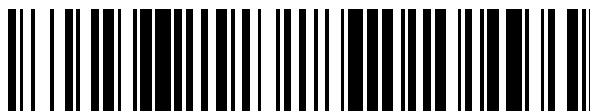


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 467 099**

51 Int. Cl.:

C23C 4/12 (2006.01)

F17C 13/00 (2006.01)

C21D 1/667 (2006.01)

C21D 1/613 (2006.01)

B05B 7/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2007 E 07841482 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014 EP 2061605**

54 Título: **Aparato y método para controlar el caudal de un líquido criogénico**

30 Prioridad:

28.08.2006 US 840616 P

12.10.2006 US 851189 P

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

11.06.2014

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)

7201 HAMILTON BOULEVARD

ALLENTOWN, PA 18195-1501, US

72 Inventor/es:

ZURECKI, ZBIGNIEW;

KNORR, ROBERT ELLSWORTH y

GREEN, JOHN LEWIS

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 467 099 T3

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

DESCRIPCIÓN

Aparato y método para controlar el caudal de un líquido criogénico

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de las Solicitudes Provisionales de Estados Unidos No. 60/840.616 presentada el 28 de agosto de 2006, y 60/851189 presentada el 12 de octubre de 2006, ambas tituladas "Nozzle, System, and Method for Cryogenic Impingement"

10 La presente invención se refiere a un aparato y un método para controlar el caudal de un líquido criogénico a través de una boquilla criogénica. Una boquilla es una constricción de la tubería para el fluido en o cerca de la salida o el punto de terminación a partir de la cual ese fluido es expulsado al espacio abierto que está a una presión inferior a la presión en la tubería de suministro. Los pasajes para el fluido mostrados en las figuras 1C, 2A-2D y 3 son las constricciones dentro de la boquilla y esas figuras no muestran las tuberías de suministro a la boquilla.

15 La figura 1A muestra el método convencional para controlar el caudal de un líquido criogénico a través de una boquilla. En particular, una válvula V está instalada aguas arriba de la boquilla que limita el flujo del líquido criogénico L cuando el caudal deseado a través de la boquilla N es menor que la capacidad de diseño de la boquilla. Un problema con este método convencional es la caída de presión que experimenta el líquido a través de la válvula que causa una reducción de la velocidad de pulverización.

20 Además, la caída de presión hace que una parte del líquido hierva aguas abajo de la válvula, lo que puede taponar la boquilla y/o el pasaje de la boquilla, causando de este modo pulsaciones de caudal. Es importante entender, a este respecto, que el método convencional es incapaz de incrementar el tamaño del orificio de la boquilla para ventilar rápidamente la evaporación y, de este modo, eliminar las pulsaciones de caudal resultantes. En particular, un orificio de la boquilla más grande en el método convencional requeriría un mayor grado de restricción de la válvula para conseguir un intervalo equivalente de reducciones de flujo y, por lo tanto, una mayor caída de la presión e incluso más evaporación.

30 Esta limitación sobre el incremento del tamaño de la boquilla en el método convencional conduce a otro problema en el método convencional cuando la boquilla y la tubería de suministro a ésta deben refrigerarse desde la temperatura ambiente antes de la puesta en marcha. En particular, se requiere una boquilla sobredimensionada para ventilar rápidamente las grandes cantidades de vapor que se generan durante dicha refrigeración. Por consiguiente, el método convencional se enfrenta al dilema de elegir entre la tarea que requiere tiempo de cambiar la boquilla sobredimensionada antes de comenzar el funcionamiento normal, o las complejidades de diseñar un sistema para incrementar temporalmente el tamaño del orificio de la boquilla durante la refrigeración.

35 Finalmente, otro problema con el método convencional es la propia válvula. En particular, las válvulas que deben manipular líquidos criogénicos son costosas y tienden a averiarse. La presente invención proporciona un método para controlar el caudal de un líquido criogénico a través de una boquilla que evita los problemas descritos anteriormente.

40 La figura 1B muestra una modificación convencional a la figura 1A para reducir las pulsaciones de caudal inducidas por ebullición ubicando una válvula V en la boquilla N. De esta forma, la ebullición se produce en la descarga de la boquilla y, por lo tanto, se evita la obstrucción de la boquilla asociada. Desafortunadamente, esta modificación sería impráctica en muchas aplicaciones, dado que la válvula de control hace a la boquilla demasiado grande y voluminosa para encajar en máquinas de fabricación. Además, desplazar la caída de presión a la descarga de la boquilla no evita que se produzca la reducción de la velocidad de pulverización.

45 La técnica relacionada incluye los documentos Kellett, Patente de Estados Unidos 5.385.025; Brahmhatt et al, Patente de Estados Unidos 6.363.729; Germain et al, Patente de Estados Unidos 6.070.416; y Kunkel et al, US 2002/0139125.

50 El documento WO 97/19773 A1 desvela un aparato y un método para controlar el caudal de un lubricante líquido a través de una boquilla de pulverización para lubricar las paredes de una cámara de moldeo de una máquina de moldeo por prensado. El lubricante líquido y aire son introducidos cada uno mediante aberturas de la boquilla respectivas en una primera cámara de vórtice del aparato. Una dispersión de líquido en el aire que se forma en la primera cámara de vórtice es introducida en una segunda cámara de vórtice mediante una trayectoria de flujo con un área de sección transversal de flujo reducida, estando la trayectoria de flujo conformada para producir al menos un cambio en la dirección del flujo en el flujo entre las dos cámaras de vórtice, y es descargada desde la segunda cámara de vórtice a través de una boquilla de atomización.

55 Es un objeto de la invención proporcionar un aparato y un método que permiten la pulverización continua y fina de un líquido criogénico con flexibilidad operativa mejorada con, no obstante, elevada fiabilidad en aplicaciones como pulverización térmica, soldadura, corte y rectificación criogénicas.

60

La presente invención es un método y aparato para controlar el caudal de un líquido criogénico a través de una boquilla. El caudal está controlado con un gas de “estrangulamiento” que tiene una presión mayor que o igual a la presión del líquido criogénico, una temperatura mayor que la temperatura del líquido criogénico; y un punto de ebullición menor que o igual a la temperatura del líquido criogénico.

5 La invención, proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 12.

10 En el método de la presente invención, el líquido criogénico y el gas de estrangulamiento se introducen en una zona de contacto donde se ponen en contacto para formar un fluido resultante. El fluido resultante es descargado a través de la boquilla mientras se sigue introduciendo líquido criogénico y gas de estrangulamiento adicionales desde una o más fuentes aguas arriba de la zona de contacto, en la zona de contacto. En una realización del proceso de la presente invención, el proceso comprende, además, controlar el caudal de masa de descarga del fluido y la relación de masa del componente líquido del fluido descargado con respecto a su componente gaseoso en función de la presión del gas de estrangulamiento.

15 El aparato puede comprender un conducto que tiene un extremo aguas arriba y un extremo aguas abajo en comunicación de flujo frontal con la boquilla. El aparato comprende, además, una primera tubería de suministro que conecta una tubería de suministro de gas presurizado al conducto y una segunda tubería de suministro que conecta la tubería de suministro de líquido criogénico al conducto. El extremo de descarga de la tubería de suministro de gas está en comunicación de flujo frontal con el extremo aguas arriba del conducto, mientras que la tubería de suministro de líquido está en comunicación de flujo a 45-135 grados con el extremo aguas arriba del conducto (medido desde el conducto).

20 El aparato puede comprender un conducto que tiene un primer extremo de alimentación y un segundo extremo de alimentación que puede ser un extremo de alimentación opuesto, y la boquilla puede estar compuesta por una fila de aberturas (u opcionalmente una rendija) a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pared del conducto. El aparato comprende, además, una primera tubería de suministro que tiene un extremo de descarga en comunicación de flujo frontal con al menos uno de los extremos de alimentación del conducto, y una segunda tubería de suministro que tiene un extremo de descarga en comunicación de flujo a 45-135° con al menos uno de los extremos de alimentación del conducto. El ángulo se mide desde el conducto. En una realización del segundo aparato, la primera tubería de suministro que está en comunicación frontal con el conducto conecta un suministro de gas presurizado al conducto, mientras que la segunda tubería de suministro que está en comunicación de flujo a 45-135° o comunicación de flujo a 90-135° con el conducto conecta un suministro de líquido criogénico al conducto.

25 El aparato puede comprender un espacio anular definido por un conducto externo que rodea de forma concéntrica a un conducto interno que contiene una pluralidad de aberturas en su pared. El espacio anular tiene un primer extremo de alimentación y un extremo de alimentación opuesto que son, respectivamente, adyacentes a un primer extremo de entrada y un extremo de entrada opuesto del conducto interno. La boquilla puede comprender una fila de aberturas (u opcionalmente una rendija) a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pared del conducto externo, una primera tubería de suministro en comunicación de flujo con al menos uno de los extremos de alimentación del espacio anular, y una segunda tubería de suministro en comunicación de flujo con al menos uno de los extremos de entrada del conducto interno. En una realización del tercer aparato, la primera tubería de suministro en comunicación de flujo con el espacio anular conecta un suministro de gas presurizado al espacio anular, mientras que la segunda tubería de suministro en comunicación de flujo con el conducto interno conecta un suministro de líquido criogénico al conducto interno.

30 El aparato puede comprender un conducto externo; un conducto interno situado dentro del conducto externo y que define un espacio anular entre el conducto externo y el conducto interno, teniendo el conducto interno al menos una abertura situada para permitir que el líquido criogénico fluya radialmente desde el conducto interno al interior del espacio anular; la al menos una boquilla está formada sobre el conducto externo, estando cada una de la al menos una boquilla en comunicación fluida con el espacio anular; la al menos una entrada de gas está en comunicación fluida con el conducto externo, estando la entrada de gas adaptada para estar conectada a un suministro de gas presurizado; y la al menos una entrada de líquido criogénico está en comunicación fluida con el conducto interno, estando la entrada de líquido criogénico adaptada para estar conectada a un suministro de líquido criogénico.

35 El aparato puede comprender un conducto que tiene un extremo aguas arriba y un extremo aguas abajo. Estando la boquilla en comunicación de flujo frontal con el extremo aguas abajo. La al menos una entrada de gas está adaptada para estar conectada a una tubería de suministro de gas presurizado, teniendo la al menos una entrada de gas un extremo de descarga en comunicación de flujo frontal con el extremo aguas arriba de la boquilla; y la al menos una entrada de líquido criogénico está adaptada para conectarse a una tubería de suministro de líquido criogénico, teniendo la al menos una entrada de líquido criogénico un extremo de salida en comunicación de flujo a 45 - 135 grados con el extremo aguas arriba.

40 La figura 1A muestra una boquilla de pulverización criogénica convencional.

65

La figura 1B muestra una boquilla de pulverización criogénica convencional con una ubicación modificada.

La figura 1C muestra una realización de la presente invención.

5 Las figuras 2A a 2D muestran diversas realizaciones más de la presente invención que tienen diferentes configuraciones de la zona de contacto y/o la boquilla.

La figura 3 muestra una realización adicional de la presente invención.

10 La figura 4 muestra otra realización de la presente invención que tiene múltiples boquillas de pulverización.

La figura 5 muestra una realización de tubo de pulverización de conducto único de la presente invención.

15 Las figuras 6A a 6I muestran varias realizaciones de tubo de pulverización de doble conducto de la presente invención.

La figura 7 muestra un sistema de tubo de pulverización que está adaptado para rastrear una fuente de calor en movimiento.

20 La figura 8 muestra otra realización del tubo de pulverización de la figura 7 en la que el tubo de pulverización circunda a un sustrato.

La figura 9 muestra otra realización de tubo de pulverización alternativa

25 Tal como se usan en el presente documento y en las reivindicaciones, las siguientes expresiones se definirán de la siguiente manera:

(i) Un "fluido criogénico" significa un fluido que tiene un punto de ebullición menor de -73°C a 1,013 bares (1 atm) de presión.

30 (ii) Un "líquido criogénico" significa un fluido criogénico en fase líquida que tiene un punto de ebullición menor de -73°C a 1,013 bares (1 atm) de presión.

(iii) Una "boquilla" significará una o más aberturas para descargar un fluido. Una boquilla es una constricción de la tubería para el fluido en o cerca de la salida o punto de terminación desde la cual el fluido es expulsado a un espacio abierto que está a una presión menor que la presión en la tubería de suministro.

