difusor 6 está formado para comprimir el gas y conservar el vórtice, impidiendo así que el arco se una a la superficie del difusor 6. Para reducir las pérdidas de energía del flujo producidas corrientemente por la contracción gradual del flujo asociada con difusores convergentes, se recomienda que la relación de áreas en corte transversal ($AR = A_2/A_1$) del difusor 6 esté entre 0,25 y 0,80 aproximadamente.

El difusor 6 se une suavemente con el elemento superficial 7 formado como una garganta cilíndrica 9. Preferiblemente, la superficie 7 es mantenida suficientemente fresca para generar y mantener una capa límite 10 de gas, suficientemente fría y con espesor, resistencia eléctrica y uniformidad suficientes para impedir que el arco se una a la superficie 7 excepto en la puesta en marcha. La garganta 9 está dimensionada para causar un flujo laminar de gas dentro de la garganta, sustancialmente sin torbellino de gas, por tanto la capa límite 10 es determinada preferible y sustancialmente por el gradiente en la viscosidad de gas debido al flujo de laminar gas sin vórtice. Una región del gas alrededor del eje es calentada por el arco, creando un núcleo de alta temperatura y alta presión que aumenta la tensión de arco y ayuda a la extensión aguas abajo de la columna de arco. La ventaja de este diseño es que cuando se usa con un arco transferido alargado, la ionización del gas de plasma empieza antes en el núcleo de alta presión, alta temperatura más bien que en la proximidad del ánodo, produciendo por tanto una ionización global intensificada de gas. Para condiciones laminares, la relación de la longitud de garganta al diámetro de garganta 9 está en el intervalo de 0,5-3,5 a 1.

Un difusor divergente 8 puede estar conectado al extremo aguas abajo de la garganta 9 que se abre al interior de una cámara 12 de expansión de flujo. La cámara 12 se extiende axialmente hasta el electrodo anódico 24. El diámetro "D" de taladro del electrodo anódico 24 es igual o mayor que el diámetro de la garganta 9. La relación del diámetro anódico "D" al diámetro de la garganta 9 estará preferiblemente en el intervalo de 1-4 a 1. Preferiblemente, el difusor divergente 8 está dimensionado para evitar o minimizar la perturbación de choque asociada con la transición desde flujo supersónico a subsónico o alternativamente, en el caso de flujos de gas subsónicos inferiores, para intensificar la recuperación de pérdida de presión y reducir el estancamiento de flujo asociado con una reducción rápida en la velocidad de flujo subsónico de gas a través de tales difusores divergentes. Cuando se usa con diversos flujos de gas, el difusor divergente 8 produce una transición suave del flujo de gas desde la garganta 9 al interior de la cámara 12 de expansión del flujo de gas que produce una transferencia eficiente del arco eléctrico desde la punta de cátodo directamente al interior del taladro anódico 24. La relación de áreas en corte transversal ($AR = A_4/A_3$) del difusor 8 está usualmente entre 1,1 y 3.0 aproximadamente. La combinación de difusores convergente-divergente asociados con la presencia de una capa límite de gas eléctricamente aislante y una polarización eléctrica positiva aplicada a dicha combinación, funciona como un electrodo intermedio de boquilla que acelera los electrones en el arco eléctrico, proyectando por tanto los electrones con gran energía en la dirección aguas abajo. Sin embargo, cuando el procedimiento de constricción y estiramiento de arco descrito anteriormente es usado en conjunción con electrodos anódicos de técnica anterior, el arco es muy inestable y se desplaza frecuentemente para unirse inmediatamente a la superficie de la garganta 9 o del difusor 8, produciendo un funcionamiento anómalo rápido del plasmatrón y la emisión de una corriente inconstante de plasma.

