



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 287 730**

(51) Int. Cl.:

**G01B 7/06** (2006.01)

**B23B 49/00** (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **04735700 .9**

(86) Fecha de presentación : **01.06.2004**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1649240**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **26.04.2006**

(54) Título: **Procedimiento y aparato para medir la profundidad de agujeros en piezas de trabajo de material compuesto maquinadas por una herramienta de corte orbital.**

(30) Prioridad: **02.06.2003 US 320244 P**  
**26.06.2003 US 481027 P**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.12.2007**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.12.2007**

(73) Titular/es: **Novator AB.**  
**Stormbyvagen 6**  
**163 55 Spanga, SE**

(72) Inventor/es: **Oden, Erik y**  
**Pettersson, Björn**

(74) Agente: **Carpintero López, Francisco**

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**

Procedimiento y aparato para medir la profundidad de agujeros en piezas de trabajo de material compuesto maquinadas por una herramienta de corte orbital.

**Campo técnico**

La presente invención se refiere a un procedimiento y a un aparato para medir una profundidad de un agujero practicado en una pieza de trabajo de material compuesto maquinada por una herramienta de corte que orbita alrededor de un eje geométrico principal. La invención es, en particular, útil para practicar agujeros en piezas de trabajo de múltiples capas, por ejemplo en materiales compuestos reforzados con fibra, pilas de material o laminadas que comprenden al menos dos capas de material para su uso en la técnica aeroespacial.

**Antecedentes de la invención**

Por ejemplo, en componentes de capas múltiples de aeronaves el grosor de éstos puede variar de acuerdo con la extensión de la pieza de trabajo y, por tanto, puede variar en consonancia con la profundidad de los agujeros que son conformados en su interior. Es importante determinar con precisión la profundidad individual de cada agujero que está siendo conformado para poder hacer coincidir adecuadamente el agujero con un medio de sujeción concreto, que se ajuste con precisión, como por ejemplo un perno o un medio de sujeción ciego. Así mismo, es deseable, reducir al mínimo el desplazamiento axial de la herramienta de corte con el fin de evitar un taladrado innecesario en el vacío después de haber penetrado la pieza de trabajo.

Un procedimiento anterior para detectar el contacto inicial entre una herramienta de corte y la superficie de la pieza de trabajo y para determinar cuándo la herramienta de trabajo llega hasta las diversas superficies de separación y profundidades de una pieza de trabajo de múltiples capas se divulga en la memoria descriptiva de la Patente estadounidense No. 4,644,335. Este procedimiento comprende las etapas de detectar y analizar las señales de salida en cuanto a sus señas identificatorias acústicas, por ejemplo, formas de onda, amplitudes y frecuencias de las señales de salida. Sin embargo, dichos procedimientos de medición son sensibles a las perturbaciones e interferencias ocasionadas por y transferidas a partir de las operaciones de trabajo mecánicas que están siendo ejecutadas simultáneamente en otros emplazamientos de la misma pieza de trabajo. Esto puede enmascarar la fiabilidad de los resultados de la medición de la profundidad del respectivo agujero.

El documento DE4340249 muestra un aparato para controlar la profundidad de calibrado de un PCB de múltiples capas, que emplea potenciales de referencia sobre capas conductoras para registrar el contacto con la herramienta de calibrado. Una unidad de evaluación de la señal y un indicador de altura sensibles a los cambios potenciales posibilitan conjuntamente el control de la alimentación de la máquina de calibrado y la profundidad de penetración resultante.

**Sumario de la invención**

Constituye un objeto de la invención eliminar los inconvenientes de los procedimientos anteriormente conocidos y proporcionar un procedimiento y un aparato novedosos capaces de determinar la posición inicial exacta de un contacto (una primera posición de referencia cero) entre un borde de corte axial de un cabezal de corte de la herramienta de corte y una primera superficie de la pieza de trabajo y determinar la posición exacta cuando los bordes de corte radiales del cabezal de corte han penetrado la segunda superficie opuesta de la pieza de trabajo. La distancia entre el punto de entrada y el punto de salida del cabezal de corte de la pieza de trabajo (la profundidad del agujero) puede ser calculada por un medio de medición para medir el desplazamiento axial de la unidad de husillo y de la herramienta de corte, por ejemplo un codificador lineal incorporado a la herramienta mecánica.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención esto podría llevarse a cabo deduciendo una determinada longitud axial de los bordes de corte radiales del cabezal de corte que ha penetrado la pieza de trabajo de la longitud total del avance axial de la herramienta de corte a partir de la primera posición de referencia cero hasta el punto en el que el cabezal de corte interrumpe un circuito eléctrico mediante la pieza de trabajo. Más concretamente el procedimiento de la reivindicación 1 comprende las etapas de:

