

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 054**

51 Int. Cl.:

G01N 29/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2002 E 02706294 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2012 EP 1368633**

54 Título: **Sistema de inspección robótico para un artículo de carbón cilíndrico**

30 Prioridad:

15.02.2001 US 268952 P

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

18.02.2013

73 Titular/es:

**GRAFTECH INTERNATIONAL HOLDINGS INC.
(100.0%)
12900 SNOW ROAD
PARMA, OH 44130, US**

72 Inventor/es:

**SHIVES, GARY D.,;
SIROCKY, PAUL S., y
MICHAELS, THOMAS E.,**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 396 054 T3

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

DESCRIPCION

Sistema de inspección robótico para un artículo de carbón cilíndrico

CAMPO TÉCNICO

5 **[0001]** La presente invención se refiere en general a sistemas automatizados de inspección de artículos de carbono cilíndricos, y en concreto electrodos de grafito.

ANTECEDENTES

10 **[0002]** La tecnología actual en la fabricación de acero a partir de materiales reciclados de chatarra de acero depende en gran medida del uso de hornos de arco eléctrico en los que se funden la chatarra de acero y otros materiales mediante un arco eléctrico de alta energía. Uno de los componentes críticos que se utilizan en un horno de arco eléctrico es una columna de electrodos de carbono de gran tamaño. Estos electrodos de carbono tienen generalmente una forma cilíndrica y cuentan con conexiones integradas roscadas macho y hembra en ambos extremos. Los electrodos de carbono cilíndricos normalmente tienen diámetros comprendidos entre 381 mm y 762 mm (15 pulgadas y 30 pulgadas) y normalmente poseen longitudes que llegan hasta aproximadamente los 3,05 metros (10 pies).

15 **[0003]** Los electrodos de carbono se consumen durante el proceso de fabricación de acero en un horno de arco eléctrico. Esencialmente, el extremo del electrodo se quema durante el proceso de fabricación de acero. Los electrodos se colocan en el horno como una columna roscada de electrodos, y a medida que electrodo más inferior se quema, la columna de electrodos va avanzando y periódicamente se añade un nuevo segmento de electrodo al extremo superior de la columna.

20 **[0004]** Además de la quema prevista en el extremo inferior del electrodo, debido a las condiciones ambientales extremas dentro del horno de fabricación de acero, los electrodos a veces sufren una tasa de consumo más rápida y no deseada debido a irregularidades físicas en el electrodo. Entre los ejemplos de estas irregularidades figuran las grietas y características similares, que puede causar la separación de trozos del electrodo, aumentando así la tasa de uso del electrodo y disminuyendo la vida del electrodo y su eficacia.

25 **[0005]** Existe, por lo tanto, la necesidad de una técnica de control de calidad que proporcione pruebas no destructivas de electrodos con el fin de identificar defectos internos que de otro modo no serían observables. Estos sistemas pueden ser utilizados como un control en el proceso de fabricación para mejorar los diferentes parámetros del proceso, lo que tiene como resultado un producto con unas mejores prestaciones cuando se fabrica un lote de electrodos de carbono. También se puede utilizar este sistema de inspección para detectar y eliminar un producto insatisfactorio antes de su entrega al cliente que va a utilizar el mismo en un horno de arco eléctrico. Asimismo, se puede utilizar este sistema para correlacionar las estructuras internas de los electrodos con los parámetros del proceso de fabricación y el rendimiento del producto con el fin de identificar parámetros de proceso superiores.

30 **[0006]** Se ha utilizado un precursor de la presente invención, un sistema mucho más rudimentario, para la prueba del tipo que acabamos de describir. El sistema precursor proporcionaba un soporte para recibir el electrodo de carbono que se va a someter a prueba. El electrodo de carbono era colocado sobre el soporte mediante un movimiento en una dirección transversal perpendicular a la longitud del electrodo de carbono. A continuación se colocaba un único par de transductores de rodillo en lados opuestos del electrodo mediante el uso de dos mecanismos distintos de colocación de transductores. Durante la operación de prueba, cada uno de los transductores de rodillo se movía simultáneamente por toda la longitud del electrodo que se iba a someter a prueba. Los transductores de rodillo generaban una imagen topográfica de escaneado axial del electrodo. A continuación los transductores de rodillos eran desacoplados y extraídos del electrodo de carbono, que era recogido del soporte y desplazado de nuevo en una dirección transversal a la longitud del electrodo para extraerlo del soporte de prueba.

35 **[0007]** Aunque se podía utilizar el sistema precursor para realizar el tipo general de inspección que constituye el objeto del sistema de la presente invención, éste no podía funcionar con la capacidad suficiente para proporcionar el volumen de pruebas deseado.

40 **[0008]** La patente estadounidense nº 3.896.662 se refiere a un dispositivo de prueba de producción que se sirve de ondas sonoras ultrasónicas para inspeccionar un tubo de lanzamiento de cohetes o cualquier estructura tubular en relación con su diámetro interior y exterior, así como el grosor de sus paredes y su ovalidad, concentricidad y rectitud.

45 **[0009]** La patente alemana nº 4.015.847 se refiere a pruebas no destructivas del ligamiento o adhesividad entre placas conductoras de sonido, y es aplicable a las pruebas de fuselaje de aviones. El cabezal de prueba cuenta con un emisor y receptor de sonidos.

50 **[0010]** La patente estadounidense nº 4.881.177 se refiere a un sistema de escaneado ultrasónico para someter a prueba componentes curvados de gran tamaño de materiales compuestos de matriz de fibra/resinas. El sistema somete a pruebas ultrasónicas estos componentes mediante sondas de chorros de agua montados en un soporte en el brazo operativo de un robot industrial.

5 [0011] La patente estadounidense nº 5.063.780 se refiere a un sistema de inspección que utiliza una pluralidad de transductores ultrasónicos para explorar un tubo alargado y comprobar su integridad dimensional y estructural. Los transductores son pulsados en una sucesión rápida, y se transmiten las señales de eco por canales independientes de radiofrecuencia y a través de un multiplexor a un número inferior de canales de señales detectoras, cada uno de los cuales comprende un discriminador.

[0012] Por consiguiente, existe la necesidad de un sistema mejorado de pruebas del tipo descrito en general que proporcione sistemas mejorados para la manipulación de electrodos con el fin de permitir un proceso de pruebas de un elevado volumen de electrodos de carbono, como por ejemplo el que sería fabricado por una fábrica moderna de producción de electrodos.

10 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

[0013] La presente invención proporciona un sistema mejorado para la inspección de electrodos de carbono generalmente cilíndricos. La invención también puede ser utilizada para la manipulación e inspección de otros artículos de carbono cilíndricos de grandes dimensiones.

15 [0014] En un aspecto de la invención, se proporciona un sistema robótico mejorado de inspección para la colocación de los transductores de inspección alrededor del electrodo de carbono que va a ser sometido a pruebas. El sistema robótico de inspección incluye una horquilla que posee una primera y segunda ramas espaciadas entre sí. Un ensamblaje de brazo robótico tiene la horquilla unida al mismo. El ensamblaje de brazo puede moverse entre una posición operativa en la que se coloca la horquilla alrededor del electrodo y una posición retraída en la que la horquilla es retirada del electrodo. Se acoplan un par de transductores de rodillo a la primera y segunda ramas de la horquilla, respectivamente, los cuales están configurados para interactuar de forma operativa con el electrodo en posiciones espaciadas en la circunferencia alrededor del electrodo cuando el ensamblaje de brazo robótico se encuentra en su posición operativa.

20 [0015] En otro aspecto de la invención, el sistema descrito anteriormente incluye un segundo ensamblaje de brazo robótico con una segunda horquilla y un segundo par de transductores. El primer y segundo ensamblajes de brazo robótico son maestro y esclavo, respectivamente, y están contruidos para moverse de forma sincronizada. Cuando el primer y segundo ensamblajes de brazo robótico se encuentran en su posición de funcionamiento con la primera y segunda horquillas colocadas alrededor del electrodo, la primera y segunda horquillas están separadas por una distancia igual a aproximadamente la mitad de la longitud del electrodo que va a ser inspeccionado, de manera que cada horquilla puede desplazarse transversalmente y simultáneamente aproximadamente la mitad de la longitud que va a ser inspeccionada.