Con referencia a la Figura 1 y la Figura 2, se muestra un electrodo anódico superior 24 que tiene una superficie interior del diámetro "D". Una pluralidad de superficies 13 de unión de raíz de arco son definidas en la superficie interior del electrodo anódico por un par de piezas anulares adyacentes 11 y 14. Las superficies 13 están separadas por acanaladuras 15 formadas radialmente dentro del electrodo anódico. Cada acanaladura 15 es definida por un par de pinzas anulares adyacentes 11 y 14, extendidas radialmente alrededor de la superficie interior del ánodo, y por una pieza 16 de fondo de acanaladura. Durante el funcionamiento del plasmatrón, la raíz 36 de arco se une a una superficie 13 de unión de raíz de arco y puede saltar sobre una acanaladura, moviéndose por tanto axialmente entre dos superficies adyacentes 13 pero sin desplazarse más allá de los anillos aguas arriba o aguas abajo. Preferiblemente, las acanaladuras 15 y las superficies 13 deben ser provistas de funciones de profundidad y anchura suficientes de modo que para una relación elegida de potencia eléctrica a flujo de gas, un movimiento axial de la raíz 36 de arco entre dos superficies adyacentes 13 produce una variación de tensión significativamente menor que 10 V. Dependiendo de la magnitud del flujo de gas y de la longitud deseada de arco, la relación de las anchuras de la superficie 13 y la acanaladura 15 están entre 1-5 a 1. El extremo aguas abajo del taladro 24 de electrodo anódico puede ser en realidad la salida de la cámara de arco. Para facilitar la unión o la incorporación del presente plasmatrón a un aparato de uso final, tal como un aparato de soplete de pulverización por plasma, puede proporcionarse una extensión 18 del taladro sin cambiar en realidad el principio de funcionamiento del plasmatrón. Se comprende que aunque la Figura 1 indica un taladro 18 de una forma generalmente cilíndrica, otros tipos de taladro 18 de una orientación, sección transversal y longitud deseadas pueden ser provistos para dirigir y formar adicionalmente la corriente 17 de plasma expulsada desde el taladro de electrodo anódico.

La Figura 3 muestra esquemáticamente una realización alternativa del electrodo anódico 24 como se describió con referencia a la Figura 2, y las referencias numéricas incluyen la designación añadida "0.3", y debería comprenderse que esas referencias corresponden a referencias numéricas designadas contenidas en la Figura 2 como se describió antes, excepto como pueden ser modificadas en este párrafo. En la Figura 3, son mostrados al menos un par de anillos 14.3 y 11.3 que tienen diámetros diferentes, definiendo por tanto una superficie 13.3 de unión de raíz de arco de una forma troncocónica.

La Figura 4 muestra esquemáticamente una realización alternativa del electrodo anódico 24 como se describió con referencia a la Figura 1 y la Figura 2, y las referencias numéricas incluyen la designación añadida "0.4", y debería comprenderse que esas referencias corresponden a referencias numéricas designadas contenidas en la Figura 1 y la Figura 2 como se describió antes, excepto como pueden ser modificadas en este párrafo.

Refiriéndose nuevamente a la Figura 1 y la Figura 2, el electrodo anódico 24 es mostrado comprendiendo una pluralidad de superficies 13 definidas por las piezas anulares 11 y 14 que tienen diámetros "D" sustancialmente iguales. La Figura 4 muestra un caso de una realización preferida alternativa del electrodo anódico en la que al menos una superficie 13.4 es definida por un par de dos anillos adyacentes que tienen un diámetro "D4" mayor que el diámetro "d4" de al menos otro par de tales anillos adyacentes. Esto tiende a aumentar la unión prolongada de la raíz de arco en la superficie 13.4 de diámetro menor, produciendo un funcionamiento mejorado de ánodo, particularmente cuando la velocidad del gas es reducida o el arco es estirado más. Preferiblemente, la relación de los diámetros D4/d4 está en el intervalo de 1,25-1 a 1 aproximadamente.

La Figura 5 muestra un diseño alternativo del electrodo anódico como se describió con referencia a la Figura 2, y las referencias numéricas incluyen la designación añadida "0.5", y debería comprenderse que esas referencias corresponden a las referencias numéricas designadas contenidas en la Figura 2 como se describió antes, excepto como pueden ser modificadas en este párrafo. Las piezas anulares adyacentes 11.5 y 14.5 son mostradas extendidas radialmente alrededor del taladro interior del ánodo en un ángulo oblicuo.

