

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 151**

51 Int. Cl.:

B05B 15/12	(2006.01)	B05D 3/12	(2006.01)
B05B 5/03	(2006.01)	C23C 24/04	(2006.01)
B05B 5/035	(2006.01)		
B05B 5/043	(2006.01)		
B05B 5/08	(2006.01)		
B05B 7/14	(2006.01)		
B05B 13/04	(2006.01)		
B05B 17/06	(2006.01)		
B05B 1/08	(2006.01)		
B05D 1/06	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2014 E 14192518 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2016 EP 2871002**

54 Título: **Sistema integrado de chorro de fluido para el decapado, preparación y recubrimiento de una pieza**

30

Prioridad:

08.11.2013 US 201361901676 P

45

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

30.05.2016

73

Titular/es:

**VLN ADVANCED TECHNOLOGIES INC. (100.0%)
1166 Rainbow Steet
Ottawa, Ontario K1J 6X7, CA**

72

Inventor/es:

**VIJAY, MOHAN;
XU, MEISHENG;
PANARELLA, EMILIO;
YAN, WENZHUO;
TIEU, ANDREW y
DANIELS, BRUCE**

74

Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 572 151 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

Sistema integrado de chorro de fluido para el decapado, preparación y recubrimiento de una pieza

Campo de la técnica

5 La presente invención se refiere en general a chorros de fluidos y, en particular, a técnicas para el decapado, preparación y recubrimiento de una pieza utilizando un chorro de fluido continuo o pulsado.

Antecedentes

10 De manera convencional, el recubrimiento de una pieza es un proceso de dos etapas o de tres etapas, dependiendo de si la pieza a recubrir es nueva o ya estaba en servicio. Si la pieza es nueva, en la primera etapa, la superficie a recubrir es preparada usando granallado. En la segunda etapa, después de la preparación, se aplica el recubrimiento a la superficie. Si la pieza ya estaba en servicio, entonces el proceso de tres etapas consiste en el decapado del recubrimiento existente, seguido de la preparación, y la aplicación después del nuevo recubrimiento. Se conocen muchas diferentes tecnologías de recubrimiento y de galvanizado. Lo que sigue es un resumen de algunas de las principales tecnologías actualmente en uso hoy en día.

Cromado

15 El cromado ha sido el pilar para aplicaciones con estrés intenso, tal como el tren de aterrizaje de una aeronave. Otras aplicaciones incluyen condiciones de desgaste extremas, como en los ejes hidráulicos de vehículos pesados de movimiento de tierras. Dispone de las siguientes propiedades

(i) Dureza: de 65 a 70 Rc (850-1000 Hv), el cromado duro es más duro que la mayoría de los abrasivos industriales. En combinación con la dureza inherente, puede soportar un contacto de alto estrés.

20 (ii) Adhesión al sustrato: Con una adherencia mayor que 10 Kpsi 68947,57 Kpa, los recubrimientos de cromo duro pueden soportar grandes tensiones sin separarse del sustrato.

(iii) El cromo se puede aplicar a una amplia variedad de sustratos.

(iv) El cromado de respuesta: responde bien al rectificado y al pulido.

25 (v) El cromo se puede aplicar a sustratos que tienen diferentes geometrías: porque se aplica a través de galvanizado, el cromo puede proporcionar un recubrimiento de alta calidad en la mayoría de geometrías complejas, a diferencia de varias de las tecnologías alternativas.

(vi) Resistente a la corrosión: el recubrimiento es estable en presencia de muchas sustancias corrosivas (ácidos orgánicos, etc.).

30 (vii) Resistente al desgaste en deslizamiento de metal sobre no metal: El cromado es casi 100 veces más resistente al desgaste en situaciones con dos superficies metálicas secas deslizando una contra la otra, en comparación con los aceros nitrurados.

(viii) Resistente a la abrasión: Incluso bajo tensiones de contacto altas, el cromado muestra una baja tasa de desgaste contra los materiales abrasivos (> 100 veces más que el acero templado).

(ix) Produce una superficie de baja fricción: Ofrece una superficie lisa de baja fricción.

35 (x): Compatible con lubricantes: El cromo agrietado, con pequeñas grietas en la superficie, retiene lubricantes que mejoran la vida útil y la lubricidad en aplicaciones exigentes.

El recubrimiento electrolítico se realiza el mismo cargando una corriente continua de baja tensión a través del baño. La pieza a galvanizar es normalmente el cátodo y el ánodo es normalmente una barra de aleación de plomo-antimonio o plomo-estaño.

40 Para el cromado duro, la solución de recubrimiento electrolítico contiene iones de cromo a partir de ácido crómico así como ácido sulfúrico, para mejorar la conductividad del baño. A medida que suministra electricidad a la solución, la descomposición electrolítica del agua en el baño libera gas hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo. El resultado del proceso de recubrimiento electrolítico es la deposición de cromo metálico sobre el sustrato. Parámetros de proceso típicos para el cromado duro son: ácido crómico: 250 g/l. (o 400 para concentrado), ácido sulfúrico: 2,5 g/l. (o 4), temperatura: 55°C (o 50°) y tasa de deposición: 25-Φm/h. (o 13).

45 Las emisiones tóxicas del cromado se derivan de la propia etapa de recubrimiento electrolítico y de la tapa de anodizado con ácido crómico. En la etapa de recubrimiento electrolítico, son generados vapores del electrolito (ácido crómico en su mayoría) por el ascenso de las burbujas de hidrógeno y oxígeno a través del baño. Las tasas de emisión se ven afectadas por la temperatura del baño, la concentración de químicos en el baño, el área de superficie

sometida al recubrimiento electrolítico, y la corriente de recubrimiento electrolítico. Dado que el recubrimiento duro consume una corriente más alta, se genera más vapor de ácido crómico. Las emisiones se controlan mediante la utilización de capuchas y más recientemente utilizando depuradores, precipitadores electrostáticos y filtros de carbón activo.

- 5 El cromo hexavalente (CrO_3) ha sido conocido durante mucho tiempo por ser peligroso para los trabajadores en las instalaciones de cromado, causando muchos problemas de salud (tabique nasal irritado, dermatitis, etc.). Otra dificultad con el cromado es el polvo de cromo elemental resultante de la molienda, que se ha demostrado que es cancerígeno. En consecuencia, la OSHA (Administración de Salud y Seguridad Ocupacional) ha propuesto bajar el límite de exposición permisible (PEL) para los trabajadores de $52 \text{ } \Phi\text{g}/\text{m}^3$ a $1 \text{ } \Phi\text{g}/\text{m}^3$ como un promedio ponderado de tiempo de 8 horas, lo que aumentará significativamente el costo del cromado (puede aplicarse también al niquelado).

Hay una serie de desventajas del cromado.

- 15 En primer lugar, las emisiones tóxicas en el cromado, que surgen desde la propia etapa de recubrimiento electrolítico, y desde la etapa de anodización con ácido crómico. En la etapa de recubrimiento electrolítico, son generados vapores del electrolito (ácido crómico en su mayoría) por el ascenso de burbujas de hidrógeno y oxígeno a través del baño. Las tasas de emisión se ven afectadas por la temperatura del baño, la concentración de los productos químicos en el baño, el área superficial sometida al recubrimiento electrolítico, y la corriente del recubrimiento electrolítico. Como el recubrimiento duro consume una corriente más alta, se genera más vapor de ácido crómico. Las emisiones se controlan mediante el uso de capuchas y más recientemente utilizando depuradores, precipitadores electrostáticos y filtros de carbón activo

- 20 En segundo lugar, el cromo hexavalente (CrO_3) durante mucho tiempo ha sido conocido por ser peligroso para los trabajadores en las instalaciones de cromado, causando muchos problemas de salud (tabique nasal irritado, dermatitis, etc.). Otra dificultad con el cromado es el polvo de cromo elemental resultante de la molienda, que se ha demostrado que es cancerígeno. En consecuencia, la OSHA (Administración de Salud y Seguridad Ocupacional) ha propuesto bajar el límite de exposición permisible (PEL) para los trabajadores de $52 \text{ } \Phi\text{g}/\text{m}^3$ a $1 \text{ } \Phi\text{g}/\text{m}^3$ como un promedio ponderado de tiempo de 8 horas, lo que aumentará significativamente el costo del cromado (puede aplicarse también al niquelado).

- 30 En tercer lugar, el cromado ofrece propiedades que son en general buenas, pero casi nunca excelentes. El material ofrece dureza y resistencia a la corrosión limitada. Sufre de picaduras, desconchados y otras fallas bajo condiciones de estrés. Los usuarios normalmente fueron conscientes de que para aplicaciones específicas, puede haber sustitutos que se comporten mejor que el cromado a un coste comparable o incluso inferior. Para un número de aplicaciones específicas, las tecnologías alternativas ya han demostrado su valor. A largo plazo, el dominio del cromo en muchas aplicaciones ha disminuido.

- 35 En cuarto lugar, el cromo duro tiene un alto estrés intrínseco que conduce a un inconveniente de fatiga significativo. Los problemas de fatiga en las aeronaves son serias preocupaciones para los componentes estructurales y para las hidráulicas críticas. En consecuencia, estas piezas son tratadas rutinariamente con granallado para eliminar el estrés.

- 40 En quinto lugar, el cromado también causa la fisuración por hidrógeno en sustratos de acero de alta resistencia utilizados en los trenes de aterrizaje, etc. Por este motivo, estas piezas deben ser tratadas térmicamente después del recubrimiento electrolítico, lo que se suma al coste total y el tiempo de procesamiento. También sufre picaduras en ambientes húmedos y corrosivos. También es difícil la protección en el cromado.

- En sexto lugar, la fragilidad intrínseca del cromo duro provoca micro-grietas, que no son adecuadas cuando se necesita resistencia a la corrosión, lo que requiere capas inferiores de níquel. Además, la tasa de deposición es lenta (de 4 a 8 micrones / h en comparación con 30 micrones para el niquelado). Además, el proceso de recubrimiento carece de uniformidad, lo que requiere un mecanizado de seguimiento para tolerancias dimensionales.

- 45 En séptimo lugar, piezas de aviones que están cromadas están expuestas a graves tensiones de corrosión y desgaste durante el servicio. Debido a que estas piezas también tienden a ser caras, exigen diversas restauraciones durante sus vidas útiles. El cromado también se utiliza para restaurar las tolerancias dimensionales de las piezas que no estaban originalmente cromadas. El cromado se utiliza tanto en aviones comerciales como militares, que se fabrican de diversas maneras.

- 50 Actuadores hidráulicos y trenes de aterrizaje son importantes aplicaciones del cromado en aeronaves. Estos son complejos y caros y generalmente están hechos de aceros de alta resistencia. Varios actuadores se utilizan para levantar, bajar y manipular el tren de aterrizaje. La mayoría de las aeronaves tendrá entre 25 y 100 actuadores.

- 55 Los trenes de aterrizaje son grandes componentes que dan servicio durante breves períodos de tiempo, pero que deben soportar una enorme presión durante el aterrizaje y, en ocasiones, durante el despegue. Un cilindro interior del tren de aterrizaje puede tener de 3 pulgadas (76,2 mm.) a 8 pulgadas (203,2 mm.) de largo y de dos pulgadas (50,8 mm.) a 6 pulgadas (152,4 mm.) de diámetro. El cilindro interior es a menudo una sola pieza mecanizada que incluye pistones y muñones de cojinetes de ruedas. El pistón está recubierto electrolíticamente sobre la mayor parte

de su longitud, y los cojinetes están recubiertos electrolíticamente en las áreas del muñón del cojinete. El cromado tiene un espesor típicamente de 0,003 in. (0,0762 mm.). Todos los trenes de aterrizaje están cromados para resistir al desgaste y la corrosión. Las aeronaves deben tener al menos tres trenes de aterrizaje, mientras que algunas de las aerolíneas más grandes (por ejemplo, Boeing 747) pueden tener cuatro o cinco.

5 Alternativas al cromado

10 El cromo trivalente es mucho menos peligroso que el cromo hexavalente, pero también permitirá el galvanizado. Las mejoras en los procesos y los avances tecnológicos han cambiado el cromo trivalente de ser un sustituto inferior a un serio contendiente con propiedades que rivalizan con las del hexavalente. También permite el 100% de reciclaje. Sin embargo, sigue siendo caro, y es menos tolerante a las impurezas. Se utiliza profusamente en la industria del automóvil (donde hay mucho menos carga regulatoria). En cuanto a la protección del medio ambiente, las normas son las mismas que para el hexavalente.

Pulverización térmica

15 La pulverización térmica se refiere a por lo menos 14 diferentes tipos de procesos de recubrimiento que utilizan energía térmica y cinética para acelerar las partículas de polvo o alambre sobre un sustrato. Las formas de pulverización térmica difieren mucho en cómo usan la energía térmica y cinética, lo cual a su vez produce una variación significativa en los recubrimientos suministrados.

20 Los diversos tipos de pulverización térmica se organizan en las siguientes familias: pulverización por llama, pulverización de plasma y por arco eléctrico. Cada técnica de pulverización térmica implica básicamente el mismo proceso. En primer lugar, la materia prima se alimenta en una fuente de calor, es decir, la pistola de pulverización térmica, donde se funde y luego se sopla sobre el sustrato en forma de pequeñas gotas fundidas. Las pequeñas gotas impactan en la superficie del sustrato donde se deforman alrededor de las características en la superficie rugosa y solidifican en forma de disco.

25 La pulverización térmica ofrece una serie de ventajas sobre los métodos de recubrimiento de la competencia. Mientras que algunas tecnologías de pulverización térmica están limitadas en su elección de materias primas, se puede utilizar una gama prácticamente ilimitada de materiales por al menos un método. La pulverización térmica permite una velocidad de depósito rápida, capacidad de depositar sobre superficies altamente sensibles al calor, utilizar un equipo portátil y a menudo bastante económico. Los recubrimientos se unen mecánicamente a la superficie, haciendo que la compatibilidad química sea un problema menor en comparación con otros métodos de recubrimiento. La pulverización térmica se puede usar para depositar recubrimientos de plásticos, metales, carburos, y recubrimientos de cerámica tan espesos como 0,25 pulgadas (6,35 mm). Un beneficio adicional es que no se utilizan productos químicos húmedos en el proceso, reduciendo así al mínimo cualquier impacto ambiental. A pesar de que el agua se utiliza para enfriar los equipos de pulverización térmica durante el funcionamiento, nunca entra en contacto con materiales potencialmente peligrosos y de este modo no se necesita tratamiento. El material de exceso de pulverización puede ser capturado y reciclado.

35 Pulverización de plasma

40 En lugar de quemar un gas combustible, la pulverización de plasma ioniza un gas tal como nitrógeno a temperaturas muy altas para producir un plasma que funde las partículas de polvo y rocía una capa de recubrimiento densa a una velocidad algo limitada. Se utiliza la fuente de calor de temperatura más alta; el núcleo del plasma puede alcanzar temperaturas tan altas como 16.000°C. Junto con la energía térmica elevada, produce altas velocidades de gas, hasta Mach 2. Las altas temperaturas usadas en la pulverización de plasma permiten al método trabajar con materiales con puntos de fusión muy elevados, como algunas cerámicas, con buenas propiedades. La alta velocidad de las partículas permite densidades en los recubrimientos de hasta un 98 por ciento. Utiliza partículas de polvo relativamente grandes, por lo general en exceso de 45-Φ de diámetro, aunque se han utilizado diámetros tan bajos como 15-Φ. Debido a velocidades de partículas inferiores a altas temperaturas, las resistencias a la adhesión son más bajas y la porosidad mayor en comparación con HVOF (Combustible de Oxígeno de Alta Velocidad). Ofrece una protección limitada contra la corrosión, especialmente en comparación con HVOF. Los recubrimientos de plasma sufren porosidad interconectada incluso en espesores de 30-Φ, lo que expone el metal desnudo. Ha demostrado por sí mismo ser un método económico para la construcción de una superficie, añadiendo metal en puntos donde la superficie está desgastada o dañada. Se utiliza ampliamente para la formación de barreras de pulverización térmica.

D-gun (pistola de detonación)

55 El proceso D-Gun (desarrollado por Praxair) consiste en llevar gas, combustible (generalmente acetileno) y polvo dentro de una cámara, encender la mezcla y proyectarla desde un cañón. El proceso funciona por combustión intermitente, pulsando el encendido seis veces por segundo, a diferencia de HVOF que es continuo y menos costoso. Hay una gama de recubrimientos patentados existentes con D-gun, algunos de los cuales pueden dar lugar a recubrimientos más densos que HVOF o a estructuras metalográficas más variables. Es más costoso de mantener que el HVOF convencional, debido a los requisitos de complejidad y control para el pulsado del encendido. El

movimiento de la pieza a recubrir también tiene que ser coordinado con el tiempo de disparo de la pistola, añadiéndose a la complejidad y el coste del proceso. El HVOF ha llegado a estar ampliamente disponible.

5 Este tipo de recubrimientos aplicados en aplicaciones HVOF de desgaste proporcionan un rendimiento superior en la mayoría de las situaciones en comparación con el cromo. En comparación con el cromo, el HVOF muestra su fuerza en el recubrimiento de piezas de grandes dimensiones. Un tanque de recubrimiento electrolítico para una pieza grande podría ser muy caro de instalar y mantener, pero la aplicación del HVOF a una gran superficie no requiere una inversión significativa en términos de capacidad, asumiendo que la pieza cabe en una celda estándar. Para las piezas pequeñas, el cromado es mejor. La complejidad de la superficie de las piezas tratadas es también un factor. Mientras que el cromado fácilmente llega a toda la superficie de una pieza compleja, utilizando el HVOF es proporcionalmente más difícil. La incapacidad de aplicar el HVOF a algunos diámetros interiores y a geometrías sin línea de vista, comunes a todos los métodos de pulverización térmica, pero más críticos con HVOF, seguirá siendo una obligación significativa de la técnica. En última instancia, la falta de línea de visión establecerá un límite fundamental en la penetración en el mercado del HVOF.

15 La protección es más difícil en el proceso HVOF de lo que es en el recubrimiento electrolítico, con problemas potenciales en las áreas de transición superficial. La principal desventaja de HVOF es sus altos costos iniciales en comparación con otros métodos de recubrimiento, incluyendo consumibles y equipo. Sin embargo, las comparaciones de costos generalmente ignoran los beneficios económicos a largo plazo, tales como un más rápido TAT (tiempo de amortización), mayor duración de desgaste de las piezas, reducción de los desechos peligrosos, etc.

20 En promedio, una celda HVOF es capaz de procesar un solo tren de aterrizaje en 40 minutos, con tasas de mano de obra casi iguales a las de cromado duro. El TAT para los componentes del tren de aterrizaje es típicamente cinco días menos que la media de los componentes cromados. La ventaja del HVOF, o cualquier método de pulverización térmica, viene en gran medida a través de la reducción del tiempo de procesado. El total de horas de procesado para una aplicación HVOF es tan sólo un quinto de un galvanizado de cromo duro. El alto costo del HVOF en comparación con la pulverización de plasma es un tanto atenuado por los polvos más finos utilizados y por los recubrimientos más densos resultantes, debido a que las superficies normalmente necesitan menos trabajo de acabado.

Pulverización por arco bifilar

30 La pulverización por arco bifilar hace uso de dos hilos de polaridad opuesta que se alimentan de forma simultánea y se juntan en un punto, donde se produce la formación de arco y se funden los hilos. Una ráfaga de aire comprimido o gas inerte atomiza el metal y forma un aerosol cuyas velocidades a menudo alcanzan Mach 1. El método proporciona excelentes velocidades de deposición y es capaz de depositar cientos de libras de material por hora. Se utiliza sobre todo en aplicaciones de protección contra la corrosión de relativamente baja gama, y en proporcionar acumulación de material en restauración. También es bastante barato en comparación con el HVOF (costos de procesamiento generales y bastante transferibles son aproximadamente una décima parte de los del HVOF). Buen método para la sustitución de cromo (utilizado profusamente en la industria petroquímica). Sin embargo, la densidad del recubrimiento es de aproximadamente 92% en comparación con aproximadamente 98,5% para el HVOF. La baja densidad es el mayor inconveniente. Además, la elección de los materiales es limitada.

Técnica de pulverización en frío

40 El proceso de pulverización en frío utiliza una alta velocidad en lugar de alta temperatura para producir recubrimientos, y de ese modo evita/minimiza las muchas reacciones de alta temperatura perjudiciales, que son características de los recubrimientos típicos de pulverización térmica. Ventajas típicas del recubrimiento por pulverización en frío incluyen esfuerzos de compresión en lugar de tracción, microestructura a modo de forjado, densidad cercana a la teórica, y libre de óxidos y de otras inclusiones. Además, la huella del haz de pulverización es un haz de partículas con rendimiento de alta densidad muy estrecho lo que resulta en una alta tasa de crecimiento del espesor del recubrimiento con un mejor control sobre la forma del recubrimiento, sin requisitos de protección. El principio básico de la pulverización en frío es bastante simple. Cuando un chorro de gas cargado de partículas incide sobre una superficie sólida, se producen tres fenómenos diferentes, dependiendo de la velocidad de las partículas, V_p . Cuando V_p es baja, las partículas simplemente rebotan (reflectan) en la superficie. Cuando se llega a valores moderados, erosionan la superficie. Cuando se excede un valor crítico (que varía con los materiales de sustrato y partículas -típicamente en el intervalo de 500 a 900 m/s), las partículas se deforman plásticamente y se adhieren al sustrato, entre sí, para formar un depósito de superposición, de forma análoga al proceso de pulverización térmica.

55 El proceso utiliza un chorro de gas a alta velocidad de alta presión para entregar la velocidad a las partículas de recubrimiento. El chorro de gas, precalentado para compensar el enfriamiento adiabático debido a la expansión, se expande a través de una tobera Laval para formar un chorro supersónico. Las partículas de polvo, transportadas por un gas portador, se inyectan en este chorro de gas. La transferencia de energía cinética del chorro supersónico de las partículas permite un chorro de partículas de alta velocidad. Estas partículas de polvo, cuando impactan sobre el sustrato, se deforman plásticamente y forman aplastamientos interconectados, lo que resulta en un recubrimiento.

El sistema de suministro de gas entrega hasta 170 m³/h (100 scfm) de nitrógeno y helio a presiones de 15 a 40 bars (215 a 280 psi). Un calentador de gas eléctrico calienta el gas a un máximo de 923°K (1.200°F). El material de

recubrimiento en polvo, en el intervalo de tamaño de 5 a 45 micrones, es entregado por la tolva de polvo y transportado por un portador de gas a la pistola. La consola de control alberga todos los controles para medir las tasas de flujo, etc.

5 La pulverización en frío es un proceso de estado sólido y, por tanto, produce recubrimientos con muchas características ventajosas. Dado que no se necesita una temperatura alta, es idealmente adecuado para la pulverización de materiales sensibles a la temperatura tales como materiales amorfos, y nanofases, materiales sensibles al oxígeno como el aluminio, el cobre y el titanio y materiales sensibles a la fase tales como compuestos de carburo. Debido al pequeño tamaño de la boquilla (10 a 15 mm²) y la distancia de pulverización (5 a 24 mm), el haz de pulverización es muy pequeño, típicamente alrededor de 5 mm de diámetro, dando lugar a una buena deposición. El proceso funciona de forma similar al de granallado por micro disparo, y por lo tanto los recubrimientos se producen con esfuerzos de compresión. Por lo tanto, los recubrimientos ultra gruesos (es decir, 5 a 50 mm) pueden ser producidos sin fallo en la adhesión. La formación de baja temperatura a alta energía del recubrimiento conduce a una microestructura de tipo forjado con valores de densidad cercanos a los teóricos.

15 La pulverización en frío, debido a su principio de constitución del recubrimiento por impactos de fusión, se limita a la deposición de metales y aleaciones dúctiles (Zn, Sn, Ag, Cu, Al, Ti, Nb, Mo, NiCr, Cu-Al, aleaciones de níquel y MCrAlYs) y polímeros, o mezclas de >50% en volumen de materiales dúctiles con metales frágiles o cerámicos.

Las principales desventajas del proceso de pulverización en frío incluyen el uso de altos flujos de gas, el aumento de los costos de gas, especialmente en el caso de helio, siendo necesario reciclaje. Hay otros problemas tales como la abrasión de las boquillas.

20 Polvos

El polvo dominante utilizado como recubrimiento de barrera térmica es zirconia estabilizada con itria (aplicado a álabes de turbinas de gas). Otros polvos son: WC, CrC, WC-Co, WC-Co-Cr (utilizados como material de sustitución del cromo) y el CRC-NiCr (utilizado para la protección contra altas temperaturas del orden de 1700°F, el WC se descompone a aproximadamente 800°F).

