

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 820 834**

51 Int. Cl.:

B23H 7/10 (2006.01)

B23H 7/26 (2006.01)

B24B 53/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2016** **E 16161753 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2020** **EP 3072621**

54 Título: **Guía del alambre para guiar un electrodo de alambre durante la electroerosión por hilo**

30 Prioridad:

24.03.2015 DE 102015104405

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

22.04.2021

73 Titular/es:

FRITZ STUDER AG (100.0%)

Thunstrasse 15

3612 Steffisburg, CH

72 Inventor/es:

KLOTZ, MICHAEL

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 820 834 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

Guía del alambre para guiar un electrodo de alambre durante la electroerosión por hilo

La presente invención se refiere a una guía del alambre para guiar un electrodo de alambre durante la electroerosión por hilo rotativo de una pieza de trabajo según el término genérico de la reivindicación 1. Dicha guía del alambre se conoce del documento EP 2 607 006 A1.

Del documento WO 00/05024 A1 se conoce un método y un dispositivo de corte de alambre con electroerosión por chispas.

En el documento JP S63 102834 A se revela un dispositivo para la descarga eléctrica de un dispositivo de corte de cable.

El documento US 5 660 579 A se refiere a un dispositivo y un proceso para dar forma a muelas abrasivas.

Las máquinas de electroerosión por hilo (wire electrical discharge machining, WEDM) se basan en el principio de la remoción de material por electroerosión por chispas para dar forma a las piezas de trabajo. Por medio de pulsos de tensión eléctrica, se generan chispas entre una pieza de trabajo (ánodo) y un cable delgado pasante (cátodo). Estas chispas transfieren material de la pieza al alambre y al medio de separación, el dieléctrico. Después es desechado el alambre. La precisión del procedimiento se basa en el hecho de que la chispa siempre salta en el punto en que la distancia entre la pieza de trabajo y el cable es mínima. El alambre (electrodo de alambre, alambre de erosión) es guiado a lo largo de un contorno deseado por medio de una guía del alambre.

La guía del alambre desempeña un papel importante en la precisión del mecanizado. La WEDM a menudo utiliza las llamadas guías cerradas de dibujo en forma de matriz. Las guías V abiertas también son utilizadas por algunos fabricantes de las WEDM. Normalmente, el alambre es guiado a lo largo de un cierto "tramo libre" relativo a la pieza de trabajo. La guía del alambre a menudo tiene dos elementos de guía separados entre sí y situados uno encima del otro. Estos elementos de guía pueden realizar movimientos relativos en dirección X e Y con respecto a la pieza de trabajo. Una de las dos guías de alambre también puede realizar un movimiento relativo en las direcciones U y V en relación con la otra guía del alambre. El alambre puede ser guiado a lo largo de cualquier contorno bidimensional. De esta manera, se puede llevar a cabo el llamado mecanizado de erosión de alambre cilíndrico, es decir, vertical y/o cónico.

Mediante la integración de un eje o husillo adicional, también es posible la electroerosión por corte de alambre rotativo o la electroerosión rotativa por chispas. Con esta variante del procedimiento, la pieza gira durante el mecanizado hasta varios miles de revoluciones por minuto. El electrodo de alambre normalmente se prolonga verticalmente, perpendicular al eje de rotación. Durante la rotación, mediante el electrodo de alambre se puede crear un contorno en la pieza de trabajo.

Una aplicación sobre esa base es el perfilado de muelas abrasivas de enlace metálico por medio de electroerosión de alambre (wire electrical discharge dressing, WEDD). Estas muelas abrasivas consisten en un grano superabrasivo, por ejemplo, de diamante o cBN, que está incrustado en un enlace metálico, típicamente de bronce, hierro o cobalto. Estos materiales de enlace tienen excelentes propiedades que son esenciales para el proceso de molienda, especialmente en términos de estabilidad dimensional, unión de granos, resistencia a la temperatura y conductividad térmica. Los enlaces metálicos de las muelas superabrasivas son básicamente conductores y por lo tanto se erosionan fácilmente. Sin embargo, el grano no conductor no se erosiona directamente.

En comparación con los métodos convencionales de reavivado con diamante de grano único, rueda rotativa de SiC, etc., donde el desgaste de la herramienta de reavivado y la muela abrasiva puede ser considerable, la electroerosión por hilo permite una mayor eficiencia en el perfilado y afilado de las muelas superabrasivas de enlace metálico, especialmente para la producción de radios pequeños. Además, se pueden lograr protuberancias de grano más grandes.

En principio, las guías de alambre convencionales, como se describe arriba, pueden ser usadas para la electroerosión por hilo rotativo. Sin embargo, el electrodo de alambre es desviado y/o hecho vibrar por las fuerzas de proceso, las influencias de accionamiento y las fuerzas hidráulicas del lubricante de refrigeración causadas por la rotación de la pieza de trabajo. Cuando se rectifican las muelas como una pieza de trabajo, este efecto se intensifica por la superficie porosa de la muela. Tanto la desviación del alambre como la vibración del electrodo de alambre son indeseables, ya que son un obstáculo para el control del proceso y afectan directamente a la precisión del contorno.

En el documento EP 2 607 006 A1 se revela una guía del alambre pivotante que permite reducir la desviación. Un dispositivo para la electroerosión por hilo rotativo de una pieza de trabajo con una guía del alambre curva con una guía del alambre en forma de disco y preferiblemente curvada. El dispositivo se conformó de tal manera que la posición angular relativa entre la guía del alambre y la pieza de trabajo es ajustable sobre un eje paralelo a la dirección del cable en el punto de trabajo. Además, se revela una guía del alambre en forma de disco para guiar un electrodo de alambre para la electroerosión de rotativa de alambre de una pieza de trabajo, en la que el grosor de la guía del

alambre en forma de disco es menos de 1,5 veces el diámetro del electrodo de alambre y además tiene una ranura de guía en la circunferencia, en la que la guía del alambre tiene un hueco en el área efectiva de la erosión por chispas.

Pero también en las guías de alambre de este tipo, el electrodo de alambre puede desviarse o vibrar, especialmente en su área de tensión libre en el rango efectivo de la erosión por chispas. Esto puede llevar a una menor precisión o a una pérdida de control del proceso.