- a) aplicar un potencial eléctrico de bajo nivel a una herramienta de corte eléctricamente aislada, teniendo la herramienta de corte un eje geométrico central longitudinal y un cabezal de corte con unos bordes de corte radial y axial y con una longitud axial predeterminada;
- b) rotar la herramienta de corte alrededor del eje longitudinal;
- c) hacer avanzar axialmente la herramienta de corte hacia la pieza de trabajo;
- d) determinar una primera posición de referencia cero de la herramienta de corte cuando se pone inicialmente en contacto con una primera superficie exterior de la pieza de trabajo y cerrar así un circuito eléctrico mediante una pieza de trabajo conectada a masa;

- e) mantener un medio de medición para medir un desplazamiento axial de la herramienta de corte activada desde la primera posición de referencia cero;
- f) efectuar una rotación orbital de la herramienta de corte alrededor de un eje geométrico principal;
- g) introducir axialmente la herramienta de corte en la pieza de trabajo;
- h) controlar un carácter específico del potencial eléctrico durante el avance de la pieza de corte a través de la pieza de trabajo;
- i) detectar el punto de ruptura del circuito eléctrico cuando el cabezal de corte de la herramienta de corte penetre una segunda superficie opuesta de la pieza de trabajo; y
- j) determinar con ayuda del medio de medición la profundidad del agujero deduciendo la longitud axial predeterminada del cabezal de corte que ha penetrado la pieza de trabajo de la longitud total del avance axial de la herramienta de corte desde la primera posición de referencia cero hasta el punto de ruptura del circuito eléctrico a través de la pieza de trabajo.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención la profundidad del agujero que está siendo practicado puede ser calculada determinando también una segunda posición de referencia de la herramienta de corte haciendo retroceder axialmente la herramienta de corte para que haga contacto con la segunda superficie de la pieza de trabajo después de haber penetrado la misma para volver a cerrar un circuito eléctrico a través de la pieza de trabajo y a masa. Una determinación precisa de la profundidad del agujero practicado por la herramienta de trabajo puede obtenerse así con ayuda de las dos posiciones de referencia registradas por el codificador lineal. Concretamente, el procedimiento de la reivindicación independiente 2 comprende, además de las etapas a) a i) anteriormente mencionadas, las etapas de:

- k) efectuar un pequeño aumento incremental del desfase radial de la herramienta de trabajo;
- l) hacer retroceder axialmente la herramienta de trabajo para que haga contacto con la segunda superficie de la pieza de trabajo para determinar una segunda posición de referencia de la herramienta de trabajo cuando vuelve a cerrar el circuito eléctrico; y
- m) calcular la profundidad del agujero practicado con la herramienta de trabajo con la ayuda de las dos posiciones de referencia obtenidas.

Como consecuencia del presente procedimiento de detección de la posición exacta en el que el cabezal de corte ha penetrado completamente la pieza de trabajo, es posible reducir al mínimo el desplazamiento axial de la herramienta de corte con el fin de evitar la perforación innecesaria en el vacío de la herramienta de corte después de la penetración de la pieza de trabajo.

Características adicionales de los procedimientos de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes 3 y 4.

La presente invención se refiere también a un aparato de maquinado orbital para practicar un agujero en una pieza de trabajo de material compuesto y medir la profundidad del agujero que está siendo practicado. El aparato comprende las características expuestas en la reivindicación independiente 5.

La invención se describirá con mayor amplitud en conexión con la descripción detallada subsecuente con referencia a los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una vista en sección longitudinal de un aparato de maquinado orbital anteriormente conocido con unos componentes básicos comunes con el aparato de de la invención;

la Fig. 2 es una vista detallada lateral en sección de una unidad de husillo eléctricamente aislada utilizada en el aparato de maquinado orbital de la invención;

las Figs. 2a y 2b son vistas laterales esquemáticas de una herramienta de corte fuera de y en contacto eléctrico con una pieza de trabajo;

la Fig. 3 es una vista esquemática de una herramienta de corte orbital situándose en contacto eléctrico inicial con una pieza de trabajo de material compuesto;

la Fig. 4 es una vista similar a la Fig. 3 que ilustra una posición de la herramienta de corte orbital cuando su cabezal de corte está justo perdiendo contacto con la pieza de trabajo después de haber penetrado la misma; y

la Fig. 5 es una vista similar a las Figs. 3 y 4 que ilustra la posición de la herramienta de corte cuando su cabezal de corte ha sido en cierto modo desplazado radialmente después de la penetración de la pieza de trabajo y a continuación puesto de nuevo en contacto con la pieza de trabajo.