35 (iv) Comunicación de flujo "frontal" entre un conducto y una boquilla significará que la trayectoria de flujo en el extremo de descarga del conducto se incorpora en la trayectoria de flujo a través de la boquilla sin un cambio de dirección. Análogamente, comunicación de flujo "frontal" entre un fluido y un conducto significará que la trayectoria de flujo del fluido se incorpora en la trayectoria de flujo en el extremo de alimentación o aguas arriba del conducto sin un cambio de dirección. Finalmente, comunicación de flujo "frontal" entre una tubería de suministro y un conducto significará que la trayectoria de flujo en el extremo de descarga de la tubería de suministro se incorpora en la trayectoria de flujo en el extremo de alimentación o aguas arriba del conducto sin un cambio de dirección.

40 (v) "comunicación de flujo a 45° - 135° " entre un fluido y un conducto significará que la trayectoria de flujo del fluido se incorpora en la trayectoria de flujo en el extremo de alimentación del conducto a un ángulo de 45° a 135° . Análogamente, comunicación de flujo a 45° - 135° entre una tubería de suministro y un conducto significará que la trayectoria de flujo en el extremo de descarga de la tubería de suministro se incorpora en la trayectoria de flujo en el extremo de alimentación del conducto a un ángulo de 45° a 135° . Para algunas realizaciones, la dirección del flujo del gas al interior del líquido en la zona de contacto de la boquilla, tal como se define mediante aberturas, tuberías de suministro u otras conexiones, es de 0° a 180° , de 0° a 90° o de 45° a 90° , y el conducto puede estar o no en comunicación de flujo frontal con la zona de contacto.

La presente invención se basa en el descubrimiento de los Solicitantes de que, cuando un líquido criogénico y un gas de "estrangulamiento" presurizado se introducen en una "zona de contacto" y el fluido resultante se descarga a través de una boquilla, la relación líquido con respecto a gaseoso del fluido descargado y, por lo tanto, el caudal de líquido criogénico, puede estar controlada en función de la presión del gas de estrangulamiento. De esta forma, la presente invención puede alternar entre una funcionalidad de refrigeración por choque, cuando el fluido de descarga puede comprender una mayoría (51-100%) o porcentaje superior hasta el 100% del líquido (por ejemplo, 75-100% de líquido) y una funcionalidad de limpieza con chorro cuando el fluido de descarga puede comprender una mayoría (51-100%) o porcentaje superior hasta el 100% de gas (por ejemplo, 75-100% de gas), sin cambios algunos diferentes de la presión del gas de estrangulamiento (en lo sucesivo, la característica de "funcionalidad híbrida").

Además, en una realización de "tubo de pulverización" de la presente invención, los Solicitantes han desarrollado un método para controlar el "perfil de pulverización" del componente líquido del fluido descargado en función de la presión del gas de estrangulamiento (en lo sucesivo, la característica de "perfil de pulverización"). De esta forma, la presente invención puede igualar el "perfil de refrigeración" (tal como en una aplicación de laminado en frío donde el centro de la tira de metal requiere más refrigeración que los extremos) o incluso rastrear una carga térmica dinámica

que es impartida a un sustrato (tal como en una aplicación de pulverización térmica, por ejemplo, desvelada en el documento "Thermal Deposition Coating Method" 11/389.308 presentado el 27 de marzo de 2006, que reivindica prioridad de la solicitud provisional 60/670.497, presentada el 12 de abril de 2005, titulada "Control Method for Thermal Deposition Coating Operations", publicada como US 2006 22 84 65.

En general, los incrementos de la presión del gas de estrangulamiento entre una presión igual a la presión del líquido criogénico y una presión del gas máxima dan como resultado disminuciones proporcionales de la relación líquido con respecto a gaseoso del fluido descargado. La composición del fluido de descarga puede variar entre el 100 por ciento líquido y el 100 por ciento gas. Dichos incrementos en la presión del gas darán como resultado una disminución proporcional del caudal de masa total del fluido descargado. Estas relaciones se describen con más detalle a continuación.

Una importante ventaja de la presente invención es la capacidad de controlar el componente líquido del fluido descargado que se consigue sin una válvula de restricción de flujo convencional y la caída de presión asociada. Por consiguiente, a diferencia de los métodos convencionales, la velocidad de pulverización de líquido en la presente invención no decae a medida que el componente líquido de la descarga se reduce (en lo sucesivo, la característica de "velocidad de pulverización").

Otra importante consecuencia de la ausencia de la válvula de restricción de flujo convencional en la presente invención es la capacidad de usar tamaños de boquilla más grandes de lo que son posibles con métodos convencionales. Por consiguiente, la boquilla puede agrandarse a un tamaño que responderá rápidamente a los incrementos de la presión del gas en términos de conseguir la relación de descarga de líquido con respecto a gaseoso deseada (en lo sucesivo, la característica de "respuesta rápida"). Además, este tamaño de boquilla incrementado también funciona para ventilar rápidamente las grandes cantidades de vapor que se generan cuando el sistema debe ponerse en marcha a partir de temperatura ambiente (en lo sucesivo, la característica de "puesta en marcha rápida").

Las anteriores características de funcionalidad híbrida, perfil de pulverización, velocidad de pulverización, respuesta rápida y puesta en marcha rápida hacen a la presente invención adecuada de forma única para una amplia gama de aplicaciones incluyendo, aunque sin limitarse a, las siguientes:

(i) una aplicación de pulverización térmica, particularmente usando sistemas de proyección térmica de alta velocidad (HVOF) o pulverización por plasma;

(ii) soldadura; fusión; endurecimiento; nitruración; carburización; vitrificado por láser; tratamiento térmico por inducción; soldadura fuerte; extrusión; colada; acabado de laminación; forja; gofrado; grabado; modelado; impresión, recorte o corte longitudinal de tiras, cintas o tubos de metal; corte y rectificación criogénicas de componentes metálicos y no metálicos; y

(iii) procesamiento, acabado, o ensamblaje en las industrias metalúrgica, cerámica, aeroespacial, médica, electrónica y óptica.

Además de la presión del gas de estrangulamiento, la temperatura del gas de estrangulamiento también desempeña un papel en la presente invención. En particular la evaporación que se genera cuando el gas de estrangulamiento entra en contacto con el líquido criogénico contribuye al efecto de estrangulamiento. Típicamente, la temperatura del gas de estrangulamiento introducido en la zona de contacto es temperatura ambiente (dado que esto garantiza una evaporación adecuada sin necesidad de calentar o enfriar el gas de estrangulamiento) y la presión del gas funciona como la "palanca de control" preferida en la presente invención. Sin embargo, en términos de regular la contribución de la evaporación al efecto de estrangulamiento, la temperatura del gas también podría funcionar como palanca de control, por sí misma (es decir, de modo que la presión del gas se mantiene constante), o en combinación con ajustes de la presión del gas. Además, observando que cualquier cantidad de calor añadida a un líquido criogénico saturado causará al menos cierta evaporación, la temperatura del gas de estrangulamiento es mayor que la temperatura del líquido criogénico. Finalmente, respecto a la temperatura, es posible reducir la presión requerida para cualquier tasa de estrangulamiento particular usando una temperatura superior a la temperatura ambiente, pero si la temperatura es demasiado elevada, la capacidad para ajustar finamente el componente líquido en función de la presión del gas puede verse comprometida.

Para garantizar que el gas de estrangulamiento no se condensa cuando entra en contacto con el líquido criogénico, el punto de ebullición del gas de estrangulamiento es menor que o igual al punto de ebullición del líquido criogénico. Por consiguiente, si el líquido criogénico es nitrógeno saturado, el gas de estrangulamiento puede comprender nitrógeno pero no argón, mientras que si el líquido criogénico es argón saturado, el gas de estrangulamiento puede comprender nitrógeno o argón. Típicamente, factores de coste y disponibilidad favorecen al nitrógeno líquido como líquido criogénico y nitrógeno gaseoso como gas de estrangulamiento. Además, observando que el componente de oxígeno de aire podría condensarse inadvertidamente en la zona de contacto y crear un problema de inflamabilidad, el aire es típicamente no deseado como gas de estrangulamiento. Finalmente, respecto a la elección de fluidos en la presente invención, nótese que el dióxido de carbono líquido es típicamente inaceptable como líquido criogénico,

dado que se congela en expansión y puede formar tapones de hielo dentro de la boquilla.

La relación exacta entre la presión del gas de estrangulamiento y (i) la relación de los caudales en masa de líquido con respecto a gaseoso del fluido descargado (en lo sucesivo, " D_{LG} "), y (ii) el caudal en masa total del fluido descargado (en lo sucesivo, " D_F ") dependerá de una serie de factores que incluyen, aunque sin limitarse a, la temperatura del gas de estrangulamiento tal como se ha indicado anteriormente, la elección del líquido criogénico y el gas, el tamaño de la boquilla y la zona de contacto, y la configuración entre la boquilla y la zona de contacto. Además, dado que puede esperarse que el gas de estrangulamiento experimente al menos una caída de presión moderada en la tubería de suministro que conecta el suministro presurizado del gas de estrangulamiento a la zona de contacto, esta caída de presión también debe ser tenida en cuenta. Por consiguiente, las relaciones exactas deben determinarse experimentalmente para cualquier sistema particular. Sin embargo, a continuación se describen las relaciones observadas en base a la experimentación del Solicitante con nitrógeno líquido saturado como líquido criogénico y nitrógeno a temperatura ambiente como gas de estrangulamiento en un intervalo de presiones de líquido y gas entre 0,69 - 24 bares (10 y 350 psig), y un intervalo de tamaños de boquilla y configuraciones de la zona de contacto. Nótese la relación entre la presión del gas de estrangulamiento y las tasas de introducción del nitrógeno líquido y gaseoso en la zona de contacto (en lo sucesivo, " F_L ", y " F_G " respectivamente) también están incluidas, dado que estas relaciones también proporcionan conocimientos en la presente invención, tal como se describe adicionalmente a continuación.

Las relaciones para una realización de la invención indicadas anteriormente son las siguientes. Con respecto a incrementos en la presión del gas de estrangulamiento entre una presión del gas igual a la presión del líquido criogénico (en lo sucesivo, el "estado no estrangulado"), y una presión del gas igual a 1,05-1,3 veces la presión manométrica del líquido criogénico (en lo sucesivo, el "estado completamente estrangulado"), dichos incrementos de la presión del gas dieron como resultado:

(i) disminuciones proporcionales de D_{LG} entre 1,0 y casi cero;

(ii) disminuciones proporcionales de D_F entre el D_F máximo que se produce en el estado no estrangulado, y el D_F mínimo que se produce en el estado estrangulado que es una fracción o una pequeña fracción del D_F máximo;

(iii) disminuciones proporcionales de F_L entre la F_L máxima que se produce en el estado no estrangulado, y la F_L mínima que se produce en el estado estrangulado que es una pequeña fracción, por ejemplo el 10-15%, de la F_L máxima para algunas realizaciones; y

(iv) incrementos proporcionales de F_G entre la F_G mínima que se produce en el estado no estrangulado que es igual a aproximadamente el 0-11% de la F_L máxima y la F_G máxima que se produce en el estado estrangulado que es igual al 10-35% de la F_L máxima para muchas realizaciones.

En realizaciones alternativas, la relación entre la presión del gas y la presión del líquido en sus respectivas entradas al interior de la zona de contacto de la boquilla puede ser cualquier valor mayor que 1 o puede variar entre más de 1 y 100.

Tal como se ha sugerido anteriormente, las relaciones anteriores proporcionan una serie de conocimientos en la presente invención de la siguiente manera:

(i) La presión del gas para conseguir el estado completamente estrangulado es ventajosamente modesta, concretamente de sólo 1,05-1,30 veces la presión del líquido criogénico en base a una presión manométrica. Las presiones de suministro de gas más elevadas son aún más eficaces pero no necesariamente si la boquilla está diseñada dentro de las otras especificaciones descritas en el presente documento, por ejemplo el ángulo de choque preferido de los chorros de gas y líquido dentro de los conductos de la boquilla. Además, según (iv) anteriormente, y observando que la presión del gas de estrangulamiento y la tasa de introducción de gas de estrangulamiento corresponderán siempre directamente para un diseño y geometría específicos, esto se traduce en una modesta tasa de introducción de gas de estrangulamiento requerida para conseguir el estado completamente estrangulado, concretamente sólo aproximadamente el 10-35% de la tasa de introducción de líquido criogénico que se produce en el estado no estrangulado.

(ii) Según (iii) anteriormente, la tasa de alimentación de líquido criogénico no es cero en el estado completamente estrangulado como podría esperarse, sino que en su lugar es de aproximadamente el 10-15% del caudal de la tasa de introducción de líquido criogénico que se produce en el estado no estrangulado. Esto significa que la evaporación está contribuyendo al efecto de estrangulamiento incluso cuando el fluido descargado no contiene líquido. Además, esto tiene la ventaja de facilitar la característica de respuesta rápida de la presente invención incluso desde el estado completamente estrangulado, dado que la tasa de introducción de líquido criogénico no tiene que apagarse y volver a ponerse en marcha.