Por lo tanto, es una tarea de la presente invención optimizar una guía del alambre para la electroerosión por hilo rotativo. En particular, debería ser posible lograr una mayor precisión.

Según un primer aspecto, la invención se refiere a una guía del alambre para guiar un electrodo de alambre durante la erosión por hilo rotativo de una pieza de trabajo con un elemento guía para guiar el electrodo de alambre y un actuador para actuar sobre el electrodo de alambre con el fin de cambiar el curso del electrodo de alambre en el rango efectivo de la erosión por chispas para contrarrestar las vibraciones del electrodo de alambre y/o para el ajuste fino del electrodo de alambre, en el que el actuador está diseñado como un actuador piezoeléctrico y un primer punto de contacto eléctrico para aplicar un voltaje, para cambiar el curso del electrodo de alambre cambiando la forma del actuador piezoeléctrico, la guía del alambre tiene una forma sustancialmente de disco con una ranura de guía para el electrodo de alambre en la periferia, el actuador piezoeléctrico está diseñado para desviar el electrodo de alambre radialmente a la guía del alambre en forma de disco y ortogonalmente al electrodo de alambre en su rango efectivo, y el elemento guía y el actuador están diseñados como un elemento integrado.

En este contexto, la guía del alambre se refiere a un componente de una máquina de electroerosión por hilo u otra máquina herramienta que lleva a cabo el proceso de electroerosión por hilo, por medio del cual el electrodo de alambre puede ser guiado en relación con la pieza de trabajo. Una parte de esta guía del alambre se denomina elemento guía, por lo que el elemento guía se refiere en particular a la parte de la guía del alambre que está en contacto directo con el electrodo de alambre. De acuerdo con la invención, la guía del alambre tiene esencialmente forma de disco con una ranura de guía para el electrodo de alambre en la circunferencia. El electrodo de alambre se prolonga en una ranura guía en la circunferencia de la guía del alambre en forma de disco. Normalmente la guía del alambre con forma de disco tiene un hueco. El electrodo de alambre está estirado sobre este hueco. El alcance efectivo de la erosión por chispas suele estar en la parte libremente tensada del electrodo de alambre, pero también puede estar en la zona que no está retranqueada. El actuador puede estar dispuesto tanto antes como después de la escotadura con respecto al curso del electrodo de alambre. El elemento guía designa la parte del disco que está en contacto directo con el electrodo de alambre. Una ventaja particular de la guía del alambre en forma de disco es que sólo se requiere un pequeño tramo libre del electrodo de alambre. Otra ventaja es que los principios conocidos del documento EP 2 607 006 A1 pueden ser utilizados para el giro. La compensación de la vibración de acuerdo con la invención aumenta aún más la precisión de los diseños conocidos del documento EP 2 607 006 A1.

De acuerdo con la invención, el electrodo de alambre está guiado por un elemento guía. El elemento guía está en contacto con el electrodo de alambre. El elemento guía acerca el electrodo de alambre a la pieza de trabajo. En un rango efectivo de erosión por chispas, se produce la remoción de material en la pieza de trabajo. El elemento guía puede estar hecho de una sola pieza o estar compuesto de varios elementos (por ejemplo, rodillos o deflectores) o segmentos. En la mayoría de los casos, el elemento guía asegura que parte del electrodo de alambre esté tensado libremente en el rango efectivo de la erosión por chispas.

Además, la guía del alambre de acuerdo con la invención incluye un actuador. Por medio del actuador se puede actuar sobre el electrodo de alambre. Las vibraciones del electrodo de alambre en el rango efectivo de la erosión por chispas son particularmente perjudiciales para la precisión de la remoción de material por erosión de alambre. El actuador permite que se ejerza una trayectoria o fuerza sobre el electrodo de alambre. Esta trayectoria o fuerza cambia el curso del electrodo de alambre en relación con el elemento guía o los componentes estacionarios de una máquina de electroerosión y en relación con la pieza de trabajo. Esto puede prevenir o reducir las vibraciones del electrodo de alambre. Esto es equivalente a la amortiguación. En particular, mediante el actuador se pueden evitar o reducir las vibraciones del electrodo de alambre ortogonal a su trayectoria. También se puede influir en el curso del electrodo de alambre para permitir un ajuste fino, es decir, un cambio controlable con precisión en el curso del electrodo de alambre. Esta es una posibilidad para controlar el curso del proceso de erosión. Por lo general, un pequeño cambio en el curso del electrodo de alambre, por ejemplo, en el rango micrométrico, es suficiente para contrarrestar las vibraciones y/o permitir un ajuste fino útil. De acuerdo con la invención, el actuador está diseñado como un actuador piezoeléctrico para cambiar el curso del electrodo de alambre cambiando la forma del actuador piezoeléctrico. En otras palabras, el electrodo de alambre pasa a través de un actuador piezoeléctrico. El actuador piezoeléctrico está integrado en la guía de electrodos de alambre (una parte de la guía del alambre se compone de material piezoeléctrico y actúa como actuador, otra parte de la guía del alambre actúa como elemento de guía). En particular, un actuador piezoeléctrico está compuesto por un material piezoeléctrico, por ejemplo, una cerámica. Este material piezoeléctrico puede cambiar de forma debido al efecto piezoeléctrico cuando se aplica un voltaje eléctrico. Este cambio de forma produce el cambio en el curso del electrodo de alambre como lo requiere la invención. Una ventaja particular del diseño del actuador como actuador piezoeléctrico es que hay una retroalimentación muy rápida entre el voltaje aplicado (secuencia de control) y el cambio de forma producido. Un actuador piezoeléctrico puede ser controlado con frecuencias muy altas. Por consiguiente, la oscilación del electrodo de alambre puede contrarrestarse adecuadamente a altas frecuencias. También es posible aplicar un voltaje constante, lo que resulta en un cambio permanente de la forma y, por lo tanto,