## 5 Descripción detallada de las formas de realización preferentes

En el procedimiento de la presente invención para medir la profundidad de un agujero que está siendo maquinado en una pieza de trabajo de material compuesto, se utiliza un aparato de maquinado orbital 10. El aparato de maquinado orbital 10 incluye, como las máquinas de taladrado orbitales convencionales, como por ejemplo las descritas en los documentos WO 01/15870 A2, WO 03/008136 A1, US-A-5 971 678, un primer brazo accionador en forma de unidad 12 de motor de husillo configurada para hacer rotar un husillo 13 y una herramienta de corte 14 que tiene un eje central longitudinal 16 durante el maquinado del agujero; un segundo accionador 20 configurado para desplazar la herramienta de corte 14 en una dirección de alimentación axial hacia y por dentro de la pieza de trabajo sustancialmente en paralelo al eje de la herramienta 16, siendo el segundo accionador 20 simultáneamente operable con dicho primer accionador 12; un tercer accionador 22 configurado para hacer rotar la herramienta de corte 14 alrededor de un eje principal, siendo el eje principal sustancialmente paralelo a dicho eje central 16 de la herramienta de corte y coaxial con un eje central longitudinal del agujero que va a ser maquinado, siendo el tercer accionador 22 simultáneamente operable con dichos primer y segundo accionadores 12, 20; y un tercer mecanismo descentrado 24 configurado para controlar la distancia radial del eje central 16 de la herramienta de corte 14 respecto del eje principal.

Como se muestra con mayor detalle en la Fig. 2, la unidad 12 de motor de husillo comprende un motor eléctrico, que puede incluir un rotor interno 26 y un estator externo 28 con un espacio libre 30 entre ellos. El aparato 10 puede ser montado de manera deslizable sobre un soporte fijo 32 (Fig. 1) o ser montado sobre un miembro amovible, como por ejemplo un brazo automático (no mostrado). El segundo accionador 20 incluye un mecanismo de alimentación axial que comprende un motor fijo 34 que acciona un tornillo esférico 36 que encaja con una tuerca esférica 38 sujeta a una carcasa H de la máquina. Cuando el motor 34 gira, la máquina 10 se desliza bien hacia delante bien hacia atrás sobre el soporte 32 desplazando así axialmente la herramienta de corte 14.

El mecanismo de descentrado radial 24 básicamente comprende un cuerpo cilíndrico interior hueco 38 que soporta de forma rotatoria el husillo 13 dentro de un agujero excéntrico situado en su interior por medio de unos cojinetes de material cerámico 40 que aíslan eléctricamente el husillo 13 de los componentes circundantes de la máquina. El agujero excéntrico tiene un eje longitudinal central. El agujero excéntrico tiene un eje central longitudinal paralelo pero radialmente descentrado a una distancia respecto del eje central longitudinal del cuerpo interior cilíndrico 38. El cuerpo interior cilíndrico excéntrico 38 es, a su vez, soportado de manera rotatoria dentro de un agujero excéntrico que se extiende axialmente de un segundo cuerpo cilíndrico hueco exterior 42 (Fig. 1). El agujero excéntrico del cuerpo cilíndrico exterior 42 tiene un eje central longitudinal paralelo pero radialmente descentrado a una distancia del eje central del cuerpo exterior cilíndrico 36 (el eje principal). Preferentemente, los agujeros de los cuerpos cilíndrico 38 y 42 tienen la misma excentricidad, esto es, los ejes centrales de los agujeros están radialmente descentrados a la misma distancia del respectivo eje central de los cuerpos 38 y 42. Haciendo rotar el cuerpo cilíndrico interior 38 dentro del agujero excéntrico del cuerpo cilíndrico exterior 42, o mediante una rotación respectiva mutua de los cuerpos cilíndricos 38, 42 es por tanto posible emplazar el eje central del agujero excéntrico del cuerpo cilíndrico interior 38 de tal forma que aquél, y por tanto el husillo 13 y el eje central 16 de la herramienta de corte 14, coincida con el eje central del cuerpo cilíndrico exterior 42. En este caso no hay ningún desfase radial respecto del eje 16 de la herramienta de corte. Efectuando una rotación relativa mutua de 180° de los cuerpos cilíndricos interior y exterior 38, 42 alejada de esta posición separada radial cero, se obtiene una separación máxima del eje 16 de la herramienta de corte.