(iii) Según (iv) anteriormente, nótese que la tasa de alimentación de gas de estrangulamiento puede ser de hasta el 11% antes de que se produzca una desviación (o al menos una desviación significativa) del estado no

estrangulado. Esto está relacionado con la acumulación inicial del gas de estrangulamiento en la tubería de suministro y la zona de contacto.

La experimentación de los Solicitantes proporcionó características adicionales específicas de las dos amplias categorías de las configuraciones entre la zona de contacto y la boquilla en la presente invención. En la primera categoría, en lo sucesivo la configuración de “escopeta”, la zona de contacto comprende un conducto que descarga el fluido de forma frontal a través de una boquilla de abertura única. En la segunda categoría, en lo sucesivo la configuración de “tubo de pulverización”, la zona de contacto comprende un conducto que descarga el fluido en una dirección radial desde el conducto a través de una boquilla a lo largo de la longitud longitudinal de la pared del conducto que está constituida por una fila de aberturas o una rendija. En el presente documento se desvelan varias variaciones básicas de la configuración del tubo de pulverización. En una variación, (en lo sucesivo, la variación de “tubo único”), el líquido criogénico y el gas de estrangulamiento se introducen en uno, o típicamente ambos, extremos del conducto que comprende la zona de contacto. En otra variación (en lo sucesivo, la variación de “tubo dentro de tubo”), el gas de estrangulamiento se introduce en uno o ambos extremos del espacio anular definido por tubos concéntricos, mientras que el líquido criogénico se introduce en el espacio anular a través de una serie de aberturas en el tubo interno que están en comunicación de flujo radial con el espacio anular que comprende la zona de contacto. Las características específicas de cada una de estas configuraciones se detallan en la siguiente descripción de las figuras.

La realización de la presente invención mostrada en la figura 1C es un ejemplo de la configuración de escopeta entre la zona de contacto y la boquilla. En la figura 1C, la zona de contacto comprende un conducto 31c (identificado mediante la zona rayada en la figura 1C) que tiene un extremo aguas abajo en comunicación de flujo frontal con la boquilla N, y un extremo aguas arriba en comunicación de flujo con un suministro tanto del suministro de líquido criogénico L mediante la primera tubería de suministro, como del gas de estrangulamiento G mediante la segunda tubería de suministro. El líquido criogénico y el gas de estrangulamiento se introducen en la zona de contacto a través de sus respectivas tuberías de suministro y se ponen en contacto para formar un fluido resultante. El fluido resultante se descarga a través de la boquilla mientras se sigue introduciendo el líquido criogénico y el gas de estrangulamiento al interior de la zona de contacto.

La figura 1C también plasma la observación del Solicitante de que la capacidad de “ajustar finamente” la relación líquido con respecto a gaseoso del fluido descargado en la configuración de escopeta mejora cuando:

(i) desde un punto de vista del proceso, el líquido criogénico y el gas de estrangulamiento chocan entre sí en el momento de su introducción en el mezclado a un ángulo γ , que puede ser de cualquier valor, por ejemplo, entre 0° y 360° o de 0° a 270° , o de 0° a 180° , pero para algunas realizaciones es de 45° a 135° o de 45° a 90° (y preferentemente 90° tal como se muestra en la figura 1C). (El ángulo γ , tal como se muestra, es el ángulo formado entre el conducto de líquido y el conducto de gas; es decir, el ángulo formado entre la dirección del flujo del gas y el líquido, a medida que son introducidos uno en otro en la zona de contacto. La dirección del flujo del líquido y el gas en la boquilla se indica mediante las flechas adyacentes a L y G.); y

(iii) desde un punto de vista del aparato, la longitud x del conducto de la zona de contacto 31c (identificada mediante la zona rayada en la figura 1C) puede ser de cualquier valor, pero puede estar entre 1,0 y 40 veces el diámetro d del conducto en su punto más estrecho.

Nótese que las figuras muestran realizaciones que tienen las tuberías de líquido o de gas frontales con respecto al extremo de descarga de la boquilla. La boquilla de la invención no está limitada a las realizaciones mostradas, y esta invención prevé que los conductos de líquido y gas dentro de la boquilla puedan estar configurados de modo que ninguno esté en flujo frontal con respecto al extremo de descarga de la boquilla. Por ejemplo, el conducto de líquido criogénico y el conducto de gas y la zona de contacto podrían estar dispuestos en la boquilla a 120° entre sí, o el conducto de líquido criogénico y el conducto de gas podrían estar separados 90° y la zona de contacto podría estar ubicada a 135° de ambos de esos conductos. En realizaciones alternativas, dos o más conductos de gas podrían estar provistos en cada conducto de líquido criogénico en una boquilla. Se prefiere que, cuando dos o más conductos de gas se usan dentro de la boquilla, estos estén separados de 45° a 90° del conducto de líquido criogénico, aunque pueden usarse cualesquiera ángulos tal como se ha descrito anteriormente.

La figura 2A es idéntica a la figura 1C excepto que la orientación de los chorros de suministro con respecto al conducto de la zona de contacto 32a (identificado mediante la zona rayada en la figura 2A) se invierte. A este respecto, la figura 2A plasma la observación del Solicitante de que el ajuste fino en la configuración de escopeta mejora adicionalmente cuando el ángulo de choque está orientado de modo que

(i) desde un punto de vista del proceso, el gas de estrangulamiento está en comunicación de flujo frontal con el extremo aguas arriba del conducto; y

(ii) desde un punto de vista del aparato, el conducto del suministro de gas presurizado G está en comunicación de flujo frontal con la zona de contacto, mientras que el conducto del suministro de líquido criogénico L está en comunicación de flujo a 45° - 135° , o comunicación de flujo a 90° - 135° con la zona de contacto (y preferentemente a 90° tal como se muestra en la figura 2A).

La figura 2B es idéntica a la figura 2A excepto que el líquido criogénico y el gas de estrangulamiento se introducen en el conducto de la zona de contacto 32b (identificada mediante la zona rayada en la figura 2B) en paralelo y de forma frontal. Los Solicitantes observaron que ángulos de choque menores de 45° entre el gas y el líquido (y especialmente ángulos de choque iguales a cero, tal como en la figura 2B) tendían a dar como resultado un intervalo de ajuste similar a encendido/apagado y estrecho. Cuando estas boquillas no estaban en el estado sustancialmente no estrangulado o de forma sustancial completamente estrangulado, tendían a tener una descarga pulsante desde la boquilla. Por lo tanto, boquillas configuradas con ángulos de choque más pequeños (es decir menores de 45° entre las direcciones de flujo de líquido y gas a escala macroscópica en la zona de contacto) serían útiles principalmente para aplicaciones que cambian entre los estados sustancialmente no estrangulado y de forma sustancial completamente estrangulado.

La figura 2C es idéntica a la figura 2A excepto que el conducto de la zona de contacto 32c (identificada mediante la zona rayada en la figura 2C) y la boquilla N están modificados de modo que el extremo aguas abajo del conducto se desvía a un mayor tamaño de boquilla para proporcionar una pulverización más dispersada.

La figura 2D es idéntica a la figura 2A excepto que el conducto de la zona de contacto 32d (identificada mediante la zona rayada en la figura 2D) contiene una cámara esférica en su extremo aguas arriba. A este respecto, la figura 2D plasma la observación del Solicitante de que la capacidad de ajuste fino también resulta afectada por el diámetro de dicha cámara. En particular, el diámetro D de la cámara está, preferentemente, entre 1,0 y 6,0 veces el diámetro del conducto en su punto más estrecho.

La figura 3 es idéntica a la figura 2A excepto que

- (i) la configuración de escopeta entre la zona de contacto 33 (identificada además por la zona rayada) y la boquilla N está orientada verticalmente;
- (ii) la zona de contacto, la tubería de suministro de gas G1, y la tubería de suministro de líquido criogénico L1 todas comprenden tubos de carbono-flúor de 0,635 cm ($\frac{1}{4}$ de pulgada) de diámetro (que conserva un grado de flexibilidad incluso cuando se refrigera a temperaturas criogénicas) y están protegidas de daño mecánico por una manguera de acero inoxidable flexible de 1,9 cm ($\frac{3}{4}$ de pulgada) de diámetro H1; y
- (iii) un tapón espumoso blando SP se usa en el punto de entrada a la manguera de acero inoxidable para impedir la acumulación de agua condensada dentro de la manguera. Pueden usarse materiales alternativos conocidos por un experto en la materia.

Los pasajes para el fluido mostrados en las figuras 1C, 2A-2D y 3 son las constricciones dentro de la boquilla y esas figuras no muestran las tuberías de suministro a la boquilla.

La figura 4 muestra un sistema de refrigeración y limpieza criogénico industrial que comprende cinco tuberías de refrigeración respectivas H1 a H5 que son idénticas al aparato en la figura 3. El sistema comprende una caja fría B1 que alberga a los componentes criogénicos, y una caja a temperatura ambiente B2 que alberga a los componentes del gas de estrangulamiento. El líquido criogénico de entrada Li entra en la caja fría mediante la válvula de líquido principal LvM y una válvula de ventilación de vapor convencional Va que separa gravitacionalmente y ventila el vapor del chorro entrante. Una válvula de alivio de la presión PRv se añade en el lado de entrada por seguridad. La salida de vertido en la parte inferior Vb de la ventilación de vapor está conectada a las cinco tuberías de refrigeración H1 a H5 mediante tuberías de suministro intermedias respectivas L1 a L5 y válvulas solenoides respectivas Lv1 a Lv5. Típicamente, las tuberías de refrigeración H1 a H5 tienen, cada una, de diez a veinticinco pies de largo, de modo que los operadores puedan mover fácilmente las tuberías al punto de uso según pueda requerirse. Dado que los tubos de polímero en las tuberías de refrigeración se contraerán mucho más que la manguera de acero inoxidable circundante, los tubos entre las tuberías de refrigeración y las válvulas solenoides se prolongan 7,62 cm (3 pulgadas) adicionales para impedir esfuerzos de tracción que, en caso contrario, se acumularían en los tubos después de la refrigeración. Otras soluciones también podrían usarse para prevenir esfuerzos de tracción excesivos sobre los tubos tal como una manguera de acero inoxidable de tipo fuelle, contráctil y accionada por resorte. El gas de entrada Gi entra en la caja a temperatura ambiente B2 mediante la válvula principal GvM. En este caso, el chorro de gas se divide en chorros ramificados respectivos G1 a G6. El chorro G6 conduce a una válvula de desahogo ajustable manualmente Gv6 que descarga una pequeña cantidad de gas al interior de la caja fría mediante el orificio p6 para hacer inerte a esa caja e impedir condensación de humedad interna. Cada uno de los chorros respectivos G1 a G5 está dirigido a un par respectivo de válvulas solenoides Gv1a/Gv1b a Gv5a/Gv5b.

La función de la primera válvula solenoide respectiva Gv1a a Gv5a en cada par es abrir o cerrar el flujo de gas necesario en el estado completamente estrangulado. La función de la segunda válvula respectiva Gv1b a Gv5b en cada par es abrir o cerrar el flujo de gas a las válvulas ajustadas manualmente respectivas Gv1c a Gv5c. La apertura de la válvula ajustada manualmente es ajustada por los operadores de antemano para seleccionar el caudal de gas de estrangulamiento que corresponde a la relación deseada de la relación líquido con respecto a gaseoso del fluido descargado. Esta relación deseada refleja el caudal de refrigeración normal que puede reducirse rápidamente a cero, y a continuación volverá ponerse en marcha rápidamente abriendo o cerrando la válvula Gv1a a Gv5a respectiva. Si las cinco ramas no son necesarias en una operación de refrigeración y tratamiento a chorro dada, ambas válvulas de gas y líquido correspondientes permanecen cerradas. Un controlador PLC programable eléctrico

está albergado en la caja a temperatura ambiente para controlar la secuencia de apertura y cierre de la válvula deseada y está conectado a las válvulas, un panel de control y, opcionalmente, a sensores de temperatura y/o limpieza remotos. Aguas abajo de las válvulas de control de gas, las tuberías de gas comunican de forma fluida con las tuberías de refrigeración respectivas H1 a H5 mediante los orificios respectivos p1 a p5.