25 [0016] En otro aspecto de la invención, el sistema de inspección incluye una estación de rotador para recibir el electrodo en una ubicación longitudinal fija y rotar el electrodo alrededor del eje longitudinal del electrodo mientras el electrodo se encuentra en la ubicación longitudinal fija. Se configura un robot maestro que incluye un primer par de transductores para acoplarse al electrodo en posiciones espaciadas circunferencialmente alrededor del electrodo. Un robot esclavo está contruido para moverse de forma sincronizada con el robot maestro e incluye un segundo par de transductores configurados para acoplarse al electrodo en una ubicación espaciada longitudinalmente desde el primer par de transductores, de manera que el primer y segundo par de transductores pueden explorar simultáneamente la primera y segunda partes, respectivamente, de la longitud del electrodo.

30 [0017] En otro aspecto de la invención, el sistema de inspección que se acaba de describir incluye la estación de rotador e incluye un sistema transportador que posee una trayectoria de electrodo en línea con el eje longitudinal del electrodo en la estación de rotador. Adicionalmente, la estación de rotador incluye preferentemente un ascensor para colocar el electrodo en un conjunto de rodillos de rotación motorizados y para elevar el electrodo desde dichos rodillos de rotación motorizados. Por consiguiente, los electrodos de carbono cilíndricos se mueven en una trayectoria lineal y la estación de inspección está alineada con dicha trayectoria lineal de la operación de fabricación, formando parte de la misma.

35 [0018] En otro aspecto adicional de la presente invención se proporciona un procedimiento para la inspección de electrodos de carbono cilíndricos y la detección de defectos físicos internos. Este procedimiento incluye las siguientes fases:

40 (a) la colocación del primer y segundo par de transductores en la primera y segunda ubicaciones espaciadas longitudinalmente a lo largo de una longitud del electrodo, estando los transductores de cada par espaciados entre sí alrededor de una circunferencia del electrodo;

45 (b) la rotación del electrodo alrededor de su eje longitudinal; y

(c) durante la fase (b), el suministro de un movimiento longitudinal relativo entre el electrodo y el primer y segundo par de transductores, de tal forma que el primer y segundo par de transductores exploran simultáneamente la primera y segunda parte de la longitud del electrodo.

[0019] Por tanto, un objetivo general de la presente invención es proporcionar sistemas mejorados para la inspección de artículos de carbono cilíndricos, entre los que figuran (pero sin estar limitados a los mismos) los electrodos.

[0020] Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema que puede inspeccionar artículos de carbono a mayor velocidad mediante la utilización de múltiples conjuntos de transductores que simultáneamente exploran múltiples partes de una longitud del artículo, reduciendo así el tiempo de exploración en comparación con el que sería necesario para explorar el artículo con un solo par de transductores.

[0021] Otro objetivo de la presente invención es suministrar un sistema de inspección en el que los artículos de carbono se desplazan en una trayectoria lineal paralela a un eje longitudinal del artículo a medida que los artículos se mueven a través de una estación de inspección.

[0022] Otros objetivos, características y ventajas adicionales de la presente invención resultarán evidentes para los especialistas en este campo cuando lean la siguiente descripción, tomada de forma conjunta con los dibujos que la acompañan.

[0023] La Figura 1 es una vista en planta esquemática de un sistema de inspección de electrodos de conformidad con la presente invención. En la Figura 1 se muestra una serie de electrodos en una cadena de fabricación que se desplazan en una trayectoria axial de izquierda a derecha a través de una estación de inspección. En la estación de inspección se muestran un robot maestro y un robot esclavo en los lados opuestos del electrodo para acoplar el electrodo con dos pares de transductores de inspección.

[0024] Las Figuras 2-9 conforman una serie secuencial de vistas en perspectiva esquemáticas del sistema de la Figura 1, en las que se muestra un electrodo de carbono a medida que se introduce en la estación de inspección y es posteriormente inspeccionado, y a medida que sale posteriormente de la estación de inspección.

[0025] En la Figura 2 se muestra una estación de inspección vacía con ambos ensamblajes de robot completamente retirados de la estación de inspección, y con un electrodo de carbono cilíndrico situado aguas arriba con respecto a la estación de inspección y a punto de desplazarse a lo largo del sistema transportador para introducirse en la estación de inspección.

[0026] En la Figura 3 el electrodo de carbono se ha introducido en la estación de inspección. Los ascensores de la estación de inspección se encuentran aún en la posición elevada. Los robots han girado sus horquillas con sus correspondientes pares de transductores a una posición por encima del electrodo.

[0027] En la Figura 4 los ascensores han bajado el electrodo sobre los rodillos de tracción secundaria y las horquillas soportadas por los robots han pivotado hacia abajo para colocar sus pares de transductores de rodillo en una posición inicial en la que se iniciará la exploración. Las horquillas están separadas por una distancia aproximadamente igual a la mitad de la longitud del electrodo que va a ser explorado.

[0028] En la Figura 5 se ilustra la posición de los robots y de los transductores de rodillo al final de una exploración. Cada par de transductores ha explorado aproximadamente una mitad de la longitud del electrodo a medida que se desplazan entre su posición de la Figura 4 a su posición de la Figura 5.

[0029] En la Figura 6 la exploración ha llegado a su fin y las horquillas soportadas por los robots han pivotado de nuevo para volver a una posición hacia arriba, desacoplada del electrodo.

[0030] En la Figura 7 los robots continúan girando sus horquillas, alejándolas de la estación de inspección.

[0031] En la Figura 8 los ascensores han elevado el electrodo a una posición en línea con el transportador de descarga, y el electrodo está comenzando a salir de la estación de inspección y situarse sobre el transportador de descarga.

[0032] En la Figura 9 el electrodo ha salido completamente fuera de la estación de inspección y se mueve por el transportador de descarga aguas abajo con respecto a la estación de inspección. Los robots han girado sus ensamblajes de horquilla aún más lejos de la estación de inspección. Los robots continuarán girando hasta alcanzar una posición completamente extraída, como la que se muestra en la Figura 2, y otro electrodo se desplazará e introducirá en la estación de inspección, iniciándose así el proceso de nuevo, tal y como se ilustra en la Figura 2.

[0033] La Figura 10 es una vista en sección transversal del aro exterior y miembro de acoplamiento de goma del transductor de rodillo.

[0034] La Figura 11 es una vista esquemática en sección transversal del transductor de rodillo, con un ángulo de 90° con respecto a la vista de la Figura 10 y mostrándose el transductor piezoeléctrico en un baño de aceite.

MEJOR MODO DE LLEVAR A CABO LA INVENCION

[0035] Por lo que respecta a los dibujos, y en particular a la Figura 1, en los mismos se muestra el aparato o sistema para la inspección de un electrodo de carbono cilíndrico, generalmente indicado por el número 10.