25 Línea de visión (LOS) y cuestiones relativas al diámetro interior

30 La incapacidad del HVOF en geometrías NLOS limita, en última instancia, la penetración del HVOF en la industria aeroespacial al 80% en el reemplazo del cromo en la industria aeroespacial, debido al hecho de que casi el 20% son NLOS, extensiones de pistolas de plasma y HVOF están disponibles comercialmente para diámetros interiores pero tienen una utilidad limitada. Los recubrimientos en los diámetros interiores son inferiores. Hay varios problemas en el uso de equipos de HVOF para diámetros internos pequeños, siendo el límite en la actualidad 2,5 pulgadas (63,5 mm).

Cuestiones relativas al decapado y rectificado

35 La resistencia a la adhesión, densidad y dureza que confieren a los recubrimientos de pulverización térmica sus ventajas también crean sus mayores dificultades en el decapado y el rectificado (peor para el HVOF). El rectificado se realiza generalmente para restaurar las tolerancias dimensionales y para proporcionar un acabado suave. Las superficies recubiertas con pulverización térmica y HVOF tienden a ser rugosas. Se requiere un acabado, no sólo un proceso optimizado, sino también un proceso posterior de rectificado con una muela de diamante, que es significativamente más alta que la muela de carburo de silicio utilizada en el cromado.

40 El decapado es un problema más importante. A diferencia de cromo, que se somete a una interacción menos severa con el sustrato, el HVOF implica metales fundidos a miles de grados aplicados a la superficie, donde penetran para formar una aleación con el sustrato y el suministro de una superficie fundida para permitir una acumulación adicional. La consecuencia de la formación de la aleación recubrimiento-sustrato es que un poco de metal precursor tiene que ser sacrificado en la eliminación del recubrimiento. Finalmente, una pieza que ha sido decapada puede alcanzar dimensiones reducidas en la que no se puede aplicar más pulverización debido a que ya no es efectivo en costes o no se puede tolerar ninguna pérdida adicional de sustrato, y la pieza debe ser desechada. Decapar un recubrimiento HVOF puede requerir dejar una pieza en un tanque de decapado químico durante una semana, en comparación con un día para el cromo. Por regla general, las aleaciones resistentes a la corrosión, tales como WC-Co-Cr, CrNi y otras, necesitan más tiempo y presentan más dificultades en el decapado que el WC-Co.

50 De lo anterior, es evidente que sigue habiendo una necesidad en la industria de unas técnicas de decapado, preparación y recubrimiento más eficientes que no den lugar a los problemas descritos anteriormente.

Resumen

A continuación se presenta un resumen simplificado de algunos aspectos o modos de realización de la invención con el fin de proporcionar una comprensión básica de la invención. Este resumen no es una descripción amplia de la invención. No se pretende identificar elementos clave o críticos de la invención o delinear el alcance de la invención.

Su único propósito es presentar algunos modos de realización de la invención de una forma simplificada como prelude a la descripción más detallada que se presenta más adelante.

La presente invención proporciona un novedoso sistema integrado y el método relacionado para el decapado, preparado y recubrimiento de una superficie. En general, si una superficie es blanda, por ejemplo, aleaciones de titanio, y tiene un recubrimiento residual (después de servicio), puede ser decapada y preparada utilizando un chorro de fluido pulsado forzado (sin partículas abrasivas). Si la superficie es dura, por ejemplo aceros de alta resistencia, se puede decapar y preparar usando partículas de recubrimiento como partículas de chorreado (es decir partículas abrasivas) arrastrando estas partículas dentro de una corriente de fluido (o "chorro de fluido"). Una vez que la superficie ha sido decapada y preparada a una rugosidad de superficie prescrita, la superficie puede entonces ser recubierta utilizando el mismo tipo de partículas de recubrimiento, es decir utilizando partículas de recubrimiento que tengan la misma composición pero posiblemente un diferente tamaño de malla. Las partículas de recubrimiento son de nuevo arrastradas dentro de la corriente de fluido. Sin embargo, para la etapa de recubrimiento, las partículas son, de forma preferente, cargadas eléctricamente, por ejemplo haciendo pasar la corriente de fluido de partículas arrastradas a través de un campo eléctrico. Las partículas de alta velocidad cargadas impregnan la superficie, formando uniones electrónicas y mecánicas con la superficie. Este sistema integrado de decapado, preparación y recubrimiento por tanto permite una técnica de tres etapas de, en primer lugar, un decapado con o sin partículas de recubrimiento en el chorro de fluido, una preparación de la superficie con o sin partículas de recubrimiento en el chorro de fluido seguida de una etapa de recubrimiento que es un híbrido de las técnicas de recubrimiento electrolítico y de pulverización con chorro de fluido en frío, utilizando partículas de recubrimiento cargadas eléctricamente.

Por consiguiente, un aspecto de la presente invención es un método de decapado, preparación y recubrimiento de una superficie. El método implica decapar, preparar la superficie ya sea mediante un chorro de fluido (es decir, sin arrastrar partículas de recubrimiento) o arrastrando partículas de recubrimiento dentro de una corriente de fluido para generar un corriente de fluido de partículas arrastradas de recubrimiento y dirigiendo la corriente de fluido de partículas arrastradas de recubrimiento en la superficie a decapar y preparar. Las partículas de recubrimiento actúan como partículas abrasivas para el decapado y posterior preparación de la superficie a una rugosidad superficial prescrita requerida para la posterior aplicación del recubrimiento a la superficie. El método además implica recubrir la superficie cargando eléctricamente la superficie después de que la superficie haya sido preparada a una rugosidad superficial prescrita para por consiguiente proporcionar una superficie cargada y partículas cargadas superficialmente que tengan la misma composición química que las partículas utilizadas para preparar la superficie cargada. Las partículas están cargadas a una polaridad opuesta a la de la superficie cargada. El método además implica dirigir la corriente de fluido de partículas arrastradas cargadas a alta velocidad en la superficie cargada de este modo revistiendo la superficie con partículas cargadas eléctricamente que forman uniones tanto mecánicas como electrónicas con la superficie.

Otro aspecto de la presente invención es un sistema para el decapado, preparación y recubrimiento de una superficie. El sistema incluye un subsistema de suministro de partículas para suministrar partículas que serán utilizadas para decapar, preparar y recubrir, una bomba para presurizar un fluido y una boquilla del chorro de fluido. Las partículas se utilizan sólo si las superficies a decapar y preparar son muy duras. Si las superficies son blandas, las partículas no serán arrastradas en el chorro de fluido. La boquilla del chorro de fluido tiene una entrada de fluido conectada a la bomba o compresor para recibir el fluido desde la bomba o compresor, una entrada de partículas conectada al subsistema de suministro para recibir las partículas que se van a utilizar para decapar y preparar, arrastrando la boquilla las partículas dentro del corriente de fluido para producir una corriente de fluido de partículas arrastradas y una salida para dirigir la corriente de fluido de partículas arrastradas a la superficie para de este modo decapar y preparar la superficie a una rugosidad superficial prescrita. Las partículas serán arrastradas en la corriente de fluido sólo si es necesario para decapar y preparar la superficie, de forma simple, utilizando una válvula. Las partículas cargadas eléctricamente o neutras, dependiendo de si la superficie es neutra o está cargada electrónicamente, serán arrastradas en el chorro de fluido en la etapa de recubrimiento de la superficie. El sistema además incluye una fuente de alimentación de corriente continua (CC) y un interruptor para variar la potencia de la fuente de CC entre estados operativo y no operativo para cargar eléctricamente la superficie a recubrir después de que la superficie haya sido preparada a una rugosidad superficial prescrita y para generar un campo eléctrico para cargar eléctricamente las partículas que tienen la misma composición química que la de las partículas utilizadas para preparar la superficie, siendo cargadas las partículas a una polaridad opuesta a la de la superficie. La boquilla dirige la corriente de fluido de partículas arrastradas cargadas a alta velocidad a la superficie para de este modo recubrir la superficie con las partículas.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista isométrica de un sistema integrado en forma de una sola cabina o estación para el decapado, preparación y recubrimiento de una pieza;

La figura 2 es una vista superior del sistema de la figura 1;

La figura 3 es una vista lateral del sistema de la figura 1;

La figura 4 es una representación esquemática de un sistema de chorro de gas para la preparación y el recubrimiento de acuerdo con un modo de realización de la presente invención;

La figura 5 es una representación esquemática de un sistema chorro de líquido para la preparación y el recubrimiento de acuerdo con otro modo de realización de la presente invención;

5 La figura 6 es un dibujo que muestra el conjunto del sistema ultrasónico de boquilla, aberturas de alimentación de partículas y la configuración del campo eléctrico; es una representación esquemática de una boquilla aplicando un campo eléctrico sobre las partículas de recubrimiento;

La figura 7 muestra la formación de un arco (chispa) cuando se aplica el campo eléctrico entre la boquilla conectada a tierra y la pieza de trabajo con carga positiva;

10 La figura 8 muestra geometrías simples y complejas de piezas en aplicaciones industriales;

La figura 9 es un boceto esquemático que representa la formación de una capa doble eléctrica;

La figura 10 es una representación esquemática de una boquilla aplicando un campo eléctrico sobre las partículas de recubrimiento;

15 La figura 11 es una representación esquemática de una boquilla aplicando tanto un campo eléctrico como un campo magnético sobre partículas de recubrimiento;

La figura 12 es una representación esquemática de una boquilla aplicando un campo eléctrico, un campo magnético y calor, usando bobinas de calentamiento por inducción, a las partículas de recubrimiento;

Las figuras 13A y 13B son vistas en sección transversal de una boquilla que tiene tubos aislantes para suministrar partículas de recubrimiento cargadas;

20 La figura 14 es una vista en sección transversal de una boquilla ultrasónica que muestra bobinas magnéticas;

La figura 15 es una vista en sección transversal de una boquilla ultrasónica que tiene un paso anular para suministrar partículas de recubrimiento cargadas.

La figura 16 es un modo de realización para cargar las partículas de recubrimiento;

La figura 17 es otro modo de realización para cargar las partículas de recubrimiento;

25 La figura 18 es otro modo de realización para cargar las partículas de recubrimiento;

La figura 19 es otro modo de realización más para cargar las partículas de recubrimiento;

La figura 20A representa esquemáticamente un primer ejemplo de una boquilla de cabezal giratorio que tiene un codo curvado que conduce a una salida en ángulo ortogonal;

30 La figura 20B representa esquemáticamente un segundo ejemplo de una boquilla del cabezal giratorio que tiene dos salidas en ángulo oblicuo;

La figura 20C representa esquemáticamente un tercer ejemplo de una boquilla del cabezal giratorio que tiene cuatro salidas en ángulo; y

La figura 20D representa esquemáticamente un cuarto ejemplo de una boquilla del cabezal giratorio que tiene dos salidas ortogonales;

35 La figura 21 es una representación esquemática de una tobera de Laval (convergente-divergente) para generar un chorro de gas de partículas arrastradas continuo o pulsado;

La figura 22 es una representación de una fuente de alimentación de CC de alto voltaje encerrada en una jaula de Faraday.

Descripción detallada

40 La presente invención proporciona un sistema integrado y un método tanto para el decapado y recubrimiento de una pieza como, de forma alternativa para el decapado, preparación y recubrimiento de una pieza.

En general, y a modo de resumen, la preparación de la superficie se realiza primero utilizando partículas de recubrimiento como se divulga por el solicitante en la Patente de Estados Unidos N° US 8,389,066 B2 publicada el 5 de marzo de 2013. La Patente de Estados Unidos N° US 8,389,066 B2 divulga un método novedoso y un sistema para preparar una superficie que utiliza el mismo tipo de partículas que son utilizadas para el recubrimiento como

45

partículas de chorreado para preparar primero la superficie. La técnica elimina muchas desventajas asociadas con el granallado convencional. En la presente invención, una vez que la superficie ha sido preparada utilizando partículas de recubrimiento como partículas abrasivas, el mismo tipo de partículas de recubrimiento (que son generalmente de un tamaño de malla menor) son utilizadas para recubrir la superficie.

- 5 El recubrimiento se realiza a continuación arrastrando las partículas de recubrimiento en un chorro de líquido o un chorro de gas a alta velocidad (por ejemplo supersónica) continuo o pulsado y cargando electrónicamente la superficie a recubrir así como las partículas para un recubrimiento eléctrico a alta velocidad de la superficie. En otras palabras, en algunos modos de realización de la invención, las superficies están cargadas a una polaridad opuesta a la de las partículas. Las partículas cargadas se hacen impactar a alta velocidad sobre la superficie cargada opuestamente. Esto crea uniones tanto electrónicas como mecánicas entre las partículas y la superficie.

El sistema integrado de decapado, preparación y recubrimiento permite un método nuevo en tres etapas para el decapado, preparación y recubrimiento de una superficie de una pieza u objeto.

- 15 En primer lugar, si la pieza a recubrir es nueva, necesita ser preparada antes de aplicar el recubrimiento. La preparación de la pieza puede hacerse o bien con un chorro de fluido sólo o mediante partículas de recubrimiento arrastradas como las partículas de chorreado (es decir, como partículas abrasivas) en el chorro de fluido, para de este modo preparar la superficie a una rugosidad superficial deseada (prescrita o predeterminada). En segundo lugar, una vez que la superficie ha sido preparada, la superficie es entonces recubierta aplicando a la superficie el mismo tipo de partículas que fueron utilizadas para preparar la superficie, es decir las partículas para la preparación y el recubrimiento tienen la misma composición química.

- 20 De forma alternativa, si la pieza es vieja, es decir, ha estado en servicio, el recubrimiento deteriorado residual necesita ser decapado antes de prepararlo a las especificaciones requeridas. En este caso, el proceso en tres etapas supone el decapado la preparación seguida de un nuevo recubrimiento de la pieza. Un aspecto muy importante de esta nueva invención es que todas las tres etapas se llevan a cabo en una celda. En un modo de realización, las partículas de recubrimiento tienen un diámetro mayor que 1 micra. Las partículas de recubrimiento pueden ser transportadas mediante un chorro de agua pulsado, un chorro de agua continuo, un chorro de aire pulsado, un chorro de aire continuo o cualquier otra corriente de fluido continuo o pulsada. Debido a que la partícula de recubrimiento es utilizada como partícula de chorreado, se eliminan los problemas asociados con el granallado o con la preparación utilizando una partícula diferente de la que se utilizó para recubrir la superficie. La etapa de preparación no sólo ahorra tiempo y costes ya que no hay necesidad de limpiar o aclarar la superficie granallada, sino que también reduce el gasto y el tiempo de limpieza (porque no utiliza un diferente tipo de abrasivo). Además, la etapa de preparación mejora la unión o adhesión de las partículas de recubrimiento a la superficie preparada dado que ninguna partícula abrasiva extraña está embebida dentro de la superficie a recubrir. Una vez que se ha preparado, el mismo tipo (composición) de partículas de recubrimiento es utilizado para recubrir la superficie. Sin embargo, las partículas de recubrimiento están cargadas eléctricamente mientras que la superficie está cargada, de forma opcional, opuestamente. Las partículas de recubrimiento cargadas eléctricamente son entonces aceleradas a altas velocidades para golpear la superficie a recubrir.

- La etapa de recubrimiento por lo tanto combina técnicas de pulverización en frío y electrostática. En la técnica de pulverización electrostática, las partículas (polvo) que son utilizadas, material de recubrimiento, se cargan positivamente y son pulverizadas sobre el objeto a recubrir, el cual está cargado negativamente. Sin embargo, en la técnica de recubrimiento de polvo electrostático convencional, el objeto es entonces calentado a una temperatura muy alta, de manera que las partículas se funden, fluyen y reaccionan químicamente para formar el recubrimiento. En la presente invención, el proceso de calentamiento se elimina utilizando la técnica de pulverización en frío. En la técnica de pulverización en frío, como se describió anteriormente, las partículas son aceleradas a velocidades muy altas y cuando impactan el objeto a recubrir, impregnan la superficie y forman uniones puramente mecánicas. La pulverización en frío es bien conocida en la industria como deposición de partículas supersónica. Independientemente de su nombre, es un proceso de recubrimiento de una superficie en el cual las partículas son aceleradas a velocidades supersónicas, mientras son arrastradas en la boquilla de flujo de gas y son, en consecuencia, depositadas mediante impacto sobre una superficie. En algunos modos de realización, las partículas son aceleradas en chorros de gas supersónicos, por ejemplo a velocidades por encima de 500 a 1000 m/s. Como tal, la técnica puede ser utilizada para el recubrimiento de sustratos blandos, por ejemplo, recubrimiento de piezas de aleación de aluminio con partículas de carburo de tungsteno. En al menos algunos de los modos de realización de la presente invención, las partículas cargadas son impulsadas a las mismas magnitudes de velocidad que en la técnica de pulverización en frío. Además, si el chorro de fluido que transporta las partículas cargadas es un chorro de agua pulsado, la presión de impacto es la presión de golpe de ariete que mejora la impregnación de las partículas más profundamente en el sustrato (es decir cada pulso subsecuente martillea las partículas transportadas por los pulsos previos dentro de la superficie). Sin embargo, cuando las partículas cargadas impregnan el objeto cargado negativamente, forman uniones tanto mecánicas como electrónicas. Por lo tanto, la adhesión del recubrimiento al sustrato será mucho más fuerte que la lograda tanto en la técnica de pulverización en frío como en la técnica de pulverización electrostática. Controlando la diferencia de voltaje entre las partículas y el objeto y controlando la velocidad de las partículas, la técnica conseguirá los mismos recubrimientos que los obtenidos en cualquiera de las técnicas de recubrimiento de pulverización térmica, por ejemplo HVOF, sin requerir una llama de alta temperatura.

En un modo de realización, para las superficies especialmente blandas, tales como aleaciones de aluminio, la preparación se puede lograr con un chorro de fluido pulsado sin arrastre de partículas abrasivas (como se describe en la Patente US N° 8,550,873).

5 En los diversos modos de realización de la invención, los cuales se describirán a continuación en mayor detalle, un chorro de aire o de chorro de agua continuo o pulsado se utiliza para arrastrar una partícula de recubrimiento tal como, por ejemplo, una partícula de recubrimiento de pulverización térmica u otra partícula de recubrimiento, que va a ser aplicada a la superficie después de que la preparación de la superficie se haya completado. Arrastrando las partículas de recubrimiento dentro de la corriente de fluido, la partícula de recubrimiento es por tanto utilizada como un abrasivo o como una partícula de chorreo. En otras palabras, las partículas de recubrimiento y las partículas abrasivas son las mismas, o al menos altamente similares en composición, dureza, granularidad, etc. Convencionalmente, una superficie es preparada utilizando un abrasivo para producir un acabado de la superficie o una rugosidad de la superficie deseados. De acuerdo con SSPC (Sociedad de Recubrimientos Protectores) Guía de bolsillo de información de recubrimiento (SSPC 01-09), dependiendo de la técnica de recubrimiento y de la superficie a recubrir, se emplean diversos materiales tales como óxido de aluminio (1680 - 44 micrones de tamaño), escoria de carbón (1680 - 297 micrones), escoria de cobre (1680 - 149 micrones), granate (841 - 149 micrones), perlas de vidrio (595 - 37 micrones), carburo de silicio (500 - 63 micrones) para preparar las superficies. Este acabado superficial o rugosidad de la superficie se determina típicamente de antemano por el tipo de partículas de recubrimiento que se va a aplicar. Por lo tanto, empíricamente, se sabe que la retención de partícula óptima (adhesión recubrimiento-superficie) se consigue preparando la superficie dentro de un cierto rango de rugosidad superficial utilizando una partícula abrasiva estándar (partícula de chorreado) tal como, por ejemplo, arena, granate o zeolita. Los restos de partículas de chorreo extrañas (partículas abrasivas) pueden permanecer embebidas en la matriz atómica de la superficie que está siendo preparada. Estas partículas embebidas pueden reducir la adhesión del posterior recubrimiento y/o crear puntos locales de debilidad que llevan a un fallo impredecible. Este problema se evita utilizando la partícula de recubrimiento como partícula de chorreado (partícula abrasiva), lo que asegura que no permanezcan partículas extrañas después de la preparación. Si las partículas de recubrimiento están embebidas dentro de la matriz atómica de la superficie que está siendo preparada, entonces esto no tiene ningún efecto perjudicial dado que estas partículas podrían haber sido aplicadas a la superficie, eventualmente, en la posterior operación de recubrimiento. Las partículas que no se adhieren a la superficie se pueden reutilizar o reciclar para la etapa posterior de recubrimiento.

30 En un modo de realización, las partículas de recubrimiento de una granularidad (tamaño de malla) diferente se pueden utilizar para preparar la superficie antes de la aplicación del recubrimiento. Por ejemplo, las partículas de recubrimiento utilizadas para la preparación pueden ser más grandes en el tamaño de malla que las partículas de recubrimiento utilizadas para el recubrimiento. Utilizando una partícula más grande para preparar la superficie es ventajoso ya que estas partículas más grandes se parecen más a las partículas de granallado más grandes que se utilizan tradicionalmente para la preparación de la superficie. A pesar de su tamaño de malla más grande, estas partículas de recubrimiento más grandes tienden a ser más pequeñas en su tamaño de malla cuando impregnan la superficie y son ellas mismas chorreadas por partículas que inciden posteriormente. Una gran porción de las partículas que no se adhieren a la superficie tienden a ser estas partículas de tamaño reducido. Estas partículas (no adheridas) de tamaño reducido, sin embargo, son ideales para las operaciones de recubrimiento ya que las partículas de recubrimiento utilizadas en realidad para el recubrimiento deberían tener un tamaño de malla más pequeño que aquellas utilizadas para el chorreado/ abrasión. En consecuencia, estas partículas de tamaño reducido pueden reciclarse y reutilizarse, con un filtrado opcional, para un posterior recubrimiento de la superficie preparada.

Varios modos de realización de la presente invención se describirán a continuación, por medio de un ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos.

45 La figura. 1 es una vista isométrica de un único sistema integrado (“todo-en-uno”) o un dispositivo en forma de una única estación, celda o ambos para el decapado, preparación y recubrimiento de una pieza. En otras palabras, la figura 1 representa un sistema de chorro de fluido integrado para decapar, preparar y recubrir, de forma secuencial, una pieza a restaurar. En general, el sistema integrado incluye una celda que define un recinto que tiene una puerta, un portapiezas para sujetar la pieza dentro de la celda, un brazo robótico móvil dentro de la celda, una boquilla montada sobre el brazo robótico; una fuente de fluido a presión para suministrar el fluido a presión a la boquilla para permitir a la boquilla generar un chorro de fluido capaz de decapar, preparar y recubrir, de forma secuencial, la pieza, un interfaz humano-máquina (HMI) externo a la celda para recibir los comandos del usuario y para controlar el brazo robótico y al chorro de fluido que se extiende desde la boquilla en respuesta a los comandos del usuario. El HMI puede incluir un panel de control con botones, interruptores, teclas, teclado, etc. y/o puede incluir o estar conectado a un ordenador, a una red informática, servidor u otro dispositivo informático que tenga un microprocesador, memoria, e interfaz de usuario. El HMI permite al usuario controlar el movimiento del brazo robótico y de la boquilla, la velocidad de la mesa giratoria, el ventilador de extracción, y el modo de operación (decapado / preparación / recubrimiento). El HMI también se puede usar para controlar la fuente de alimentación de CC que genera el campo eléctrico (el “generador de campo eléctrico”), la bobina magnética opcional que genera el campo magnético (el “generador de campo magnético”), y el calentador de inducción opcional que calienta las partículas. El HMI también puede ser utilizado para controlar el subsistema de suministro de partículas o el subsistema regulador de partículas que regula la cantidad de partículas que entran en la boquilla. El HMI se puede utilizar para proporcionar comandos directos para desplazar el robot o puede programarse con una secuencia de comandos para operaciones autónomas o semiautónomas del sistema. En un modo de realización más simple, el

brazo robótico se puede reemplazar con un pórtico XY, un pórtico XYZ u otro mecanismo. En otro modo de realización, la boquilla puede estar fija en el espacio y la pieza que se va a restaurar está agarrada y se mueve con respecto a la boquilla mediante un brazo robótico, un pórtico u otro mecanismo.