- en un cambio permanente de la forma del electrodo de alambre, lo que permite un ajuste fino del electrodo de alambre en relación con la pieza de trabajo. Por último, también es posible sin inconvenientes la combinación de ambos modos de funcionamiento (ajuste fino y contrarrestado de las vibraciones). Además, el actuador piezoeléctrico se conformó para desviar el electrodo de alambre radialmente a la guía del alambre en forma de disco y ortogonalmente al electrodo de alambre en el rango angular. La desviación radial a la guía del alambre en forma de disco permite una compensación de las vibraciones del electrodo de alambre en dirección radial a la guía del alambre en forma de disco. La desviación por lo general está en el rango de los micrómetros. Por consiguiente, se compensan las oscilaciones en la dirección de la pieza. Estas vibraciones tienen un efecto particularmente negativo en la precisión que pueda lograrse.
- El elemento guía y el actuador se realizaron en forma integrada. Por lo tanto, el actuador también actúa como elemento de guía, lo que corresponde a una guía del alambre para guiar el electrodo de alambre con actuador integrado. En consecuencia, el actuador guía el electrodo de alambre directamente, conformando así el elemento guía o representa una parte del elemento guía. La ventaja aquí es que se minimiza el espacio de instalación y se reducen los costos de fabricación. En el caso del actuador piezoeléctrico, esto significa que la guía del alambre está compuesta de material piezoeléctrico (por ejemplo, cerámica) y actúa simultáneamente como elemento de guía y como actuador.
- De acuerdo con la invención, el problema descrito anteriormente está completamente resuelto.
- Se puede lograr una mayor precisión en comparación con las guías de alambre anteriores, que no proporcionan una compensación activa de la vibración o un ajuste fino mediante un actuador separado. Esto resulta en un mayor control del proceso. Al rectificar con muelas superabrasivas de enlace metálico, por ejemplo, se puede lograr un mejor acabado de las muelas en el sentido de una mayor precisión, así como una menor frecuencia de acabado y, por lo tanto, una mayor vida útil.
- En el caso de una conformación ventajosa de la guía del alambre de acuerdo con la invención, el actuador se conformó para actuar de acuerdo con una secuencia de control para contrarrestar las vibraciones del electrodo de alambre, siendo la secuencia de control predefinida en base a una pre-medición o determinada en base a una medición de las vibraciones del electrodo de alambre en tiempo real. Una secuencia de control refiere, en particular, a una secuencia temporal de comandos de control que son convertidos por el actuador en efectos de trayectoria o efectos de fuerza en el electrodo de alambre o en los correspondientes cambios de trayectoria. Por ejemplo, una secuencia de control puede comprender una secuencia de voltaje temporal.
- Esta secuencia de control puede ser predefinida en base a una pre-medición. Esto significa que no se produce una retroalimentación directa entre el comportamiento actual de la corriente (comportamiento de oscilación) del electrodo de alambre y la acción (generalmente opuesta) del actuador. La secuencia de control se define en base a suposiciones sobre las vibraciones del electrodo de alambre. Por ejemplo, las oscilaciones de una cierta frecuencia pueden ser causadas por el dimensionamiento de la guía del alambre (longitud de la parte libremente tensada del electrodo del alambre, etc.) o por una velocidad de rotación (predefinida o regulable) del alambre, así como por el tipo de accionamiento o la trayectoria del alambre. Estas oscilaciones son, por lo tanto, independientes del proceso de erosión real. Basándose en este dimensionamiento o en esta velocidad de circulación, se podría predefinir una secuencia de control correspondiente.
- Alternativamente, es posible medir las vibraciones del electrodo de alambre y generar una secuencia de control correspondiente para contrarrestar las vibraciones actualmente medidas en el sentido de un bucle de control. La secuencia de control se determina preferentemente en tiempo real.
- En una conformación, el primer punto de contacto eléctrico y el segundo punto de contacto eléctrico están situados en los extremos opuestos de la guía del alambre en forma de disco y el cambio de forma es causado por el efecto de cruz piezoeléctrica. Aquí se aprovecha el efecto piezoeléctrico transversal. Este efecto describe un cambio de forma transversal a la dirección del voltaje aplicado.
- En una conformación alternativa de la guía del alambre en forma de disco descrita anteriormente, el primer punto de contacto eléctrico y el segundo punto de contacto eléctrico están dispuestos en puntos circunferenciales radialmente opuestos de la guía del alambre en forma de disco, paralelos al electrodo de alambre en su rango efectivo y el cambio de forma es causado por el efecto piezoeléctrico longitudinal. El efecto longitudinal piezoeléctrico causa un cambio en la forma del material piezoeléctrico en la dirección del voltaje aplicado.
- El efecto piezoeléctrico transversal y el efecto piezoeléctrico longitudinal son ortogonales entre sí y describen la dirección del cambio de forma de un material piezoeléctrico en relación con la dirección del voltaje aplicado. Un material piezoeléctrico normalmente exhibe uno u otro efecto. Dependiendo del contacto, los materiales piezoeléctricos con ambos efectos pueden ser utilizados en la presente invención. La desviación radial en una guía del alambre con forma de disco puede lograrse con ambas. Las ventajas o diferencias surgen con respecto al espacio de instalación requerido y la amplitud de desviación alcanzable.
- En una realización ulterior, la presente invención se refiere a un dispositivo para la electroerosión rotativa de hilo de una pieza de trabajo con una guía del alambre como se ha descrito anteriormente. Este dispositivo corresponde, por ejemplo, a una máquina de erosión por hilo con la que se puede cambiar la forma de una pieza de trabajo mediante

la erosión por hilo. Este dispositivo puede, por ejemplo, estar integrado o puede integrarse como una unidad separada de electroerosión por hilo en una máquina de rectificado para el rectificado de las muelas abrasivas.

Ventajosamente, el dispositivo presenta una unidad de control para controlar el actuador para que actúe en el electrodo de alambre de acuerdo con una secuencia de control para contrarrestar las vibraciones del electrodo de alambre, estando la secuencia de control predefinida en base a una pre-medición o, determinándola en base a una medición de las vibraciones del electrodo de alambre en tiempo real. La unidad de control se utiliza para controlar el actuador. En particular, la unidad de control puede, por ejemplo, aplicar un voltaje de control al actuador según una secuencia de control predefinida o determinada en tiempo real. En particular, la secuencia de control puede predefinirse sobre la base de una medición previa con un patrón de amplitud típico. Por lo tanto, mediante este voltaje de control se puede direccionar de manera correspondiente el actuador. De esta manera, se pueden contrarrestar las oscilaciones del electrodo de alambre, y se puede lograr una reducción de las amplitudes y la amortiguación. Además, la unidad de control también permite un ajuste fino del electrodo de alambre para lograr una eliminación muy precisa del material en la pieza de trabajo.