Básicamente, el cuerpo cilíndrico exterior 42 es soportado de manera rotatoria dentro de la carcasa H del aparato 10 y puede ser rotado por un motor (no mostrado) por medio de una correa 46, la cual conecta con una rueda 48 de la correa conectada al cuerpo exterior 42. Así mismo, el cuerpo interior cilíndrico 38 puede rotar mediante un motor adicional (no mostrado) por medio de una correa 52, la cual encaja con una rueda 54 de correa conectada al cuerpo interior por medio de un acoplamiento 56. La rueda 54 de correa está dispuesta para girar en una posición concéntrica con respecto a la rueda 48 de correa.

La máquina 10 está equipada con un medio de medición (no mostrado) para medir el desplazamiento axial del husillo 13, por ejemplo un codificador lineal, que detecta la posición axial del husillo 13 y de la herramienta de corte 14 durante el funcionamiento de la máquina. Como se muestra esquemáticamente en las Figs 2a y 2b, la herramienta de corte 14 está conectada a una fuente de bajo voltaje U para aplicar un potencial eléctrico a aquélla. La Fig. 2a ilustra una posición inicial de la herramienta de corte 14 en la que se rompe un circuito eléctrico a través de la pieza de trabajo W conectada a masa, mientras que la Fig. 2b ilustra el contacto inicial entre la herramienta de trabajo 14 y una pieza de trabajo W, donde un circuito eléctrico se cierra a través de la pieza de trabajo W indicando así una primera posición de referencia cero de la herramienta de corte 14.

A continuación se describirá el procedimiento de medición de la profundidad de un agujero que está siendo maquinado en una pieza de trabajo W de material compuesto mediante una operación de taladrado orbital. Como se muestra esquemáticamente en las Figs. 2b y 3, cuando la herramienta de corte rotatoria 14 contacta inicialmente con la superficie exterior W<sub>1</sub> de la pieza de trabajo W, el potencial eléctrico aplicado a la herramienta de trabajo 14 estará conectado a masa a través de la pieza de trabajo W. Esto indica una posición de referencia cero de la herramienta 14 a partir de la cual será calculada la profundidad del agujero con la ayuda del medio de medición, como por ejemplo un codificador

lineal asociado con la máquina 10. El procedimiento de maquinado del agujero comienza ahora efectuando la herramienta de corte rotatoria 14 un desplazamiento orbital convencional, esto es, la herramienta 14 está también rotando alrededor de un eje principal correspondiente al eje central del agujero, mientras se efectúa un desplazamiento axial simultáneo. Como se muestra en la Fig. 3, la herramienta de corte 14 utilizada es preferentemente una fresa frontal que tiene un cabezal de corte 57 con unos bordes de corte axial 58 que se extienden radialmente y unos bordes de corte radial 60 que se extienden radialmente que tienen una longitud axial L sustancialmente inferior a la profundidad del agujero que se está practicando.

Como se aprecia en la Fig. 4, cuando el cabezal de corte 57 ha penetrado la superficie opuesta  $W_2$  de la pieza de trabajo W, esto es, el extremo trasero 62 de los bordes radial 60 pierde contacto con la pieza de trabajo, se romperá el circuito eléctrico a través de la pieza de trabajo W. Esta segunda posición de referencia de la herramienta de corte 14 se registra por el medio de medición. Ahora, la profundidad d del agujero terminado puede ser calculada deduciendo la longitud L del cabezal de corte 57 (sustancialmente correspondiente a la longitud axial de los bordes de corte radial 60 y de la altura axial de los bordes de corte axial 58 que han penetrado la pieza de trabajo) de la longitud total del avance axial de la herramienta de corte 14 desde la primera posición de referencia cero hasta dicha segunda posición de referencia en la que se rompió el circuito eléctrico a través de la pieza de trabajo.

Alternativamente, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 5, la segunda posición de referencia podría obtenerse o ratificarse efectuando un pequeño aumento incremental de la separación radial de la herramienta de corte 14 después de la penetración del cabezal de corte 57 a través de la superficie trasera  $W_2$  de la pieza de trabajo W y a continuación haciendo retroceder axialmente la herramienta de trabajo 14 para efectuar un nuevo contacto con esta superficie de la pieza de trabajo. La indicación de la segunda posición de referencia mediante el cierre de un circuito eléctrico puede obtenerse de una manera más nítida que con la ruptura del circuito eléctrico.