5 En el modo de realización mostrado a modo de ejemplo en la figura 1, el sistema incluye una celda 1 que contiene un robot (o brazo robótico) y accesorios para decapar, preparar y volver a recubrir una pieza 4. La celda puede denominarse a partir de ahora como una cabina o estación. El sistema incluye un monitor 2 HMI (interacción maquina-humano) para al operario. El sistema incluye un plato 3 giratorio o cualquier otro dispositivo equivalente para montar la pieza que se va a decapar, preparar y volver a recubrir. Una pieza 4 típica se monta sobre la mesa giratoria para decaparse, prepararse y volver a recubrirse. Un sistema 5 de extracción con un filtro elimina el vapor de agua de la celda. El sistema integrado único para decapar, preparar y volver a recubrir una pieza es una mejora radical con respecto al estado de la técnica anterior el cual de forma convencional ha utilizado procesos o dispositivos separados para decapar las piezas, preparar las piezas, y después volver a recubrir las piezas. El novedoso sistema integrado decapa, prepara, y vuelve a recubrir en una única posición sin tener que transportar, mover, o volver a situar la pieza. El sistema decapa la pieza utilizando un chorro de fluido. La preparación se realiza también con el mismo chorro de fluido, aunque el chorro de fluido puede tener diferentes propiedades dinámicas del fluido (presión, velocidad, distancia de separación, etc.). El mismo chorro de fluido (de nuevo, opcionalmente, con diferentes parámetros de funcionamiento) es entonces utilizado como transportador de partículas de recubrimiento para volver a recubrir la pieza.

20 La figura 2 es una vista superior de la celda (o cabina o estación) introducida en la figura 1. Como se muestra en la figura 2, el sistema incluye un conjunto 2 de HMI, el robot 8, la mesa 3 giratoria, y el sistema 5 de extracción. La figura 2 muestra además la unidad 6 de control del robot y el recinto 7 eléctrico, el cual incluye un generador de ultrasonidos para generar el chorro pulsado.

La figura 3 es una vista lateral de la celda (o cabina o estación) de la figura 1 y la figura 2. En la figura. 3, el conjunto 2 de HMI y la celda 1 así como el brazo 8 robótico, la pieza 4, la mesa 3 giratoria y el sistema 5 de extracción.

25 La figura 4 representa un sistema de chorro de aire que tiene una entrada 11 de aire, un compresor 12, un depósito 13 de aire, un regulador 14 de presión de aire, una válvula 15, y un medidor 16 de presión. Un sistema de control se puede proporcionar para recibir señales del medidor de presión y para controlar la válvula basándose en estas señales. Como se muestra la figura, el aire a presión se suministra a la boquilla 20 del chorro de aire que arrastra partículas 18 desde la tolva 17 para producir un chorro 21 de aire de partículas arrastradas. La boquilla 20 del chorro de aire puede ser una boquilla de chorro de aire modulado ultrasónico para producir un chorro de aire pulsado. De forma alternativa, la boquilla del chorro de aire puede ser una boquilla de flujo continuo (no pulsado). En otras palabras, el chorro 21 de aire de partículas arrastradas resultante puede ser un chorro de aire pulsado o un chorro de aire de flujo continuo. El aire puede ser reemplazado por un gas inerte si es necesario.

35 Como se representa de forma adicional, a modo de ejemplo, en la figura 4, el sistema de chorro de aire incluye una válvula 19 dosificadora para regular el flujo de las partículas desde la tolva 17 hasta dentro de la boquilla 20 del chorro de aire. La válvula dosificadora puede estar controlada por un microprocesador. El sistema de chorro de aire de la figura 4, por lo tanto comprende un subsistema de suministro de partículas (que incluye la tolva y la válvula dosificadora) conectado a la boquilla del chorro de aire para entregar un suministro de partículas de recubrimiento a la boquilla. El sistema de chorro de aire también puede incluir un sistema de control (por ejemplo un microcontrolador) para controlar al subsistema de suministro de partículas para regular la cantidad de partículas que se están arrastrando dentro del chorro de aire. El aire puede ser reemplazado por un gas inerte si es necesario

45 Las partículas se dirigen a una pieza 22 (o componente o sustrato) que tiene una superficie exterior o expuesta. Esta pieza 22 puede estar sujeta por un soporte de pieza de trabajo, un soporte, una abrazadera o un portapiezas 23. Un dispositivo 24 de rotación puede ser proporcionado para hacer girar a la pieza 22. La velocidad angular (velocidad de rotación) del dispositivo de rotación puede ser controlada por un microprocesador para lograr tasas de deposición de partículas variables. El microprocesador puede controlar tanto la velocidad angular del dispositivo de rotación como también la válvula dosificadora para regular la tasa de partículas que chocan contra un área unitaria dada de la partícula

50 Como se representa además, a modo de ejemplo, en la figura 4, el sistema de chorro de aire incluye una fuente de alimentación 25 de corriente continua (CC) para cargar las partículas y la pieza. Una barra 26 conectada a tierra y una tierra 27 se pueden proporcionar como se muestra, a modo de ejemplo, en la figura 4. La fuente de alimentación 25 de CC se puede conectar a un electrodo 28 positivo como se muestra, a modo de ejemplo, en la figura 4, el cual es después conectado a un interruptor 29 de alto voltaje. Cuando el interruptor 29 es encendido el circuito se cierra, cargando por lo tanto las partículas 18 a medida que fluyen dentro de la boquilla 20 del chorro de aire. Las partículas pueden estar cargadas antes de que alcancen la boquilla del chorro de aire (como en esta configuración) o después de que hayan sido arrastradas dentro del chorro de fluido (como se muestra en la figura 5).

60 La figura 5 representa esquemáticamente un sistema de chorro de agua para preparar y recubrir una superficie de una pieza. El sistema de chorro de agua que se muestra, a modo de ejemplo, en la figura 5 incluye una tolva 30 de partículas. Una válvula dosificadora controlada por microprocesador (que no se muestra en esta figura) puede estar conectada aguas abajo de la tolva para regular el flujo de partículas en la boquilla del chorro de agua. La tolva y la

válvula dosificadora juntas forman un subsistema de suministro de partículas. El sistema de chorro de agua de la figura 5 también incluye una bomba 36 de agua a alta presión, una boquilla 31 del chorro de agua, una fuente de alimentación 33 de corriente continua (CC) que proporciona una diferencia de potencial suficiente para cargar eléctricamente a las partículas arrastradas por el chorro de agua para de este modo generar partículas 32 (o polvo) cargadas eléctricamente. La fuente de alimentación 33 de CC puede estar, en un modo de realización, conectada a un generador de campo magnético que tiene dos placas o electrodos. El generador de campo eléctrico puede ser sensible a un voltaje variable de la fuente de alimentación de CC para permitir al sistema controlar la intensidad del campo eléctrico (o campo eléctrico ionizado). En el modo de realización representado, las partículas (polvo) están cargadas positivamente mientras que la pieza está cargada negativamente. La corriente de fluido de partículas arrastradas incide sobre la superficie de la pieza 34 a recubrir. La pieza a recubrir puede estar sujeta en un portapiezas fijo (estático) o puede estar sujeta en un portapiezas giratorio. Como se muestra en el ejemplo de la configuración representado en la figura 4, la pieza 34 está conectada a tierra 35.

En un modo de realización, la boquilla 31 del chorro de agua puede ser una boquilla de chorro de agua ultrasónico. Una boquilla de chorro de agua pulsado se puede utilizar para arrastrar las partículas de recubrimiento dentro de un chorro de agua pulsado (modulado). La tecnología de chorro de agua pulsado ha sido desarrollada por el solicitante y se ha divulgado en la Patente US 7,594,614 (Vijay y otros), titulada dispositivo de chorro de agua ultrasónico y en la Patente US Nº 5,154,347, titulada chorro interrumpido o de cavitación generado ultrasónicamente. Los fundamentos de la técnica son explicados utilizando las figuras 6 a 9 y algunos ejemplos de boquillas ultrasónicas adecuadas se describirán a continuación con referencia a las figuras 10 a 14.

La figura 6 ilustra una boquilla 41 ultrasónica a modo de ejemplo. El agua (u otro líquido) a alta presión entra en la boquilla a través de la entrada 42. La sonda 43 ultrasónica, cuando se pone en marcha, genera un chorro de fluido pulsado de alta frecuencia y arrastra las partículas de recubrimiento, las cuales se alimentan dentro de la cámara a través de las aberturas 44. Cuando se apaga la potencia ultrasónica, la boquilla genera un chorro de líquido continuo convencional. El chorro de mezcla continuo o pulsado de partículas arrastradas entra en el orificio 45 (tubo) metálico el cual está conectado a tierra. Aunque no se muestra la figura 6, la superficie interior de este tubo está recubierta con una fina capa (~10µm) de material aislante tal como óxido de aluminio. La pieza (pieza de trabajo) 47 a recubrir se sitúa a una distancia fija (distancia D) desde el plano de salida del tubo conectado a tierra, y se carga positivamente conectando la fuente de alimentación de CC de alto voltaje. El campo eléctrico entre el tubo conectado a tierra y la superficie de las piezas viene dado por $E = V_e/D$, donde V_e es el voltaje aplicado. Con el fin de conseguir un recubrimiento uniforme, es importante confinar el campo magnético con o sin chispa eléctrica (arco) desde la punta del tubo conectado a tierra a la pieza de trabajo. Sin embargo se puede producir de forma potencial una chispa no deseada desde cualquier parte metálica en el conjunto de la boquilla hasta la pieza de trabajo. Con el fin de prevenir esta chispa no deseada, el tubo metálico conectado a tierra está introducido en una funda 46 de plástico fijada mediante un cierre de plástico, por ejemplo apretada mediante una tuerca 48 de plástico.

La figura 7 muestra el efecto de aplicar un campo eléctrico entre la boquilla conectada a tierra y la pieza de trabajo cargada positivamente. Dado que el voltaje se aumenta de forma gradual, la corriente a través del líquido (agua) aumenta (figura 7A). El hecho de que, para una tensión dada, la corriente sea más alta para el chorro pulsado que para el chorro continuo se puede explicar mediante las características del chorro pulsado (figura 7B). Dado que la resistencia viene dada por $R = \rho L/a_j$ (ρ = resistividad del agua, L = longitud de la columna de agua y a_j = área efectiva en sección transversal del chorro) y como $I = V_e/R$, la corriente para el chorro pulsado aumenta ya que a_j es mayor que en el chorro continuo. Esto implica que, para un voltaje dado, el campo eléctrico será mucho más grande que en un chorro continuo. La figura 7C y la figura 7D parecen confirmar esta observación. En el caso de un chorro de líquido continuo (chorro de agua) los arcos (chispas) suceden de forma aleatoria desde el tubo de mezclado a la pieza de trabajo. Cuando el chorro es pulsado, el arco (chispa) está confinado al chorro (figura 7D). Se ha de notar que el arco, similar al recubrimiento de plasma, puede o no puede contribuir al proceso de recubrimiento. Es sólo una indicación, para el conjunto de parámetros de funcionamiento dados (presión, flujo, distancia de separación, etc.) de que se ha alcanzado el campo eléctrico máximo. Esto tiene una gran relevancia en el recubrimiento de piezas (componentes) simples y complejas, según lo expuesto en la siguiente sección.

La figura 8 muestra una pieza simple, tal como un tren de aterrizaje 51 apoyado en los cojinetes 52. En este caso, todos los parámetros operativos para el decapado, preparación y recubrimiento se pueden establecer ya que la geometría de la pieza es simple. La boquilla 53 con el chorro 54 de mezcla se puede mover adelante y atrás para conseguir las características de recubrimiento deseadas. Sin embargo para una pieza complicada tal como un quemador 55 de una aeronave la distancia de separación para un recubrimiento efectivo varía a medida que la boquilla 56 se mueve desde la parte superior del quemador a la parte inferior. Si se requiere un cierto valor del campo eléctrico para un recubrimiento efectivo (~3.6kV/mm para el agua del grifo), esto implica que las necesidades de voltaje van a variar a medida que varía la distancia de separación desde la parte superior a la parte inferior del quemador. Un microprocesador puede controlar tanto el voltaje del campo eléctrico como la distancia de separación basándose en los datos que describen la geometría de la pieza a decapar, preparar y recubrir

Varios fenómenos acompañan el flujo de líquido (por ejemplo agua) en tubos aislados. Como es conocido, un efecto triboeléctrico puede ocurrir en el líquido que fluye (Ravalo, B. y otros "Demostración del efecto de triboelectricidad por el flujo de agua líquida en un tubo aislado, Diario de Electrostatica, vol. 69, 2011). Este es simplemente la transferencia de cargas eléctricas desde la superficie interior del tubo aislado hasta el líquido que fluye. Este fenómeno puede mejorar la carga de las partículas de recubrimiento en el chorro de líquido.

Otro fenómeno que puede mejorar el proceso de recubrimiento descrito en esta invención es el denominada formación de doble capa eléctrica. Esto se ilustra en la figura 9 para las partículas de cobre utilizadas como partículas de recubrimiento. Se sabe que las moléculas de agua se ionizan automáticamente a OH^- y H^+ en la forma de ion hidronio H_3O^+ : $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$.

5 Una vez que una partícula metálica penetra en el agua, estará rodeada de algunos iones de agua (tanto positivos como negativos). Debido a la estructura electrónica de los átomos metálicos y de los iones de agua y de las propiedades electro-químicas, los iones de agua de una sola polaridad eléctrica (iones negativos o positivos) se absorben sobre la partícula metálica y forman la primera capa de carga superficial sobre la superficie de la partícula metálica o la interfase entre el agua y la partícula. Esta capa está unida fuertemente a la superficie. Debido a la
10 primera capa de carga, algunos iones contrarios serán atraídos a esta capa de iones y forman la segunda capa eléctrica homóloga de la primera. La segunda capa está conectada muy ligeramente a la primera capa.

La partícula de cobre tiene 29 electrones fuera del núcleo, un electrón en la órbita más exterior, como se muestra en la figura 9. El ion negativo radical hidroxilo OH^- es un ion polar. El negativo (-) es el enlace de valencia. Cuando el ion OH^- se aproxima a las partículas de cobre, se verá el electrón de valencia (el electrón más exterior) de la partícula de cobre, y, naturalmente, el extremo positivo compartirá los electrones una vez que están en contacto, por lo tanto, el ion forma un enlace con el átomo en la superficie y deja el enlace negativo en el agua. Como se muestra en la figura 9B y en la figura 9C, cuando el ion OH^- se acerca a las partículas de cobre, se verá el electrón de valencia (el electrón más exterior) de la partícula de cobre, y, naturalmente, el extremo positivo compartirá los electrones una vez que están en contacto, por lo tanto, el ion forma un enlace con el átomo en la superficie y dejar el
15 enlace negativo en el agua como se muestra en la figura 9B y en la figura 9C. La primera capa de carga superficial dejará algunos iones positivos (H_3O^+) libremente cerca de ella y forma la segunda capa de la capa de carga positiva, como se muestra en la figura 9D.

Cuando se aplica un campo eléctrico a la partícula metálica con doble capa eléctrica, se comportará como una sola partícula cargada y se mueve a lo largo de la línea del campo eléctrico hacia el electrodo. Este fenómeno se llama electroforesis. Bajo la acción del campo eléctrico aplicado, los iones en la segunda capa se separarán de la partícula cargada con las cargas eléctricas opuestas (iones) en la primera capa. Los iones en la primera capa están todavía fuertemente unidos con la partícula y se mueven con ella como un todo. Este proceso se muestra en la figura 9D. Este fenómeno ha sido investigado para la deposición de partículas de polvo, para la deposición por electroforesis (EPD). Se predice que este fenómeno prevalecerá, lo que implica que las partículas conservarán sus cargas eléctricas en el chorro de líquido cuando impacten en la pieza de trabajo. El beneficio dependerá del tipo de partícula utilizada para el recubrimiento (WC, WC-Co-Cr, etc.), y el tipo del material de la pieza de trabajo.
25
30

Basándose en las observaciones hechas en las dos secciones previas, varios modos de realización de configuración de la boquilla, del sistema de inyección de partículas y del sistema de carga se divulgan en las siguientes secciones.

En algunos modos de realización de sistema, la boquilla es una boquilla de chorro de fluido pulsada giratoria que comprende un transductor de ultrasonidos para modular la corriente de fluido. La boquilla comprende un cabezal rotatorio que tiene una o más salidas en ángulo. Las boquillas de cabezal rotatorio son útiles para preparar y recubrir superficies internas tales como las superficies internas de una estructura tubular.
35

La figura 10 muestra agua a alta presión entrando en la carcasa 63 de la boquilla a través de la abertura 61. La carcasa de la boquilla incluye una micropunta (véase, por ejemplo, la Patente US 7,594,641) accionado por un transductor 62 de ultrasonidos el cual modula la corriente de agua que fluye a través del orificio 65 diseñado especialmente para generar un chorro de agua pulsado forzado de alta frecuencia y alta velocidad. Las partículas de recubrimiento, tales como de carburo de tungsteno, cargadas o neutras, son transportadas a través de los tubos o tuberías 64 diseñados especialmente dentro de la cámara 67 de mezclado. El tubo de extensión de la cámara de mezclado está fabricado de un material aislado eléctricamente, por ejemplo, un plástico adecuado o un polímero. A modo de ejemplo, el material compuesto PEEK (polieteretercetona) se puede utilizar como un aislante 66. El objetivo del material aislante es prevenir la formación del arco eléctrico (o chispazo, que también se llama seguimiento de alto voltaje) desde el cuerpo de la boquilla al sustrato (pieza) a recubrir o, de cualquier otra pieza mostrada en las figuras 11 y 12. Si las partículas que entran en la cámara de mezclado son neutras, entonces pasan a través del campo eléctrico generado por los electrodos 69, los cuales están embebidos entre dos aislantes 68 de plástico, por ejemplo, acrílicos o PEEK. Los electrodos están embebidos entre aislantes de plástico por seguridad de los operarios y también para prevenir la formación del arco entre los electrodos y el sustrato. Con el fin de proporcionar una seguridad adicional, las partículas están confinadas, antes de impactar en el sustrato 72, en un tubo, mostrado de forma esquemática como un cono 70 divergente. El campo eléctrico es generado mediante la unidad 71 de fuente de alimentación de CC de alto voltaje.
40
45
50

El principio de funcionamiento es el siguiente. Las partículas de recubrimiento, acelerados por pulsos de alta frecuencia del agua, impactarán en el sustrato. Con el fin de generar una mezcla uniforme de partículas en los pulsos, el aire también puede ser utilizado para inyectar las partículas en la cámara de mezclado. Como se divulga en la Patente US 8,691,014 y en la Patente US 8,389,066, a una cierta velocidad, la cual se determina por la presión, las partículas justo prepararán la superficie. Cuando se aplica el campo eléctrico, entrarán en el material matriz del sustrato, y se unirán electrónicamente con los átomos del sustrato, resultando en un recubrimiento con alta resistencia a la adhesión.
55
60

La figura 11 representa un modo de realización el cual, además de aplicar el campo eléctrico, también aplica un campo magnético. El modo de realización de la figura 11 incluye una bobina 73 magnética, tal como un solenoide, que se puede añadir para mantener las partículas en conexión y enfocadas para mejorar su impacto sobre la superficie. El circuito 74 de campo magnético se puede suministrar desde la misma fuente 71 de alimentación de CC de la figura 10 o cualquier fuente de alimentación de CC adicional.

La figura 12 representa un modo de realización en el cual una bobina 75 de inducción rodea a las placas de electrodo para calentar las partículas de recubrimiento. El calentamiento es proporcionado mediante un calentador 76 de inducción. Esto es similar a las técnicas de pulverización en frío en las que las partículas son calentadas a una baja temperatura en comparación con las temperaturas producidas en la técnica del HVOF. Además del campo eléctrico, el calentamiento de las partículas puede mejorar la adherencia de las partículas al sustrato. Se cree que esta combinación hará que esta nueva técnica de recubrimiento muy versátil, será superior a la técnica de pulverización en frío y será competitiva con respecto a la técnica HVOF.

Las figuras 13A y 13B ilustran configuraciones de boquilla que eliminan los arcos no deseados (chispas) desde el cuerpo de la boquilla conectado a tierra a la pieza de trabajo. El arco eléctrico se produce a partir de los bordes afilados hacia cualquier pieza metálica en las proximidades o incluso puede generar descargas luminosas en la humedad (mezcla de aire-vapor). Para los modos de realización de la invención divulgados en la solicitud, esto es un efecto no deseado, el cual puede tener efectos en detrimento del recubrimiento. Cuando los bordes de los componentes (cámaras) son curvos, la posibilidad de que se produzca un arco no deseado se reduce de forma significativa. En las configuraciones mostradas en las figuras 13A y 13B, el cuerpo 81 está conectado al conjunto de boquillas ultrasónicas. La inserción 82 cónica metálica y la junta 87 tónica se utilizan para sellar el agua a alta presión. El campo eléctrico se genera entre la cámara (tubo) 83 de mezclado metálica conectada a tierra y la pieza de trabajo. Insertando tapas (cubiertas) 84, 86 y la referencia 90, aislantes, se eliminan chispas no deseadas. El número de tapas depende de la magnitud de voltaje aplicado para generar el campo eléctrico. Para un voltaje del orden de 10kV, puede ser suficiente una tapa. Si se requiere un voltaje de 100 kV, entonces el número de tapas necesita aumentarse como se muestra mediante la referencia 90. Estas tapas son fabricadas a partir de materiales plásticos de alta rigidez dieléctrica. Las tapas se sitúan mediante la tuerca, referencia 85, la cual es también de un material plástico. Las partículas de recubrimiento, ya sean neutras o cargadas son inyectadas dentro de la cámara de mezclado mediante los tubos de alimentación, referencia 88, conectados a una tolva (no mostrada en esta figura)). La adición de las tapas también cambia la forma del chorro pulsado o no pulsado que emerge desde la cámara de mezclado, referencia 89.

La figura 14 muestra un modo de realización del conjunto 91 de boquilla ultrasónica que incorpora una bobina 97 magnética para crear un campo magnético en las partículas cargadas inyectadas dentro de la cámara de mezclado a través de los tubos de alimentación, referencia 96. Una toma de alta presión o agua ionizada o desionizada entra desde la bomba a través del conector 95 de alta presión dentro de la boquilla. El campo magnético no contribuye a la aceleración de las partículas cargadas hacia la pieza 94 de trabajo. Sin embargo las partículas son confinadas dentro del chorro 98 de líquido pulsado o no pulsado (continuo) que emerge desde el tubo 99 colimador. Las tuercas 91 y 93 fabricadas de materiales plásticos de alta rigidez dieléctrica tal como PEEK (polieteretercetona) se utilizan para sujetar el tubo colimador y el componente de bobina magnética al conjunto de boquilla ultrasónica.

La figura 15 muestra nuestro otro modo de realización para cargar las partículas en la tolva y para transportarlas a través de un tubo anular para impactar sobre la superficie (pieza). En este modo de realización, las partículas de recubrimiento cargadas son arrastradas en el chorro de fluido, en este caso agua, pulsado o no pulsado. Se muestra un tubo 101 para inyectar las partículas de recubrimiento, tales como carburo de tungsteno. También se muestra la entrada 102 para el agua a alta presión u otro fluido. También se muestra una tubería 103 de alta presión con una capa de material aislante, de manera que las partículas de recubrimiento no pierdan sus cargas, es decir no lleguen a ser neutras. También se muestra la figura las partículas 104 de recubrimiento. Una tolva 105 cónica de cerámica o plástico de alta resistencia se proporciona para recubrir a las partículas de recubrimiento inyectadas por aire comprimido. Una placa 106 metálica se conecta a la fuente de alimentación de CC para cargar las partículas. La placa puede estar o bien cargada positivamente o cargada negativamente dependiendo del tipo de partículas utilizadas para el recubrimiento. Los tornillos (u otras sujeciones) 107 se proporcionan para sujetar el tubo de plástico de alta resistencia o cerámico. Las partículas 108 de recubrimiento cargadas fluyen a través del espacio anular (anillo) transportadas por el aire comprimido, un tubo 109 de plástico de alta resistencia o cerámico se sitúa de forma coaxial al tubo de alta presión para proporcionar una trayectoria anular (anillo externo) para las partículas cargadas. La superficie interna del tubo (no mostrada en la figura) puede estar recubierta con un material para el calentamiento de las partículas (por ejemplo una malla de alambre fino). Una micropunta 110 produce una corriente pulsada (en este caso un chorro de agua pulsado). Como la micropunta es accionada por un transductor de ultrasonidos, cuando se desconecta el transductor se produce una corriente continua de fluido (por ejemplo un chorro de agua continuo). La boquilla 111 produce un chorro de fluido de alta velocidad. El chorro o de ser una corriente sólida o, podría estar compuesto de pequeñas gotas, es decir, un chorro ventilador. El chorro de fluido podría ser un chorro pulsado o no pulsado. El chorro 112 de fluido que contiene partículas cargadas mezcladas con aire escapa a la atmósfera. El sustrato 113 es la pieza a recubrir con las partículas de recubrimiento. La placa podría estar cargada negativamente o positivamente dependiendo de la polaridad de las partículas. Una vez que las partículas impactan en el sustrato, se adhieren a él mediante uniones tanto electrónicas como mecánicas.