En una conformación el dispositivo comprende además un dispositivo de medición para medir las vibraciones del electrodo de alambre; y una unidad de evaluación para calcular la secuencia de control en tiempo real en base a las vibraciones del electrodo de alambre. Las vibraciones de corriente del electrodo de alambre son detectadas por el dispositivo de medición. A partir de esta medición, se puede calcular una secuencia de control en tiempo real en la unidad de evaluación. Esta secuencia de control puede utilizarse como base para controlar el actuador por medio de la unidad de control. Así, se puede formar un bucle de control grabando las vibraciones y calculando la secuencia de control en base a ellas. Esto resulta en una reducción óptima de la amplitud y la amortiguación de las oscilaciones del electrodo de alambre. De acuerdo con la invención, resulta así una mayor precisión, una mayor tasa de eliminación y una mayor estabilidad del proceso en comparación con los anteriores dispositivos de electroerosión por hilo rotativo. Esta ventaja es particularmente relevante para las altas velocidades del alambre o las velocidades de rotación de la pieza de trabajo.

Ventajosamente, el dispositivo de medición comprende un sensor óptico, en particular una cámara o un sensor de sombra ligera, o un sensor capacitivo. El espacio disponible para la instalación suele ser limitado en las inmediaciones del alcance efectivo de la erosión por chispas. Debido al uso de un sensor óptico, este sensor también puede ser montado a distancia del electrodo de alambre. En este caso es particularmente ventajoso que se pueda realizar la medición en las inmediaciones del rango efectivo de erosión por chispas. Además, los principios de medición óptica también permiten medir en zonas sucias, por ejemplo, salpicaduras de petróleo. Alternativamente, también se puede utilizar un sensor capacitivo. Esto permite realizar una medición, aunque no sea posible el escaneo visual.

Es ventajoso que el dispositivo de medición esté dispuesto delante de la guía del alambre con respecto a la dirección de rotación del electrodo de alambre. Esto permite una determinación particularmente precisa de las oscilaciones del electrodo de alambre y, por lo tanto, una secuencia de control para la compensación óptima de estas oscilaciones.

Según otro aspecto, la invención se refiere a una máquina para amolar por medio de una muela de enlace metálico con un dispositivo para rectificar la muela como se ha descrito anteriormente. La muela representa la pieza de trabajo y se mecaniza por erosión de alambre. La invención permite rectificar las muelas de enlace metálico con una mayor precisión totalmente integrada en la máquina en comparación con los dispositivos de última generación a la misma velocidad periférica de la muela que para el rectificado. De este modo, es posible realizar una rectificación precisa durante el proceso, es decir, una rectificación durante el proceso de amolado, así como una rectificación durante el tiempo improductivo. El dispositivo de rectificación puede estar integrado fijo en la máquina de amolado o puede diseñarse como una unidad móvil que puede utilizarse para la rectificación en diferentes máquinas de rectificado si es necesario.

Queda sobreentendido que las características mencionadas anteriormente y las que se explicarán a continuación pueden utilizarse no solo en la combinación indicada en cada caso, sino también en otras combinaciones o en una posición única, sin dejar el alcance de la presente invención.

A continuación, se describe en mayor detalle y se explica la invención sobre la base de ejemplos de realización seleccionados en relación con los dibujos adjuntos. Se muestra en las figuras:

Fig. 1 una representación esquemática de un proceso de electroerosión con un dispositivo para la erosión por hilo rotativo;

Fig. 2 una representación esquemática de una guía del alambre que no está de acuerdo con la invención;

Fig. 3 una representación esquemática de un dispositivo para la electroerosión por hilo rotativo con una guía de hilo no conforme con la invención.

Fig. 4 una representación esquemática de una guía del alambre con forma de disco de acuerdo con la invención; y

Fig. 5 dos posibilidades para contactar una guía del alambre de acuerdo con la invención con un actuador piezoeléctrico/elemento guía integrado.

La Fig. 1 muestra un dispositivo 10 para la electroerosión de hilo rotativo de una pieza de trabajo en forma esquemática. Un electrodo de alambre 12 es guiado a lo largo de una pieza de trabajo 16 a través de un elemento guía 14. Se aplica un voltaje eléctrico entre la pieza 16 y el electrodo de alambre 12 para que una corriente pueda fluir entre ambos cuando entren en contacto. Para ello se ha previsto una línea de alimentación 18. La pieza 16 gira como indica la flecha. Se proporciona una alimentación de aceite 22 para el lavado y para actuar como dieléctrico en el rango efectivo 20 de la erosión de la chispa. Las descargas se producen en el dieléctrico entre la pieza de trabajo 16 y el electrodo de alambre 12 en el área de trabajo 20 de la electroerosión por chispas. Debido a los pulsos de corriente aplicados a través de la fuente de alimentación 18, se produce la erosión por chispas y, por lo tanto, una remoción de material de la pieza de trabajo 16 o una transferencia de material de la pieza de trabajo 16 al electrodo de alambre 12.

Dado que el electrodo de alambre 12 se daña durante la erosión por chispas, es necesario para la remoción de material mediante electroerosión por chispas que el electrodo de alambre 12 sea renovado constantemente y pueda ir desde un stock de alambre 30 a través de una guía del alambre 24 a un contenedor de desechos 26 para los desechos de alambre 26. Por lo general, se ha previsto un cortador de alambre 28 con el que se puede cortar el electrodo de alambre 12 periódicamente o, en caso necesario, para evitar un atasco de material.

En la Fig. 1 se ha esbozado la rotación de la pieza 16. Debido a la rotación de la pieza 16, así como a la velocidad del electrodo de alambre giratorio 12, el electrodo de alambre 12 puede comenzar a oscilar y/o a desviarse. En particular, pueden producirse oscilaciones y/o desviaciones en el rango efectivo 20 de la erosión por chispas. En este rango efectivo de 20, el electrodo de alambre normalmente está tensado libremente.