- 5 [0036] En la Figura 1 se muestran una serie de electrodos de carbono cilíndricos (12A, 12B y 12C). El sistema (10) incluye una estación de inspección (18). El primer electrodo de carbono (12A) se encuentra aguas arriba con respecto a la estación de inspección (18). El segundo electrodo de carbono (12B) se encuentra en su lugar en la estación de inspección (18). El tercer electrodo de carbono (12C) ya se ha desplazado a través de la estación de inspección (18) y se encuentra ahora corriente abajo con respecto a la estación de inspección.
- 10 [0037] Un robot maestro (20) y un robot esclavo (22) están ubicados en lados opuestos de la estación de inspección (18). Los robots (20 y 22) pueden ser, por ejemplo, robots Fanuc Modelo S-430i, comercializados por Fanuc Robotics North America, con sede en Rochester, Michigan, Estados Unidos de América. Estos robots proporcionan seis ejes de movimiento. El modelo S-430i es un robot con un alcance de 300 cm (118 pulgadas) y una capacidad de carga útil de 125 kg (275 libras).
- [0038] Se pueden observar claramente los detalles de construcción del sistema (10), que incluyen la estación de inspección (18) y los robots maestro y esclavo (20 y 22), en las vistas en perspectiva de las Figuras 2-9.
- 15 [0039] En la Figura 1, los sufijos A, B y C se utilizan meramente para facilitar la referencia a los tres electrodos cilíndricos mostrados en serie. En el resto de las Figuras 2-9, donde se muestra un solo electrodo con el fin de simplificar la ilustración, el electrodo está identificado simplemente por el número 12.
- 20 [0040] Cada electrodo (12) posee una longitud (14) y un eje longitudinal (16) paralelo a la longitud (14). En la Figura 1 se han dibujado esquemáticamente los electrodos (12A, 12B y 12C), sin intentar ilustrar los extremos macho y hembra del mismo. En las Figuras 2-9 se muestra cada electrodo en mayor detalle, incluido el extremo macho. Los expertos en este campo también se percatarán de que a veces se fabrican los electrodos con dos extremos hembra y con un conector macho independiente que se coloca entre los mismos y conecta los electrodos adyacentes cuando están ensamblados en una columna de electrodos en un horno de arco eléctrico.
- 25 [0041] En las Figuras 2-9, el sistema transportador (24) está representado esquemáticamente por una pluralidad de soportes en forma de V. El sistema transportador (24) incluye una parte de aguas abajo (26), una parte de estación de inspección (28) y una parte de aguas arriba (30). Cada miembro en forma de V (24) representa esquemáticamente un par de rodillos en forma de V, los cuales pueden soportar segmentos de electrodos cilíndricos (12) en su interior. Puede utilizarse cualquier sistema motriz convencional de transporte para mover los electrodos (12) a lo largo de la longitud del sistema transportador (24) en una dirección paralela al eje longitudinal (16) de los segmentos de electrodo (12). Por ejemplo, uno o varios de los elementos de rodillo en forma de V (24) pueden ser rodillos de soporte propulsados que pueden avanzar selectivamente los electrodos a lo largo de la trayectoria del sistema transportador. También se puede utilizar cualquier otro sistema transportador convencional. Por ejemplo, se podría utilizar una cinta transportadora.
- 30 [0042] La parte de estación de inspección (28) del sistema transportador (24) también incluye un ascensor (32). Se puede bajar cada una de las partes de soporte en forma de V (28) desde la posición mostrada en las Figuras 2 y 3 a la posición mostrada en la Figura 4, en la que el electrodo (12) descansa sobre dos pares espaciados de rodillos de rotación motorizados (34A y 34B), que como se describirá más adelante, serán utilizados para rotar el electrodo (12) alrededor de su eje longitudinal (16) durante el proceso de inspección.
- 35 [0043] Se puede describir en general la estación de inspección (18) como una estación de inspección (18) para recibir el electrodo (12) en una ubicación fija longitudinal, como por ejemplo la mostrada en las Figuras 3-7, y para rotar el electrodo (12) alrededor de su eje longitudinal (16) mientras que el electrodo (12) se encuentra en la ubicación longitudinal fija.
- 40 [0044] Los rodillos de rotación motorizados (34) incluyen un primer y un segundo par espaciados longitudinalmente (34A y 34B). Al menos uno de los pares de rodillos (34A o 34B) está unido a una corredera de posicionamiento motorizada (35) que puede desplazarse longitudinalmente en relación con el otro con el fin de adaptarse a las diferentes longitudes de electrodos (12).
- 45 [0045] El ascensor (32) proporciona un sistema para colocar el electrodo (12) sobre los rodillos motorizados de rotación (34A y 34B) y para elevar el electrodo (12) desde dichos rodillos motorizados de rotación (34A y 34B).
- 50 [0046] Como se ha indicado, la estación de inspección (18) incluye una sección intermedia (28) del transportador de rodillo en forma de V (24). Esta sección transportadora (28) está motorizada e incluye un rodillo de tope retráctil (29) con un interruptor de detección de electrodo. El electrodo (12) se introduce en la estación de inspección (18) desde la parte de aguas arriba (30) del transportador (24). El par delantero (34B) de los rodillos de rotación preferentemente tendrá una ligera inclinación para obligar al electrodo a pararse completamente en el extremo delantero de la estación de inspección. Los rodillos de accionamiento del transportador colocan el electrodo contra el rodillo de tope (29), el cual se encuentra en su posición elevada en la Figura 2, y a continuación los ascensores (32) bajan el electrodo (12) aproximadamente 30,5 cm (12 pulgadas) sobre los rodillos de rotación (34A y 34B). Después de completar la prueba, los rodillos en forma de V (28) se elevarán para recoger el electrodo (12) de los rodillos de rotación (34A y 34B) y colocar dicho electrodo (12) en la elevación de la parte de salida (26) del transportador (24). El rodillo de tope (29) se retrae y el electrodo (12) es desplazado a la parte de salida (26) del transportador (24).
- 55

[0047] Los robots maestro y esclavo (20 y 22) están contruidos de forma similar. La descripción que se facilita a continuación se refiere al robot esclavo (22) que se encuentra en un primer plano en las Figuras 2-9, por lo que éste resulta el más fácil de describir.

[0048] El robot esclavo (22) posee una base (36). Una plataforma giratoria (38) está montada sobre la base (36) y gira alrededor de un eje vertical. Un sistema de accionamiento (39) está incorporado a la plataforma giratoria (38) y acciona el robot (22). Un ensamblaje de brazo robótico (40) incluye una conexión pivotante de "hombro" (42) con la mesa giratoria (38). El ensamblaje de brazo (40) incluye un brazo principal (44) y un antebrazo (46) unidos en una conexión pivotante de codo (48). El miembro de antebrazo (46) soporta un mecanismo de muñeca (48).

[0049] Como se puede observar claramente en la Figura 8, una horquilla (50) está unida al mecanismo de muñeca (48) del ensamblaje de brazo robótico (40). La horquilla incluye una primera y segunda ramas espaciadas (52 y 54) en lados opuestos de la conexión al mecanismo de muñeca (48).

[0050] Hay cilindros neumáticos (56 y 58) que están unidos a los extremos exteriores de la primera y segunda ramas (52 y 54), respectivamente. Los cilindros neumáticos (56 y 58) a su vez soportan un par de transductores (60 y 62). Los transductores (60 y 62) son transductores de rodillo, cuyos detalles se muestran en la Figura 10. Cada par de transductores (60 y 62) con su respectiva horquilla (50) y cilindros neumáticos (56 y 58) está configurado para interactuar de forma operativa con el electrodo (12) en posiciones espaciadas circunferencialmente alrededor del electrodo (12) cuando el ensamblaje de brazo robótico (40) se mueve a su posición operativa, tal y como se ilustra en las Figuras 4 y 5.

[0051] Los cilindros neumáticos (56 y 58), a los que también se pueden denominar pistones extensibles, permiten que sus respectivos transductores sean extendidos hacia el electrodo (12) y retraídos del mismo, según sea necesario durante la colocación o retirada de los transductores en el acoplamiento con el electrodo (12). Preferentemente, como se ilustra en las Figuras 4 y 5, los transductores (60 y 62) están configurados para acoplarse al electrodo (12) en lados diametralmente opuestos del mismo. Cuando el rodillo del transductor (60 y 62) está acoplado al electrodo (12), como se muestra en las Figuras 4 y 5, cada transductor de rodillo puede girar alrededor de un eje generalmente paralelo a la longitud (14) del electrodo (12) y paralelo al eje longitudinal (16) del electrodo (12).

[0052] Como se puede observar al comparar el movimiento entre las posiciones de las Figuras 3 y 4, la horquilla (50) está fijada de forma pivotante al ensamblaje de brazo robótico (40) y está construida de tal forma que la horquilla (50) pivota hacia abajo sobre el electrodo (12) cuando el ensamblaje de brazo robótico se mueve a su posición operativa de la Figura 4.

[0053] Como también resulta evidente en la Figura 4, cuando los ensamblajes de brazos robóticos (40) de los robots maestro y esclavo (20 y 22) son colocados alrededor del electrodo (12), las horquillas (50) de los robots maestro y esclavo (20 y 22) están separadas por una distancia igual a aproximadamente la mitad de la longitud de una parte del electrodo (12) que va a inspeccionarse. Por consiguiente, después de que los dos pares de transductores de rodillo se acoplen al electrodo (12), como se puede observar en la Figura 4, los rodillos de rotación motorizados (34A y 34B) girarán el electrodo (12) alrededor de su eje longitudinal, mientras que los robots (20 y 22) moverán sus horquillas (50) y sus transductores de rodillo asociados a lo largo de aproximadamente la mitad de la longitud del electrodo (12) de forma simultánea. Por consiguiente, se reduce el tiempo de exploración de un electrodo (12) a la mitad, en comparación con el tiempo que se necesitaría si solo se utilizara un único robot.

[0054] Se apreciará que la parte de la longitud (14) del electrodo (12) que va a inspeccionarse será sustancialmente la totalidad de la longitud (14), pero puede no ser exactamente la longitud completa (14).

[0055] La estación de inspección (18) también incluye un codificador (66) que cuenta con un cabezal de codificador (67) configurado para acoplarse axialmente con el extremo posterior del electrodo (12) que detecta una posición circunferencial del electrodo (12). Por lo tanto, los datos reunidos por la operación de exploración pueden ser correlacionados con un marcador físico que identifica una localización específica alrededor de la circunferencia de un determinado electrodo (12). El codificador (66) está construido para ser ajustable en altura con relación a la estación de inspección (18) con el fin de adaptarse a los diferentes diámetros de electrodos (12).