- 5 La figura 16 muestra un modo de realización para cargar las partículas de recubrimiento neutras para inyectar dentro de la cámara de mezclalo. Las partículas, indicadas por las flechas 121, entran en el tubo 122 de alimentación y fluyen a través del tubo 124 conectado a la cámara de mezclado. La carcasa 123 para cargar las partículas incluye los electrodos 126 positivos de alto voltaje y el electrodo 127 conectado a tierra. Las partículas neutras que entran en la carcasa debido al vacío generado en la cámara de mezclalo están sujetas al campo eléctrico entre el electrodo positivo de alto voltaje y el electrodo conectado a tierra. Cuando contactan la tierra adquieren cargas negativas antes de entrar en la cámara de mezclado. Todos los componentes mostrados en la figura 16, excepto los electrodos, pueden ser fabricados de un material plástico de alta rigidez dieléctrica tal como PEEK (polieteretercetona).
- 10 La figura 17 muestra otro modo de realización para las cargas de las partículas de recubrimiento neutras. Las partículas 131 de recubrimiento entran en la carcasa 132 y están sujetas al campo eléctrico entre el electrodo 133 positivo de alto voltaje y el electrodo 134 conectado a tierra. Mientras fluyen por la carcasa, contactan con el electrodo conectado a tierra adquiriendo cargas negativas. El vacío generado en la cámara de mezclado succiona las partículas dentro de la cámara de mezclado a través del tubo 135 de conexión. Dado que las trayectorias de las partículas en contacto con el electrodo conectado a tierra son más largas, la mayoría de las partículas serán cargadas. La tuerca 136 es utilizada para conectar el tubo 135 a la carcasa 132. Todos los materiales mostrados en la figura 17, excepto los electrodos, pueden ser fabricados de material plástico de alta rigidez dieléctrica tal como PEEK (polieteretercetona).
- 20 La figura 18 muestra un modo de realización más para cargar las partículas de recubrimiento neutras. Las partículas 141 de recubrimiento entran en la carcasa 142 a través de los tubos 143 de entrada y de salida. Mientras que fluyen a través de la cámara 143 de carga, están sujetas al campo eléctrico entre el electrodo 144 positivo de alto voltaje y el electrodo 145 conectado a tierra y adquieren cargas negativas por colisiones con el electrodo conectado a tierra. Dado que las trayectorias de las partículas en contacto con el electrodo conectado a tierra son más largas, la mayoría de las partículas serán cargadas. Todos los materiales mostrados en la figura 18, excepto los electrodos, pueden ser fabricados de material plástico de alta rigidez dieléctrica tal como PEEK (polieteretercetona).
- 25 La figura 19 muestra un conjunto de boquilla ultrasónica de acuerdo con un modo de realización de la presente invención. Este conjunto de boquilla ultrasónica está diseñado para cargar las partículas de recubrimiento neutras mientras fluyen a través del conjunto 152 de boquilla ultrasónica. Las partículas 151 entran en la cámara de mezclado dentro del cuerpo 153 de la cámara de mezclado a través de los tubos 154 de alimentación y fluyen a través del espacio anular como se indica mediante las flechas. Mientras que fluyen a través del espacio anular, están sujetas al campo eléctrico entre el electrodo 155 positivo de alto voltaje y la tapa 156 de la boquilla conectada a tierra y adquieren cargas negativas por colisiones (fricción) con el electrodo conectado a tierra. La boquilla tiene una carcasa 157 dentro de la cual entra el agua a alta presión. La sonda 158 ultrasónica incluye el transductor de ultrasonidos y la micropunta los cuales están accionados por el generador de ultrasonidos. El cuerpo 153 de la cámara de mezclado está aislado eléctricamente y se pueda fabricar de uno o más materiales plásticos de alta rigidez dieléctrica tal como PEEK (polieteretercetona) que muestra una rigidez dieléctrica de aproximadamente 500 V/mil. Otros termoplásticos de alta rigidez dialéctica se pueden emplear en otros modos de realización, por ejemplo acrílico, PVC, nylon, PTFE, etc.. En el modo de realización representado mediante el ejemplo de la figura 19, las partículas de recubrimiento están cargadas en el paso anular que es concéntrico con la micropunta.
- 30 La figura 20A representa esquemáticamente un primer ejemplo de cabezal de boquilla rotatorio que tiene una salida en ángulo. La boquilla incluye un codo o curvado que redirecciona el flujo de tal manera que el chorro de fluido que emerge desde la salida es sustancialmente ortogonal al eje de rotación de la boquilla de cabezal rotatorio.
- 35 La figura 20B representa esquemáticamente un segundo ejemplo de un cabezal de boquilla rotatorio que tiene dos salidas en ángulo. Las salidas en ángulo provocan que el flujo se divida en dos chorros en ángulo sustancialmente iguales y oblicuos. Aunque los chorros que se muestran en la figura son de aproximadamente 45° con respecto al eje de rotación, el ángulo puede por supuesto variarse para diferentes aplicaciones.
- 40 La figura 20C representa esquemáticamente un tercer ejemplo de una boquilla de cabezal rotatorio que tiene cuatro salidas en ángulo. En este modo de realización mostrado en estas figuras, hay dos salidas en ángulo en dirección anterior y dos salidas en ángulo en dirección posterior. En el modo de realización representado, aunque las cuatro salidas que se muestran parecen estar dispuestas a aproximadamente 45° con respecto al eje de rotación, los ángulos de cada una de las salidas pueden variarse.
- 45 La figura 20D representa esquemáticamente un cuarto modo de realización de la boquilla de cabezal rotatorio que tiene dos salidas ortogonales que están anguladas aproximadamente 90° con respecto al eje de rotación.
- 50 La figura 21 ilustra una boquilla (o "boquilla de chorro de fluido"), a modo de ejemplo, que puede ser utilizada en este nuevo sistema de preparación y recubrimiento. La boquilla sirve para arrastrar partículas dentro de la corriente de fluido y después para dirigir las partículas a la superficie para la preparación y después para el recubrimiento. En general, la boquilla incluye (i) una entrada de fluido conectada a una bomba (designada por la referencia 26 en la figura 5) para recibir el fluido desde la bomba; y (ii) una entrada de partículas conectada al subsistema de suministro de partículas para recibir las partículas que se van a utilizar para la preparación. La boquilla arrastra las partículas dentro de la corriente el fluido para producir una corriente de fluido de partículas arrastradas. La boquilla incluye (iii)

una salida para dirigir la corriente de fluido de partículas arrastradas a la superficie para de este modo preparar la superficie a una rugosidad superficial prescrita.

5 La boquilla puede ser una boquilla ultrasónica que tiene un transductor piezoeléctrico o magnetostrictivo conectado a una micropunta para modular el chorro de fluido. La boquilla está diseñada para modular por ultrasonidos un chorro de agua u otro chorro de líquido para producir un chorro de agua pulsado forzado de alta presión. El agua presurizada se lleva adentro de la boquilla en la entrada de agua. Las partículas de recubrimiento son inyectadas o succionadas dentro de la boquilla a través de dos entradas de partículas en ángulo (aberturas de succión). En esta configuración particular, las entradas de partículas (aberturas de succión) son parte de un cuerpo cilíndrico roscado en la boquilla como un componente anular exterior que rodea la posición de la boquilla que alberga la micropunta.

10 Un pasaje central en el cuerpo cilíndrico define una cámara de mezclado. La cámara de mezclado está situada aguas abajo de las entradas de partículas en ángulo (aberturas de succión) para mezclar las partículas con el chorro de agua pulsado / modulado para crear una mezcla pulsada (es decir, la mezcla consiste en el agua y las partículas). La boquilla también incluye una salida (o tubo de salida) que se extiende aguas abajo desde la cámara de mezclado por dentro del cuerpo cilíndrico.

15 La figura 21 es una representación esquemática de una boquilla (convergente -divergente) del Laval para generar un chorro de gas pulsado o continuo de partículas arrastradas, por ejemplo un chorro de aire pulsado. Una boquilla Laval tiene una sección convergente seguida de una sección divergente como se muestra la figura. La boquilla Laval se puede utilizar de forma ventajosa en un sistema de chorro de aire. Véase, por ejemplo "Mecanizado de materiales sólidos por chorro de aire de alta velocidad" de R. Kobayashi, Y. Fukunishi y T. Ishikawa publicado en Tecnología de corte por chorro (Grupo BHR; D Saunders, editor) como Procedimientos para el 10º simposio internacional (Ámsterdam, Países Bajos, 31 de octubre a 2 de noviembre, 1990). La boquilla Laval puede tener ya sea secciones cónicas o acampanadas. Como se representa además en la figura 21, para el chorro de gas pulsado tal como un chorro de aire pulsado, la boquilla incluye un transductor 210 piezoeléctrico o magnetostrictivo que oscila ultrasónicamente, con una micropunta 220 para generar el chorro de aire pulsado u otro chorro de gas pulsado. El transductor 210 de ultrasonidos y la micropunta 220 se encuentran dentro de la boquilla 200 como se muestra, con la micropunta extendiéndose dentro de la sección convergente de la boquilla Laval. Una entrada 223 de partículas se dispone de forma preferente aguas abajo de la micropunta 220. Para boquillas pulsadas ultrasónicamente, las partículas de recubrimiento son de forma preferente llevadas dentro de la boquilla aguas abajo de la micropunta conectada al extremo anterior del transductor de ultrasonidos para evitar por consiguiente el desgaste de la micropunta. Las características del flujo se pueden modular mediante la variación de parámetros clave tales como el diámetro de la entrada de aire, el diámetro de la garganta (d_N), el diámetro del orificio de salida (d_e), y los ángulos θ_1 y θ_2 . En un modo de realización, los ángulos θ_1 y θ_2 son iguales. En otro modo de realización, θ_1 es mayor que θ_2 . En otro modo de realización, θ_1 es menor que θ_2 . Estos son todos los parámetros importantes para generar un chorro de aire pulsado o continuo de partículas arrastradas altamente coherente y de alta velocidad. Dado que la densidad del aire es muy baja, las presiones de funcionamiento serán del orden de 1.000 psi (6,9 MPa).

20

25

30

35

La figura 22 muestra una representación esquemática de la fuente de alimentación de CC de alto voltaje requerida para generar el campo eléctrico entre el cuerpo de la boquilla ultrasónica y la pieza de trabajo. El generador 301 de alto voltaje con el panel 302 de control está contenido en la jaula 303 de Faraday. La jaula está refrigerada mediante conducciones 304 adecuadas hacia un compresor 305 de aire. El cable 306 aislado de alto voltaje está contenido en un tubo de plástico (por ejemplo el cable puede estar conectado o bien a la boquilla o a la pieza de trabajo en las celdas como se muestra en el ejemplo de la figura 1). La jaula de Faraday está hecha de escudos metálicos utilizando hojas o mallas, se emplea ampliamente para proteger instrumentos electrónicos de daños causados por campos eléctricos externos y pulsos electromagnéticos (EMP). Además la jaula de Faraday garantiza la seguridad de los operarios que trabajan en las proximidades del sistema de recubrimiento. Las paredes externas (incluyendo el techo y el suelo) de la celda están cubiertas con hojas de metal y con mallas metálicas para ventanas y puertas. Las paredes externas están completamente conectadas a tierra, de manera que cualquier posible descarga eléctrica que suceda en las celdas estará confinada en la celda y no causará daño a la gente ni daños a los instrumentos electrónicos que estén fuera de la celda. Además, para mantener una larga distancia entre las paredes interiores y la celda de recubrimiento / fuente de alimentación de alto voltaje, las paredes interiores de la celda están hechas de material de aislamiento eléctrico para prevenir un posible corte eléctrico de aire en la jaula.

40

45

50

Este novedoso sistema integrado permite el decapado, preparación y recubrimiento de piezas a restaurar (o, de forma alternativa, la preparación y el recubrimiento de nuevas piezas que no requieren el decapado de recubrimientos viejos o desgastados). El etapa de preparación de la superficie se puede lograr con un chorro de fluido continuo o pulsado, con o sin abrasivos (que podrían ser las partículas de recubrimiento). El recubrimiento se puede llevar a cabo utilizando la nueva técnica de galvanizado. En este caso, el recubrimiento se puede llevar a cabo mediante un giro del interruptor eléctrico que enciende el campo eléctrico para cargar las partículas de recubrimiento. En otras palabras, todas las operaciones se pueden llevar a cabo en una sola cabina o celda tal como la mostrada, a modo de ejemplo, en las figuras 1-3.

55

De lo anterior, es evidente que el chorro de fluido puede ser un chorro de gas continuo (por ejemplo, chorro de aire), un chorro de gas pulsado (por ejemplo, chorro de aire pulsado), un chorro de líquido continuo (por ejemplo, un chorro de agua continuo) o un chorro de líquido pulsado (por ejemplo, un chorro de agua pulsado). Independientemente de la naturaleza del chorro de fluido, el mismo tipo de partículas de recubrimiento que son por consiguiente utilizadas para el recubrimiento de la superficie son utilizadas en primer lugar como partículas de

60

chorreado (partículas abrasivas) para preparar la superficie. Las partículas de recubrimiento son entonces arrastradas dentro de la corriente de fluido, que puede ser líquido o gas, continua o pulsada, y eléctricamente cargada antes de ser acelerada a velocidades supersónicas para incidir contra la superficie a recubrir.

5 En el modo de realización descrito anteriormente, la pieza se carga a una polaridad opuesta a la de las partículas. Sin embargo, en otro modo de realización, es posible cargar sólo las partículas. El exceso de electrones transportados por las partículas cargadas se conducirá a la pieza, debido a que la pieza está conectada a tierra. Y por lo tanto la pieza proporciona una conducción a tierra para que los electrones fluyan.

10 En algunos modos de realización, el sistema integrado de decapado (si se requiere), preparación y recubrimiento incluye un ordenador, un microprocesador o microcontrolador para controlar las operaciones de decapado (si se requiere) de preparación y de recubrimiento para el sistema. Por ejemplo, el microprocesador puede iniciar el decapado y preparación desactivando (apagando) el campo eléctrico ionizado, si está activo de un ciclo previo de decapado y preparación y recubrimiento, y desviar la(s) válvula(s) del subsistema de suministro de partículas a la tolva de partículas deseada (en la que se utilizan dos tamaños de malla diferentes de partículas de recubrimiento, si se requiere, uno para el decapado y preparación, y otra para el recubrimiento). El microprocesador puede también, 15 por ejemplo, controlar el funcionamiento de la bomba y/o del generador de ultrasonidos (donde se utilice un chorro de fluido pulsado). El microprocesador también puede, por ejemplo, controlar la válvula para regular el suministro/arrastre de las partículas dentro de la boquilla.

20 La determinación del momento de decapado, si se requiere, y de preparación de la pieza puede ser realizada por el microprocesador (o de forma alternativa por un técnico u otro usuario). El microprocesador puede determinar que se ha completado el decapado y la preparación de la pieza basándose en un acabado superficial programado o predeterminado, el cual se determina mediante la magnitud de los valores de Ra y/o Rz.

25 El microprocesador puede, entonces, conmutar automáticamente el sistema del modo de decapado/preparación al modo de recubrimiento aunque, en otros modos de realización, esto se puede realizar de forma manual por un técnico u otro usuario. Para el recubrimiento, el campo eléctrico es activado encendiendo la fuente de alimentación de CC. Esto se puede hacer mediante el microprocesador. Por ejemplo, el microprocesador puede transmitir una señal de activación al interruptor que enciende la fuente de CC. Cuando se ha completado el recubrimiento, el microprocesador envía una señal de desactivación al interruptor para apagar el campo eléctrico. El voltaje de salida de la fuente de alimentación de CC también se puede controlar mediante el microprocesador para proporcionar una resistencia variable al campo eléctrico.

30 Para el modo de recubrimiento, se puede utilizar también el microprocesador para cambiar la tolva de partículas para arrastrar un tamaño de malla diferente del mismo tipo de partículas de recubrimiento. El microprocesador también puede controlar la válvula para regular el flujo de partículas de recubrimiento dentro de la boquilla. El microprocesador puede también controlar la bomba y/o el generador de ultrasonidos ya que puede, en ciertos casos, ser deseable hacer funcionar la boquilla a una presión y/o a una frecuencia ultrasónica diferente para decapar, 35 preparar y recubrir, aunque se puede emplear la misma presión y frecuencia ultrasónicas en la mayoría de los casos para decapar, preparar y recubrir.

40 El microcontrolador (junto con el resto del sistema de decapado/preparación/recubrimiento) puede estar integrado dentro de un sistema de restauración con una parte robótica o totalmente automatizada, capaz de recibir una pieza, decapar la pieza y después recubrir la pieza. En otras palabras, el nuevo sistema de preparación y recubrimiento puede estar integrado dentro de un sistema de restauración con una parte integral que decape un recubrimiento existente, prepare la superficie a una rugosidad superficial deseada, y aplique un nuevo recubrimiento. La etapa de retirada del recubrimiento se puede realizar utilizando chorros de fluido continuos, y con o sin un abrasivo arrastrado dentro del chorro de fluido. El microprocesador puede controlar el chorro de fluido y cualquier abrasivo (opcional) de manera que la boquilla funciona a diferentes conjuntos de parámetros de funcionamiento para el decapado, la 45 preparación y recubrimiento. Por ejemplo, un primer conjunto de parámetros de funcionamiento puede ser utilizado para retirar el recubrimiento, un segundo conjunto de parámetros de funcionamiento puede ser utilizado para la preparación de la superficie, y un tercer conjunto de parámetros de funcionamiento puede ser utilizado para el recubrimiento. Un único sistema integrado puede por lo tanto realizar todas las operaciones de restauración necesarias para restaurar completamente una pieza.

50 Se describen ahora a continuación aspectos adicionales de la invención.

Como se divulga en la Patente US 7,594,614 (Vijay y otros), casi todas las piezas utilizadas en la industria requieren algún tipo de recubrimiento para protegerlas contra la corrosión, el desgaste, etc. un ejemplo es el tren de aterrizaje de un avión. En general, el recubrimiento de una pieza es un proceso de varias etapas que consiste en limpiarlo, 55 eliminar cualquier recubrimiento existente, y preparar la superficie para las especificaciones requeridas antes de aplicar el nuevo recubrimiento. Se ha de notar que los medios de limpieza para eliminar cualquier suciedad, mugre o polvo sin eliminar el recubrimiento. Medios de decapado para eliminar el recubrimiento. Medios de preparación para llevar la rugosidad de la superficie de la pieza a un valor deseado de Rz y/o Rz, aunque el perfil de superficie esté caracterizado utilizando otros parámetros tales como Rmax (medida más grande de pico a valle), Rt (medida del pico máximo al valle mínimo) y Pc (recuento de picos). Los medios de recubrimiento que aplican una partícula o 60 polvo para recubrir la pieza (siendo la principal diferencia entre una pintura líquida convencional y recubrimiento en

5 polvo el que el recubrimiento en polvo no requiere de un solvente para mantener las partes de relleno y aglomerado en forma de suspensión líquida). Tradicionalmente, la preparación de la superficie se lleva a cabo mediante un chorreado con medios abrasivos, los cuales son generalmente partículas de arena u otros medios, que son partículas extrañas, que pueden causar daño a la estructura atómica del sustrato. Tal y como se divulga por Vijay (en la Patente US 8,389,066), este problema se puede superar mediante la utilización de las mismas partículas que son utilizadas para el recubrimiento de la pieza. Por ejemplo, si se utilizan partículas de titanio para el recubrimiento de la pieza, entonces las mismas partículas se pueden utilizar para la preparación de la superficie. Es también posible preparar la superficie con un chorro de agua pulsado de alta frecuencia (publicación de la solicitud de patente US 2011/0250361) o con un chorro de agua de cavitación (Patente US 8,297,540) con o sin abrasivos en el chorro. Además, las operaciones son llevadas a cabo normalmente en diferentes puntos. La pieza puede decaparse en una planta, ser enviada a otra para la preparación y para volver a recubrirse en otra factoría más. Esto implica un aumento en el tiempo de amortización (TAT) con una cantidad considerable de dinero gastado en el envío, almacenamiento y otros costes. El propósito de la invención descrita en esta solicitud es llevar a cabo todos estos procesos en un sólo sitio lo cual resulta en ahorros considerables en tiempo y costes. Otra ventaja más es que toda la técnica es respetuosa con el medioambiente dado que no se generan productos de desecho.

La figura 1 muestra una cabina, estación o celda típica en la cual la secuencia las operaciones de decapado, de preparación y de recubrimiento (o la vuelta a recubrir) se pueden llevar a cabo automáticamente. De forma opcional, una etapa inicial de limpieza de la pieza se puede realizar antes del decapado, la preparación, y la vuelta a recubrir. En el modo de realización de la invención, se utilizan chorros de fluido de alta velocidad, ya sean continuos o pulsados, para limpiar, preparar, decapar y recubrir la pieza 4. El proceso de recubrimiento, como se ilustra en las figuras 4, 5 y 6, es una mejora de una técnica de recubrimiento electrostática, sin embargo modificada para trabajar con chorros de fluido de alta velocidad, ya sean continuos o pulsados. En otras palabras, los modos de realización ilustrados del sistema utilizan una fuente de alimentación de corriente continua CC nominada para funcionar a voltajes por encima de 500 kV para cargar la pieza y las partículas de recubrimiento, dependiendo del tipo de partículas de recubrimiento y de la pieza. Cuando el interruptor que conecta la fuente de alimentación de CC está apagado, el chorro de fluido de alta velocidad, ya sea continuo o pulsado, actúa para limpiar, decapar y preparar la pieza para ser posteriormente recubierta. Como se divulga en US 8,389,066, si la pieza a recubrir está fabricada de materiales duros, tales como aceros duros, el chorro de fluido arrastrará el mismo tipo de partículas de recubrimiento que se utilizan como partículas abrasivas para la preparación de la superficie. Para las piezas fabricadas con metales blandos, tales como aleaciones de aluminio, los chorros de fluido no requerirán partículas abrasivas para la preparación de la pieza. Aunque no se muestra la figura 1, el sistema automatizado incluye, como fue mostrado en la figura 4, un sistema de tolva de partículas abrasivas. Tal y como se divulga en US 8,389,066, dado que las partículas utilizadas en la fase de preparación son bastante grandes en su tamaño (varía en cualquier valor entre 105 micrones y 595 micrones) en comparación con los tamaños utilizados en la operación de recubrimiento (generalmente del orden de 50 micrones en la técnica de recubrimiento del HVOF, de 5 a 50 micrones en el sistema de pulverización en frío y desde 0,005 a 0,1 micrones en el sistema de nanopartículas) y como los tamaños de las partículas disminuyen después de cada operación de decapado y preparación, las partículas pueden ser recicladas y purificadas (filtradas) para volver a utilizarlas en el recubrimiento de la pieza. Como se muestra en las figuras 1 a 3, la cabina incluye un espacio totalmente insonorizado para reducir los niveles de ruido, una mesa 3 giratoria, una pieza 4, componente o pieza de trabajo a decapar, preparar y volver a recubrir, un monitor HMI (interacción humano-máquina) para permitir al operario interactuar con el robot, un robot 8 para articular la boquilla que genera un chorro de fluido de alta velocidad con o sin partículas abrasivas, una unidad de control del robot para programar el robot y una caja eléctrica con un generador de ultrasonidos el cual es utilizado para producir un chorro de fluido pulsado (cuando se desee un chorro de fluido pulsado) y otros componentes eléctricos, una bomba de alta presión (no mostrada en las figuras 1, 2 y 3) para generar chorros de fluido de alta velocidad, y un compresor (no mostrado en las figuras 1, 2 y 3) para generar un chorro de gas de alta velocidad, un sistema 5 de extracción con un filtro para eliminar algunas partículas que escapan con los chorros de fluido. La secuencia de operaciones implica montar la pieza en la mesa giratoria y cerrar las puertas de la celda, con la fuente de alimentación de CC apagada generando el chorro de fluido (el cual es tanto líquido como gas y el cual es tanto continuo como pulsado) como sea requerido por el trabajo, para limpiar, decapar y preparar la pieza, utilizando partículas de recubrimiento, si se desea, como abrasivos para decapar o preparar y cuando la pieza está preparada a las especificaciones requeridas (como se especifica en la publicación ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) estándar ASME B46.1-2002 (textura de la superficie (rugosidad de la superficie, aspereza, y textura); altamente variable dependiendo del tipo de técnica de recubrimiento, material de recubrimiento y del material de sustrato), encendiendo la fuente de alimentación de CC para recubrir la pieza. En otras palabras, en una cabina simple, la limpieza, el decapado, la preparación y el consiguiente recubrimiento de la pieza se pueden realizar, resultando en unos ahorros sustanciales de tiempo y costes. Esto es una mejora significativa con respecto a las tecnologías del estado de la técnica anterior disponibles para decapar, preparar y volver a recubrir piezas. Además, controlando los parámetros de funcionamiento tales como la presión, frecuencia de flujo (si se utilizan chorros pulsados), la distancia de separación y el voltaje, es posible usar cualquier tamaño de partículas de recubrimiento y preparar la superficie a cualquier especificación requerida. Como se muestra mediante el ejemplo en las figuras 1-3, el tamaño de las celdas es bastante pequeño en comparación, por ejemplo con un sistema típico de HVOF.