Refiriéndose nuevamente a la Figura 1, debería comprenderse que el uso de una garganta 9 no es esencial para estabilizar la unión de raíz de arco al taladro anódico. Por tanto, si la cámara de arco fuera una cámara de expansión de flujo de sección transversal constante extendida desde la punta de cátodo al electrodo anódico 24, el plasmatrón sería superior que los plasmatrones de técnica anterior, proporcionando un arco eléctrico con la raíz 36 de arco confinada sustancialmente a las superficies 13 de unión de raíz de arco, funcionando por tanto el plasmatrón mejor y más estable que un plasmatrón sin una pluralidad de superficies 13. El estiramiento y la transferencia del arco desde la punta del cátodo al taladro anódico, después de pasar a través de un elemento constrictor de flujo y una cámara de expansión de flujo de gas, crea un arco alargado lo que, según el criterio de K_E, produce tensiones de arco más altas. Sin embargo, es conocido que en el caso de arcos largos y constreñidos la unión de raíz de arco es muy inestable, produciendo ondulaciones de tensión de arco. Usando la estructura de electrodo anódico de la presente invención, la estabilidad de la unión de raíz de arco es muy mejorada y la ondulación de tensión es controlada. Materiales convencionales para el electrodo anódico 24 y en particular para sus superficies de unión de raíz de arco incluyen: cobre, grafito, wolframio, circonio o hafnio.

Se halló que el presente diseño de plasmatrón funciona establemente para un intervalo muy amplio de flujos de gas desde tan pequeño como 40 l/min hasta tanto como 300 l/min. Como un ejemplo, los plasmatrones de técnica anterior que funcionan con flujos reducidos de gas de unos 40 l/min producen tensiones de unos 800-100 V como máximo y la unión de raíz de arco es inestable produciendo puntas frecuentes de tensión, a veces significativamente más altas que 10 V. Para los mismos flujos reducidos de gas, el presente plasmatrón consigue 100-150 V con la unión de raíz de arco estabilizada completamente en el taladro anódico mientras la tensión de arco puede ser controlada para que sea menor que 10 V. Para flujos superiores de gas, en el intervalo de 150-250 l/min, los plasmatrones de técnica anterior

consiguen tensiones generalmente entre 100 y 200 V con variaciones de tensión mayores que 5 V. En contraste, para condiciones similares de flujos de gas, el presente plasmatrón es capaz de conseguir tensiones de 200 a 300 V con variaciones de tensión menores que 5 V. Aunque en los plasmatrones de técnica anterior las variaciones de tensión son imprevisibles e incontrolables, con el presente plasmatrón, la variación de tensión es controlada por la anchura de las acanaladuras 15 y las superficies 13 formadas dentro del taladro del ánodo 24. Esto es porque la raíz de arco tenderá a saltar sobre una acanaladura 15 en cualquier momento y, por tanto, moverse solo entre dos superficies 13 adyacentes.

Las Figuras 6A, 6B, 6C y 6D muestran esquemáticamente una selección de configuraciones de sopletes de pulverización por plasma que incorporan el plasmatrón de la presente invención. La ionización incrementada y la corriente estabilizada de plasma generadas por el plasmatrón de la presente invención proveen lo necesario para la aplicación de revestimientos mejorados de pulverización por plasma.