El procedimiento inventivo se aplica a piezas de trabajo de material compuesto en general, como por ejemplo piezas de trabajo consistentes en materiales compuestos reforzados con fibra, materiales compuestos incluyendo compuestos reforzados con metal, compuestos de metal contra metal y compuestos de metal con fibras o laminados o pilas de capas de material. Dichos materiales compuestos comprenden una pluralidad de capas de material.

Los procedimientos de la presente invención para medir la profundidad de un agujero en una pieza de trabajo pueden ser parcialmente utilizados también para determinar una profundidad deseada de un avellanado de un agujero, cuando se utiliza una porción de avellanado biselada integrada de la herramienta de corte. La identificación de la posición de referencia cero y el posterior avance de la herramienta de corte en una extensión correspondiente a la distancia entre el extremo distal del cabezal de corte y el extremo distal de la porción de avellanado biselada, hace posible obtener una profundidad determinada del avellanado. También la profundidad de un agujero ciego puede obtenerse de manera similar.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medir una profundidad de un agujero de una pieza de trabajo de material compuesto (W) que es maquinada por un procedimiento de corte orbital, comprendiendo las etapas de:

- a) aplicar un potencial eléctrico de bajo nivel (U) a una herramienta de corte (14) eléctricamente aislada, teniendo la herramienta de corte un eje central longitudinal (16) y un cabezal de corte (57) con unos bordes de corte radial y axial (60, 58) y con una longitud axial predeterminada (L);
- b) rotar la herramienta de corte (14) alrededor del eje longitudinal (16);
- c) avanzar axialmente la herramienta de corte (14) hacia la pieza de trabajo (W);
- d) determinar una primera posición de referencia cero de la herramienta de corte cuando inicialmente hace contacto con una primera superficie interior ( $W_1$ ) de la pieza de trabajo y con ello cerrar un circuito eléctrico mediante una pieza de trabajo (W) conectada a masa;
- e) mantener un medio de medición para medir un desplazamiento axial de la herramienta de corte activada desde la primera posición de referencia cero;
- f) efectuar una rotación orbital de la herramienta de corte (14) alrededor de un eje principal;
- g) introducir axialmente la herramienta de corte en la pieza de trabajo;
- h) controlar un valor específico del potencial eléctrico durante el avance de la herramienta de corte a través de la pieza de trabajo;
- i) detectar el punto de ruptura del circuito eléctrico cuando el cabezal de corte (57) de la herramienta de corte (14) penetra una segunda superficie opuesta ( $W_2$ ) de la pieza de trabajo; y
- j) determinar con ayuda del medio de medición la profundidad (d) del agujero para deducir la longitud axial predeterminada (L) del cabezal de corte (57) que ha penetrado la pieza de trabajo (W) de la longitud total del avance axial de la herramienta de corte (14) desde la primera posición de referencia cero hasta el punto de ruptura del circuito eléctrico a través de la pieza de trabajo.

2. Procedimiento de medir una profundidad de un agujero de una pieza de trabajo de material compuesto (W) que es maquinada por un procedimiento de corte orbital, comprendiendo las etapas de:

- a) aplicar un potencial eléctrico de bajo nivel (U) a una herramienta de corte eléctricamente aislada (14), teniendo la herramienta de corte un eje central longitudinal (16) y un cabezal de corte (57) con unos bordes de corte radial y axial (60, 58) y con una longitud axial predeterminada (L);
- b) rotar la herramienta de corte (14) alrededor del eje longitudinal (16);
- c) avanzar axialmente la herramienta de corte (14) hacia la pieza de trabajo (W);
- d) determinar una primera posición de referencia cero de la herramienta de corte cuando se sitúa inicialmente en contacto con la primera superficie externa ( $W_1$ ) de la pieza de trabajo (W) y cerrar así un circuito eléctrico por medio de una pieza de trabajo conectada a masa;
- e) mantener un medio de medición para medir un desplazamiento axial de la herramienta de corte activada desde la primera posición de referencia cero;
- f) efectuar una rotación orbital de la herramienta de corte (14) alrededor de un eje orbital;
- g) introducir axialmente la herramienta de corte dentro de la pieza de trabajo;
- h) controlar un valor específico del potencial eléctrico durante el avance de la herramienta de corte (14) a través de la pieza de trabajo (W);
- i) detectar el punto de ruptura del circuito eléctrico cuando el cabezal de corte (57) de la herramienta de corte (14) penetra una segunda superficie opuesta ( $W_2$ ) de la pieza de trabajo (W);
- k) efectuar un pequeño aumento incremental del desfase radial de la herramienta de corte (14);
- l) hacer retroceder axialmente la herramienta de corte (14) para ponerla en contacto con la segunda superficie de la pieza de trabajo para determinar una segunda posición de referencia de la herramienta de corte cuando vuelve a cerrar el circuito eléctrico; y

## ES 2 287 730 T3

m) calcular la profundidad (d) del agujero practicado por la herramienta de corte (14) con la ayuda de las dos posiciones de referencia obtenidas.