Como se muestra en la Fig. 1, la presente invención es particularmente ventajosa cuando el electrodo de alambre 12 está tensado libremente a corta distancia en el rango efectivo 20 de la erosión por chispas. Esto se logra en el diseño mostrado por una guía del alambre de pie 24 con una escotadura 32. Se sobreentiende que la idea básica de la presente invención también puede aplicarse a guías de alambre de forma diferente, por ejemplo, guías de alambre con diferentes rodillos y/u otros elementos fijos.

El electrodo de alambre 12, por ejemplo, puede ser traccionado sobre la guía del alambre 24 a una velocidad de aproximadamente 100 mm/seg. Esto, así como la retroalimentación de la unidad, causa oscilaciones en el punto donde el electrodo de alambre 12 es tensado libremente. La pieza de trabajo 16 en rotación pasa lateralmente de este punto y se producen descargas de EDM (erosión por chispas). La guía del alambre 24 de acuerdo con la invención permite contrarrestar las vibraciones en esta vía libre mediante un actuador (ver Fig. 2) en la guía del alambre 24. En otras palabras, las amplitudes de vibración del electrodo de alambre 12 se reducen y amortiguan en dirección horizontal y vertical. Además, el actuador también permite controlar el curso del electrodo de alambre en el sentido de un ajuste fino.

La figura 2 muestra una realización de una guía del alambre 24 de acuerdo con la invención. La guía del alambre 24 comprende un elemento guía 14 para guiar el electrodo de alambre 12, así como un actuador 42 para actuar sobre el electrodo de alambre 12. En esta ilustración, el elemento guía 14 se refiere en particular a la zona de la guía del alambre que está en contacto directo con el electrodo de alambre 12. La pieza de trabajo a ser erosionada no se muestra en la Fig. 2 y estaría situada en el lado derecho de la figura.

En la realización mostrada en la Fig. 2, se proporciona un actuador separado 42 que está en contacto directo con el electrodo de alambre 12. Este actuador puede ser, por ejemplo, un actuador piezoeléctrico, un actuador MEMS, un motor eléctrico o un actuador basado en una bobina móvil. Este actuador 42 permite aplicar una trayectoria o fuerza al electrodo de alambre 12, lo que permite cambiar la trayectoria del electrodo de alambre 12 con respecto a la guía del alambre 24 o con respecto al elemento guía 14 y la pieza de trabajo (no mostrada aquí). En primer lugar, se pueden contrarrestar las vibraciones del electrodo de alambre 12. Esto corresponde a una reducción de la amplitud o de la amortiguación. Por otro lado, también se puede lograr un ajuste fino, es decir, un cambio en el curso del electrodo de alambre 12. Un ajuste tan fino puede lograr un movimiento muy preciso del electrodo de alambre 12 en relación con la pieza de trabajo. En consecuencia, puede aumentarse el control del proceso.

En la conformación representada de la guía del alambre 24, el actuador 42 está conformado separadamente del elemento guía 14. En una realización ventajosa de la presente invención, el elemento guía 14 y el actuador 42 están integrados y realizados en una sola pieza. En otras palabras, la guía del alambre 24 actúa como elemento guía y como actuador. Esto puede lograrse, por ejemplo, mediante una guía del alambre 24 hecha de material piezoeléctrico, por ejemplo, una cerámica.

En la Fig. 3 se muestra un dispositivo 10, que comprende una guía del alambre 24 que no responde a la invención.

Un campo de aplicación ventajoso de tal dispositivo de acuerdo con la presente invención, constituye la rectificación de las muelas de enlace metálico con diamante o grano abrasivo CBN en las máquinas amoladoras. Con tales muelas abrasivas, los pulsos del EDM sólo disuelven el enlace metálico. El grano abrasivo no es removido por los pulsos del EDM. De esta manera, la erosión del alambre puede ser usada para lograr muelas muy afiladas, así como muelas de rectificado muy precisas. Un dispositivo 10 de acuerdo con la invención puede ser integrado en una máquina de moler como una unidad EDM. En particular, un dispositivo de acuerdo con la invención permite la integración modular en

una máquina amoladora. Alternativamente, un dispositivo de acuerdo con la invención puede haberse conformado como una unidad de mecanizado móvil o una máquina de rectificación independiente.

De acuerdo con la invención, el dispositivo 10 puede también comprender una unidad de control 44 y una unidad de evaluación 46, que está conectada a un dispositivo de medición 48. La unidad de control 44 y la unidad de evaluación 46 pueden implementarse por separado o combinarse en hardware o (parcialmente) en software. Normalmente, la unidad de control 44 y la unidad de evaluación 46 se implementan en forma de un microcontrolador.

La unidad de control está conectada al actuador 42. El actuador 42 es direccionado por la unidad de control 44 según una secuencia de control. Esta secuencia de control corresponde a una señal de control de la fuerza o acción ejercida por el actuador 42 sobre el electrodo de alambre 12. Mediante una secuencia de control correspondiente, por un lado, se puede lograr una reducción de la amplitud y la amortiguación de las oscilaciones del electrodo de alambre 12 y, por otro lado, se puede lograr un ajuste fino, cambiando el curso del electrodo de alambre 12.

La secuencia de control puede estar predefinida. Por ejemplo, sobre la base de un estudio experimental del comportamiento del electrodo de alambre 12 en una pieza de trabajo específica o en un tipo específico de pieza de trabajo, es posible analizar en qué medida se produce un patrón de oscilación recurrente que puede compensarse de acuerdo con una secuencia de control predefinida. Para ello, por ejemplo, un fabricante de una guía del alambre o un dispositivo de acuerdo con la invención puede especificar una secuencia de control correspondiente. También es posible que se especifiquen diferentes secuencias de control predefinidas para diferentes piezas de trabajo y/o modos de funcionamiento del dispositivo (velocidad de rotación de la pieza de trabajo, velocidad de rotación del electrodo de alambre, desgaste del elemento de accionamiento, etc.). Por ejemplo, en una guía del alambre según la invención, en la que el electrodo de alambre está tensado libremente al menos en el rango efectivo de la erosión por chispas, son posibles las oscilaciones armónicas en relación con el dimensionamiento de la parte tensada libremente del electrodo de alambre. Se puede suponer que son al menos parcialmente constantes y, por lo tanto, se pueden compensar mediante una secuencia de control predefinida.