[0056] Se utiliza el ensamblaje de codificador (66) para proporcionar una captación de la posición circunferencial del electrodo durante la prueba. Este ensamblaje (66) está montado sobre un brazo pivotante para permitir el balanceo del codificador (66) desde una posición retraída como se muestra en la Figura 2 a la posición de prueba, como se muestra en la Figura 5. Se proporciona una corredera motorizada para permitir el control por ordenador de la elevación del cabezal de codificador (67) del ensamblaje de codificador (66), de modo que quede centrado en el extremo del electrodo (12). Software que controlará el ajuste automático del ensamblaje de codificador (66) [sic]. El codificador (66) también incluye un mecanismo de cilindro de aire de doble actuación (80) para cargar y retraer el cabezal del codificador (67) con respecto al extremo del electrodo.

[0057] Los transductores (60 y 62) son transductores de rodillo que se acoplan a la circunferencia exterior del electrodo (12) y ruedan alrededor de su propio eje a medida que el electrodo (12) es girado por los rodillos de rotación motorizados (34). Los transductores (60 y 62) son transductores ultrasónicos; uno de ellos transmite una onda sonora al

interior del electrodo (12) y el otro recibe la onda sonora después de que ha pasado a través del electrodo (12). En general, los transductores (60 y 62) proporcionan un sistema para medir la velocidad del sonido a través del electrodo (12). Cada par de transductores (60 y 62) proporciona señales que cuando son procesadas por el software apropiado proporcionan representaciones visuales de la estructura de la sección transversal del electrodo (12), de la misma manera en la que se una máquina de tomografía axial computarizada se utiliza para tomar imágenes transversales del cuerpo humano. También se pueden utilizar los datos recogidos por los transductores (60 y 62) para crear las representaciones visuales de la superficie exterior del electrodo (12). Estas diversas representaciones visuales basadas en las mediciones de las velocidades sónicas a través del material de carbono que conforma el electrodo (12) proporcionan representaciones muy precisas de diversos defectos físicos, como por ejemplo grietas contenidas en el electrodo o en la superficie del mismo, y también muestran diferentes densidades de los materiales en toda la sección transversal y a lo largo de la longitud del electrodo.

[0058] En la Figura 10 se muestra uno de los rodillos de transductor (60) en una vista en sección transversal. El primer y segundo aros de acero inoxidable espaciados (68 y 70) soportan un anillo interno de goma (72) sobre el que se monta un inserto exterior de plataforma de goma reemplazable (74). Los insertos de plataforma de goma (74) tienen un grosor comprendido entre 0,476 cm y 0,635 cm (0,1875 y 0,25 pulgadas), lo que tiene como consecuencia una compresión homogénea del elastómero del centro. Esta característica proporciona una profundidad fija en el ensamblaje de aro de acero inoxidable, lo que tiene como consecuencia una longevidad y consistencia del rendimiento. Los dos aros de acero inoxidable exteriores (68 y 70) reducen el coste de la reparación de superficies al proporcionar una estructura de moldeado estable y al incrementar el número de veces que la superficie del rodillo puede repararse.

[0059] En la Figura 11 se ilustran esquemáticamente los detalles internos del transductor de rodillo (60). Esos detalles internos incluyen un transductor piezoeléctrico (100) que está fijado con respecto a los aros exteriores (68 y 70). El transductor (100) se encuentra en un baño de aceite (102) que transmite las ondas sonoras entre el transductor (100) y el inserto (74) que se acopla al electrodo (12).

[0060] Se utilizan pistones neumáticos (56 y 58) para cargar las ruedas del transductor (60 y 62) contra el electrodo (12) con una presión de aire constante y para retraer las ruedas del transductor (60 y 62) y alejarlas del electrodo (12) al final de una exploración. Se proporciona un regulador manual de presión de aire para ajustar por separado cada ensamblaje de rueda del transductor.

[0061] Como se muestra esquemáticamente en la Figura 1, las señales electrónicas obtenidas por el lado receptor de cada par de transductores (60 y 62) son dirigidas a un sistema de instrumentación de adquisición de datos (90). El sistema de adquisición de datos (90) incluye un modelo Panametric 5058PR de generador de impulsos de alto voltaje/receptor para cada par de transductores, comercializado por Panametrics, Inc., con sede en Waltham, Massachusetts, Estados Unidos de América. El sistema también incluye un pre-amplificador de bajo nivel de ruido de 20 dB de ganancia montado cerca del transductor del lateral recibido de cada par. Se proporciona un acoplador de potencia para cada par de transductores, el cual suministra voltaje y recibe señales de radiofrecuencia desde el pre-amplificador asociado. Un detector de defectos Panametric, modelo de dos canales (910), recibe las señales de los dos acopladores de potencia.

[0062] Se dirigen las señales procedentes del sistema de adquisición de datos (90) a un sistema informático (92), el cual consiste en un único ordenador personal compatible con IBM que se utiliza tanto para el control de los mecanismos del aparato (10) como para el análisis de datos. El sistema informático incluye preferentemente un procesador Pentium de más de 500 MHz y su sistema operativo es Windows NT 4.0.

[0063] El sistema informático incluye todo el software requerido para la prueba ultrasónica de los electrodos (12) e integra el software para controlar las siguientes funciones del sistema (10):

- (1) control de encendido/apagado de avance del transportador rotador;
- (2) controles de subida/bajada de parada de electrodos de transportador rotador;
- (3) control de subida/bajada de ascensor de transportador rotador;
- (4) estación de inspección de entrada/salida de pivote de codificador de transportador rotador;
- (5) control de subida/bajada de compensación de diámetro de electrodo de codificador de rotador;
- (6) control de cilindro de aire de extensión/repliegue de codificador de rotador;
- (7) control de posición de rodillo de apoyo de rotador para compensar las diferentes longitudes de electrodos;
- (8) control de orientación de posición de robot en coordenadas polares relativas a la línea central del electrodo terminal;
- (9) control de velocidad y posición del rotador; y

(10) control del detector de defectos Modelo 9100.

[0064] El sistema informático proporciona una estructura de menú completo que permite la operación del sistema de forma segura en un entorno de producción. Entre las características específicas figuran:

- 5
- (1) el inicio de sesión del operador;
 - (2) la selección de tamaños de piezas en menús preestablecidos;
 - (3) el menú de mantenimiento de sistemas con un estado claro de sensor de sistema;
 - (4) el menú para la especificación de los parámetros de configuración;
 - (5) el menú con opciones de exploración;
- 10
- (6) el menú con opciones de análisis organizado para el operador.

[0065] Por consiguiente, se podrá observar que el aparato y los procedimientos de la presente invención alcanzan fácilmente los fines y ventajas mencionados anteriormente, así como aquellos inherentes a la invención. Asimismo, se han ilustrado y descrito las realizaciones preferidas de la invención para los propósitos de la presente divulgación. Los expertos en este campo podrán realizar numerosos cambios en la configuración y construcción de las partes y fases, y estos cambios están incluidos en el ámbito y el alcance de la presente invención, tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas.