3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado** porque dichas etapas se llevan a cabo en una pieza de trabajo (W) de material compuesto que comprende al menos dos capas de material.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado** porque al menos una de dichas capas comprende un material compuesto reforzado con fibras.

5. Aparato de mecanizado orbital para practicar un agujero en una pieza de trabajo (W) de material compuesto y medir la profundidad (d) del agujero practicado, que comprende un husillo rotatorio (13) para soportar una herramienta de corte (14) que tiene un eje central longitudinal (16) y un cabezal de corte (57) con unos bordes de corte radial y axial (60, 58) y con una longitud axial predeterminada (L);

un primer accionador (12) configurado para hacer rotar la herramienta de corte (14) alrededor de su eje longitudinal central (16) durante el maquinado del agujero;

un segundo accionador (20) configurado para desplazar la herramienta de corte (14) en una dirección de introducción axial hacia y en la pieza de trabajo (W) sustancialmente en paralelo a dicho eje (16) de la herramienta, siendo dicho segundo accionador (20) simultáneamente operable con dicho primer accionador (12);

un tercer accionador (22) configurado para hacer rotar la herramienta de corte (14) alrededor de un eje principal, siendo dicho eje principal sustancialmente paralelo a dicho eje central (16) de la herramienta (14) y coaxial con un eje central longitudinal del agujero que va a maquinarse, siendo dicho tercer accionador (22) simultáneamente operable con dichos primero y segundo accionadores (12, 20); y

un mecanismo de desfase radial (24) configurado para controlar la distancia radial del eje central de la herramienta de corte (14) desde dicho eje principal, **caracterizado** porque el husillo (13) está conectado a una fuente de tensión baja (U) y a un medio de medición para medir el desplazamiento axial del husillo (13), estando dicho husillo provisto de cojinetes de material cerámico (40) que aíslan eléctricamente el husillo (13) de los componentes que rodean el aparato de maquinado orbital (10), estando dicho medio de medición configurado para registrar una primera posición de referencia cero de la herramienta de corte (14), cuando la herramienta de corte se sitúa inicialmente en contacto con una primera superficie ( $W_1$ ) de la pieza de trabajo (W) y cierra un circuito eléctrico con la masa a través de la pieza de trabajo (W) y para registrar una segunda posición de referencia, bien cuando el circuito eléctrico se rompe cuando el cabezal de corte (57) ha penetrado una segunda superficie opuesta ( $W_2$ ) de la pieza de trabajo (W), bien cuando el cabezal de corte (57), después de haber penetrado la segunda superficie ( $W_2$ ) es retrasada para situarla en contacto con la segunda superficie ( $W_2$ ) de la pieza de trabajo para determinar una segunda posición de referencia de la herramienta de corte (14) cuando vuelve a cerrar el circuito eléctrico con la masa.