En consecuencia, las figuras 1, 2 y 3 representan un único sistema de llave en mano para (1) decapar un recubrimiento de una pieza (por ejemplo utilizando un chorro de agua pulsado forzado (FPWJ) o partículas de recubrimiento arrastradas por un chorro de mezcla o por un chorro de agua pulsado forzado (AFPWJ), (2) preparar la superficie (con FPWJ o AFPWJ) y (3) posteriormente recubrir la pieza con una técnica de recubrimiento descrita

en la descripción. Aunque los sistemas y métodos se cree que trabajan mejor con FPWJ o AFPWJ, la tecnología puede utilizarse con un chorro continuo o con un chorro pulsado (chorro pulsado natural o forzado) y con cualquier tipo de chorro de fluido (líquido o gas).

5 El novedoso sistema y método se cree que suponen una mejora significativa con respecto a las técnicas conocidas, resolviendo de forma específica las siguientes deficiencias con respecto a las tecnologías del estado de la técnica anterior:

(1) El cromado: esta técnica no estará permitida para el recubrimiento de piezas en la industria aeroespacial ya que el proceso de recubrimiento es cancerígeno.

10 (2) Pulverización por plasma: Aunque se utiliza ampliamente, esta técnica tiene algunas desventajas - altas temperaturas, baja resistencia a la adhesión y alta porosidad. Esta técnica se utiliza para recubrimientos TBC (es decir, recubrimientos de cerámica).

15 (3) Pulverización en frío: Esta técnica consiste en propulsar las partículas a altas velocidades para impactar en la superficie a recubrir. Esta es una unión puramente mecánica por impregnación. Esto se utiliza principalmente para el recubrimiento de sustratos blandos tales como aleaciones de aluminio y titanio y no es adecuada para aceros de alta resistencia.

(4) HVOF (combustible de oxígeno de alta velocidad): Las partículas se inyectan básicamente en un chorro de llama. Las partículas se funden y forman pequeñas gotas, que forman el recubrimiento después de impactar en la superficie. La técnica reemplazará el cromado en todas las industrias. El principal inconveniente son las altas temperaturas y la baja eficiencia de deposición, junto con un tamaño muy grande.

20 El novedoso sistema y método divulgado en este documento proporciona al menos dos grandes conceptos inventivos: (1) un único sistema integrado (por ejemplo, una única celda, cabina, estación, etc.) para decapar, preparar y volver a recubrir una pieza, y (2) recubrir la pieza utilizando una técnica de recubrimiento novedosa que se cree que es significativamente mejor que la técnica de pulverización en frío y que puede lograr las mismas características de recubrimiento que el HVOF sin los inconvenientes mencionados anteriormente.

25 Algunos de los factores utilizados para ensayar la nueva técnica fueron:

1. Resistencia a la adhesión (adherencia al sustrato, α): una buena resistencia a la adhesión se considera que sea 69-MN/m².

Las variables que pueden ser controladas en el método son:

30 Velocidad de las partículas (V_p): V_p está relacionada con la velocidad del chorro de fluido (V_j). Si se usa agua como el medio, dado que se pueden utilizar presiones de la bomba por encima de 100-kpsi (690 MPa), V_j se puede variar muy fácilmente (Nota: V_p será siempre $< V_j$, debido a los efectos de fricción en la cámara de mezclado; por lo tanto es muy importante diseñar una cámara de mezclado muy eficaz). La magnitud de V_p también dependerá del tipo de partícula utilizada para el recubrimiento (sea WC como oposición a Cr) debido a la variación en la densidad, ρ_c (función del tamaño de las partículas). El chorro que transporta las partículas podría ser un chorro de líquido con núcleo sólido, pulsado o continuo, o podría ser chorros de pequeñas gotas. Como se muestra en el diseño de las boquillas, mediante un diseño apropiado de la cámara de mezclado dentro de la cual se inyectan las partículas, es posible generar tanto chorros de líquido del núcleo sólido como de pequeñas gotas.

40 Voltaje de las partículas cargadas (V_c): Este también se puede variar desde 5 a V_{cmax} (por ejemplo 5-500kV). Sin embargo, desde el punto de vista de la seguridad, la magnitud de V_c debe ser lo más baja posible, lo que se puede lograr mediante el aumento de V_j . También, puesto que la unión de las partículas al sustrato es tanto electrónica como mecánica, la resistencia a la adhesión sería significativamente mejor que en la pulverización en frío.

45 Distancia de separación (S_d): Esta es otra variable importante para controlar la resistencia a la adhesión, el grosor y el área de recubrimiento y la eficiencia de deposición. Para cualquier combinación dada del tipo de partículas de recubrimiento y de la pieza a recubrir, es posible lograr un espesor uniforme deseado del recubrimiento, área de recubrimiento y resistencia a la adhesión mediante un conjunto adecuado de V_j , V_c y S_d y frecuencia (f), si se emplean chorros de fluido pulsados.

50 2. Perfil de Superficie (Preparación): La resistencia a la adhesión es conocida por ser una función del perfil de superficie. Dado que estamos usando partículas para el recubrimiento, las mismas partículas pueden utilizarse para la preparación (AFPWJ), si no es posible preparar sólo con el chorro de fluido, pulsado o continuo. Aunque los valores de R_a (valor rms de la rugosidad superficial) y R_z (pico a valle de la rugosidad superficial; ASME B46.1-2002) se utilizan para medir la calidad de la superficie preparada, R_z parece ser un factor determinante para la resistencia de la adhesión. Por lo tanto, α , la resistencia a la adhesión del recubrimiento es una función de V_j que propulsa las partículas a una velocidad V_p , V_c , S_d , R_z y ρ_c . El espesor del recubrimiento, por otro lado, depende del número de pasadas de la boquilla de chorro de fluido sobre la superficie a tratar. Por ejemplo en la técnica HVOF la magnitud del espesor de recubrimiento por pasada de chorro de llama sobre la superficie es del orden de 0,0005

pulgadas. En la novedosa técnica de recubrimiento propuesta en esta solicitud, es posible conseguir dos o tres veces el espesor de recubrimiento por pasada ya que la técnica tiene, además de las propiedades del chorro de fluido, el voltaje.

5 Los modos de realización de la boquilla para el recubrimiento de la pieza se muestran a modo de ejemplo en las figuras 6 a 9, aunque se pueden utilizar muchos otros diseños de la boquilla. Además, en los modos de realización mostrados en estas figuras, se utiliza un chorro de agua pulsado forzado (patente US 7,594,641) como medio para transportar las partículas de recubrimiento aunque se puede utilizar también cualquier otro medio adecuado (patente US 8,389,066). También, en los modos de realización mostrados, las partículas de recubrimiento que entran en la cámara de mezclado se ha mostrado que son neutras. Sin embargo, también es posible alimentar partículas
10 cargadas, que son cargadas en una tolva a través de la cámara de mezclado (véase las figuras 4 y 15). Se utilizan varios modos de realización de la boquilla dependiendo del tipo de partículas de revestimiento, el tamaño de las partículas (nanopartículas a micropartículas) y del tipo de sustrato, desde metales suaves (por ejemplo, aleaciones de aluminio) a metales duros (tales como aceros duros).

15 Para resumir, la presente invención proporciona dos amplios aspectos inventivos: (1) un único sistema integrado de decapado, preparación, y recubrimiento y su método relacionado y (2) una técnica de recubrimiento electrostática (campo eléctrico) la cual aprovecha los beneficios de los chorros de fluido pulsados o continuos de alta velocidad. La novedosa técnica de recubrimiento electrostático (campo eléctrico) con chorros de fluido de alta velocidad se puede utilizar en el sistema y método integrado de decapado, preparación y recubrimiento o se puede utilizarse sólo (es decir fuera del contexto de la cabina integrada). Del mismo modo, en otro modo de realización, el único sistema integrado de decapado, preparación y recubrimiento puede utilizar una técnica de recubrimiento de pulverización en frío en lugar de la técnica electrostática. El novedoso sistema integrado de recubrimiento proporciona un dispositivo de una etapa permitiendo a una pieza ser decapada, preparada y después recubierta utilizando el mismo sistema (por ejemplo, la misma cabina, celda o estación) sin tener que transportar o mover la pieza a otro sitio o, en algunos casos, incluso sin tener que volver a montar o volver a agarrar la pieza en la mesa giratoria o portapiezas dentro de
20 la celda, cabina o estación. El sistema integrado único, en el modo de realización ilustrado, es una única cabina o estación que tiene de forma preferente un cerramiento totalmente a prueba de sonido dentro del cual permanece la pieza durante todo el proceso de decapado, preparación y recubrimiento, una boquilla montada de manera robótica que realiza todos los procesos de decapado, preparación y recubrimiento y una sola fuente de alimentación eléctrica para la estación. La celda incluye una puerta para acceder a la mesa giratoria o al portapiezas para instalar y retirar la pieza. La celda puede tener una ventana para observar las operaciones desde el exterior de la celda. La celda es, de forma preferente, un cerramiento estanco y preferiblemente incluye un sistema de extracción para extraer el aire o la humedad de la celda. En otras palabras, la estación integrada única realiza todas las operaciones de decapado, preparación y recubrimiento utilizando un chorro de fluido desde una boquilla controlada de forma robótica.

25 En un modo de realización, el mismo tipo (es decir la misma composición química) de partículas de recubrimiento que son utilizadas para el recubrimiento de la superficie son también utilizadas para la preparación de la superficie. En la etapa de preparación, las partículas de recubrimiento no cargadas son arrastradas dentro del chorro de fluido pulsado continuo de alta velocidad para preparar la superficie a una rugosidad superficial prescrita. Posteriormente, en la etapa de recubrimiento, el mismo tipo de partículas de recubrimiento son cargadas eléctricamente y conducidas a alta velocidad a la superficie preparada de la pieza para de este modo recubrir la pieza.

30 Los métodos y procesos de decapado, preparación y recubrimiento se pueden realizar en respuesta a comandos del usuario (datos de entrada del usuario) recibidos de un operario, por ejemplo a través del HMI. Alternativamente, una serie de comandos secuenciales se puede programar mediante los datos de entrada del usuario. En una implementación adicional, un sistema automatizado puede detectar automáticamente cuando se ha completado el decapado de la pieza utilizando un subsistema de visión artificial y entonces cambiando automáticamente al modo de preparación. Del mismo modo, el sistema automatizado puede detectar automáticamente cuando se ha completado la preparación. Para detectar que se ha hecho la preparación, el sistema utiliza el subsistema de visión artificial y entonces cambia automáticamente al modo de recubrimiento. El sistema automatizado puede entonces notificar al usuario de que el proceso ha sido completado. El subsistema de visión artificial puede incluir un sensor CCD (Dispositivo de carga acoplada) o CMOS (semiconductor complementario de óxido metálico) (o un grupo de sensores) acoplado a un microscopio que proporciona datos a un microprocesador que hace funcionar una máquina de algoritmo de visión para evaluar la textura de la superficie. Otra técnica de inspección óptica supone dirigir un laser a la superficie y capturar una luz reflejada para evaluar la rugosidad superficial (por ejemplo, la Patente US 4334780 la Patente US 5584921, la Patente US 5436645 y la Patente US 7184138). El sistema automatizado puede tener un procesador o una Unidad Central de Procesado (CPU) acoplada a una memoria para ejecutar un software de control que recibe los datos de entrada del usuario y/o de la visión artificial (inspección óptica) y conjuntos y/o parámetros de funcionamiento ajustados dinámicamente (por ejemplo, voltaje del campo eléctrico, presión de fluido, porcentaje regulado de partículas de recubrimiento, distancia de separación, campo magnético aplicado, calor aplicado) para proporcionar un acabado o rugosidad superficiales especificadas por el usuario, por ejemplo un valor específico de Ra o Rz. La memoria puede almacenar una base de datos de los valores deseados de Ra o Rz para diferentes materiales, aplicaciones y recubrimientos. Por lo tanto, el usuario puede introducir el tipo de material, la aplicación o el tipo de pieza (por ejemplo, tren de aterrizaje) y el recubrimiento deseado. El sistema automatizado puede computar los valores objetivo de Ra o Rz y entonces realizar el decapado, preparación y recubrimiento para lograr los valores objetivo de Ra o Rz.
35
40
45
50
55
60

5 Queda entendido que las formas singulares “un”, “una” y “el/la” incluyen referencias en plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Por lo tanto, por ejemplo la referencia a “un dispositivo” incluye referencia a uno o más de dichos dispositivos, es decir que hay al menos un dispositivo. Los términos “comprendiendo”, “teniendo”, “incluyendo”, “suponiendo”, “implicando” y “conteniendo” deben ser interpretados como términos de significado amplio (es decir significando “incluyendo, pero no limitado a”), a menos que se note lo contrario. Todos los métodos descritos en este documento se pueden realizar en cualquier orden adecuado a menos que se indique lo contrario en este documento o que de lo contrario se contradiga de forma clara por el contexto. La utilización de ejemplos o lenguaje ejemplar (por ejemplo, “tal como”) se pretende que ilustre meramente mejor o describa modos de realización de la invención y no se pretende limitar el ámbito de la invención a menos que se reivindique lo contrario.

10 Mientras que varios modos de realización han sido proporcionados en la presente divulgación, se debería entender que los sistemas y métodos divulgados podrían estar realizados en muchas otras formas específicas sin alejarse del espíritu o ámbito de la presente divulgación. Los presentes ejemplos han de ser considerados como ilustrativos y no restrictivos, y la intención no es limitarse a los detalles dados en este documento. Por ejemplo, los distintos elementos o componentes pueden estar combinados o integrados en otro sistema o ciertas características pueden ser omitidas, o no implementadas.

15 Además, las técnicas, sistemas, subsistemas y métodos descritos e ilustrados en los distintos modos de realización como discretos o separados se pueden combinar o integrar con otros sistemas, módulos, técnicas o métodos sin alejarse del ámbito de la presente divulgación. Otros objetos mostrados o mencionados como acoplados o directamente acoplados o comunicados unos con respecto a otros pueden estar indirectamente acoplados o comunicados a través de algún interfaz, dispositivo, o componentes intermedios ya sea eléctricamente, mecánicamente, o de otra manera. Otros ejemplos de cambios, sustituciones, y alteraciones pueden ser determinados por un experto la materia y pueden realizarse sin alejarse del espíritu y ámbito divulgado en este documento.

20 En consecuencia, los modos de realización de la presente invención descritos anteriormente están destinados a ser sólo ejemplares. Como será apreciado por aquellos expertos en la materia, a los cuales se destina esta descripción, se pueden hacer muchas variaciones, modificaciones, y perfeccionamientos a los modos de realización utilizando los conceptos inventivos presentados en este documento. El ámbito del derecho exclusivo pretendido por el solicitante está por lo tanto destinado a ser definido únicamente a través de las reivindicaciones anexas.

30

Reivindicaciones

1. Un sistema de chorro de fluido integrado para el decapado, preparación y recubrimiento, de forma secuencial, de una piza a restaurar, el sistema integrado que comprende:
 - una celda (1) que define un recinto blindado eléctricamente y que tiene una puerta;
- 5 un portapiezas (23) para sostener la pieza dentro de la celda (1);
 - un brazo (8) robótico móvil dentro de la celda (1);
 - una boquilla (20, 31, 41) montada sobre el brazo (8) robótico, en el que la boquilla (20, 31, 41) incluye una entrada de partículas para recibir las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento y en el que la boquilla (20, 31, 41) incluye un transductor (62, 210) de ultrasonidos accionado mediante un generador de ultrasonidos;
- 10 una fuente de fluido a presión para suministrar un fluido a presión a la boquilla ultrasónica (20, 31, 41) para permitir que la boquilla (20, 31, 41) genere un chorro (21, 54, 98) de fluido pulsado;
 - un generador (69, 71) de campo eléctrico para generar un campo eléctrico para cargar las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento transportadas por el chorro (21, 54, 98) de fluido pulsado; y
- 15 una interfaz (2) hombre-máquina externa a la celda (1) para la recepción de comandos del usuario y para controlar el brazo (8) robótico y el chorro de fluido que sale desde la boquilla (20, 31, 41) en respuesta a los comandos del usuario.
 2. El sistema como se reivindica en la reivindicación 1 que comprende además un generador (73, 74) de campo magnético para generar un campo magnético para mantener las partículas en cohesión y enfocadas a mejorar el impacto de las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento en la superficie.
 - 20 3. El sistema como se reivindica en la reivindicación 1 o la reivindicación 2 que comprende además un calentador (75, 76) por inducción para el calentamiento de las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento para mejorar la adherencia de las partículas a la superficie.
 - 25 4. El sistema como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además un subsistema de reciclado de partículas para partículas (131, 141, 151) de recubrimiento no adheridas, recicladas utilizadas para preparar la superficie, para su uso posteriormente en el recubrimiento de la superficie.
 5. El sistema como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además un sistema (5) de extracción para extraer la humedad de la celda (1).
6. Un método para el decapado, preparación y recubrimiento de una pieza a restaurar utilizando un único sistema de chorro de fluido, el método que comprende:
 - 30 sujetar la pieza en un portapiezas (23) dispuesto en el interior de una celda (1) que define un recinto blindado eléctricamente;
 - suministrar líquido a presión a una boquilla (20, 31, 41) ultrasónica montada en un brazo (8) robótico móvil dentro de la celda (1) y controlable mediante una interfaz (2) hombre-máquina desde fuera de la celda (1);
 - 35 generar un chorro (21, 54, 98) de fluido pulsado accionando un transductor (62, 210) de ultrasonidos en la boquilla (20, 31, 41) ultrasónica;
 - decapar la superficie de la pieza utilizando el chorro (21, 54, 98) de fluido pulsado;
 - preparar la superficie utilizando el chorro (21, 54, 98) de fluido pulsado;
 - generar un campo eléctrico para cargar las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento; y
 - 40 recubrir la pieza arrastrando partículas (131, 141, 151) de recubrimiento dentro del chorro (21, 54, 98) de fluido pulsado, cargándose las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento eléctricamente por el campo eléctrico.
7. El método como se reivindica en la reivindicación 6 que comprende además generar un campo magnético para mantener las partículas (131, 141, 151) en cohesión y enfocadas a mejorar el impacto de las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento en la superficie.
- 45 8. El método como se reivindica en la reivindicación 6 o la reivindicación 7 que comprende además el calentamiento de las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento para mejorar la adherencia de las partículas (131, 141, 151) a la superficie.

9. El método como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que la preparación de la superficie se realiza utilizando las partículas (131, 141, 151) de recubrimiento como partículas abrasivas.

5 10. El método como se reivindica en la reivindicación 9 que comprende además el reciclado de partículas (131, 141, 151) de recubrimiento no adheridas, utilizadas para preparar la superficie, para su uso posteriormente en el recubrimiento de la superficie.