5 La realización mostrada en la figura 4 se evaluó usando boquillas de acero inoxidable que tienen un diámetro de 0,254 cm (0,1 pulgada) de diámetro y una zona de contacto de 2,54 cm (1,0 pulgada) de largo. Nitrógeno líquido saturado L₁ se suministró a la caja fría B1 a 5,5 bares (80 psig) mediante la válvula de líquido principal LvM, mientras que nitrógeno a temperatura ambiente G₁ se suministró a la caja a temperatura ambiente B2 a 6,9 bares (100 psig) mediante la válvula de gas principal GvM. Ambas de estas válvulas se abrieron posteriormente para llevar al sistema a un modo de espera y refrigerar previamente los componentes criogénicos albergados en la caja fría B1 antes del funcionamiento. En la siguiente etapa, las válvulas respectivas Lv1 a Lv5 se abrieron para medir el caudal máximo del nitrógeno líquido a través de las tuberías de refrigeración respectivas H1 a H5. Una pulverización líquida uniforme se estableció después de menos de 30 segundos, incluso aunque la temperatura de puesta en marcha de la tubería era ambiente. La tasa de descarga de fluido era de 1,25 kg/minuto (2,75 lbs/minuto) y comprendía una pulverización de gotas finas de 10,16 cm (4 pulgadas) de largo, seguida por una cola rápida y blanca de vapor a temperatura criogénica de 15,24 cm (6 pulgadas) de largo. A continuación, válvulas respectivas Gv1a a Gv5a se abrieron al estado completamente estrangulado para encontrar el caudal de gas requerido para convertir la descarga de pulverización en nitrógeno a temperatura ambiente. Para esta realización, el caudal de la masa de nitrógeno gaseoso de estrangulamiento completo era de 0,543 kg/minuto (1,0 lb/minuto) por boquilla. Adicionalmente para esta realización, la tasa de entrada de nitrógeno líquido en el estado de boquilla completamente estrangulada era de 0,136 kg/minuto (0,3 lbs/minuto) por boquilla. A continuación, válvulas respectivas Gv1a a Gv5a se cerraron, lo que dio como resultado la restauración de una pulverización de nitrógeno líquido visible en el plazo de un par de segundos. A continuación, las válvulas respectivas Gv1b a Gv5b se abrieron y las válvulas respectivas Gv1c a Gv5c se ajustaron para obtener caudales de gas mayores o más pequeños en las tuberías de refrigeración respectivas H1 a H5. La manipulación del caudal de gas usando las válvulas respectivas Gv1c a Gv5c dio como resultado el estrangulamiento parcial esperado del componente líquido de la descarga de pulverización con la consecuencia de calentamiento de la descarga y una rápida transición entre las funcionalidades de refrigeración y tratamiento a chorro con gas.

30 Después de que una parte del sustrato ha sido procesada por la funcionalidad de refrigeración de la boquilla, la funcionalidad de tratamiento a chorro de gas puede usarse para incrementar la temperatura de la parte a temperatura ambiente para evitar la condensación de humedad ambiente sobre ella. Aunque esta evaluación usa las tuberías de refrigeración controladas de forma idéntica por el controlador PLC en base a la entrada de datos térmicos procedente de sensores de temperatura externos, el sistema puede comprender cualquier número de tuberías de refrigeración de diferentes tamaños desde una a tantas como sea práctico, por ejemplo veinte. Además, cada tubería de refrigeración puede estar controlada por el PLC independientemente de las otras tuberías de refrigeración y usar su propia entrada de datos térmicos.

40 La realización mostrada en la figura 5 es un ejemplo de la configuración de tubo de pulverización individual en la presente invención donde:

45 (i) la zona de contacto comprende un conducto 35 que tiene un primer extremo de alimentación 35a y un extremo de alimentación opuesto 35b;

(ii) la boquilla comprende una fila de aberturas (tal como se muestra en la figura 5) o una rendija a lo largo de la longitud longitudinal de la pared del conducto;

50 (iii) a medida que es suministrado por una tubería de suministro en comunicación de flujo con un suministro de líquido criogénico, el líquido criogénico L₁ se introduce en el conducto a través de al menos uno de los extremos de alimentación del conducto (y típicamente ambos extremos de alimentación tal como se muestra mediante L₂ en la figura 5);

55 (iv) a medida que es suministrado por una tubería de suministro en comunicación de flujo con un suministro de gas presurizado, el gas de estrangulamiento G₁ también se introduce en el conducto a través de al menos uno de los extremos de alimentación del conducto (y típicamente ambos extremos de alimentación tal como se muestra mediante G₂ en la figura 5); y

60 (v) el fluido es descargado a través de la boquilla en una dirección radial desde el conducto tal como se representa mediante el perfil de pulverización 85 en la figura 5.

La figura 5 plasma la observación del Solicitante de que la capacidad para ajustar finamente la relación líquido con respecto a gaseoso del fluido descargado, y por lo tanto su caudal de líquido, en la configuración de tubo único mejora cuando:

65

(i) desde un punto de vista del proceso, el líquido criogénico y el gas de estrangulamiento chocan entre sí a 45°-135° o 45°-90° (y preferentemente a 90° tal como se muestra en la figura 5) en el momento de su introducción en la zona de contacto, y el gas de estrangulamiento está en comunicación de flujo frontal con el extremo o extremos de alimentación del conducto;

5 (ii) desde un punto de vista del aparato, la tubería de suministro que conecta la zona de contacto al suministro de gas presurizado está en comunicación de flujo frontal con el extremo o extremos de alimentación de la zona de contacto, mientras que la tubería de suministro que conecta el extremo aguas arriba de la zona de contacto al suministro de líquido criogénico está en comunicación de flujo a 45°-135° o 90°-135° con el extremo o extremos de alimentación de la zona de contacto (y preferentemente a 90° tal como se muestra en la figura 5), (el ángulo entre el flujo de gas y el líquido en la zona de contacto se muestra como 90° y puede estar entre 45° y 90° u otros valores tal como se ha descrito anteriormente) y

10 (iii) también desde un punto de vista del aparato, la relación de la longitud del conducto con respecto a su diámetro puede estar entre 4 y 20 (nótese que a relaciones mayores de 20, el conducto puede volverse demasiado largo para que un grado suficiente de contacto de choque se produzca en la zona media del conducto).

15 La realización de la presente invención mostrada en las figuras 6A es un ejemplo de la variación de tubo dentro de tubo de la configuración del tubo de pulverización donde:

20 (i) la zona de contacto comprende un espacio anular 36 definido por un conducto externo 20 que rodea de forma concéntrica a un conducto interno 10a;

25 (ii) el espacio anular tiene un primer extremo de alimentación y un segundo (opuesto) extremo de alimentación;

(iii) el conducto interno tiene un primer extremo de entrada y un segundo (opuesto) extremo de entrada que son adyacentes a, respectivamente, el primer extremo de alimentación y el extremo de alimentación opuesto del espacio anular,

30 (iv) el conducto interno contiene una pluralidad de aberturas 40 en su pared para dispersar uniformemente el líquido criogénico en el interior del espacio anular, tal como se representa mediante los chorros 50 en la figura 6A (tal como muestra el flujo del líquido al interior del está a 90° con respecto a la dirección del flujo de gas a escala macroscópica tal como se indica mediante las flechas que marcan los chorros 50 y las flechas que marcan la dirección de flujo para G_1 y G_2);

35 (v) la boquilla comprende una fila de aberturas 60 tal como se muestra en la figura 6A (u opcionalmente una rendija) a lo largo de la longitud longitudinal de la pared del conducto externo y se selecciona entre el grupo constituido por una fila de aberturas y una rendija; y

40 (vi) a medida que es suministrado por una tubería de suministro en comunicación de flujo con un suministro de gas presurizado, el gas de estrangulamiento G , se introduce en el espacio anular a través de al menos uno de los extremos de alimentación del espacio anular (y típicamente ambos extremos tal como se muestra mediante G_2 en la figura 6A);

45 (vii) a medida que es suministrado por una tubería de suministro en comunicación de flujo con un suministro de líquido criogénico, el líquido criogénico L_1 se introduce en el conducto interno a través de al menos uno de los extremos de entrada del conducto interno (y algunas veces ambos extremos tal como se muestra mediante L_2 en la figura 6A);

50 (viii) el líquido criogénico se dispersa en el espacio anular a través de la pluralidad de aberturas contenidas en la pared del conducto interno en una dirección radial desde el conducto interno; y

55 (ix) el fluido 70 es descargado a través de la boquilla en una dirección radial desde el conducto externo tal como se representa mediante el perfil de pulverización 86a en la figura 6A.

60 La variación de tubo dentro de tubo de la realización del tubo de pulverización plasma la observación del Solicitante de que la capacidad de ajuste fino de la realización del tubo de pulverización se incrementa efectuando el contacto de choque entre el líquido y el gas a lo largo de la longitud del espacio anular (o al menos a lo largo de la longitud en la que el gas es capaz de mantener su velocidad). Esto también permite un incremento de la relación de longitud con respecto a diámetro de la zona de contacto desde el intervalo de 4-20 de la variación de tubo único a un intervalo de 4-80. Para diferentes realizaciones, el intervalo del diámetro mínimo y la longitud de la zona de contacto está entre 1 y 80 veces el diámetro mínimo.

65 Los conductos interno y externo en la variación de tubo dentro de tubo de la configuración del tubo de pulverización pueden estar hechos de acero inoxidable, aluminio, cobre o polímeros compatibles criogénicamente tales como

compuestos de epoxi reforzados con fibra, polietileno de peso molecular ultraelevado, y similares. El diámetro típico del conducto interno puede variar entre 1 mm y 25 mm mientras que el diámetro típico del conducto externo puede variar entre 3 mm y 75 mm. La relación típica entre el diámetro del conducto externo con respecto al diámetro del conducto interno puede variar entre 2 y 8. Tal como se ha indicado anteriormente, la relación de longitud con respecto a diámetro típica con respecto al conducto externo puede variar entre 4 y 80. El grosor de la pared del conducto interno depende del material de construcción seleccionado y puede ser tan pequeño como sea práctico durante la fabricación del dispositivo pero suficiente para soportar la presión del fluido que llena este conducto. El grosor de la pared típico preferentemente varía y puede variar entre el 1% y el 10% del diámetro del conducto interno. No existe necesidad de orientación especial alguna de la pluralidad de aberturas en el conducto interno siempre que su distribución dentro del espacio anular sea relativamente uniforme.

Las aberturas de la boquilla en el conducto externo están, preferentemente, alineadas en una dirección específica para ser capaces de descargar fluido en esa dirección. El grosor de la pared del conducto externo se selecciona, preferentemente, para proporcionar un canal de expansión suficientemente largo para el fluido que sale de las aberturas de la boquilla. Dicho canal suficientemente largo depende de diversos parámetros operativos, pero se selecciona típicamente comparando su longitud, es decir el grosor de la pared externa, con su diámetro o calibre. La relación de longitud con respecto a longitud típica de las aberturas de la boquilla varía entre 3 y 25. En las realizaciones en las figuras 6a a 6l, el calibre típico de las aberturas de la boquilla está entre 0,4 y 2,0 mm. Por consiguiente, una vez que los requisitos de fabricación y presión se han cumplido, la pared del conducto externo debe seleccionarse adicionalmente para ser de al menos 1,4 mm y a menudo superar los 40 mm. Finalmente, la relación del área de sección transversal total de las aberturas de la boquilla en la pared del conducto externo con respecto al área de sección transversal total de las aberturas en la pared del conducto interno es típicamente 1,0, aunque un intervalo de relación expandido entre 0,5 y 2,0 es factible.

La realización mostrada en la figura 6A se ensambló usando los siguientes componentes y especificaciones.

(i) El conducto interno hecho de acero inoxidable y que tiene el diámetro interno de 0,85 cm (0,335 pulgadas), un diámetro externo de 0,95 cm (0,375 pulgadas), y longitud de 90 cm (35,5 pulgadas), y contiene 94 agujeros, teniendo, cada uno, un diámetro interno de 0,076 cm (0,03 pulgadas).

(ii) El tubo externo estaba hecho de una epoxi crio-compatible reforzada con fibras que tiene un diámetro interno igual a 1,9 cm (0,745 pulgadas), un diámetro externo igual a 2,8 cm (1,1 pulgadas) y una longitud igual a 87,6 cm (34,5 pulgadas), y que contiene 83 aberturas de boquilla a lo largo de una tubería recta, teniendo cada una un diámetro interno igual a 0,089 cm (0,035 pulgadas) y separadas entre sí usando un paso de 0,89 cm (0,35 pulgadas).

(iii) La relación entre el diámetro externo del tubo externo y el diámetro externo del tubo interno era de 2,9. La relación de longitud con respecto a diámetro del tubo externo era de 31,4. El grosor de la pared del tubo interno era el 5% de su diámetro externo. El grosor de la pared del tubo externo era de 4,5 mm, y la relación de longitud con respecto a diámetro de cada abertura de la boquilla era de 5. La relación del área superficial de sección transversal total de las aberturas de la boquilla en el conducto externo con respecto al área superficial de sección transversal total de las aberturas en el conducto interno era de 1,2.