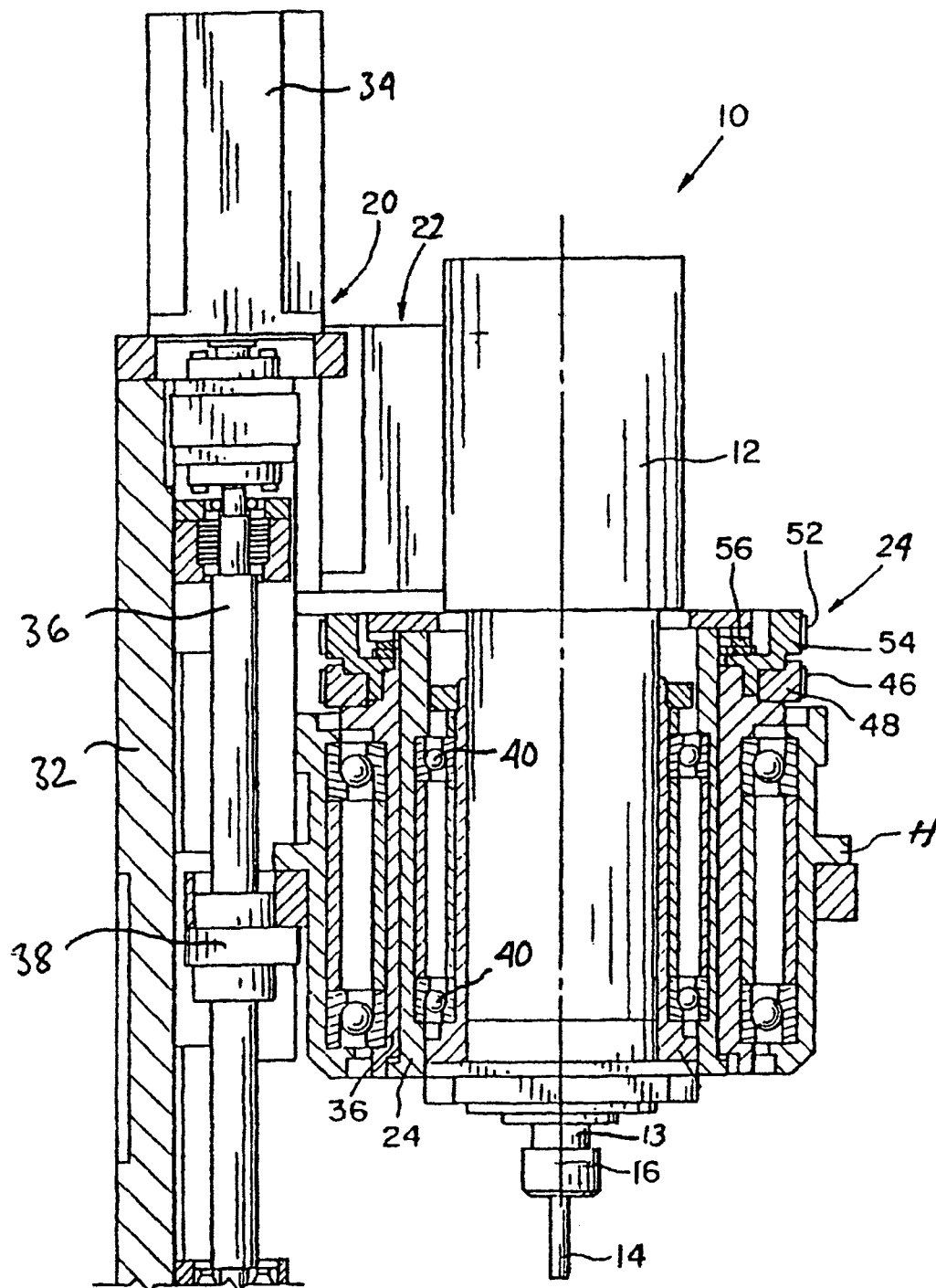


Fig. 1



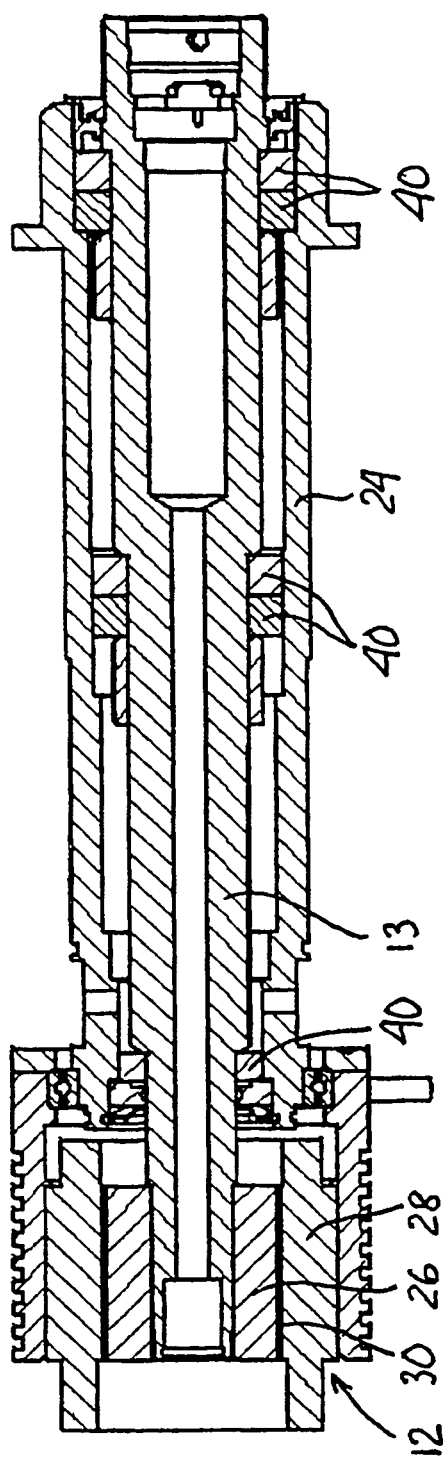
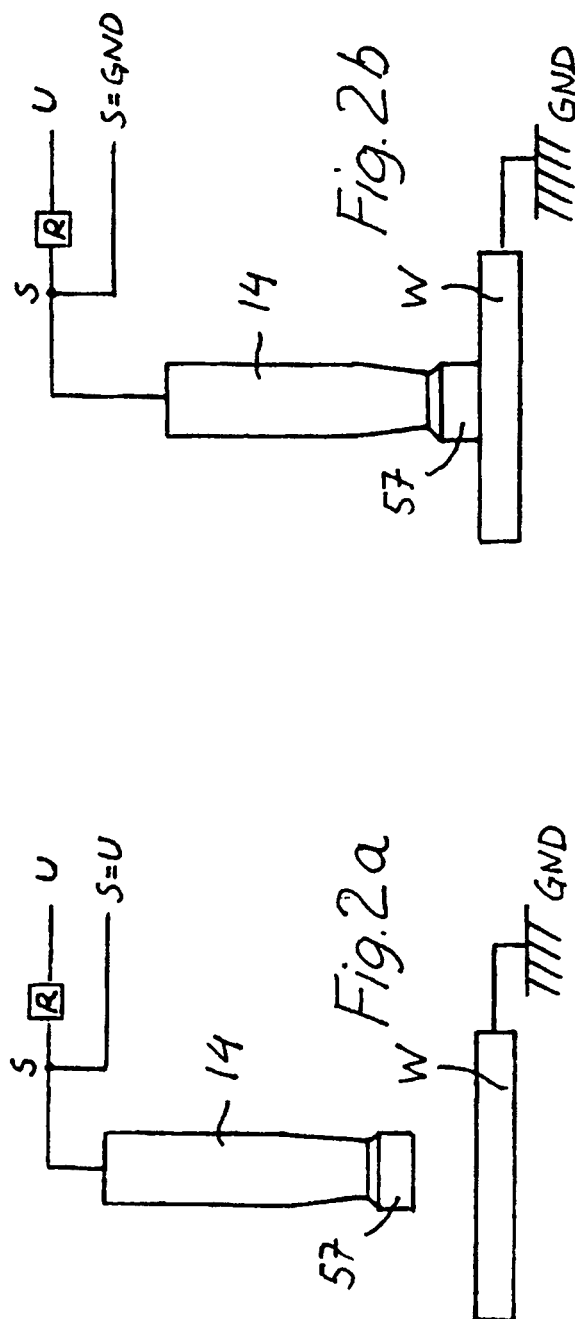


Fig. 2