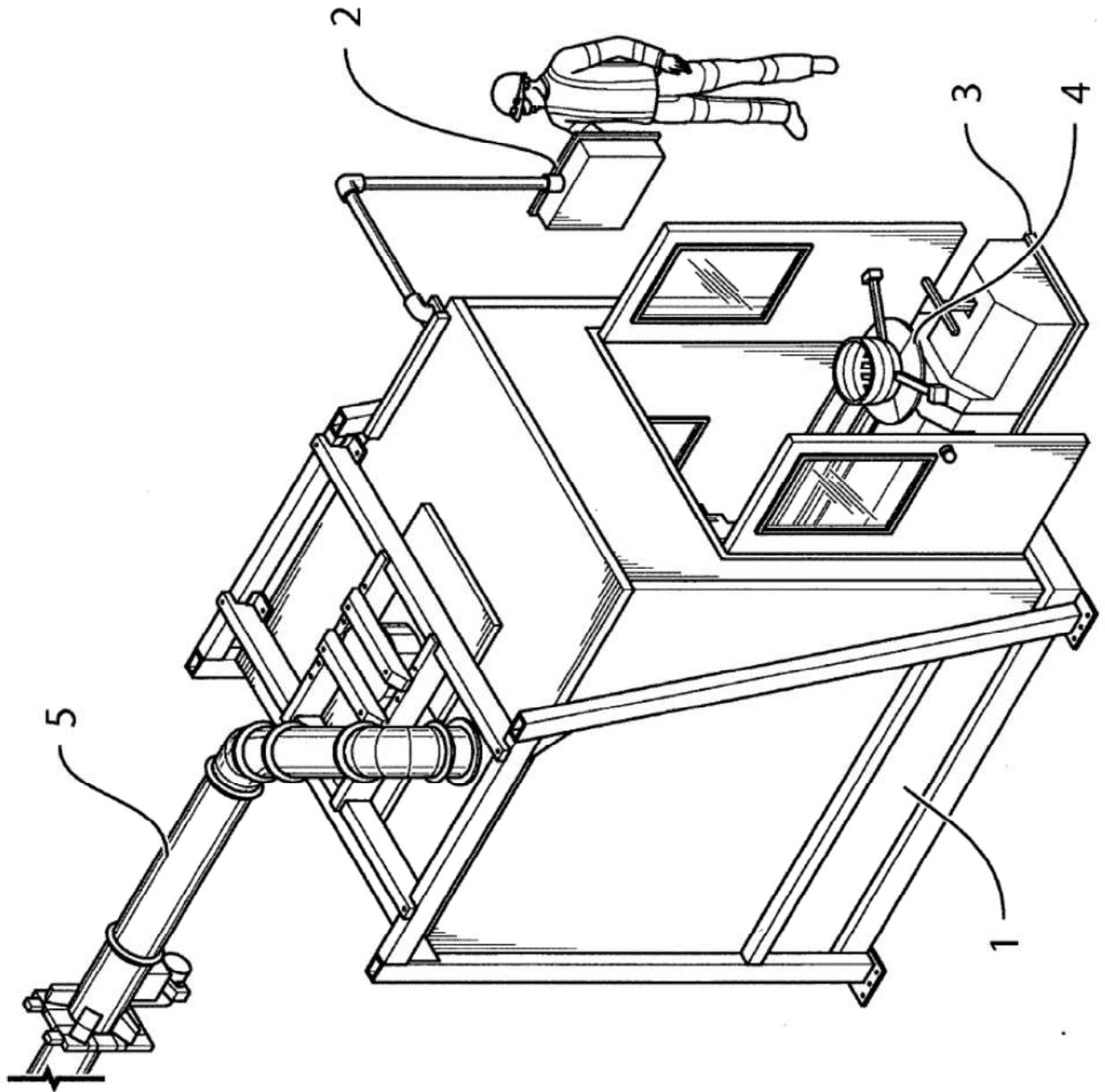


FIG. 1

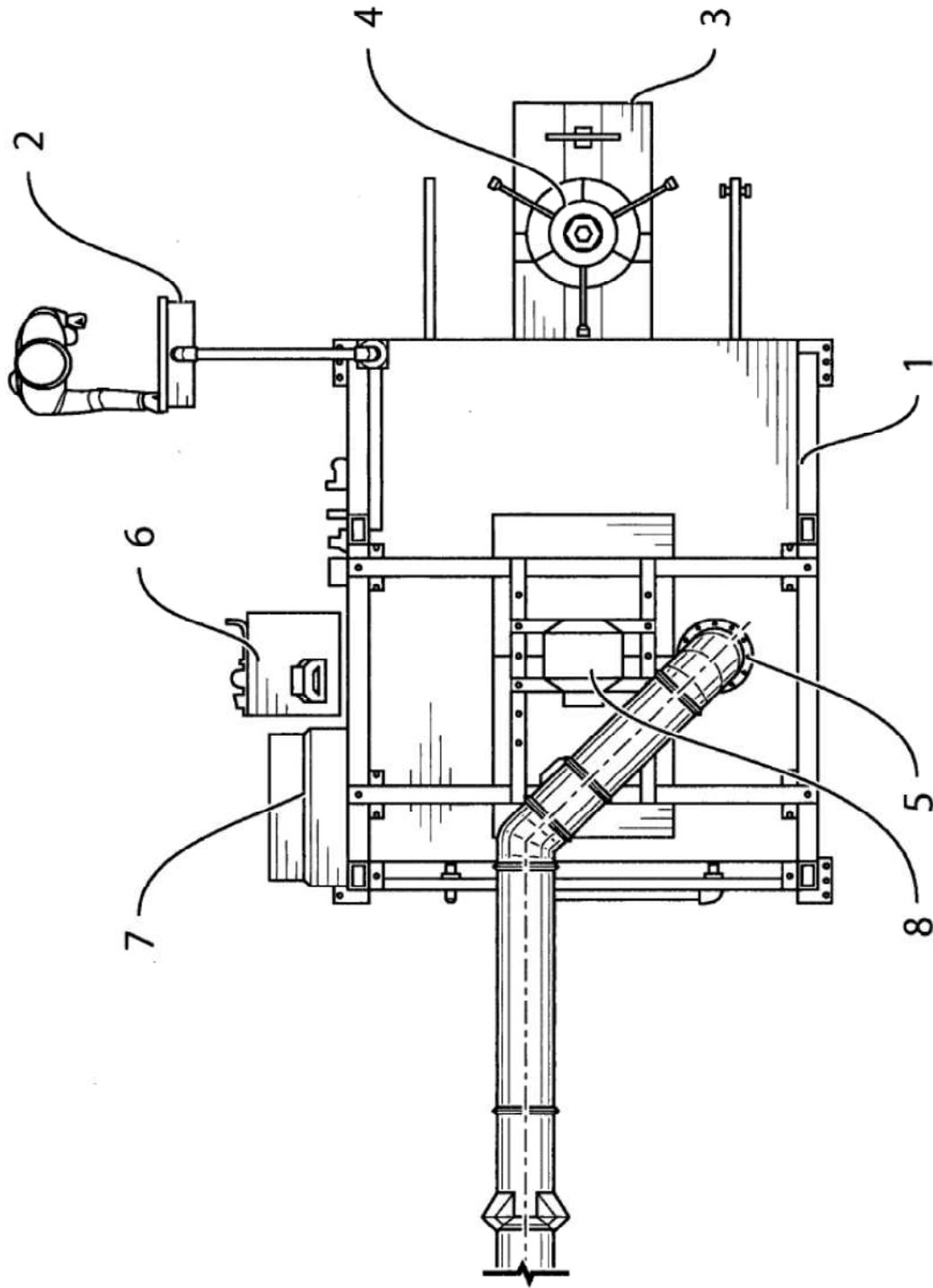


FIG. 2

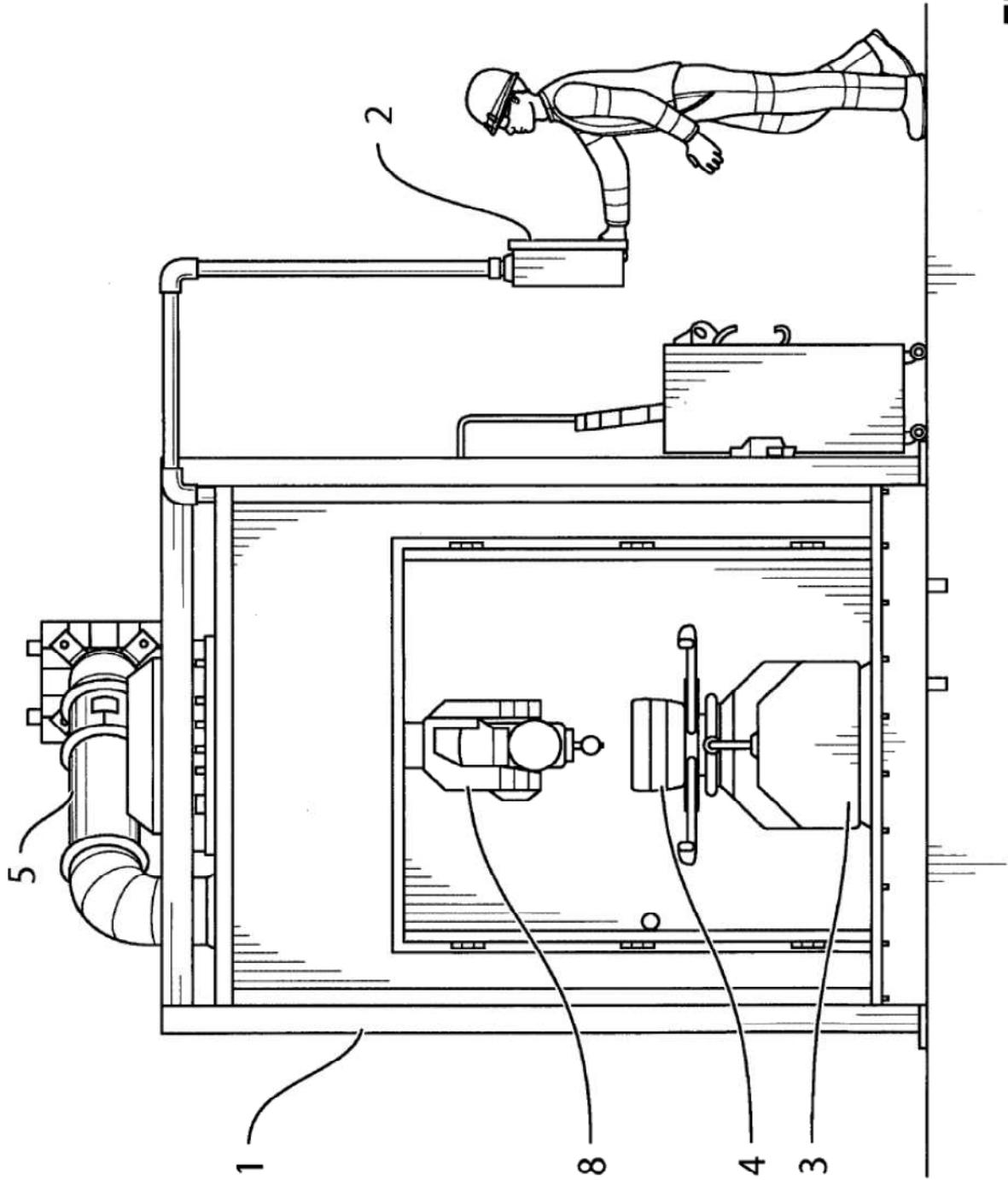


FIG. 3

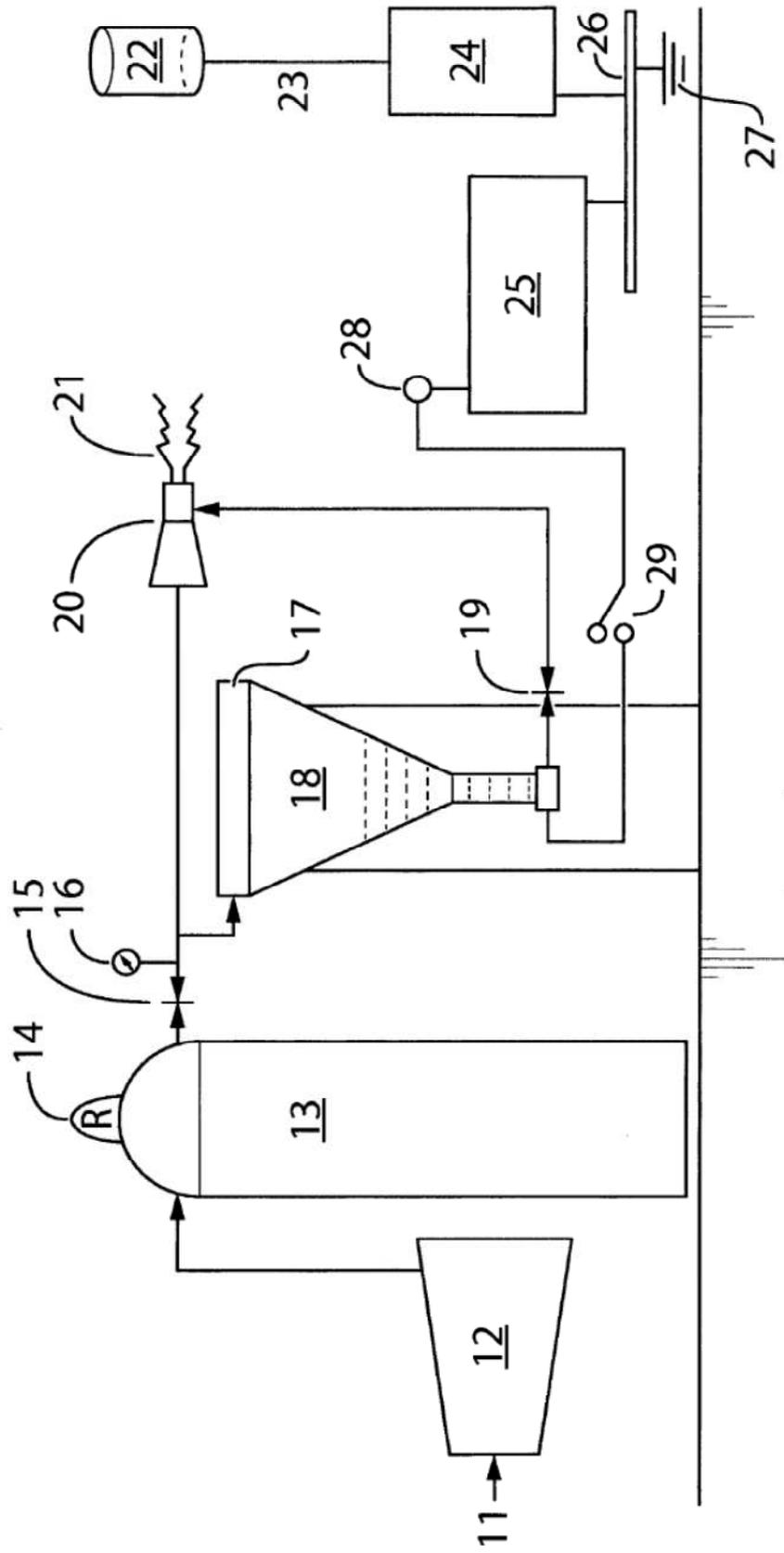


FIG. 4

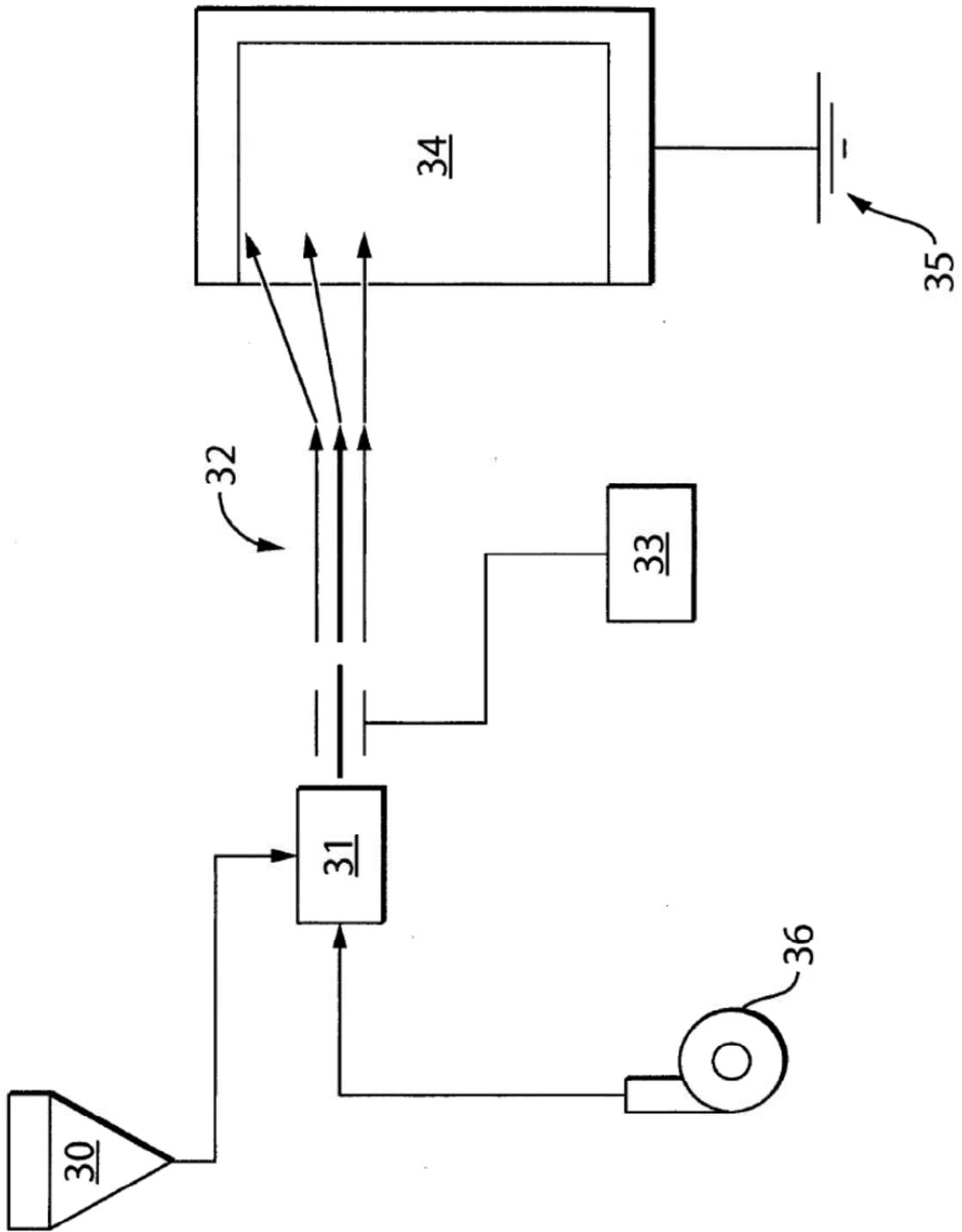


FIG. 5

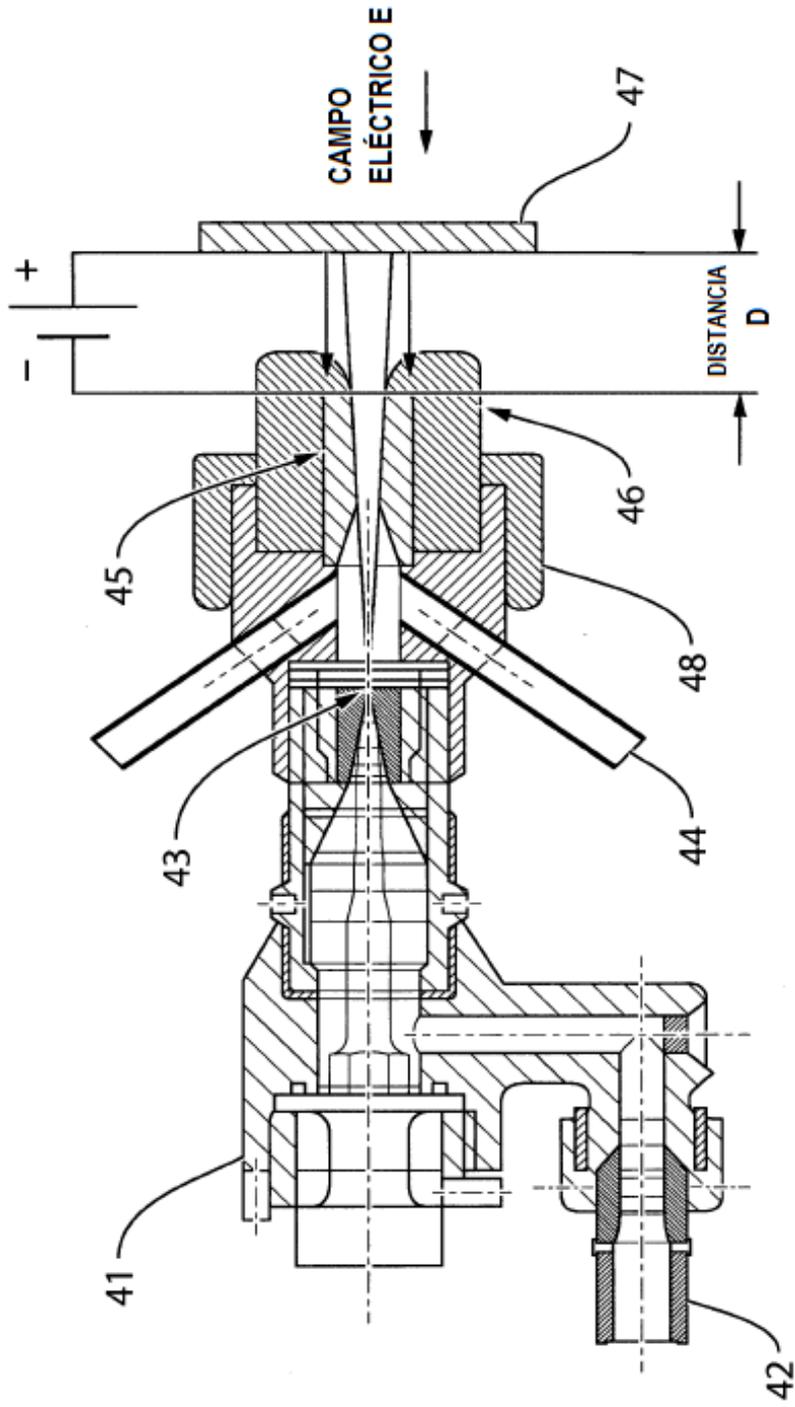


FIG. 6

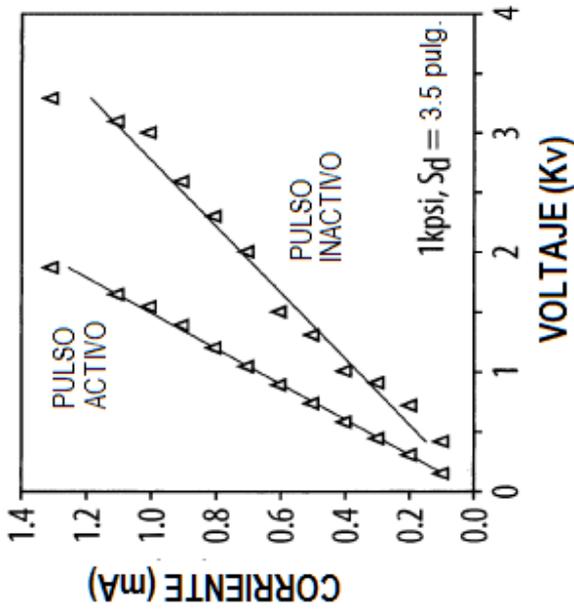


FIG. 7a

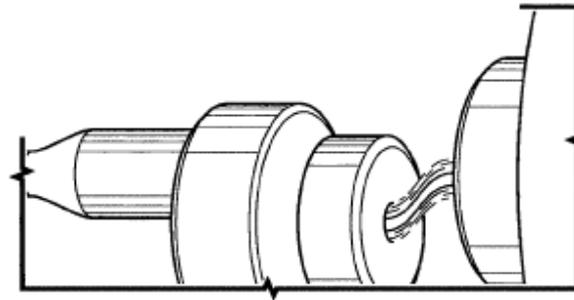


FIG. 7c

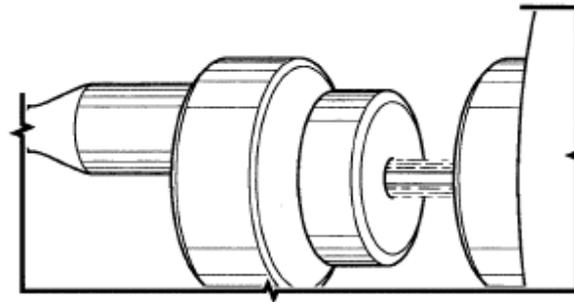


FIG. 7d

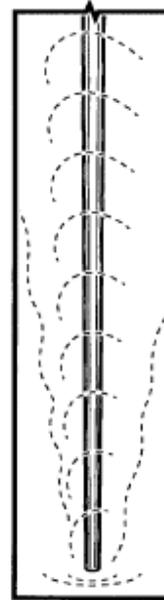


FIG. 7b