15

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) para la inspección de un artículo de carbono cilíndrico (12A, 12B y 12C) que posee una longitud y un eje longitudinal paralelo a su longitud y que comprende:
- 5 una estación de inspección (18) para recibir el artículo en una ubicación longitudinal fija y rotar el artículo alrededor del eje longitudinal del artículo mientras dicho artículo se encuentra en la ubicación longitudinal fija;
- un robot maestro (20), que incluye un primer par de transductores (60 y 62), configurados para acoplarse al artículo en posiciones espaciadas circunferencialmente alrededor del mismo; y
- 10 un robot esclavo (22) construido para moverse de forma sincronizada con el robot maestro (20) y que incluye un segundo par de transductores (60 y 62) configurados para acoplarse al artículo en una ubicación espaciada longitudinalmente desde el primer par de transductores, de manera que el primer y segundo par de transductores pueden explorar simultáneamente la primera y segunda parte, respectivamente, de la longitud del artículo; y
- un codificador (66) configurado para acoplarse axialmente a un extremo del artículo con el fin de detectar una posición circunferencial del artículo, siendo el codificador (66) ajustable en altura con relación a la estación de inspección (18) con el fin de adaptarse a los diferentes diámetros de artículos (12).
- 15 2. El aparato de la reivindicación 1, en el que:
- los transductores (60 y 62) son transductores ultrasónicos para medir las velocidades del sonido a través del artículo.
3. El aparato de las reivindicaciones 1 o 2, en el que:
- 20 cada uno de los robots incluye una horquilla bifurcada (50) que posee dos brazos (52 y 54), con uno de los transductores (60 y 62) montado en cada brazo.
4. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones comprendidas entre la 1 y la 3, en el que:
- la estación de inspección (18) incluye rodillos de rotación motorizados (34) para rotar el artículo alrededor del eje longitudinal del artículo.
5. El aparato de la reivindicación 4, en el que:
- 25 los rodillos de rotación motorizados (34) incluyen un primer y segundo par de rodillos de rotación motorizados espaciados longitudinalmente (34A y 34B), pudiendo al menos uno de los pares de rodillos de rotación motorizados moverse longitudinalmente para adaptarse a las diferentes longitudes de los artículos.
6. El aparato de las reivindicaciones 4 o 5, en el que:
- 30 la estación de inspección (18) incluye adicionalmente un ascensor (32) para colocar el artículo en los rodillos de rotación motorizados (34) y para elevar el artículo de los rodillos de rotación motorizados (34).
7. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones comprendidas entre la 1 y la 6, que además comprende:
- un sistema transportador (24) que posee una trayectoria de artículo en línea con el eje longitudinal del artículo en la estación de inspección.
- 35 8. Un procedimiento para inspeccionar artículos de carbono cilíndricos con el fin de detectar defectos físicos internos, el cual comprende:
- (a) la colocación de un primer y un segundo par de transductores (60 y 62) en una primera y segunda ubicaciones espaciadas longitudinalmente a lo largo de una longitud de un artículo, estando los transductores de cada par espaciados entre sí alrededor de una circunferencia del artículo;
- 40 (b) la rotación del artículo alrededor de su eje longitudinal;
- (c) durante la fase (b), el suministro de un movimiento longitudinal relativo entre el artículo y el primer y segundo par de transductores (60 y 62), de tal forma que el primer y segundo par de transductores exploran simultáneamente la primera y segunda parte de la longitud del artículo; y
- 45 el acoplamiento axial de un extremo del artículo con un codificador (66) para detectar una parte circunferencial del artículo, siendo el codificador (66) ajustable en altura en relación con la estación de inspección (18) para adaptarse a los diferentes diámetros de los artículos.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que:

en la fase (a), el primer y segundo par de transductores (60 y 62) por unos primer y segundo robot sincronizados (20 y 22).

10. El procedimiento de las reivindicaciones 8 y 9, que además comprende:

5 la transferencia del artículo desde un transportador de entrada (24) a una estación de inspección (18) al mover el artículo en una dirección paralela a su longitud.

11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones comprendidas entre la 8 y la 10, que además comprende:

durante las fases comprendidas entre la (a) y la (c), el soporte del artículo en pares de rodillos motorizados espaciados longitudinalmente (34); y

10 el ajuste posterior del espaciado longitudinal entre los pares longitudinalmente espaciados de rodillos motorizados (34) para adaptarse a un segundo artículo de diferente longitud a la del primer artículo.

12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones comprendidas entre la 8 y la 11, en el que:

en la fase (a), los transductores (60 y 62) de cada par son transductores de rodillo ubicados en lados diametralmente opuestos del artículo.

15

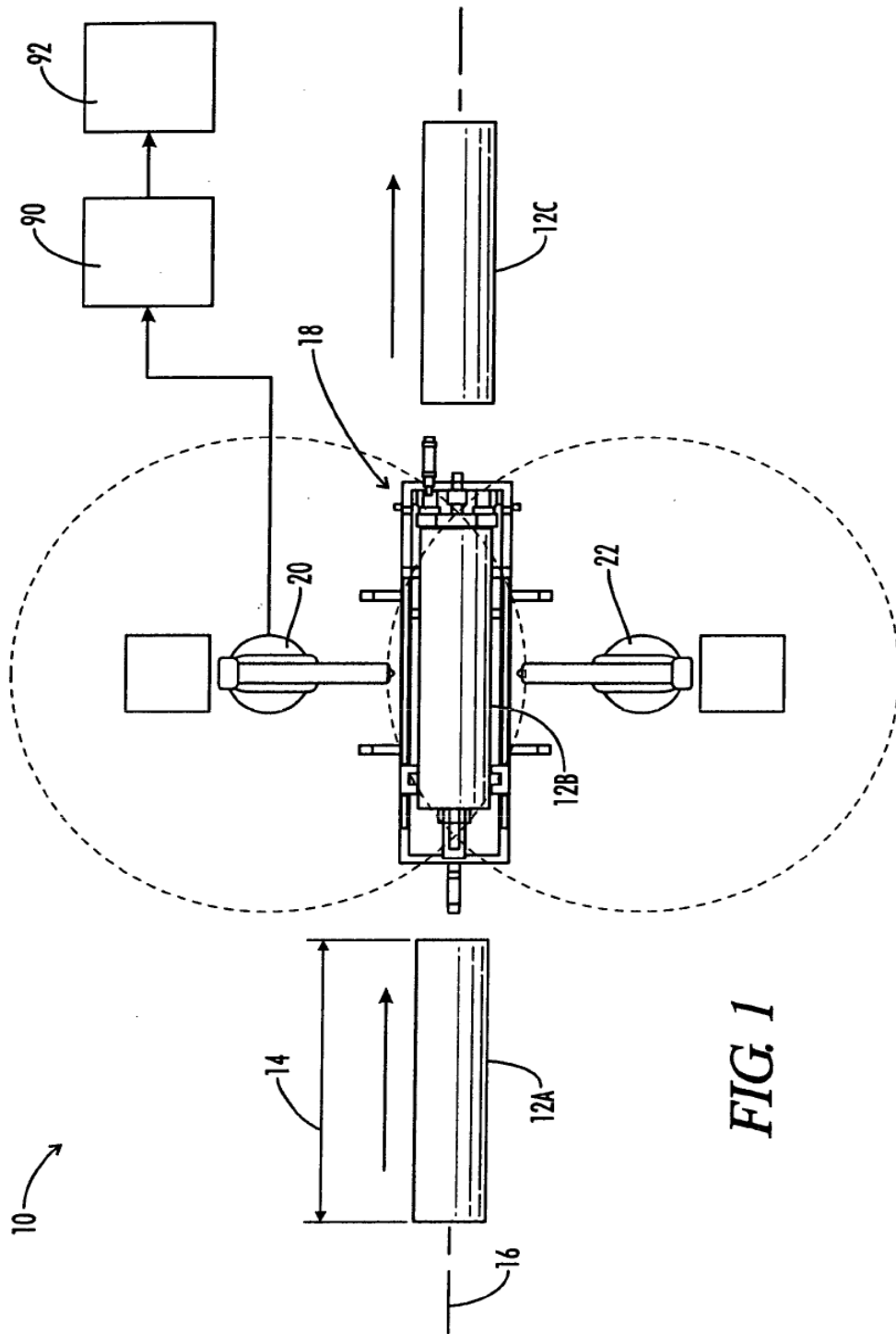
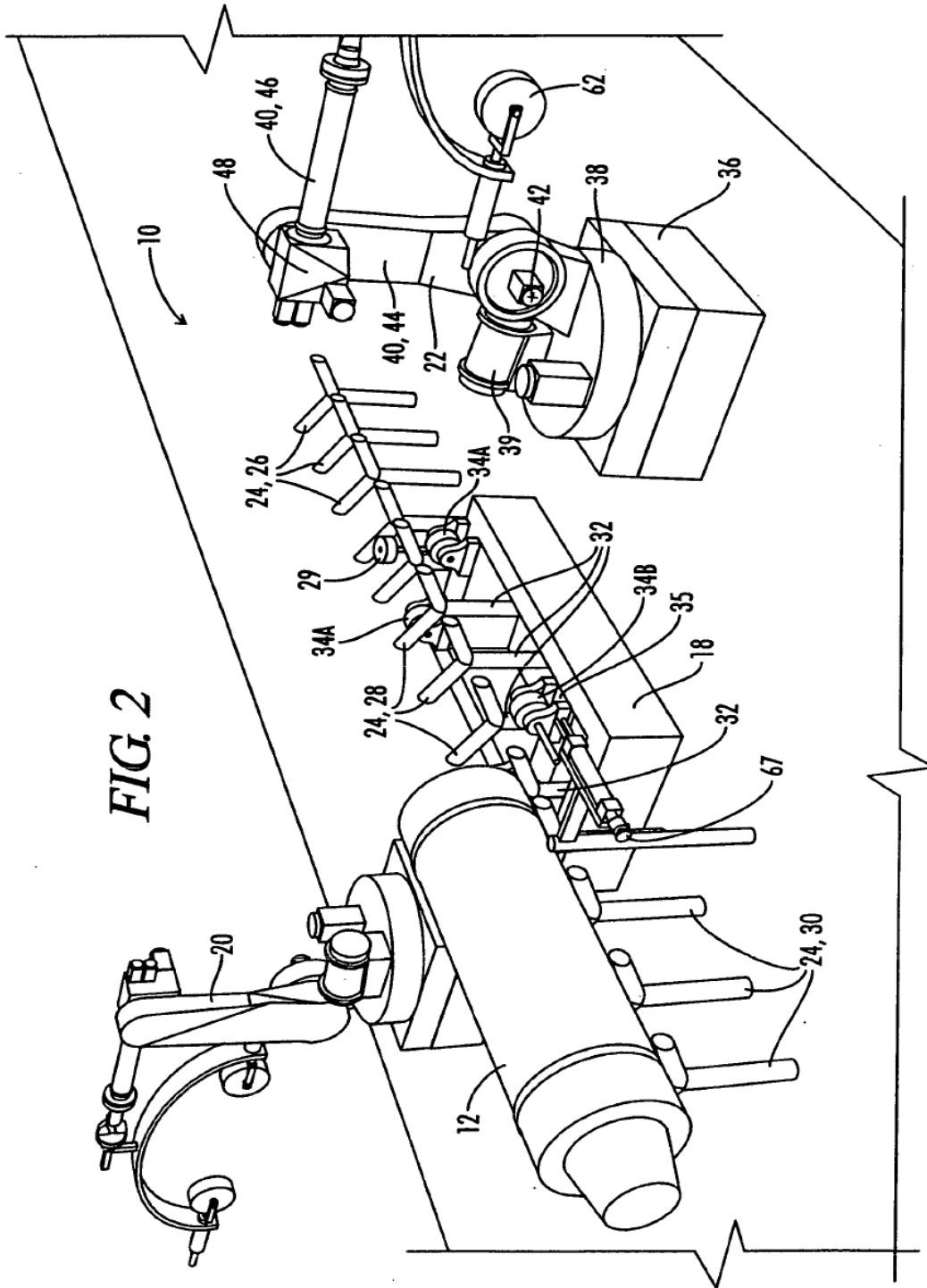