Alternativamente, también es posible de acuerdo con la invención, que se haya previsto una unidad de evaluación separada 46, que transmite la secuencia de control a la unidad de control 44 en tiempo real. La unidad de evaluación calcula la secuencia de control basándose en una evaluación de las oscilaciones de corriente del electrodo de alambre 12. Un dispositivo de medición 48 permite medir las oscilaciones del electrodo de alambre 12. Sobre la base de esta medición, la unidad de evaluación 46 calcula una secuencia de control correspondiente para la compensación de las oscilaciones. Luego se envía a la unidad de control 44 y al actuador 42. Esto corresponde a un bucle de control.

Preferentemente, el dispositivo de medición 48 comprende un sensor óptico, en particular una cámara o un sensor de sombra ligera. Un sensor óptico puede detectar sólo las vibraciones horizontales o verticales del electrodo de alambre 12 o las vibraciones en ambas direcciones. El uso de un sensor óptico permite que solo se debe haber previsto un pequeño espacio de instalación y que se puede proporcionar la detección de vibraciones en las inmediaciones del alcance efectivo de la erosión por chispas, así como del actuador 42. Alternativamente, también se puede utilizar un sensor capacitivo. Sin embargo, esto tiene a menudo la desventaja de que sólo funciona en ambientes limpios, mientras que la proximidad inmediata del rango efectivo de erosión por chispas suele ser aceitosa, lo que dificulta la medición con un sensor capacitivo. Es factible usar otros sensores como dispositivo de medición 48.

Se ha demostrado que es ventajoso que el dispositivo de medición 48 esté dispuesto en la dirección del sentido de rotación del electrodo de alambre 12 frente al rango efectivo de la erosión de la chispa. El dispositivo de medición 48 también puede utilizarse para registrar la velocidad del electrodo de alambre. Sobre la base de la medición del aparato de medición, se puede calcular la correspondiente secuencia de control para la compensación de las vibraciones. En este contexto, una secuencia de control también se entiende como una señal para el ajuste fino del curso del electrodo de alambre. La secuencia de control corresponde, por lo tanto, a una señal de control que se introduce sobre la base de una entrada de un programa o de un usuario a través de una interfaz de usuario correspondiente.

La Fig. 4 muestra una realización inventiva de la presente invención. La guía del alambre 24 tiene forma de disco. El disco presenta un receso 50 en el rango efectivo de la erosión de la chispa 20. El electrodo de alambre 12 es tensado libremente en esta zona. Esto resulta en un menor desgaste material de la guía del alambre. Respecto de otras ventajas de una guía del alambre con forma de disco, sírvase consultar el documento EP 2 607 006 A1. En particular, una guía del alambre de cerámica en forma de disco permite la integración de un elemento guía con un actuador piezoeléctrico.

La figura 4 también muestra que el elemento guía y el actuador se realizaron integrados. En consecuencia, la guía del alambre 24 que se muestra, por una parte, actúa para guiar el electrodo de alambre 12 y, por la otra, para actuar en el electrodo de alambre 12 como actuador, como se ha descrito anteriormente. Esto puede lograrse mediante una guía del alambre que se compone de material piezoeléctrico, en particular de cerámica piezoeléctrica. Se aprovecha el efecto de expansión piezoeléctrica del material piezoeléctrico. Al aplicar un voltaje a un material piezoeléctrico, cambia su forma. Por lo tanto, si se utiliza un material piezoeléctrico como guía del alambre o como elemento de guía, se puede crear una guía del alambre con elemento de guía y actuador integrados.

La figura 4 muestra que la guía del alambre en forma de disco 24 puede expandirse radialmente a una circunferencia mayor 52. Un orden de magnitud habitual para la expansión (también llamada desviación) está en el rango de unas pocas décimas de porcentaje. Dependiendo del material piezoeléctrico utilizado, esto requiere un voltaje aplicado en el rango de 100 voltios o más. La expansión actúa sobre el electrodo de alambre 12, de modo que se puede lograr una amortiguación de las vibraciones y un ajuste fino.

De acuerdo con la invención, la guía del alambre está diseñada en una sola pieza, estando, por lo tanto, integrados el elemento guía y el actuador.

La figura 5 muestra dos opciones de contacto preferidas para una guía del alambre en forma de disco 24 realizada de material piezoeléctrico (elemento guía y actuador integrados).

10 Diferentes materiales piezoeléctricos, especialmente la cerámica, poseen diferentes propiedades con respecto a la expansión a causa de un voltaje aplicado. En particular, hay materiales que se expanden o contraen en la dirección del voltaje aplicado (efecto piezoeléctrico longitudinal) y materiales que se expanden o contraen transversalmente al voltaje excitado (efecto piezoeléctrico transversal). De acuerdo con la invención, ambos materiales pueden ser utilizados como elementos guía y actuadores.

15 Se produce un contacto con una fuente de voltaje que permite aplicar una secuencia de control en el sentido de una unidad de control. Por ejemplo, puede aprovecharse el efecto longitudinal piezoeléctrico haciendo contacto en puntos circunferenciales radialmente opuestos de la guía del alambre en forma de disco, tal como se muestra en la Fig. 5a. En consecuencia, un voltaje aplicado en los puntos de contacto 54 conduce a un cambio en la circunferencia de la guía del alambre 24. Alternativamente, puede aprovecharse el efecto piezoeléctrico cruzado, tal como se muestra en la Fig. 5b. En este caso, el contacto tiene lugar en los puntos de contacto 56 en las caras opuestas del extremo de la guía del alambre en forma de disco 24. Por lo tanto, el efecto logrado con respecto a la expansión de la guía del alambre en la dirección radial y con respecto al cambio de curso del electrodo de alambre 12 es el mismo para ambos tipos de contacto debido a los diferentes materiales. La expansión se indica con líneas discontinuas en las Figs. 5a y 5b.

25 Es ventajoso si el contacto y el direccionamiento de la guía del alambre integrada se realizó integrado en un soporte de terminal.

Con referencia a la Fig. 3, la unidad de control 44 debe ser entendida como una fuente de voltaje por medio de la cual se aplica un voltaje a la guía del alambre piezoeléctrico 24. Este voltaje aplicado resulta como una secuencia de control, por ejemplo, basado en una medición de las vibraciones del electrodo de alambre 12.