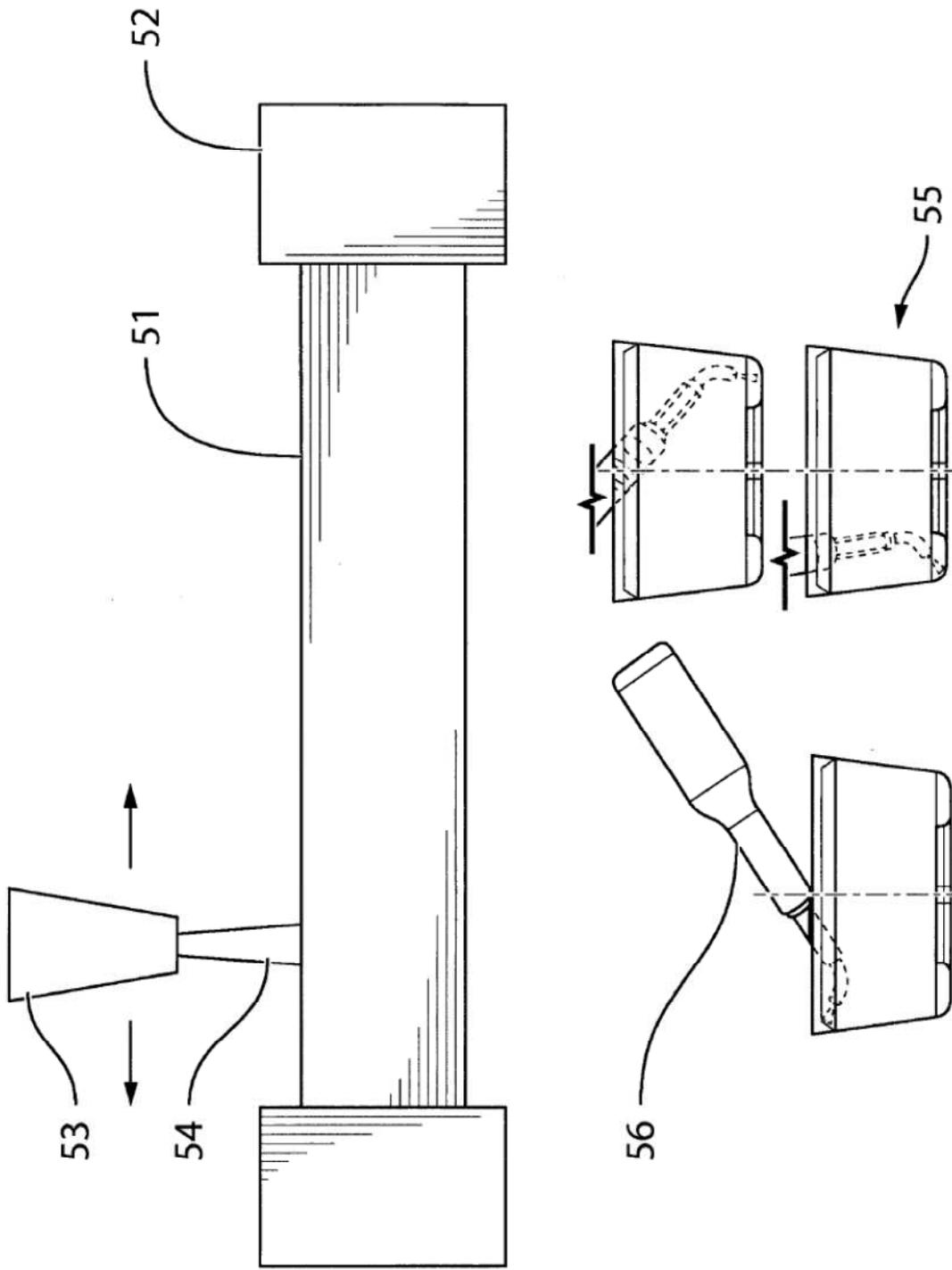


FIG. 8

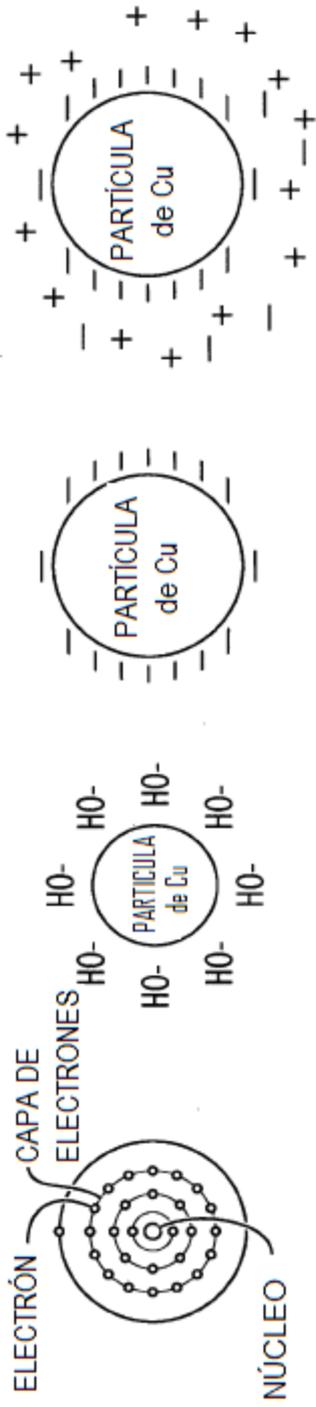


FIG. 9a

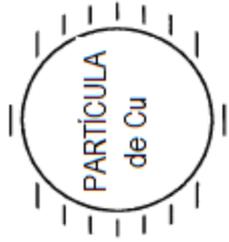


FIG. 9c

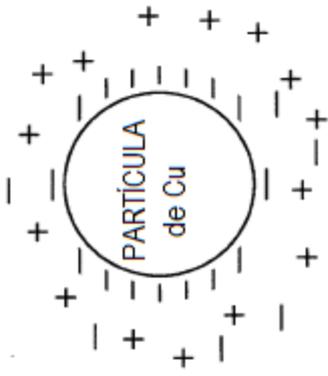


FIG. 9d

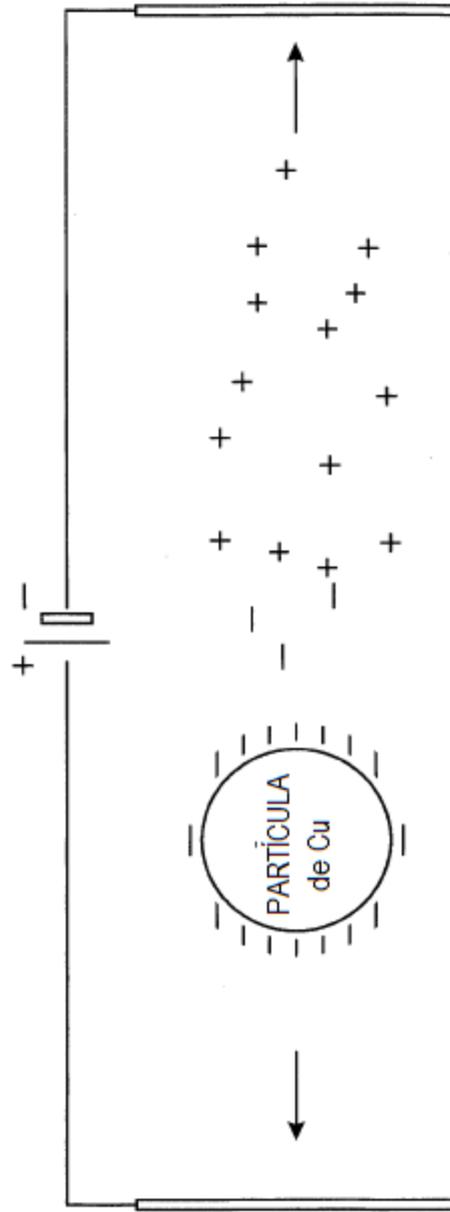


FIG. 9e

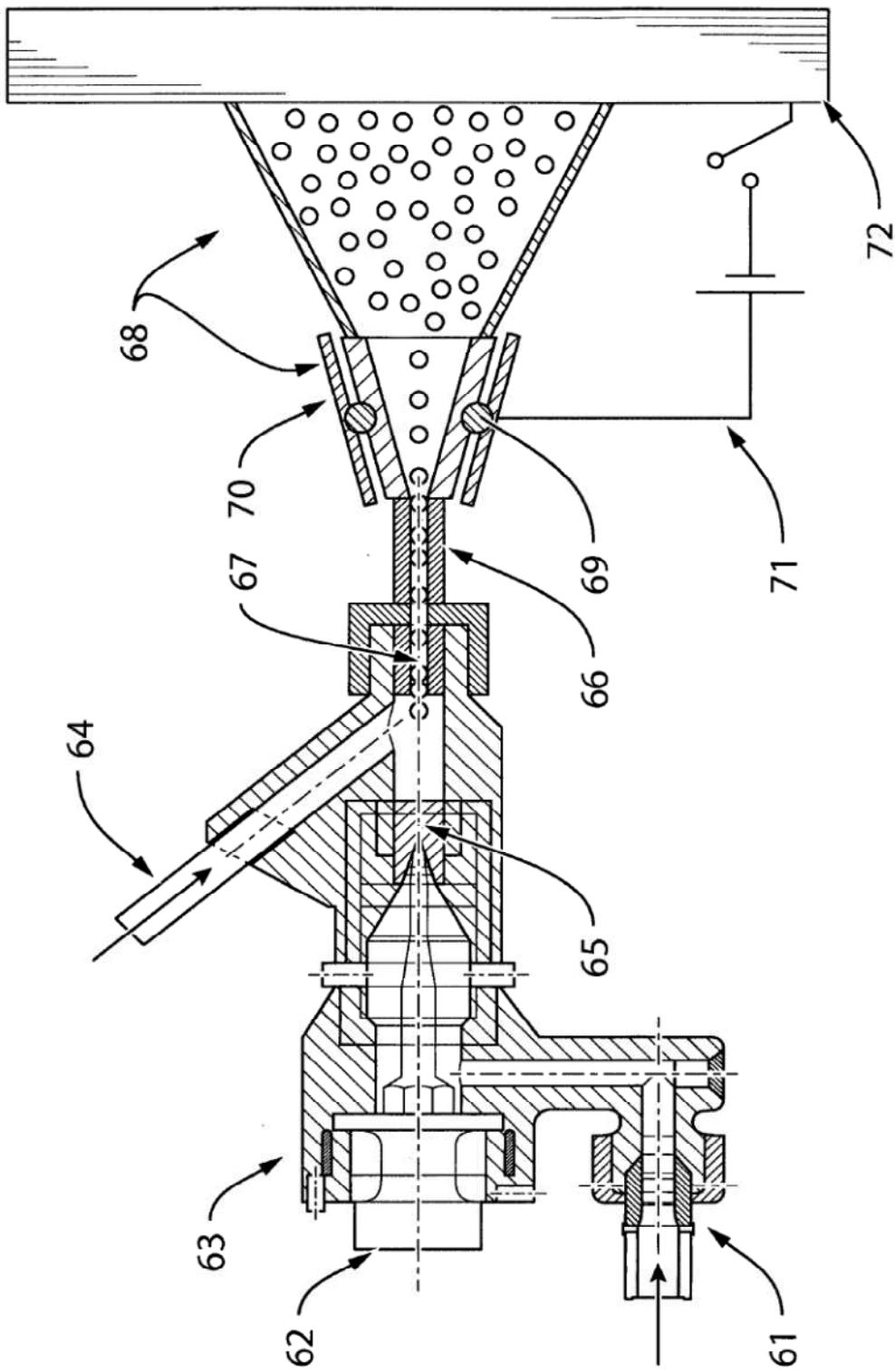


FIG. 10

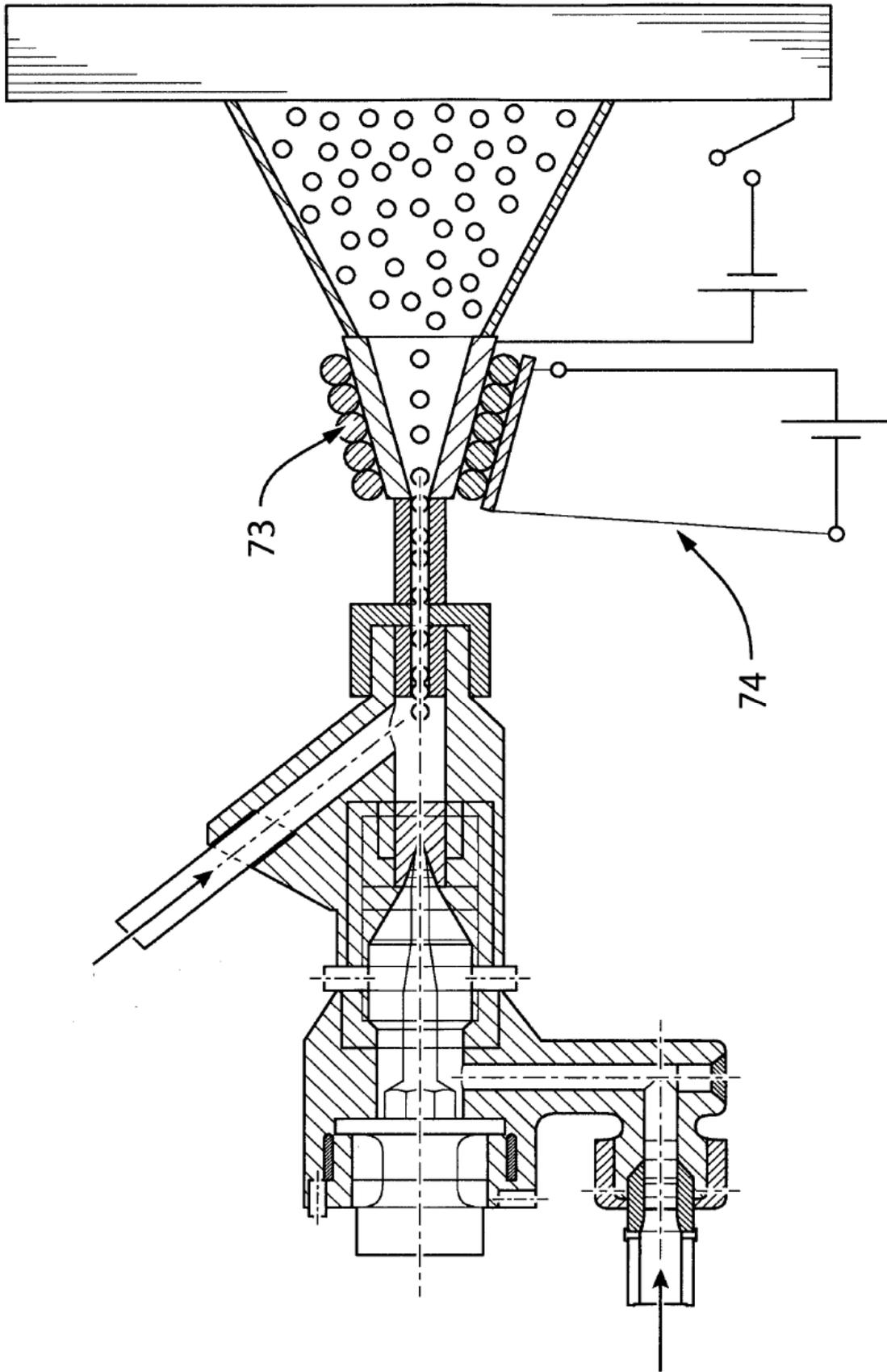


FIG. 11

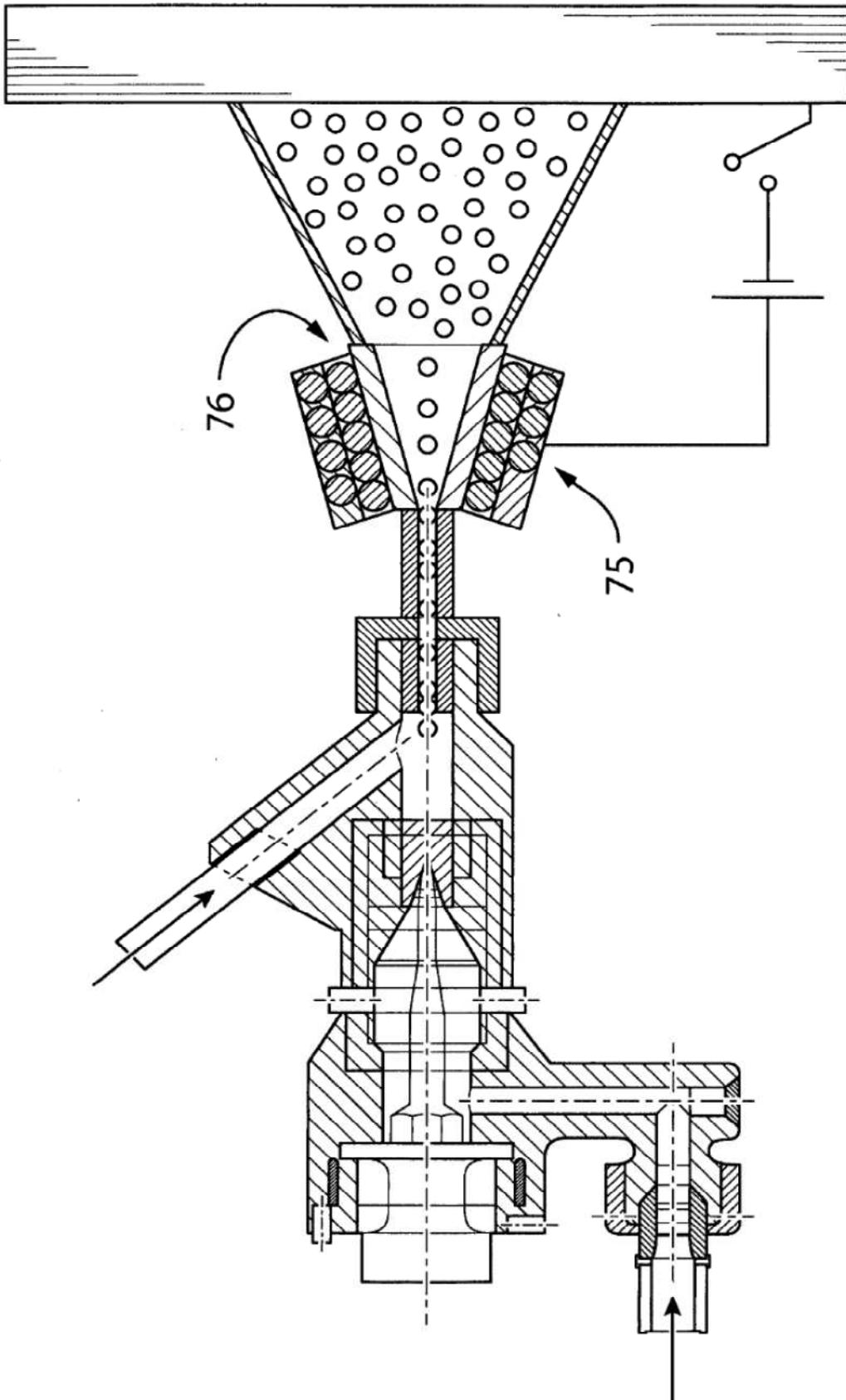


FIG. 12

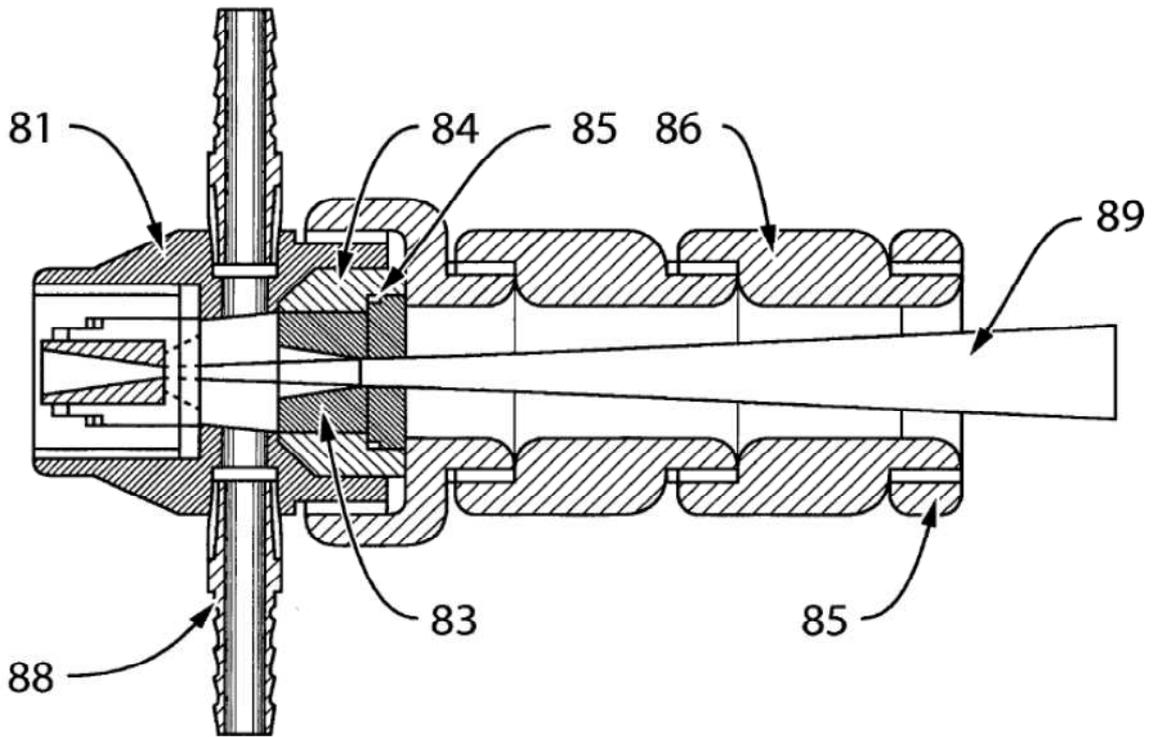


FIG. 13a

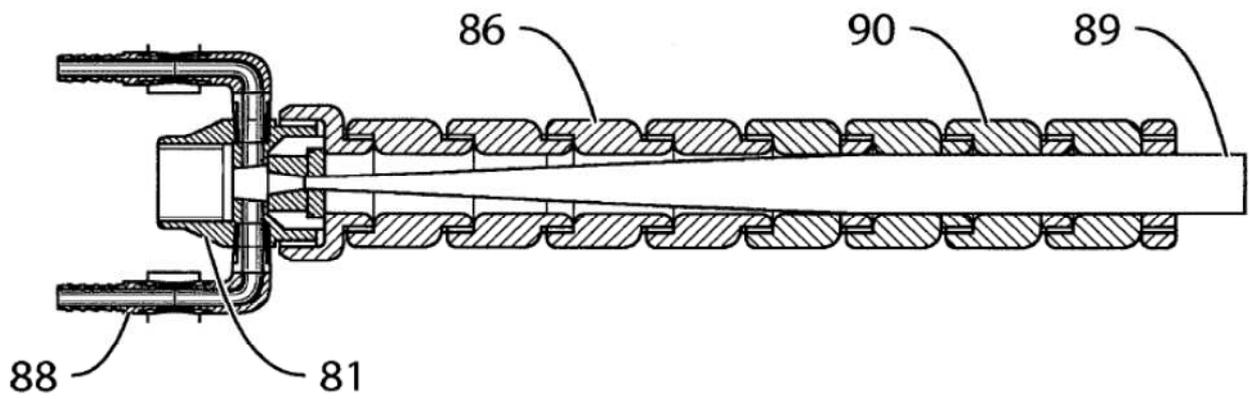
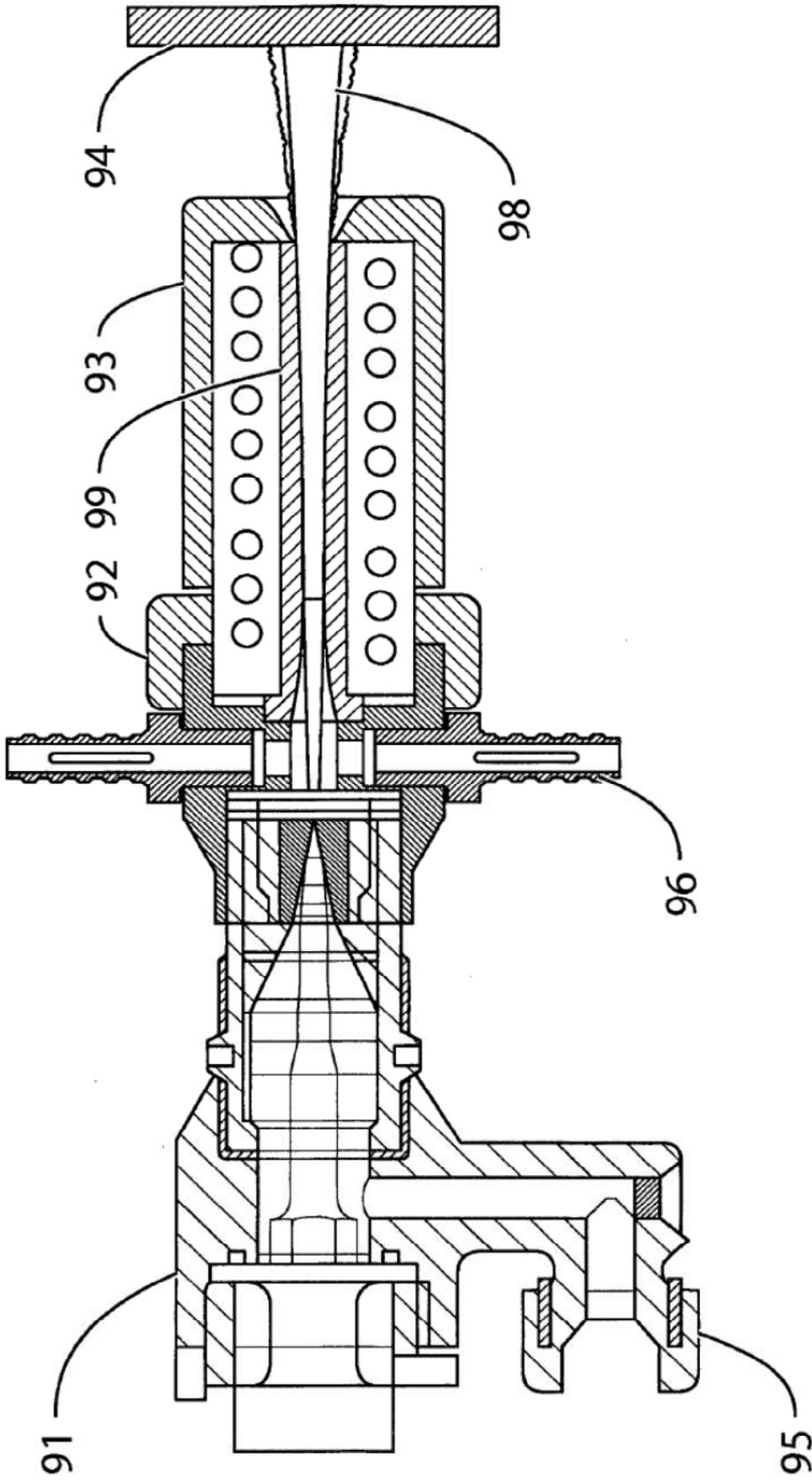