Tal como se describirá con más detalle en el presente documento, la variación de tubo dentro de tubo del tubo de pulverización proporciona esa capacidad para ajustar el "perfil de pulverización" del tubo de pulverización. El perfil de pulverización está definido por las descargas de componente líquido colectivas desde cada una de las aberturas de la boquilla. En las figuras 6A a 6l, el caudal de líquido criogénico relativo en cada abertura de la boquilla se representa mediante tuberías de longitud variable. Una tubería más larga significa un mayor caudal y viceversa. En la variación de tubo de pulverización de tubo dentro de tubo, el perfil de pulverización puede manipularse en función de:

(a) la presión del gas de estrangulamiento;

(b) en qué extremo o extremos del espacio anular es introducido el gas de estrangulamiento; y

(c) dónde se introduce el gas de estrangulamiento en ambos extremos del espacio anular, una diferencia de la presión del gas de estrangulamiento introducido en cada extremo.

La relación entre el perfil de pulverización y las variables anteriores se explica con más detalle en relación con las figuras 6A a 6l.

En la figura 6A, la presión del gas de estrangulamiento introducido en ambos extremos del espacio anular es igual a la presión del líquido criogénico introducido en ambos extremos del conducto interno (es decir el estado no estrangulado) y el perfil de pulverización resultante 86a es "plano", tal como se muestra en la figura 6A.

La figura 6B es idéntica a la figura 6A excepto que la presión del gas de estrangulamiento es ligeramente mayor que la presión del líquido criogénico. Como resultado, el perfil de pulverización 86b es "estrechado" a una forma parabólica tal como se muestra en la figura 6B. Esto sugiere que la mayor parte de la evaporación está siendo generada en los extremos del espacio anular y "empujando" al líquido restante hacia el centro de los tubos. Como

resultado, la descarga desde las aberturas de la boquilla ubicadas cerca de los extremos del espacio anular está compuesta en su mayor parte por gas y, por lo tanto, tiene un caudal de líquido relativamente bajo. La descarga a través de las aberturas de la boquilla cerca del centro del tubo de pulverización contiene una mayor fracción de líquido y, por lo tanto, un caudal de líquido más elevado.

5 La figura 6C es idéntica a la figura 6B excepto que la presión del gas se incrementa adicionalmente, estrechando de este modo adicionalmente el perfil de pulverización 86c. A medida que la presión del gas se incrementa adicionalmente al estado completamente estrangulante, la descarga de pulverización es completamente gaseosa y a temperatura ambiente.

10 La figura 6D es idéntica a la figura 6A excepto que el líquido criogénico se introduce solamente en un extremo del conducto interno que, tal como se muestra mediante el perfil de pulverización 86d, es suficiente para garantizar el mismo perfil de pulverización simétrico y uniforme que en la figura 6A.

15 La figura 6E es idéntica a la figura 6A, excepto que el conducto interno 10e está modificado de modo que las aberturas son menos y están todas agrupadas alrededor del centro del tubo. Esto dio como resultado menos controlabilidad del componente líquido de la descarga en comparación con la figura 6A, aunque se consiguió un perfil de pulverización similar 86e.

20 La figura 6F es idéntica a la figura 6A excepto que la boquilla está constituida por una única rendija 60f en el conducto externo lo que, tal como se muestra mediante el perfil de pulverización 86f, no afectó al perfil de pulverización.

25 Las figuras 6G, 6H y 6I muestran el efecto sobre el perfil de pulverización cuando la presión del gas de estrangulamiento introducido en cada extremo se modifica. Tal como se muestra en las figuras 6G y 6H, el efecto de introducir el gas de estrangulamiento en solamente un extremo del espacio anular dio como resultado desplazar la descarga de pulverización respectiva 86g y 86h al extremo opuesto. En la figura 6I, la presión del gas de estrangulamiento para G2 introducido en el lado derecho es mayor que la presión del gas de estrangulamiento para G1 introducido en el lado izquierdo y la descarga de pulverización resultante 86i es empujada al lado de la presión más baja.

30 Las figuras 6G, 6H y 6I plasman la característica de la realización del tubo de pulverización con lo que un perfil de pulverización deseado puede conseguirse proporcionando el gas en las entradas de gas G1 y G2 a las presiones respectivas que producirán el perfil de pulverización deseado. Análogamente, otros perfiles de pulverización deseados pueden conseguirse ajustando simplemente la presión del gas en las entradas de gas G1 y G2. Debe observarse, sin embargo, que las presiones en G1 y G2 necesarias para conseguir un perfil de pulverización específico pueden cambiar debido a cambios en el entorno operativo del tubo de pulverización, tal como la temperatura.

35 La figura 7 muestra una realización de un sistema de pulverización 200 que podría incorporar cualquiera de las realizaciones del tubo de pulverización desveladas en el presente documento. El sistema comprende una barra de pulverización 210, un tanque presurizado 218 que contiene un líquido criogénico (nitrógeno líquido en esta realización), un tanque presurizado 220 que contiene el gas de estrangulamiento (nitrógeno gaseoso a temperatura ambiente en esta realización), un vaporizador 222, un controlador lógico programable ("PLC") 207, un sensor de temperatura 203. La barra de pulverización es un tubo de pulverización de cualquier configuración desvelada en el presente documento que está parcialmente encerrada en una estructura de cubierta o caja sólida o semiporosa. La estructura de cubierta o caja está abierta solamente en la dirección en la que el fluido criogénico es expulsado a chorro de las boquillas y es purgado del interior de la estructura de cubierta o caja con un gas seco a temperatura ambiente para impedir la formación de hielo en la boquilla. El gas de purga puede ser el mismo que el gas de estrangulamiento y proceden del mismo tanque, pero el caudal de gas de purga es típicamente constante durante toda la operación de refrigeración y no está relacionado con los flujos líquidos o gaseosos a través del tubo de pulverización.

40 En esta realización, la barra de pulverización 210 incluye una entrada de líquido criogénico 212 y dos entradas de gas de estrangulamiento 214, 216. Una tubería de suministro de líquido criogénico 224 suministra nitrógeno líquido desde el tanque 218 a la entrada de líquido criogénico 212. Una válvula solenoide 226 enciende y apaga el suministro de nitrógeno líquido.

45 Una tubería de suministro de gas 228 suministra gas de estrangulamiento desde el tanque 220 a la barra de pulverización 210. La tubería de suministro de gas 228 se divide en dos ramas 230, 232, cada una de las cuales está conectada a una de las entradas de gas de estrangulamiento 214, 216. Una válvula ajustable 234, 236 está ubicada en cada una de las ramas 230, 232 para permitir el ajuste de la presión y el caudal del gas aguas abajo en cada una de las ramas 230, 232. Opcionalmente, una válvula solenoide (no se muestra) podría estar provista en serie con cada una de las válvulas ajustables 234, 236 para permitir que el flujo de gas se encienda y se apague sin tener que reajustar las válvulas ajustables 234, 236. Cuando se accionan, los chorros de estrangulamiento de gas 230, 232 controlan (incrementan, reducen o mantienen) el caudal de líquido, la función de tratamiento a chorro, y el

patrón de pulverización de líquido, tal como se ha descrito anteriormente.

Una tubería de purga de gas 238 está conectada a la tubería de suministro 228 aguas arriba de las ramas 230, 232. La tubería de purga de gas 238 incluye una válvula solenoide 240 y dos ramas 242, 244 que están ubicadas aguas abajo de la válvula solenoide 240 y cada una se conecta a una de las entradas de gas 214, 216. Cuando es accionada, la tubería de purga de gas 238, y sus ramas 242 y 244 suministran a la barra de pulverización 210 gas anticongelante que impide la congelación de las boquillas de pulverización de fluido criogénico.

En la figura 7, la barra de pulverización 210 está siendo usada para refrigerar un sustrato cilíndrico 201 (por ejemplo, acero) que está siendo calentado por una pistola de pulverización en polvo 205. A medida que la pistola de pulverización 205 se mueve a lo largo de la superficie del sustrato 201, la parte del sustrato sobre la cual está actuando la pistola de pulverización 205 se vuelve más caliente que otras zonas del sustrato 201. En esta realización, un sensor 203 proporciona lecturas de temperatura a lo largo de la superficie del sustrato 201, que son leídas por el PLC 207. El PLC 207, a su vez, ajusta las válvulas ajustables 234, 236 para generar un perfil de pulverización de fluido criogénico, 209, que proporcionará refrigeración adicional en la zona más caliente del sustrato 201 y menos refrigeración en otras zonas. El PLC 207 cambiará el perfil de pulverización a medida que la pistola de pulverización 205 se mueve a lo largo del sustrato 201.

Como alternativa, el PLC 207 podría ajustar el perfil de pulverización en respuesta a señales procedentes de un sensor de posición (no se muestra) que rastrea la posición de la pistola de pulverización 205 o el PLC 207 podría estar pre-programado para seguir una secuencia temporizada de perfiles de pulverización que están sincronizados con el movimiento de la pistola de pulverización 205.

El sustrato cilíndrico 201 puede, además, ser un rodillo u otra herramienta de formación usada para laminar una tira metálica o no metálica, perfilar dicha tira y realizar operaciones de formación y conformación similares, continuas. El rodillo o la herramienta de formación se calienta durante el funcionamiento y recoge desechos particulados no deseados en su superficie. La barra de pulverización 210 que descarga el fluido criogénico en un perfil específico 209 puede usarse para limpiar por chorro los desechos de la superficie del sustrato y/o para refrigerar la superficie. Para la limpieza, puede usarse uno cualquiera de los patrones de pulverización desde las boquillas mostradas en las figuras 6A a 6I. Para algunas realizaciones para refrigeración, se prefiere que el fluido criogénico se aplique desde la boquilla de esta invención intensificando la pulverización del fluido desde la parte central de la boquilla y/o minimizando el flujo de fluido criogénico desde los extremos de la boquilla, tal como se muestra en la figura 6B o 6C al sustrato o rodillo a refrigerar. Durante la laminación y otras operaciones de formación, la parte central del rodillo u otro sustrato es habitualmente la más caliente y los extremos del rodillo u otro sustrato los más fríos.

La figura 8 muestra un tubo de pulverización que comprende un conducto que está enrollado en una forma circular que rodea al sustrato. En esta realización, el perfil de pulverización 88 puede estar controlado para rastrear el punto caliente giratorio 15A que se genera cuando la pistola de pulverización 13A se mueve en círculos o se mueve parcialmente en círculos alrededor de la parte del sustrato 12A en la dirección 14A.

Con referencia a la figura 9, se muestra un aparato de pulverización de estilo tubo 110, que es similar al tubo de pulverización mostrado en la figura 5 en que el líquido criogénico se descarga a través de las aberturas 160 formadas a lo largo de la longitud de un conducto 112. El líquido criogénico (preferentemente nitrógeno líquido) es suministrado al tubo de pulverización 110 mediante un tubo de suministro convencional 114, a continuación pasa a través de un codo de 90 grados 116 y al interior de una zona de contacto 120 dentro del conducto 112. El gas de estrangulamiento es suministrado por un tubo de suministro 122 que tiene un codo de 90 grados 124 y un tubo de inyección 126 en su extremo terminal 128. El tubo de inyección 126 se extiende pasado el codo 116 del tubo de suministro de líquido criogénico 114 y al interior de la zona de contacto 120, lo que mejora el contacto entre el gas de estrangulamiento y el fluido criogénico.

Esta invención no está limitada a las realizaciones mostradas. Pueden usarse boquillas que comprenden múltiples chorros y tuberías de suministro de gas y de líquido, y pueden realizarse otras modificaciones a las realizaciones mostradas, que siguen estando dentro del alcance de esta invención definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para controlar el caudal de un líquido criogénico a través de una boquilla, comprendiendo el aparato al menos un dispositivo de pulverización criogénica teniendo cada uno:

- 5 a) una zona de contacto (31c; 32; 33; 35; 36; 120) para poner en contacto el líquido criogénico (L) y un gas de estrangulamiento (G) y formar un fluido resultante de los mismos;
- b) al menos una entrada de líquido criogénico en comunicación fluida con la zona de contacto para introducir el líquido criogénico a una primera presión y una primera temperatura en la zona de contacto;
- 10 c) al menos una entrada de gas en comunicación fluida con la zona de contacto para introducir el gas a una segunda presión y una segunda temperatura en la zona de contacto, no siendo la segunda presión inferior a la primera presión y teniendo el gas un punto de ebullición que no es mayor que la primera temperatura;
- d) estando la zona de contacto en comunicación fluida con al menos una boquilla (N; 60; 60f: 160) para descargar el fluido resultante a través de la boquilla; y
- 15 e) un control del suministro de gas (207, 234, 236) en comunicación fluida con cada una de la al menos una entrada de gas;

donde

- 20 f) se proporcionan medios para suministrar el gas a la segunda temperatura que es mayor que la primera temperatura; y
- g) el control del suministro de gas está adaptado para permitir el ajuste de al menos una de la temperatura y la presión del gas suministrado a cada una de la al menos una entrada de gas para conseguir un primer caudal deseado de líquido criogénico a través de la al menos una boquilla cuando se proporciona una fuente de líquido criogénico a una primera presión a cada una de la al menos una entrada de líquido criogénico.
- 25

2. El aparato de la reivindicación 1, donde el control del suministro de gas está adaptado para permitir el ajuste de la presión del gas suministrado a cada una de la al menos una entrada de gas para conseguir el primer caudal deseado de líquido criogénico a través de la al menos una boquilla cuando se proporciona la fuente de líquido criogénico a la primera presión a cada una de la al menos una entrada de líquido criogénico.