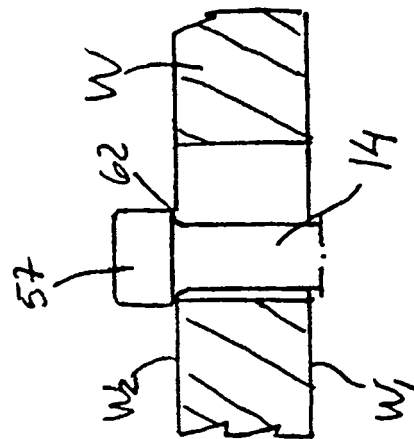


Fig. 5

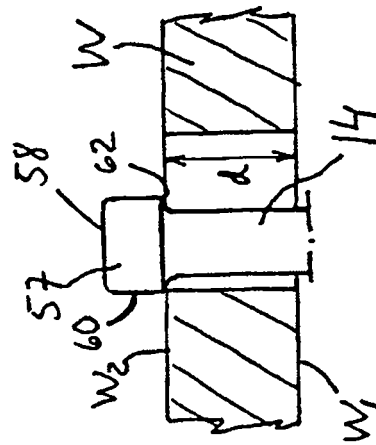


Fig. 4

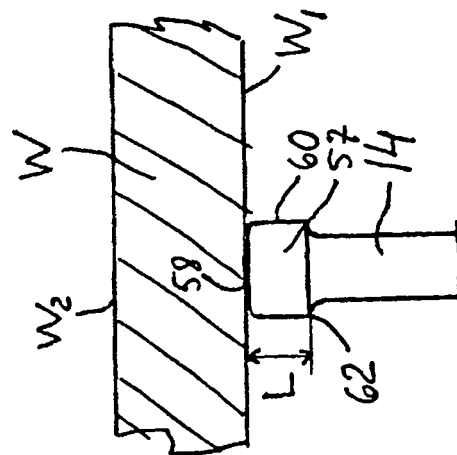


Fig. 3