FIG. 13b



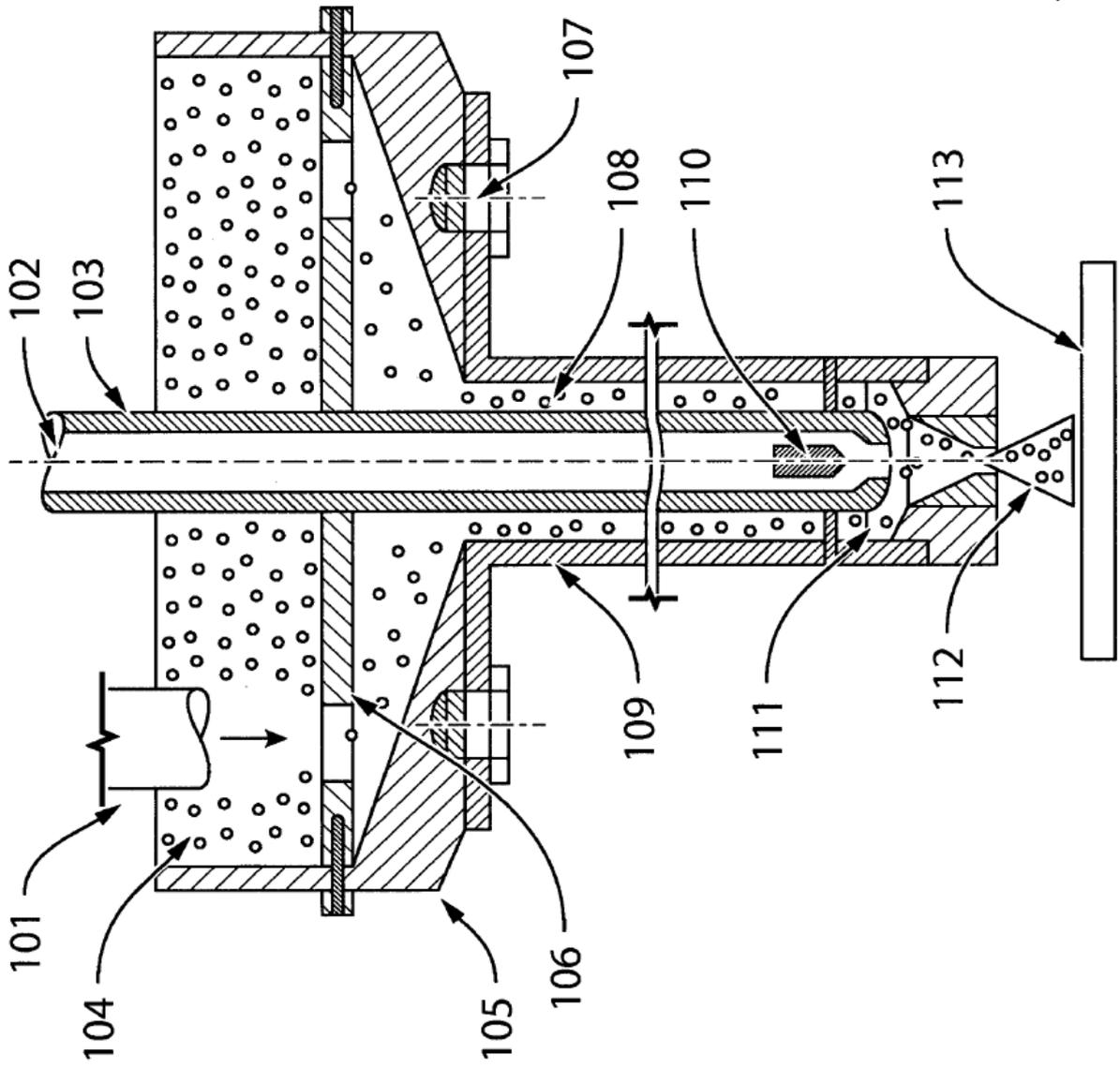


FIG. 15

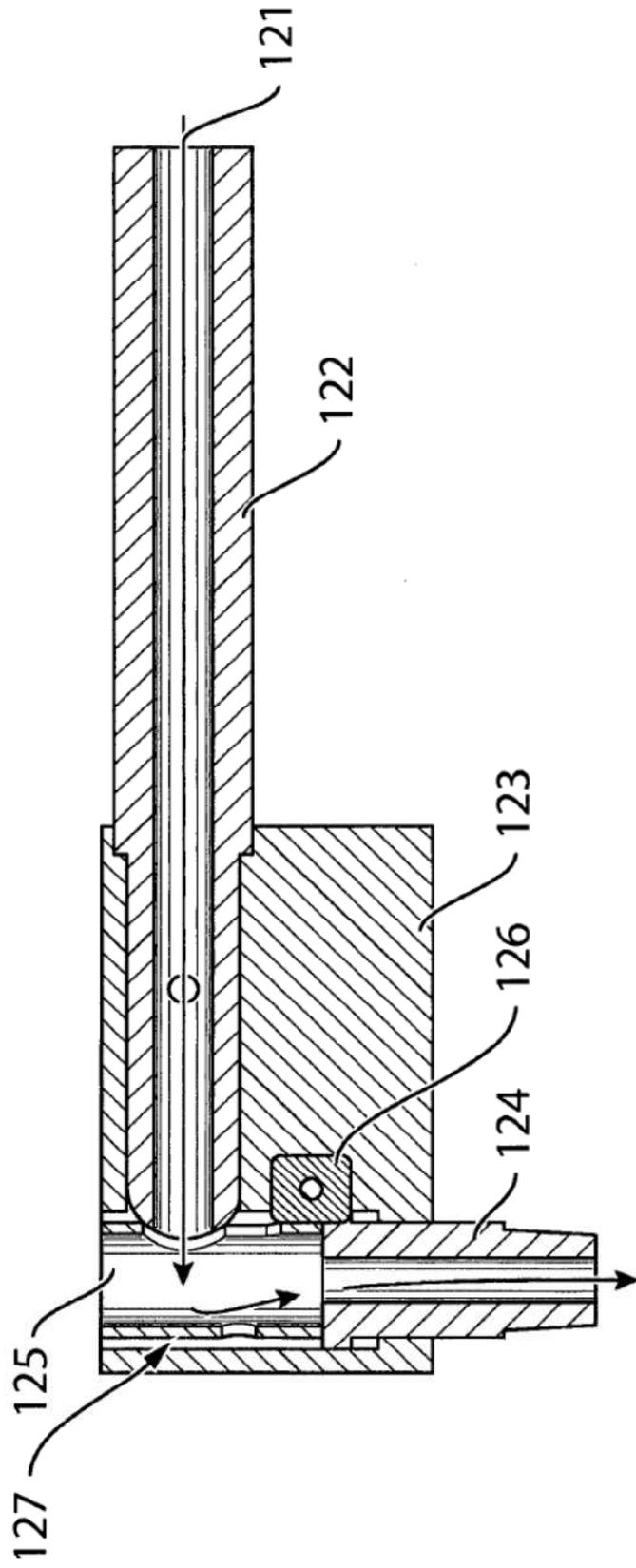


FIG. 16

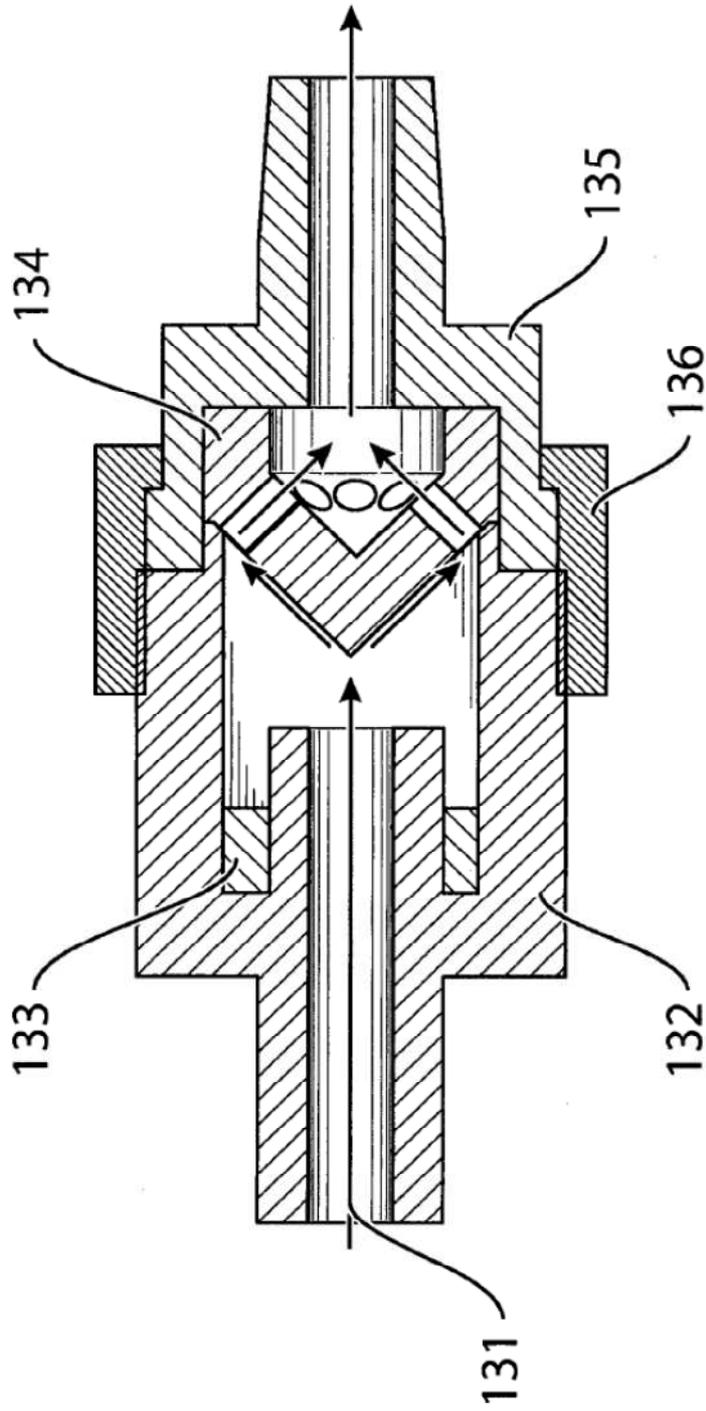


FIG. 17

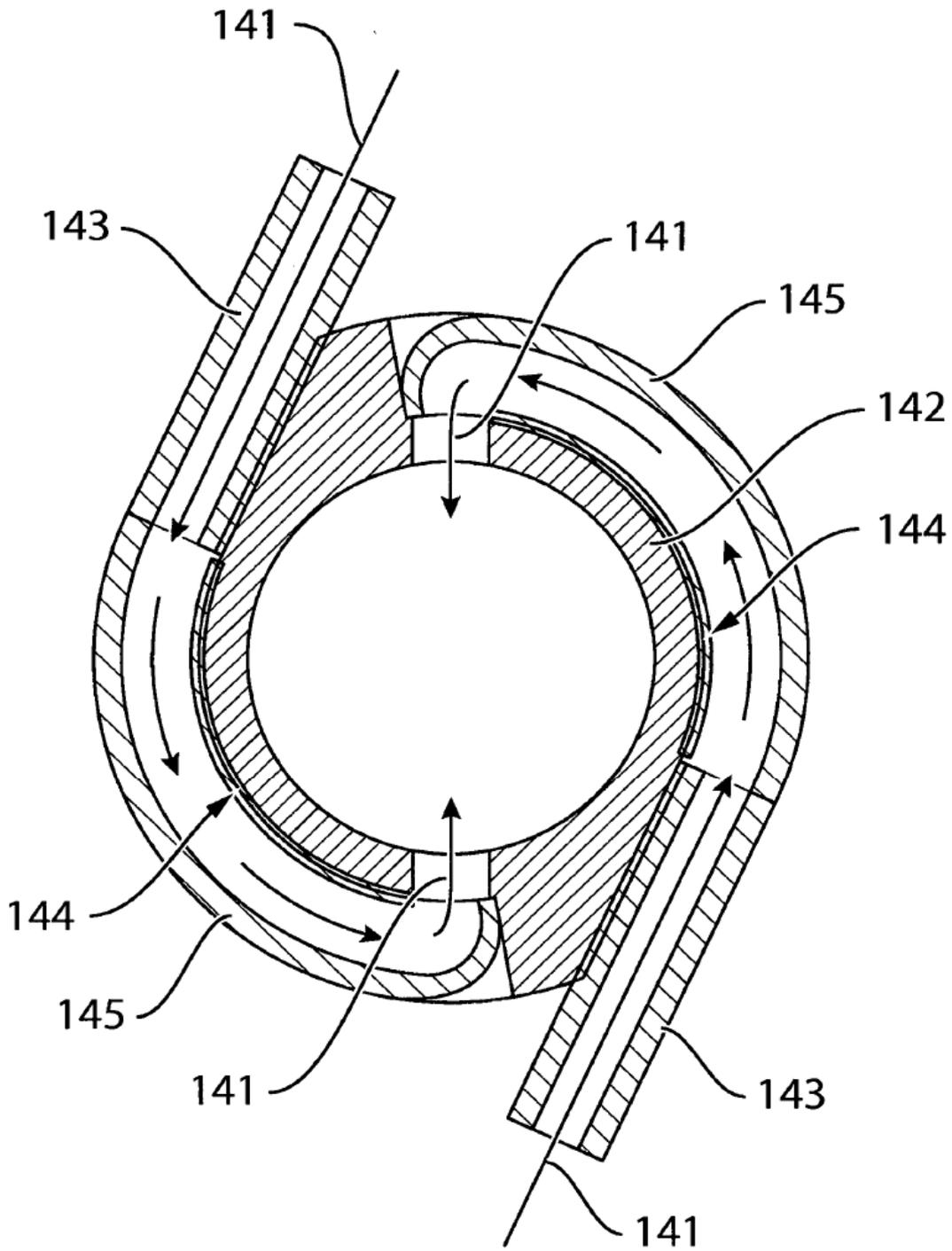


FIG. 18

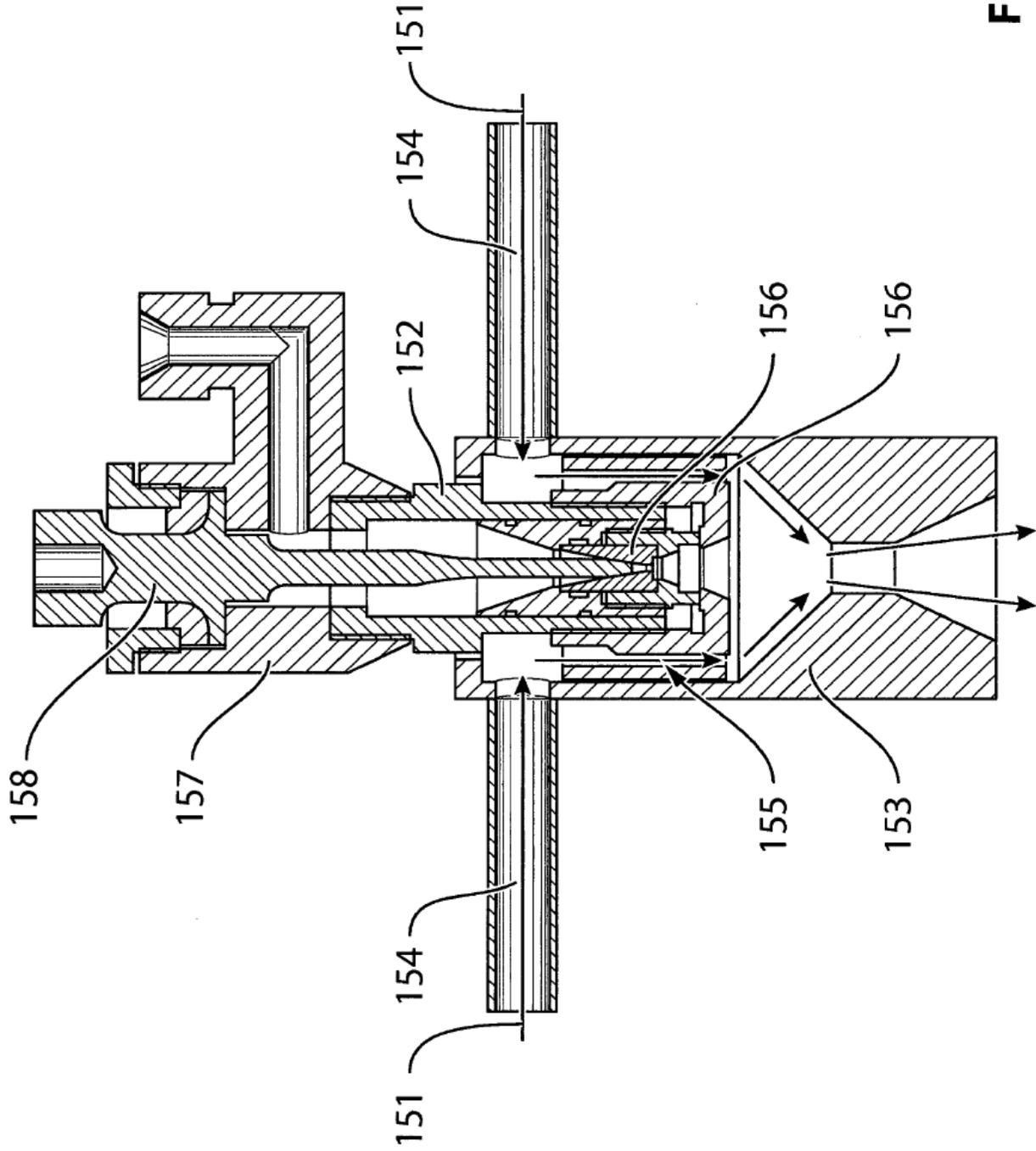


FIG. 19

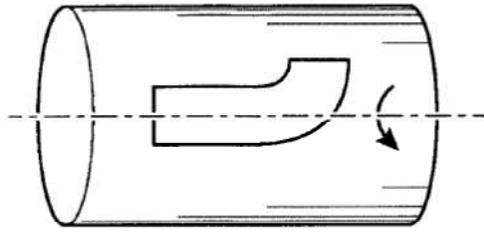


FIG. 20a

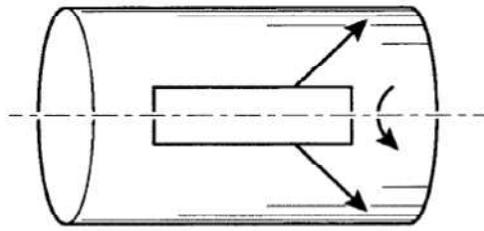


FIG. 20b

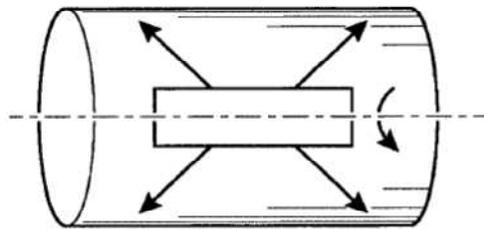


FIG. 20c

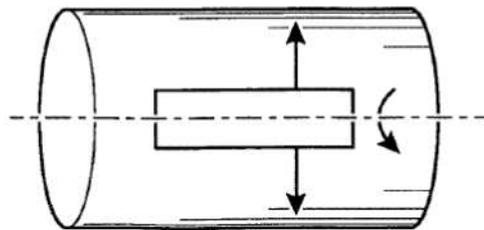


FIG. 20d

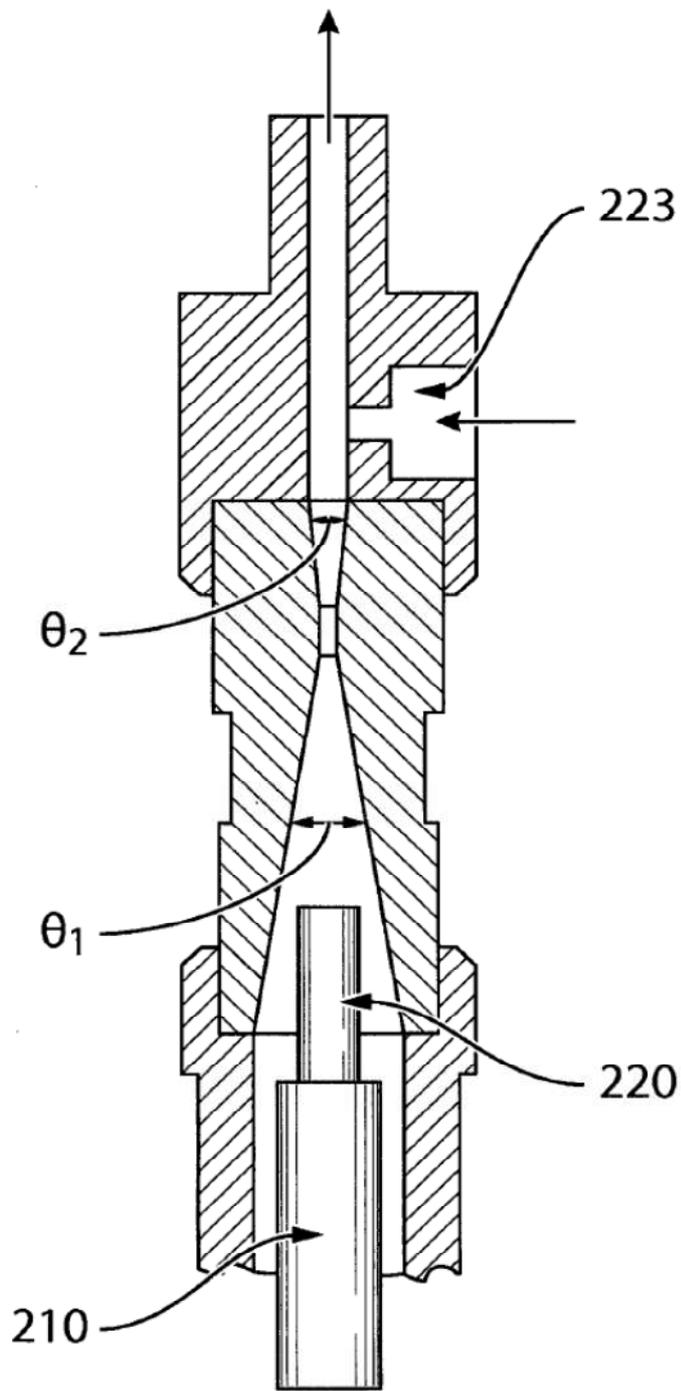


FIG. 21

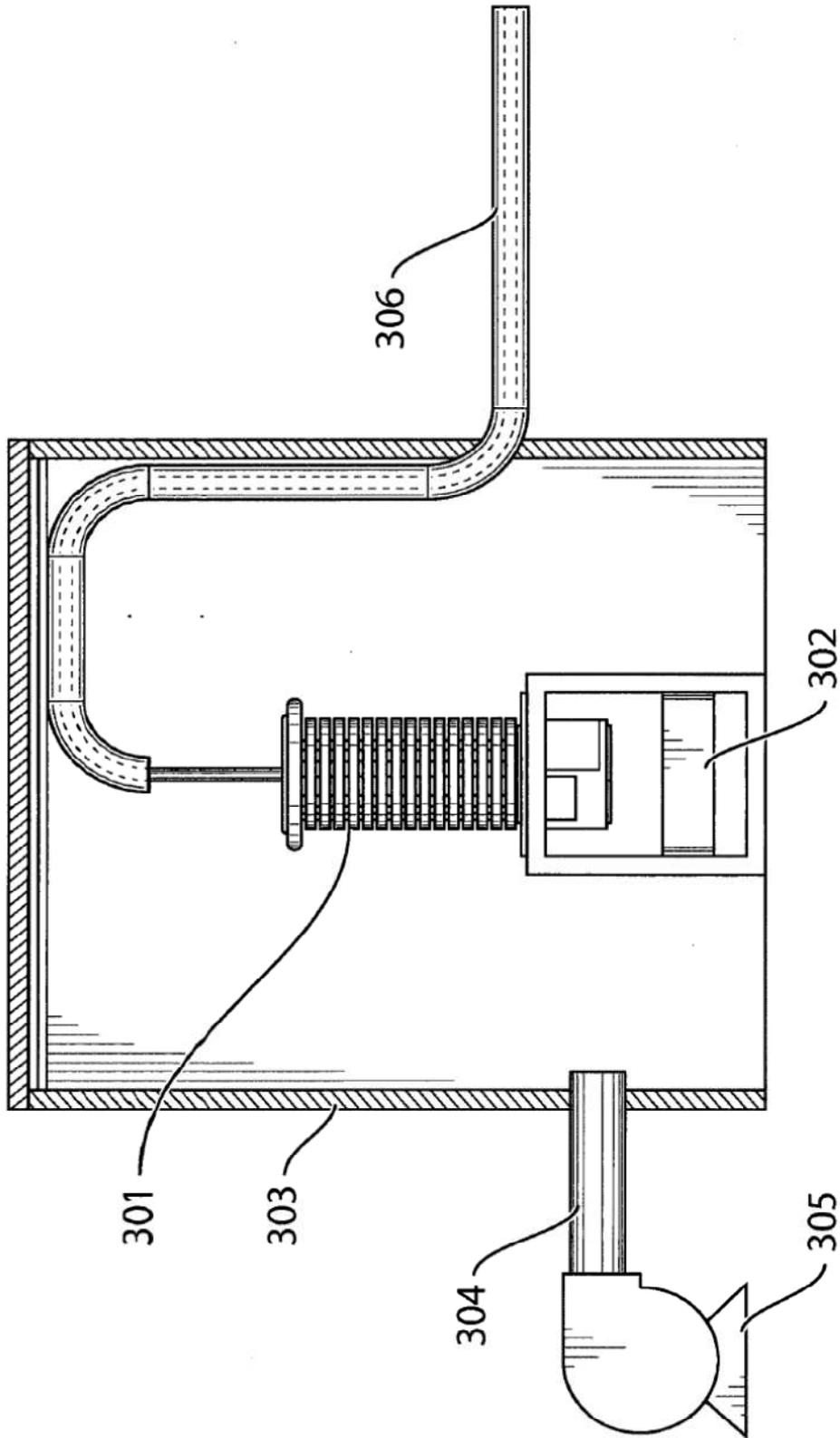


FIG. 22