30 Finalmente, la presente invención se relaciona con un proceso de electroerosión de hilo rotativo de una pieza de trabajo. Primero se miden las vibraciones del electrodo de alambre. Por lo general, esta medición se realiza con un dispositivo de medición adecuado. Entonces se determina una secuencia de control en tiempo real basada en la medición o en las vibraciones medidas del electrodo de alambre. Esto se realiza usualmente en una unidad de evaluación. Por último, un actuador es direccionado según la secuencia de control, generalmente mediante una unidad de control. El actuador actúa sobre el electrodo de alambre o ejerce una trayectoria o fuerza según la secuencia de control. Así, el actuador contrarresta o amortigua las vibraciones del electrodo de alambre. El procedimiento de acuerdo con la invención puede aplicarse, por ejemplo, en un procesador de control en una máquina de electroerosión por hilo.

40 Aunque la invención ha sido presentada y descrita en detalle con respecto a los dibujos y la descripción anterior, esta presentación y descripción sólo sirve para explicar la invención mediante ejemplos y no debe entenderse como restrictiva. La invención no se limita a los ejemplos revelados.

Otras variantes de los ejemplos de realización revelados pueden ser comprendidas por el experto y ejecutadas dentro del ámbito de las reivindicaciones. Esto se lleva a cabo mediante la comprensión de los dibujos, la divulgación y las afirmaciones adjuntas. En las reivindicaciones, las palabras "con" o "que presenta" no deben entenderse como excluyentes de otros elementos o pasos. Además, los artículos indefinidos "uno" o "una" no excluyen un plural del elemento correspondiente. Los términos "izquierda", "derecha", "arriba", "abajo", etc. se utilizan únicamente para comprender mejor la invención y no limitan el alcance de la protección de la misma. El mero hecho de que se mencionen ciertas características en diferentes reivindicaciones dependientes no significa que una combinación de esas características no pueda ser ventajosa. Ningún signo de referencia debe entenderse como una limitación del alcance de la protección.

REIVINDICACIONES

1. Guía del alambre (24) para guiar un electrodo de alambre (12) durante la electroerosión de hilo rotativo de una pieza de trabajo (16), comprendiendo un elemento guía (14) para guiar el electrodo de alambre (12); y
5 un actuador (42) para actuar sobre el electrodo de alambre (12) con el fin de cambiar el curso del electrodo de alambre (12) en la región activa (20) de la erosión por chispas para contrarrestar las vibraciones del electrodo de alambre (12) y/o para el ajuste fino del electrodo de alambre (12), en el que la guía del alambre (24) tiene una forma sustancialmente de disco con una ranura guía para el electrodo de alambre (12) en la circunferencia, **caracterizada porque**
10 el actuador (42) está conformado como un actuador piezoeléctrico y comprende un primer punto de contacto eléctrico (54, 56) y un segundo punto de contacto eléctrico (54, 56) para aplicar un voltaje con el fin de cambiar el curso del electrodo de alambre (12) mediante un cambio de forma del actuador piezoeléctrico;
el actuador piezoeléctrico está conformado para desviar el electrodo de alambre (12) radialmente a la guía del alambre en forma de disco (24) y ortogonalmente al electrodo de alambre (12) en su rango efectivo (20); y
el elemento guía (14) y el actuador (42) están conformados como elemento integrado.
- 15 2. Guía del alambre (24) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el actuador (42) está conformada para actuar según una secuencia de control para contrarrestar las vibraciones del electrodo de alambre (12), en la que la secuencia de control está predefinida sobre la base de una medición previa o se determina sobre la base de una medición de las vibraciones del electrodo de alambre (12) en tiempo real.
- 20 3. Guía del alambre (24) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer punto de contacto eléctrico (56) y el segundo punto de contacto eléctrico (56) están dispuestos en las caras opuestas del extremo de la guía del alambre en forma de disco (24) y el cambio de forma se produce por el efecto piezoeléctrico transversal.
4. Guía del alambre (24) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer punto de contacto eléctrico (54) y el segundo punto de contacto eléctrico (54) están dispuestos en puntos circunferenciales radialmente opuestos de la guía del alambre en forma de disco (24) paralelos al electrodo de alambre (12) en su área efectiva (20) y el cambio de forma se produce por el efecto longitudinal piezoeléctrico.
25
5. Dispositivo para la electroerosión de hilo rotativo de una pieza de trabajo (16), con una guía del alambre de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4.
6. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 5, con una unidad de control (44) para controlar el actuador (42) para actuar sobre el electrodo de alambre (12) según una secuencia de control para contrarrestar las vibraciones del electrodo de alambre (12), estando la secuencia de control predefinida sobre la base de una medición previa o determinándose sobre la base de una medición de las vibraciones del electrodo de alambre (12) en tiempo real.
30
7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6, con un dispositivo de medición (48) para medir las vibraciones del electrodo de alambre (12); y una unidad de evaluación (46) para calcular la secuencia de control en tiempo real a partir de las vibraciones del electrodo de alambre (12).
35
8. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el dispositivo de medición (48) comprende un sensor óptico, en particular una cámara o un sensor de sombras ligeras, o un sensor capacitivo.
9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el dispositivo de medición (48) está dispuesto delante de la guía del alambre (24) con respecto a la dirección de rotación del electrodo de alambre (12).
- 40 10. Máquina de rectificado para rectificar por medio de una muela de enlace metálico con un dispositivo (10) de acuerdo con la reivindicación 5 para rectificar la muela abrasiva.