La Figura 6A muestra la porción extrema aguas abajo de un soplete de plasma mostrado esquemáticamente con el extremo aguas abajo del plasmatrón 3 de la presente invención unido a una boquilla 25 de plasma de salida en línea formada para recibir la corriente 17 de plasma descargada desde el taladro de electrodo anódico y que comprende además uno o más conductos 26 de alimentación provistos en el cuerpo de la boquilla 25, estando los conductos orientados en una dirección generalmente hacia el eje del plasmatrón y siendo usados para alimentar material en polvo al interior de la corriente 17 de plasma. Además, el material en polvo es atrapado por la corriente de plasma e impacta sobre una superficie para producir un revestimiento 27 de pulverización por plasma. La Figura 6B muestra una disposición similar de algún modo que en la Figura 6A, con un conducto 29 de alimentación de polvo situado ahora externamente enfrente de la salida de la boquilla 25A. Una pluralidad de conductos 26 o 29 pueden ser organizados alrededor de la circunferencia de la boquilla 25 o 25A de salida de plasma para alimentar material de pulverización simultáneamente. La Figura 6C muestra la porción extrema aguas abajo de un soplete de plasma mostrado esquemáticamente con el extremo aguas abajo del plasmatrón 3 de la presente invención unido a la boquilla 25B de plasma conformada para desviar la corriente 17 de plasma en un ángulo Φ respecto al eje del plasmatrón. Uno o más conductos de material de alimentación, mostrados esquemáticamente en 30A, 30B o 32C, están dispuestos para introducir material en polvo dentro de la corriente de plasma desviada en una dirección generalmente hacia el eje de la corriente de plasma desviada, para atrapar el material en polvo dentro de dicha corriente de plasma desviada y para que el polvo atrapado impacte sobre una superficie para producir un revestimiento 27 de pulverización por plasma. Convencionalmente, el ángulo Φ es igual o menor que 90º. Se comprenderá fácilmente que, si se desea, el conducto de alimentación de polvo puede estar situado externamente a la salida de la boquilla 25B de plasma, de una forma similar de algún modo que la mostrada en la Figura 6B. Un modo alternativo de introducir material en polvo es mostrado esquemáticamente en la Figura 6D, mediante el cual el conducto 31 de polvo se extiende internamente a través del cuerpo de plasmatrón, generalmente paralelo al eje del plasmatrón. Un conducto 32 dispuesto a través del cuerpo se abre en la pared interna de la boquilla 25C. El conducto 32 está formado y situado para recibir material en polvo desde el conducto 31 y para inyectar el material en polvo dentro del taladro de la boquilla 25C. Las configuraciones mostradas en las Figuras 6C y 6D son de uso particular para aplicar revestimientos de pulverización por plasma a superficies internas y, más particularmente, a superficies internas tales que tienen una sección transversal reducida o acceso limitado.

Se comprende que el ánodo y el plasmatrón de la presente invención pueden ser aplicados satisfactoriamente a otras configuraciones de sopletes de pulverización por plasma no descritas en esto así como a sopletes de plasma destinados a usos distintos que la pulverización por plasma.

Habiendo descrito las realizaciones de la invención, modificaciones serán evidentes para los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de la invención como es definido en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Un electrodo anódico (24) para un plasmatrón (3) que tiene un electrodo catódico (2) situado aguas arriba del ánodo, siendo el electrodo anódico usado para controlar la unión de raíz de un arco eléctrico generado por el plasmatrón, **caracterizado** porque el ánodo comprende una pluralidad de superficies (13) de unión de raíz de arco definidos en una superficie interior del ánodo por una pluralidad de piezas anulares (11, 14), extendiéndose cada pieza anular radialmente alrededor de la superficie interior del ánodo, definiendo cada par de piezas anulares adyacentes una acanaladura (15) entre ellas, estando la acanaladura formada radialmente dentro de la superficie interior el ánodo, estando cada acanaladura situada entre dos superficies adyacentes de unión de raíz de arco.

2. Un electrodo anódico según la reivindicación 1, en el que las piezas anulares tienden diámetros sustancialmente iguales.

3. Un electrodo anódico según la reivindicación 1, en el que al menos una pieza anular tiene un diámetro menor que una pieza anular adyacente y preferiblemente en el que la relación entre los diámetros de dos piezas anulares adyacentes es 1,25 a 1 como máximo.

4. Un electrodo anódico según cualquier reivindicación precedente, en el que la relación entre la anchura de una superficie de unión de raíz de arco y la anchura de una acanaladura adyacente está entre 1-5 a 1.

5. Un plasmatrón (3) usado para generar una corriente de gas de plasma que fluye entre un cátodo (2) y un ánodo (24) y que comprende:

(a) una cámara de arco que tiene un eje (1) y una pared interior que define una cámara de flujo de gas;

(b) un electrodo anódico (24) situado axialmente en el extremo aguas abajo de la cámara de flujo de gas, siendo el electrodo anódico usado para controlar la unión de raíz de un arco eléctrico generado por el plasmatrón; y

(c) un electrodo catódico situado axialmente en el extremo aguas arriba de la cámara de arco, separado y aislado eléctricamente de la pared interior de cámara de arco y del electrodo anódico, **caracterizado** porque el ánodo del plasmatrón comprende una pluralidad de superficies (13) de unión de raíz de arco definidas en una superficie interior del ánodo por una pluralidad de piezas anulares (11, 14), extendiéndose cada pieza anular radialmente alrededor de la superficie interior del ánodo, definiendo cada par de piezas anulares adyacentes una acanaladura (15) entre ellas, estando la acanaladura formada radialmente dentro de la superficie interior del ánodo, estando cada acanaladura situada entre dos superficies adyacentes de unión de raíz de arco.