FIG. 1



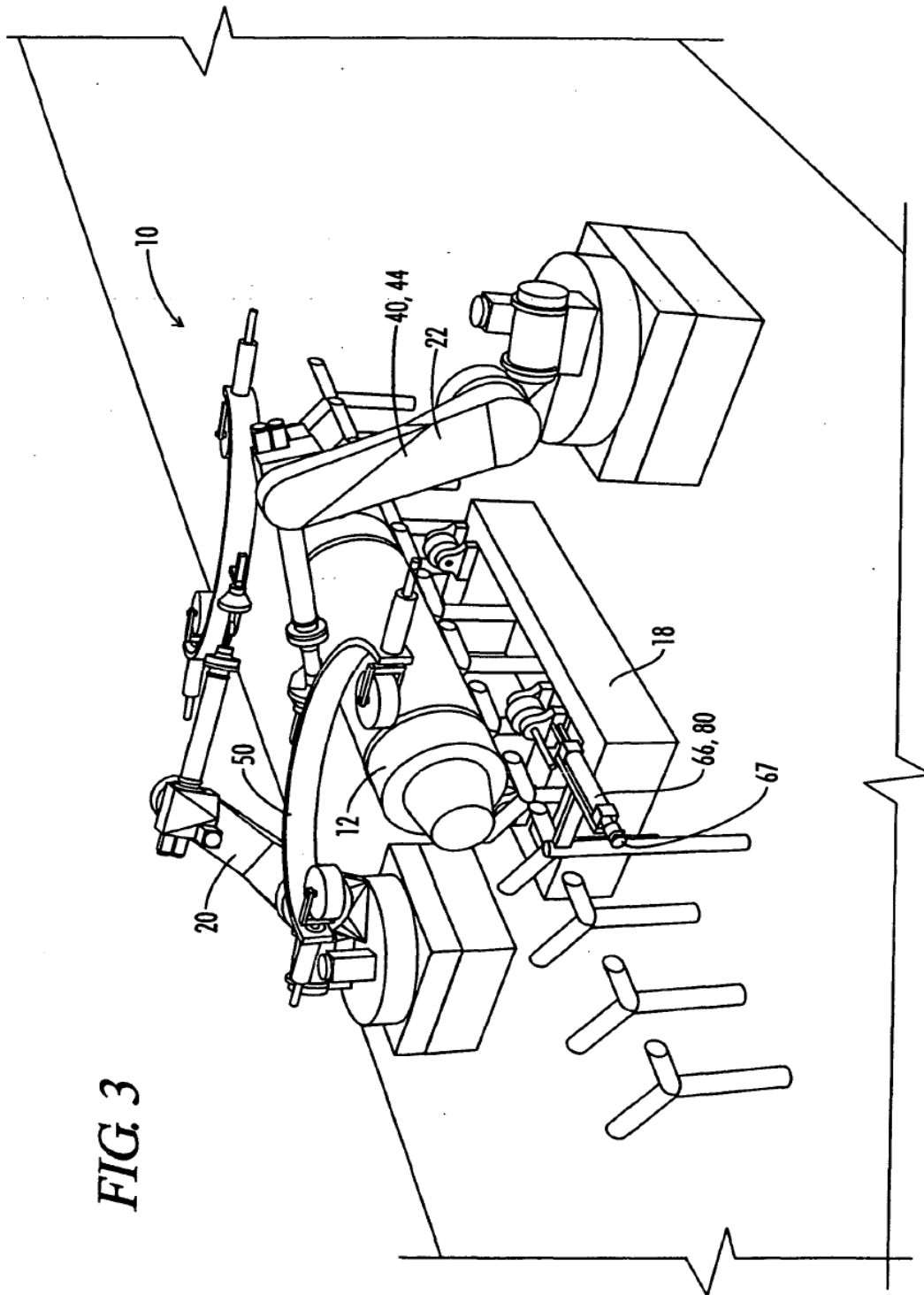


FIG. 3

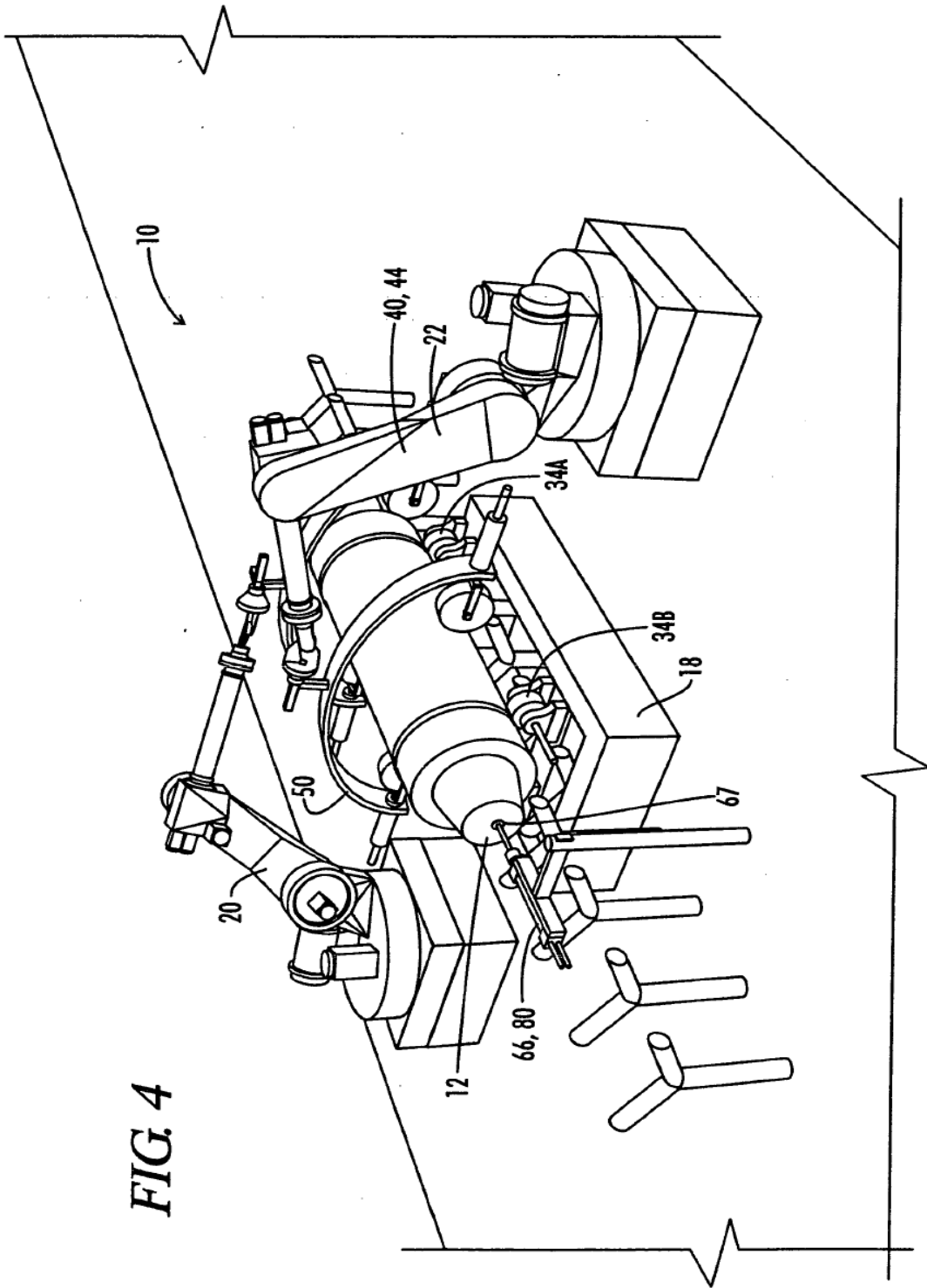