3. El aparato de la reivindicación 1, donde el control del suministro de gas comprende al menos una válvula ajustable (234, 236), siendo cada una de la al menos una válvula ajustable capaz de ajustar la presión del gas suministrado a una de la al menos una entrada de gas para que sea mayor que la primera presión.

4. El aparato de la reivindicación 1, donde la al menos una boquilla comprende una pluralidad de boquillas, teniendo cada una de la pluralidad de boquillas un caudal de líquido criogénico respectivo, definiendo los caudales de líquido criogénico para cada una de la pluralidad de boquillas colectivamente un perfil de pulverización (85; 86; 88), donde el control del suministro de gas está adaptado para permitir el ajuste de al menos una de la temperatura y la presión del gas suministrado a cada una de la al menos una entrada de gas para conseguir un primer perfil de pulverización deseado cuando se proporciona una fuente de líquido criogénico a la primera presión a cada una de la al menos una entrada de líquido criogénico.

5. El aparato de la reivindicación 4, donde el control del suministro de gas comprende un controlador (207) que está programado para cambiar el perfil de pulverización de acuerdo con un perfil de refrigeración preprogramado.

6. El aparato de la reivindicación 4, donde el control del suministro de gas comprende un controlador (207) que está programado para cambiar el perfil de pulverización en respuesta a señales recibidas de un sensor (203), donde, en realizaciones preferidas, el sensor comprende un sensor de temperatura que está adaptado para medir la temperatura de al menos una parte de un sustrato (201) que está siendo refrigerado por el al menos un dispositivo de pulverización criogénica y/o comprende un sensor de posición que rastrea la posición de una fuente de calor que actúa sobre al menos una parte de un sustrato que está siendo refrigerado por el al menos un dispositivo de pulverización criogénica.

7. El aparato de la reivindicación 1 y de acuerdo con al menos una de las siguientes características:

- (i) el al menos un dispositivo de pulverización criogénica comprende una pluralidad de dispositivos de pulverización criogénica (H1 - H5) y el controlador del suministro de gas comprende una pluralidad de válvulas ajustables (Gv1a/Gv1b - Gv5a/Gv5b), estando cada una de la pluralidad de válvulas ajustables en comunicación fluida con cada una de la al menos una entrada de gas;
- (ii) la al menos una entrada de gas comprende una primera entrada de gas y una segunda entrada de gas.

8. El aparato de la reivindicación 1 que comprende:

- un conducto externo (20);
- y un conducto interno (10a) situado dentro del conducto externo y que define un espacio anular (36) entre el

conductor externo y el conductor interno, comprendiendo la zona de contacto el espacio anular, teniendo el conductor interno al menos una abertura (40) situada para permitir que el líquido criogénico fluya radialmente desde el conductor interno al interior del espacio anular; estando la al menos una boquilla (60) formada sobre el conductor externo, estando cada una de la al menos una boquilla en comunicación fluida con el espacio anular; estando la al menos una entrada de gas en comunicación fluida con el conductor externo y estando adaptada para estar conectada a un suministro de gas presurizado; y estando la al menos una entrada de líquido criogénico en comunicación fluida con el conductor interno, estando la al menos una entrada de líquido criogénico adaptada para estar conectada a un suministro de líquido criogénico.

9. El aparato de la reivindicación 8, donde el conductor externo incluye un primer extremo y un segundo extremo que es distal al primer extremo, estando la al menos una entrada de gas ubicada en el primer extremo y estando una entrada de gas adicional ubicada en el segundo extremo, estando la entrada de gas adicional adaptada para estar conectada a un suministro de gas presurizado.

10. El aparato de la reivindicación 1, donde el aparato comprende un conductor (31c; 32; 33) que tiene un extremo aguas arriba y un extremo aguas abajo, la boquilla está en comunicación de flujo frontal con el extremo aguas abajo, la entrada de gas está adaptada para estar conectada a una tubería de suministro de gas presurizado, teniendo la entrada de gas un extremo de descarga en comunicación de flujo frontal con el extremo aguas arriba de la boquilla, y la entrada de líquido está adaptada para conectarse a una tubería de suministro de líquido criogénico, teniendo la entrada de líquido un extremo de salida en comunicación de flujo a 45 - 135 grados con el extremo aguas arriba.

11. El aparato de la reivindicación 10, donde el conductor tiene un diámetro mínimo y una longitud entre los extremos aguas arriba y aguas abajo y la longitud está entre 1,0 y 40 veces el diámetro mínimo.

12. Un método que comprende:

- a) suministrar un líquido criogénico (L) a una primera presión y una primera temperatura a una zona de contacto (31c; 32; 33; 35; 36; 120) que está en comunicación fluida con al menos una boquilla (N; 60; 60f: 160);
- b) suministrar un gas (G) a una segunda presión y una segunda temperatura a la zona de contacto, no siendo la segunda presión inferior a la primera presión, siendo la segunda temperatura mayor que la primera temperatura, y teniendo el gas un punto de ebullición que no es mayor que la primera temperatura;
- c) poner en contacto el líquido y el gas en la zona de contacto para formar un fluido resultante;

donde

- d) el fluido resultante es descargado a través de cada una de la al menos una boquilla (N) mientras se sigue introduciendo el líquido criogénico y el gas en la zona de contacto;
- e) y el gas suministrado a la zona de contacto es regulado para conseguir un caudal deseado de líquido criogénico a través de cada una de la al menos una boquilla.

13. El método de la reivindicación 12, donde regular el gas suministrado a la zona de contacto comprende regular la segunda presión para conseguir el caudal deseado de líquido criogénico a través de cada una de la al menos una boquilla.

14. El método de la reivindicación 12, donde regular la segunda presión comprende regular la segunda presión para que sea mayor de 1 a 100 veces la primera presión para conseguir el caudal deseado de líquido criogénico a través de cada una de la al menos una boquilla.

15. El método de la reivindicación 12, donde suministrar un gas a una segunda presión y una segunda temperatura a la zona de contacto comprende además suministrar el gas en una dirección que choca con el líquido criogénico que está siendo suministrado a la zona de contacto.

16. El método de la reivindicación 15, donde suministrar el gas en una dirección que choca con el líquido criogénico que está siendo suministrado a la zona de contacto comprende suministrar el gas en una dirección que choca con el líquido criogénico que está siendo suministrado a la zona de contacto a un ángulo entre 45 y 135 grados.

17. El método de la reivindicación 12, donde la etapa de suministro de un líquido criogénico comprende además suministrar un líquido criogénico a una primera presión y una primera temperatura a un conductor interno que tiene al menos una abertura en comunicación fluida con la zona de contacto, estando el conductor interno ubicado dentro de un conductor externo y estando la zona de contacto ubicada entre los conductos interno y externo.

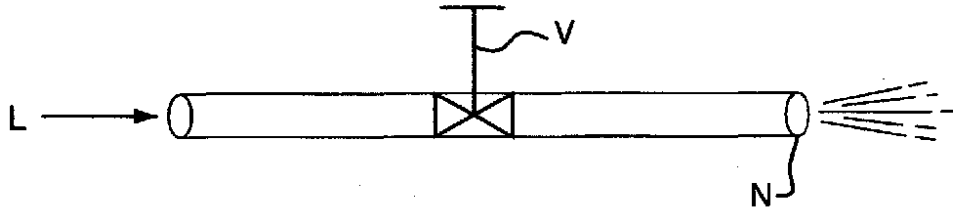


FIG. 1A
(Técnica anterior)

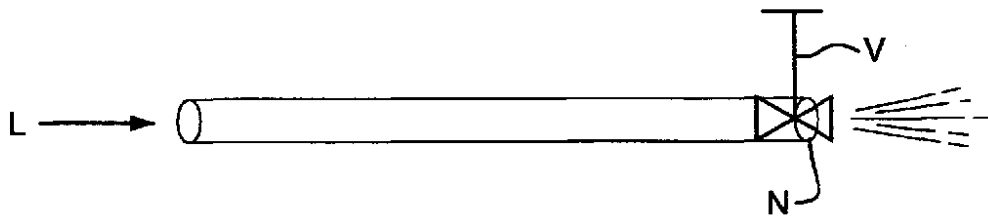


FIG. 1B
(Técnica anterior)