6. Un plasmatrón según la reivindicación 5, en el que las piezas anulares tienen diámetros sustancialmente iguales.

7. Un plasmatrón según la reivindicación 5, en el que una pieza anular tiene un diámetro menor que una pieza anular adyacente y preferiblemente en el que la relación entre los diámetros de dos piezas anulares adyacentes es 1,25 a 1 como máximo.

8. Un plasmatrón según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la relación entre la anchura de una superficie de unión de raíz de arco y la anchura de una acanaladura adyacente está entre 1-5 a 1.

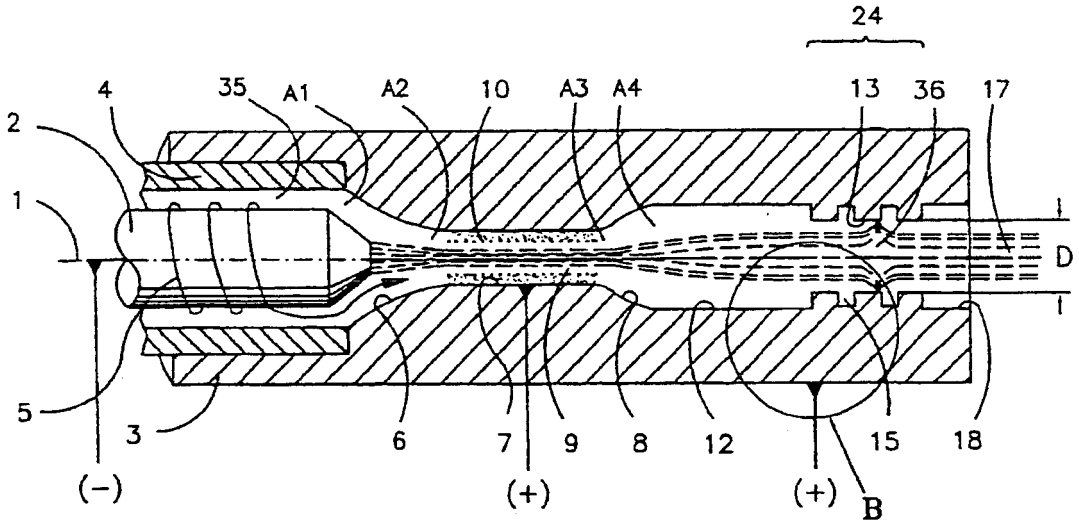

24
4
35
A1
A2
10
A3
A4
13
36
17
2
1
D
5
3
6
7
9
8
12
15
18
(−)
(+)
(+)
B

FIG. 1

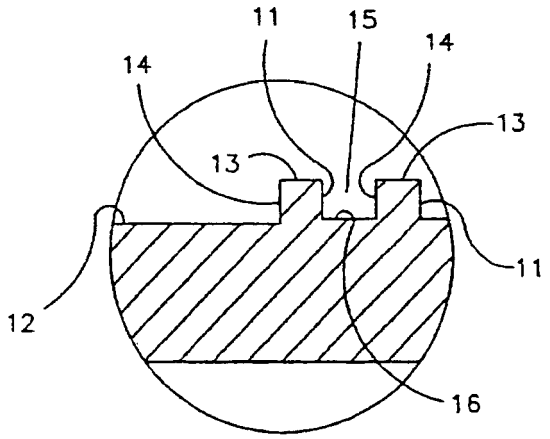

11
15
14
14
13
13
11
12
16

FIG. 2

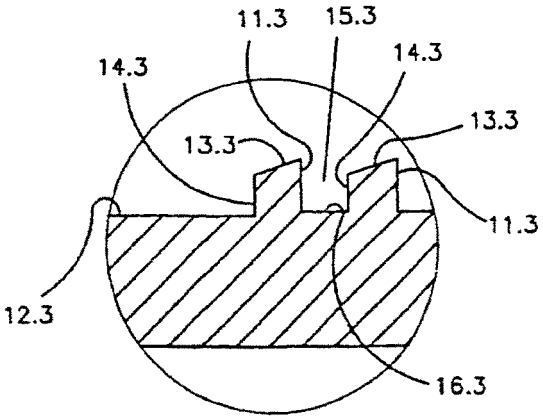


FIG. 3

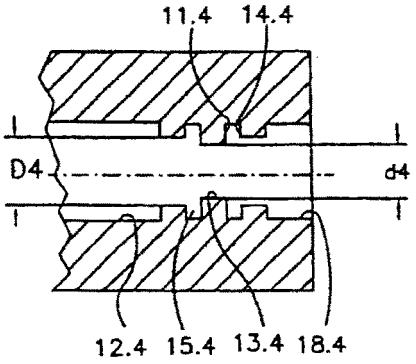


FIG. 4

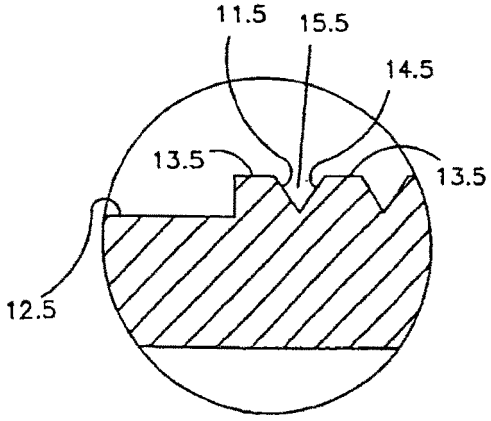


FIG. 5

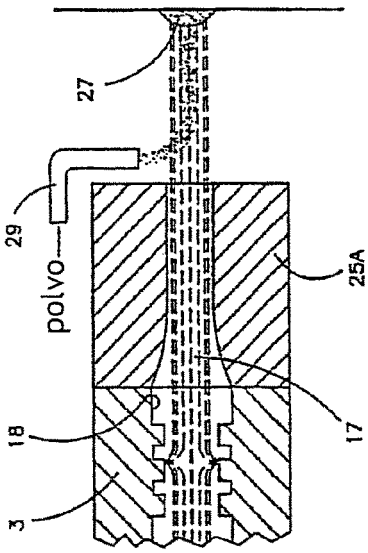


FIG. 6B

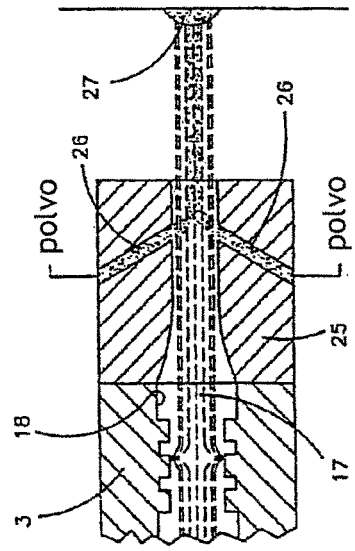


FIG. 6A

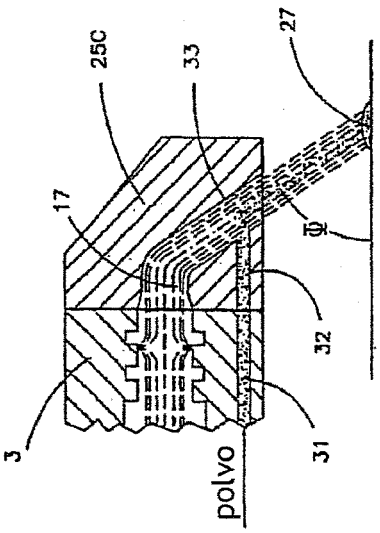


FIG. 6D

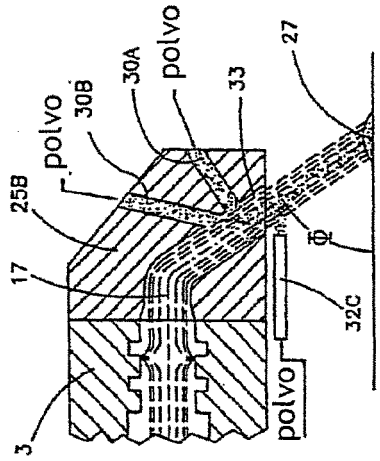


FIG. 6C