FIG. 4

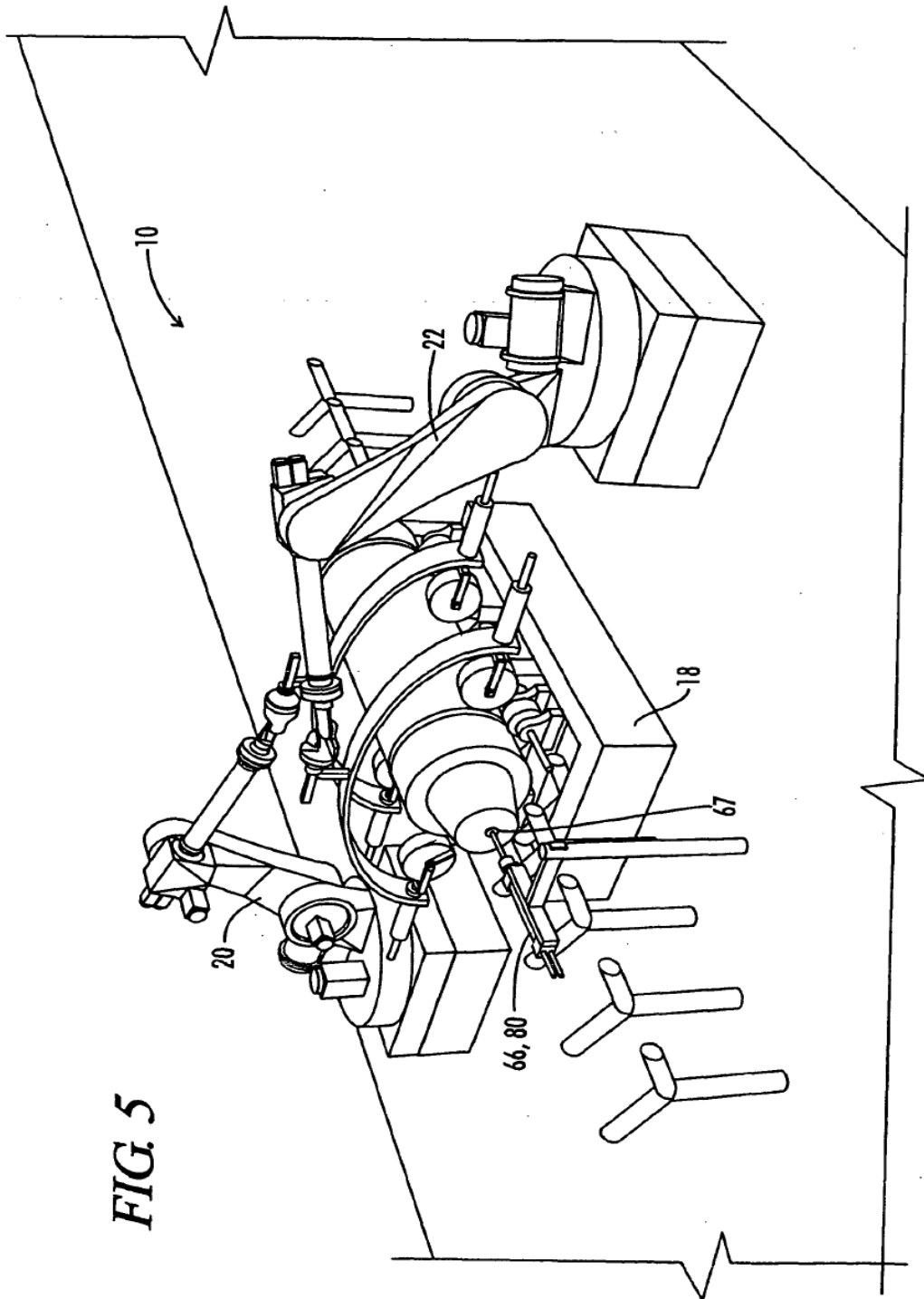
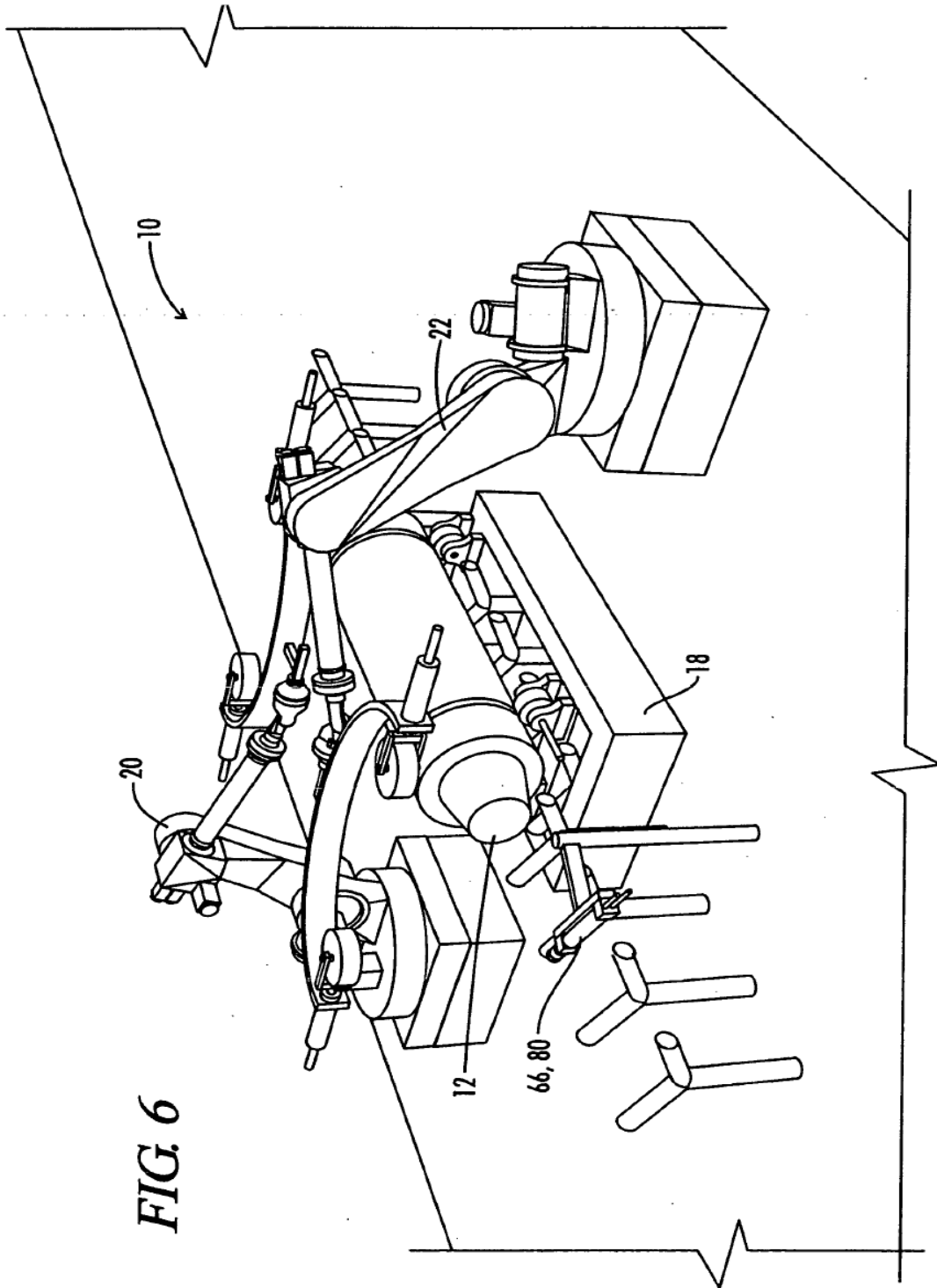