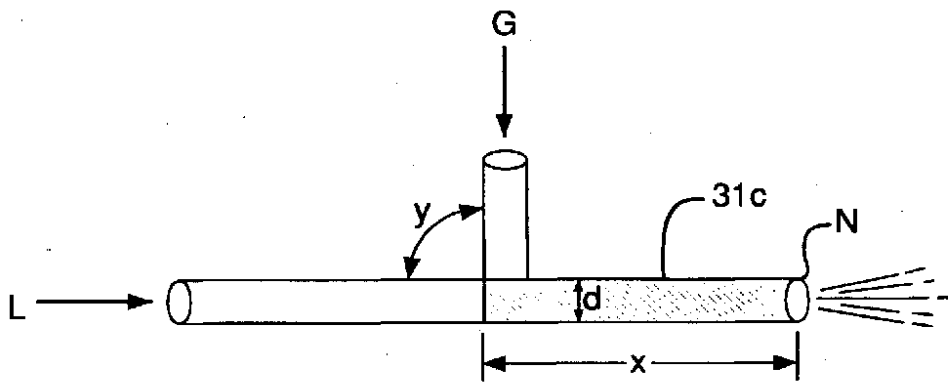


FIG. 1C

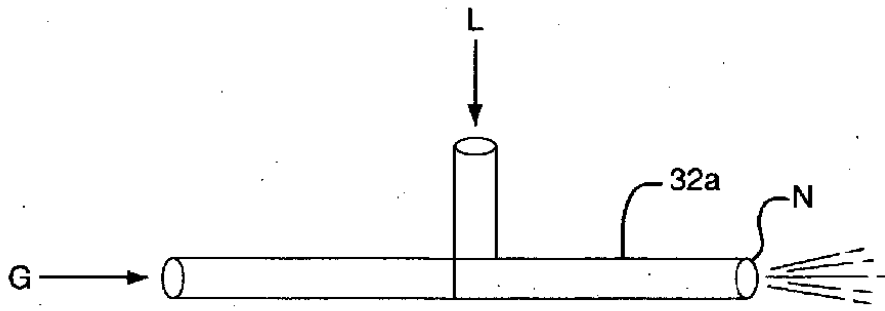


FIG. 2A

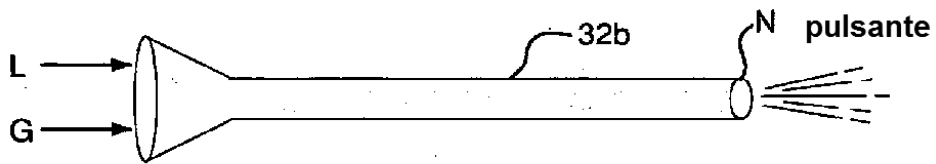


FIG. 2B

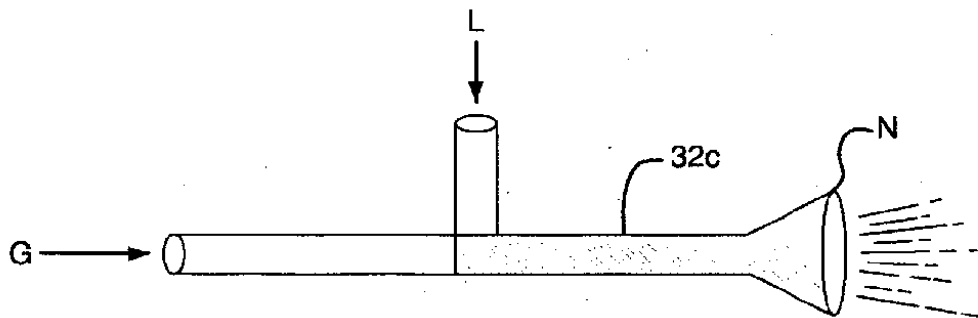


FIG. 2C

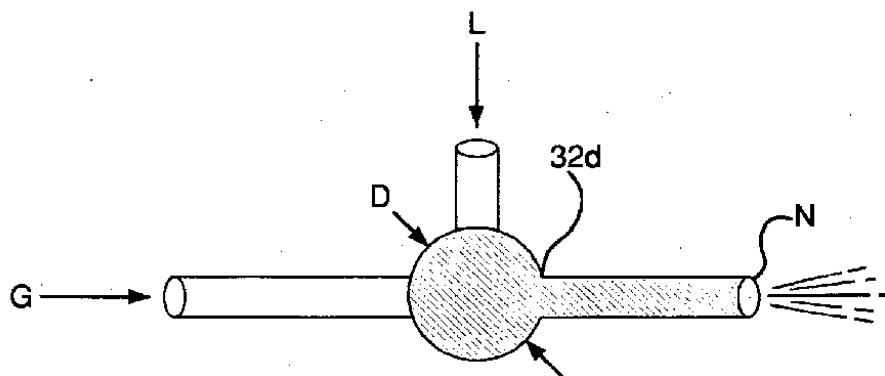


FIG. 2D

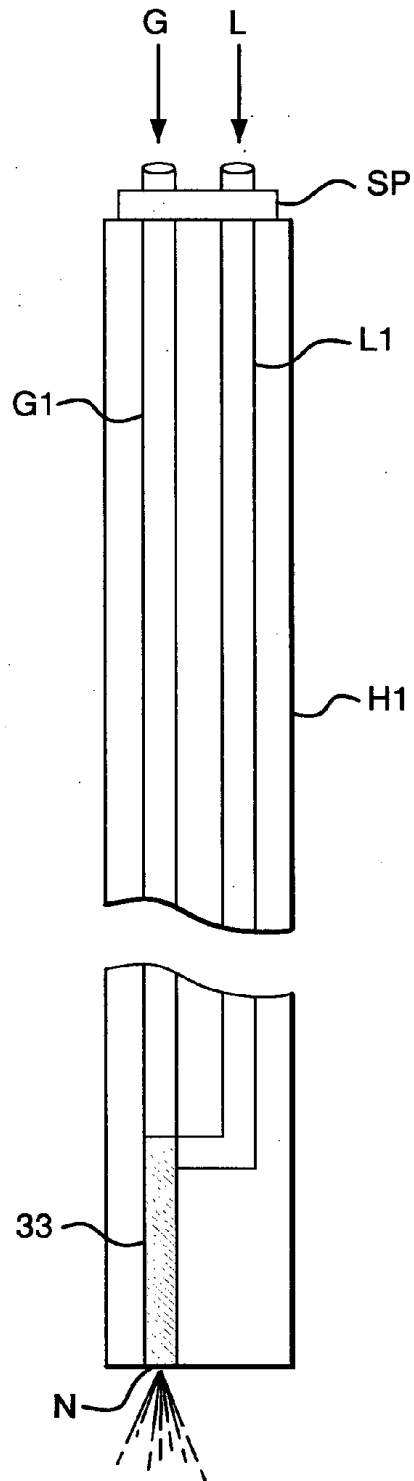


FIG. 3

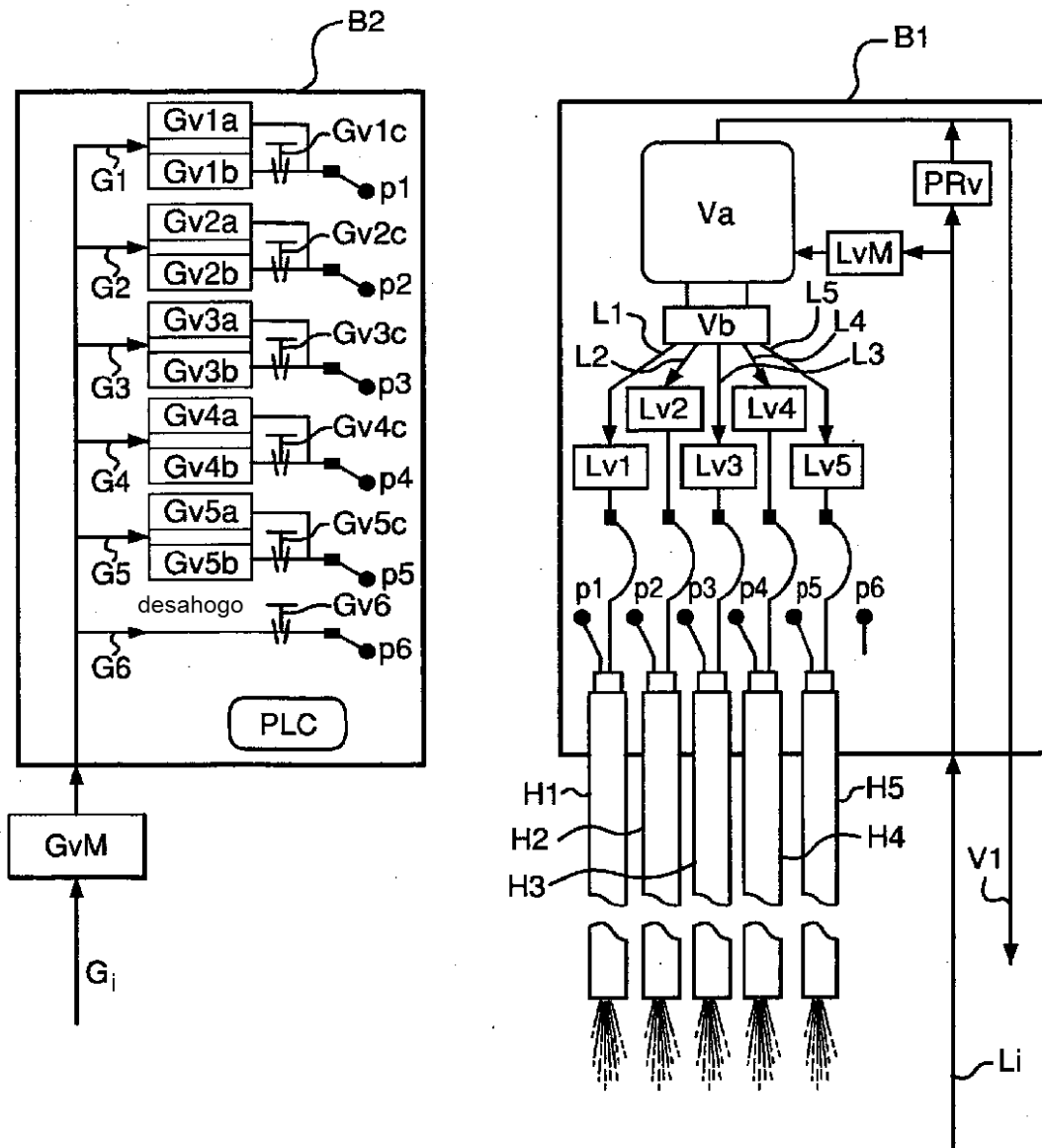


FIG. 4

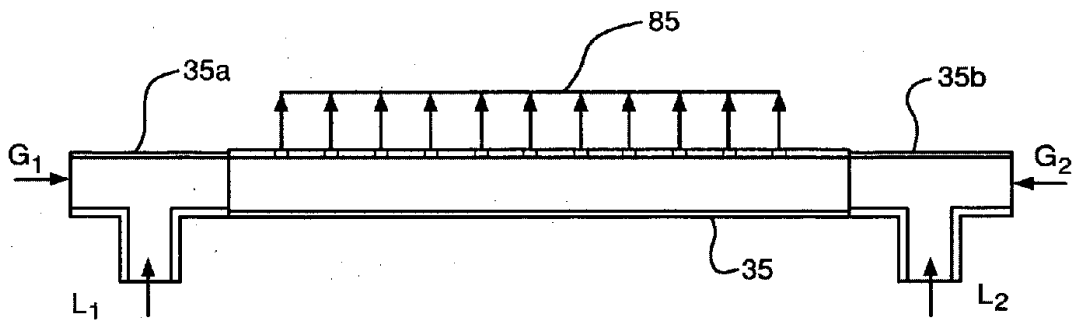


FIG. 5

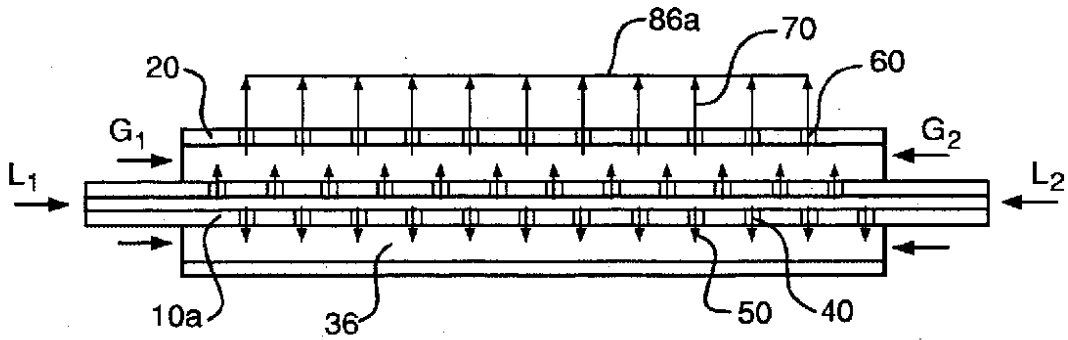


FIG. 6A

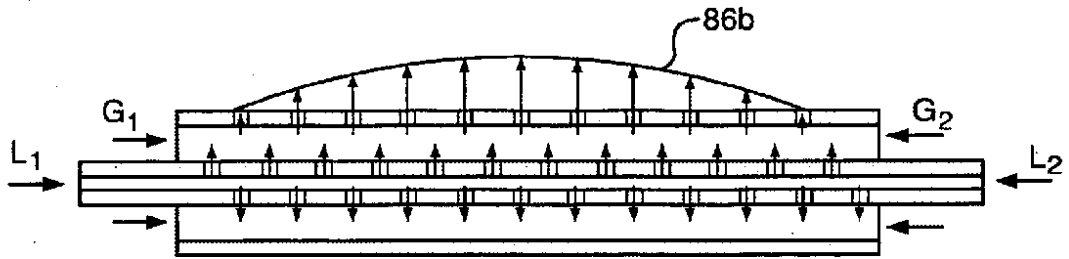


FIG. 6B