FIG. 5



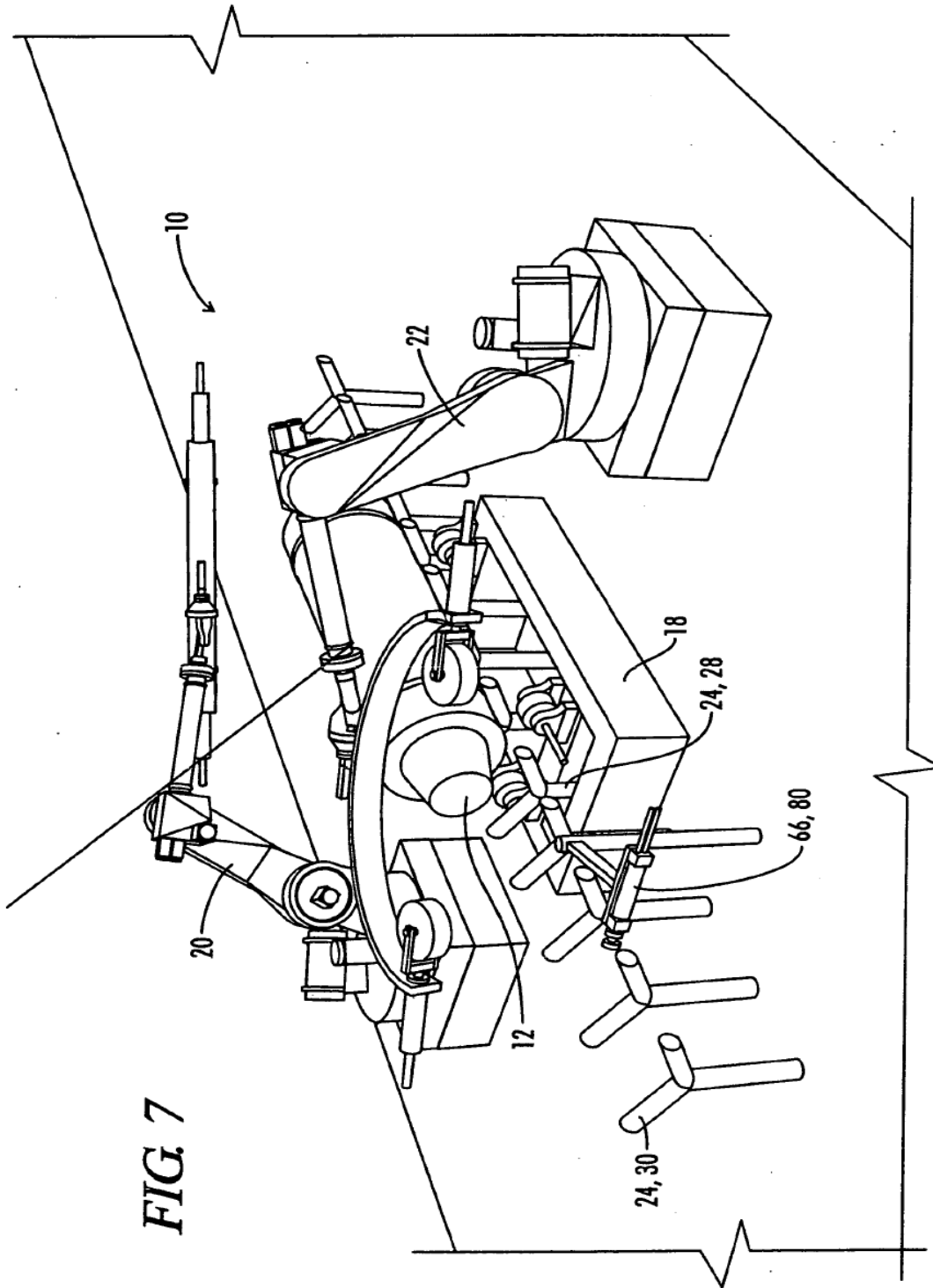


FIG 7

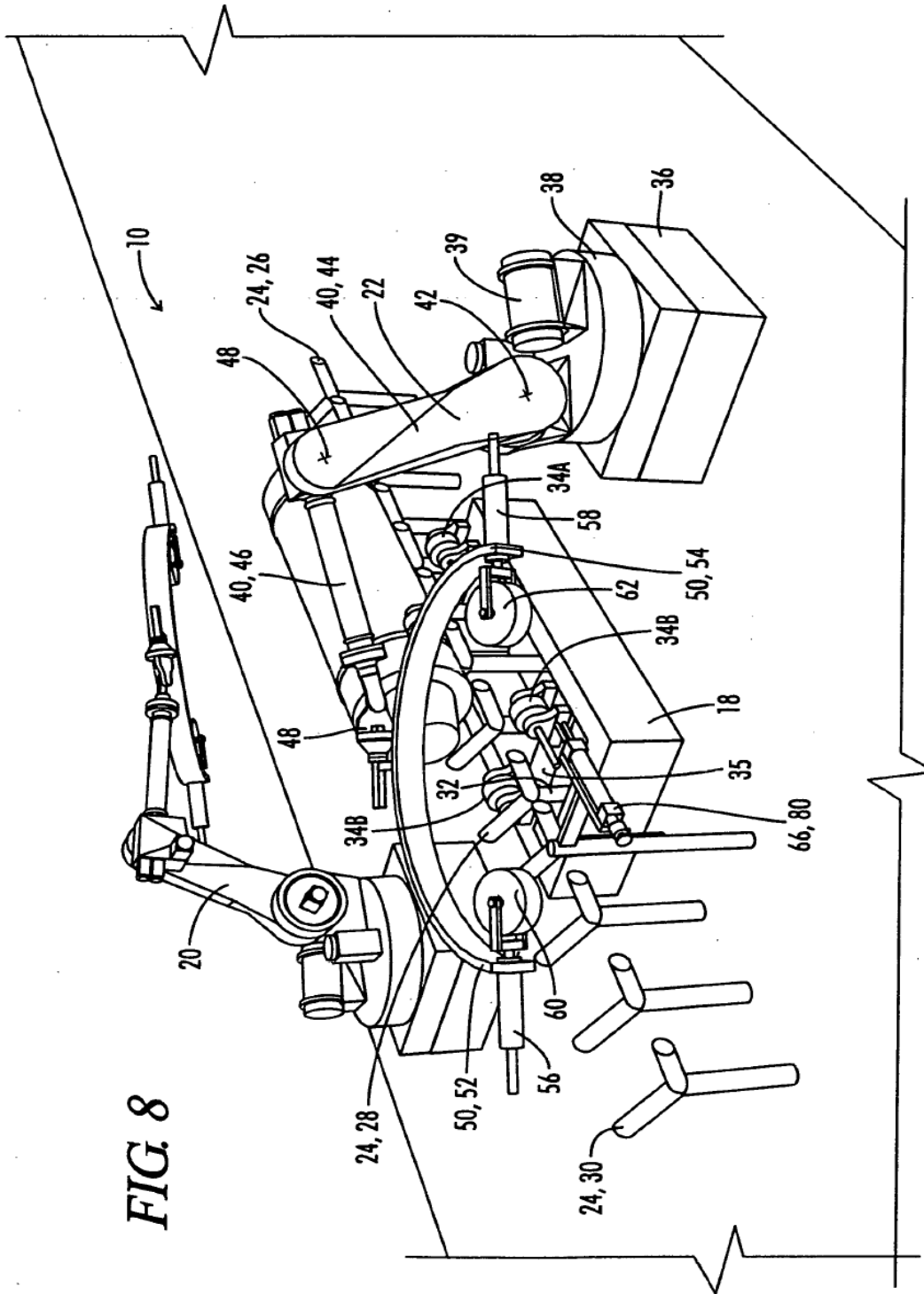


FIG. 8