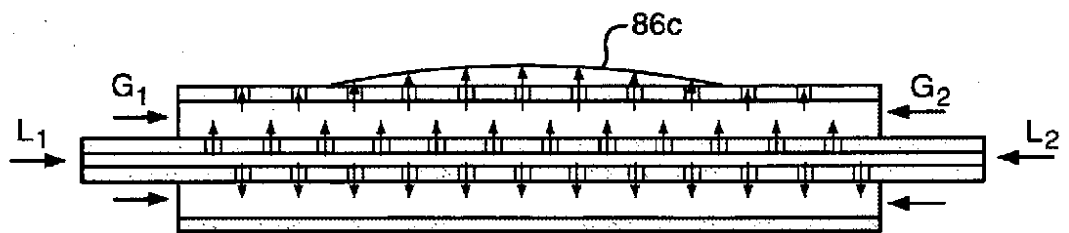


FIG. 6C

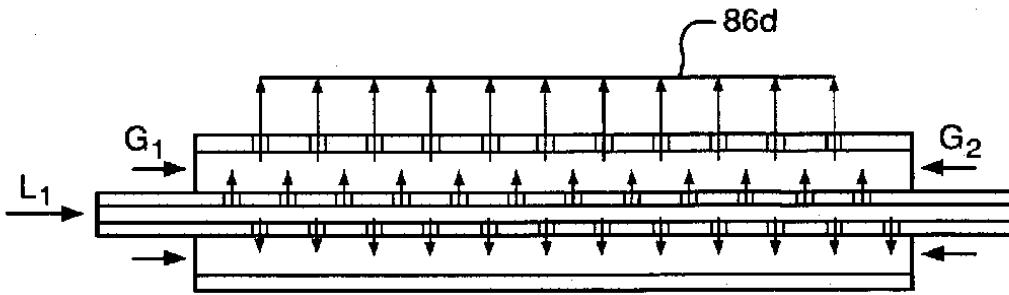


FIG. 6D

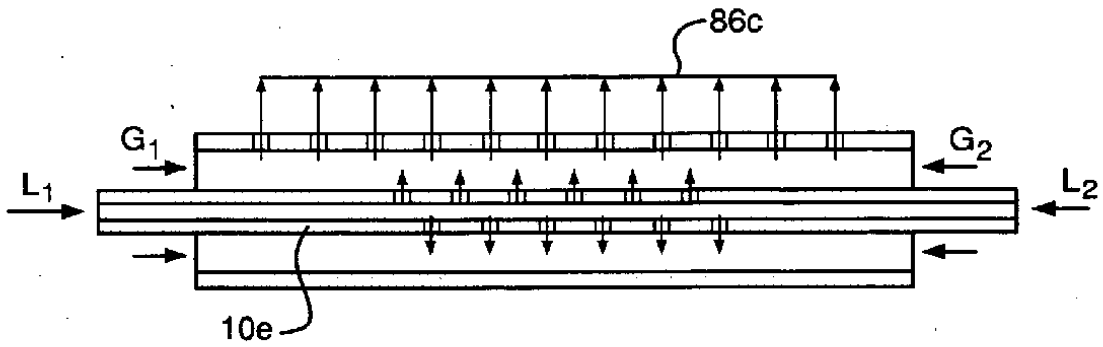


FIG. 6E

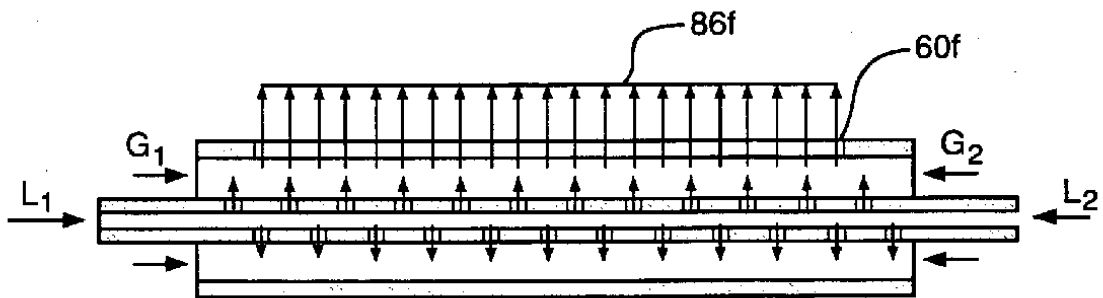


FIG. 6F

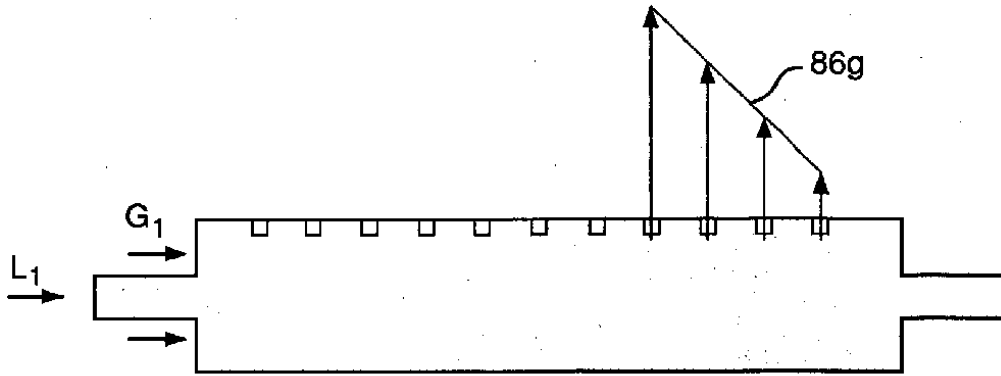


FIG. 6G

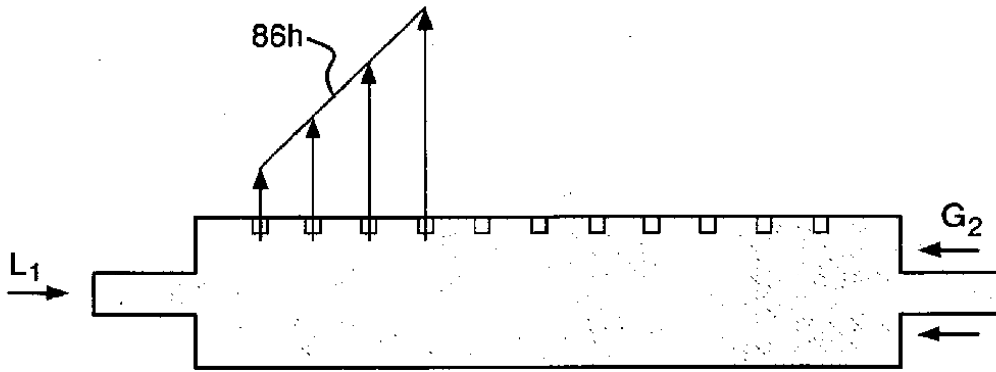


FIG. 6H

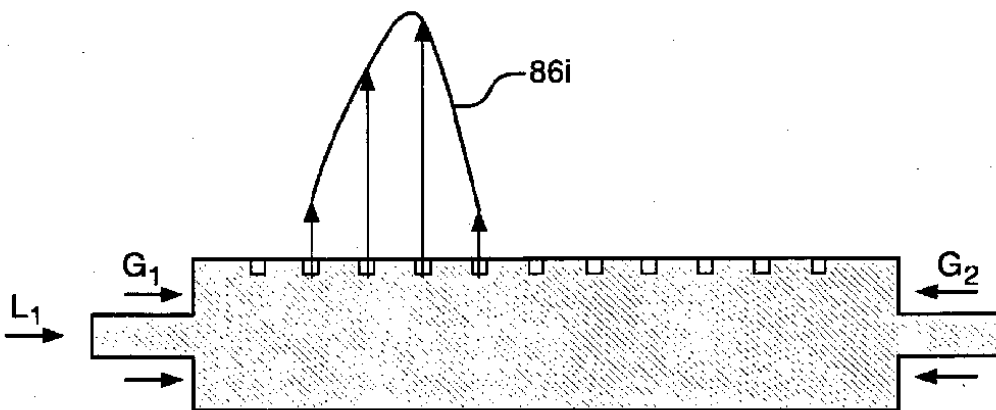


FIG. 6I

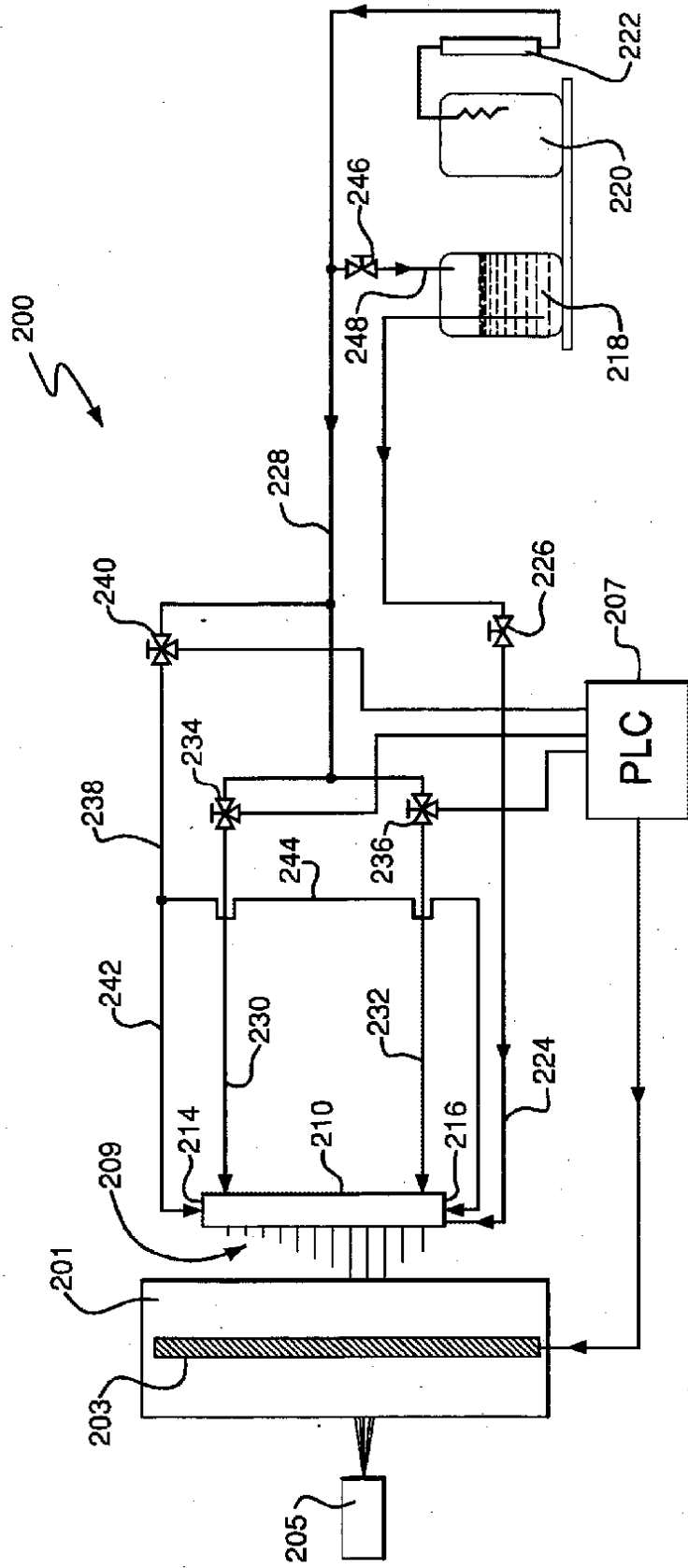


FIG. 7

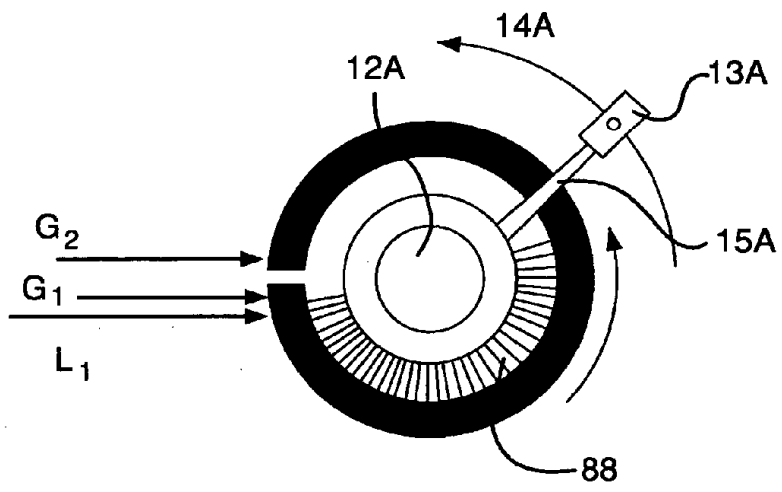


FIG. 8

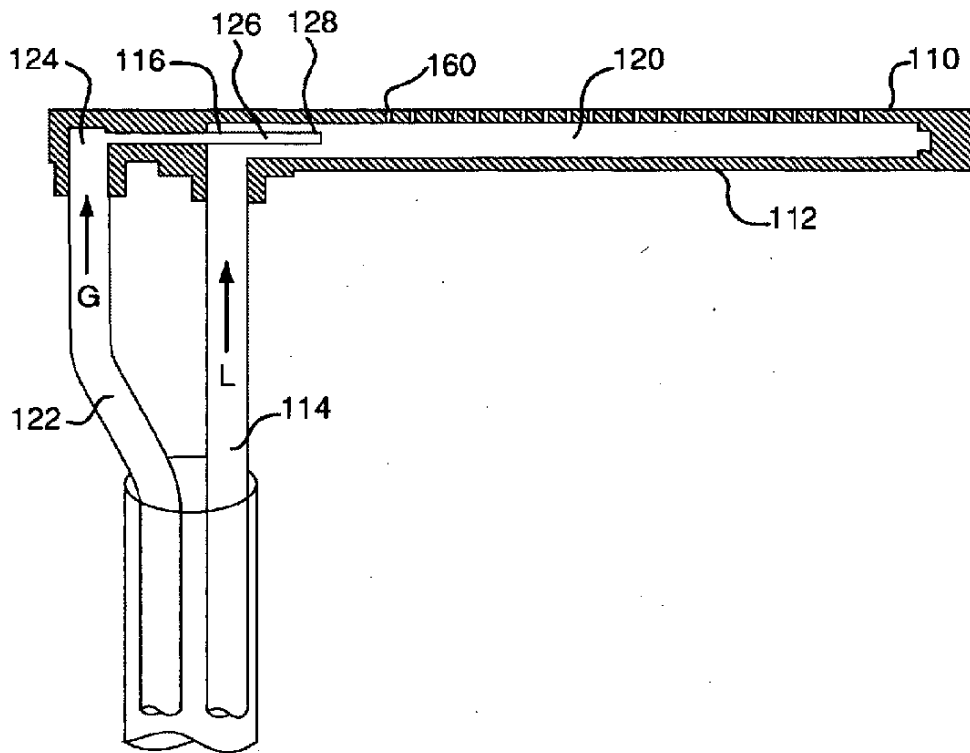


FIG. 9