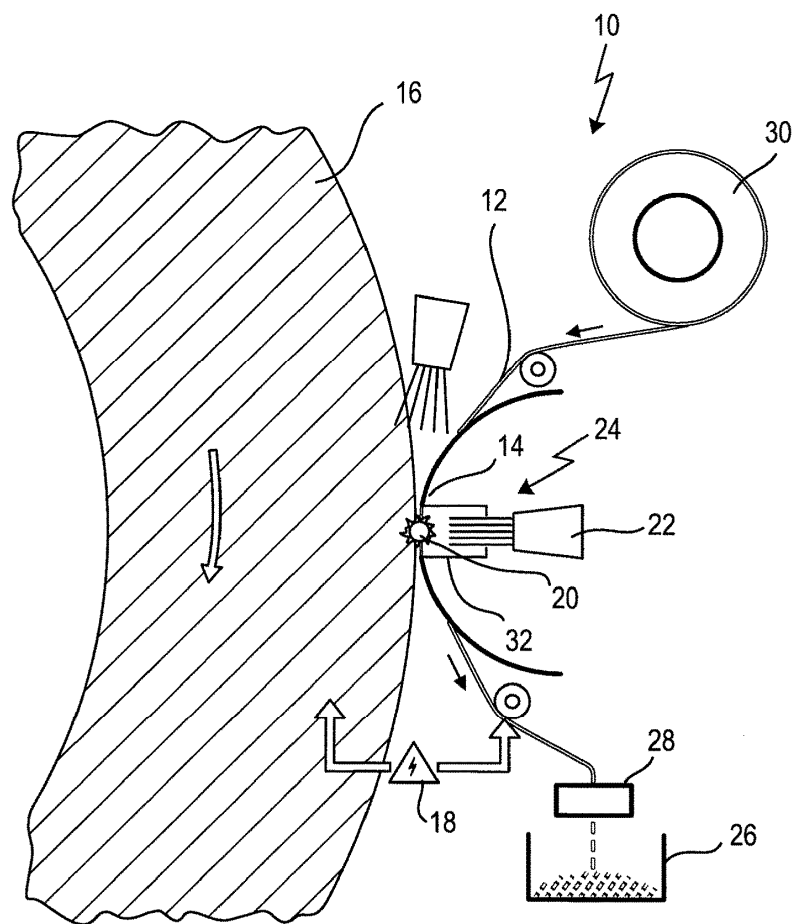


Fig. 1

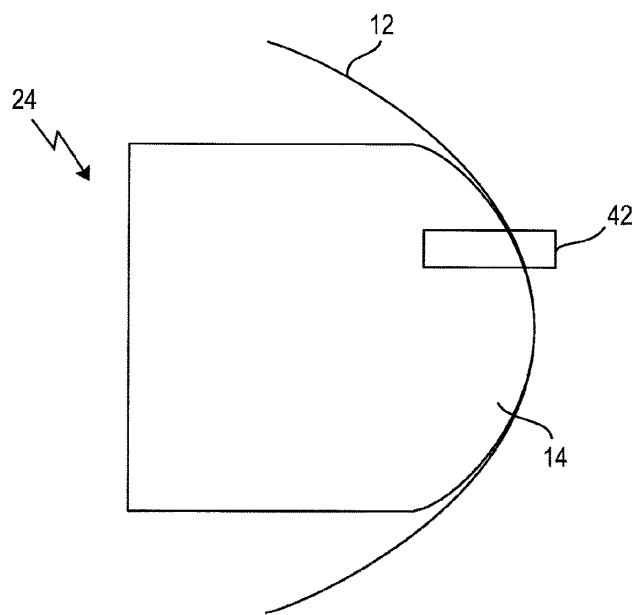


Fig. 2

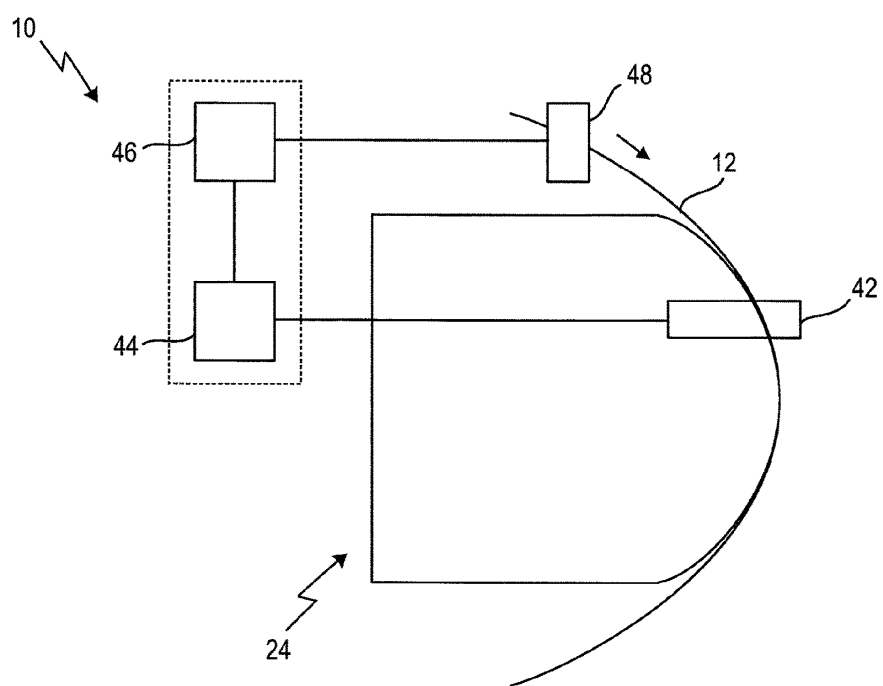


Fig. 3

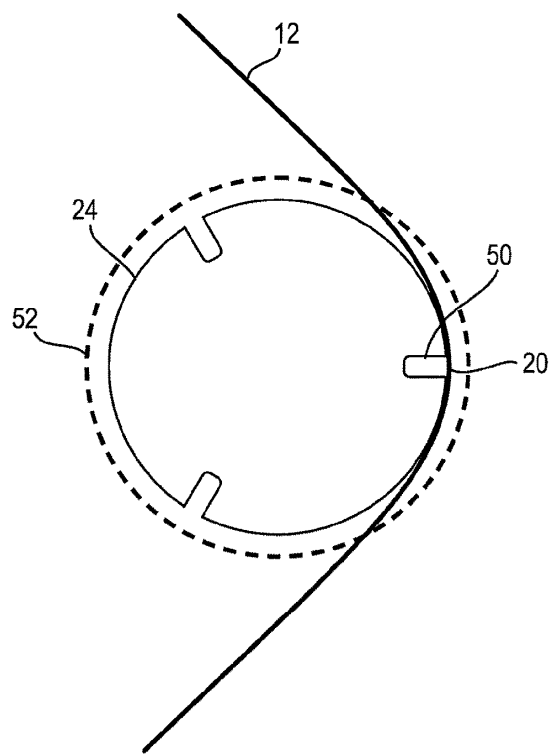


Fig. 4

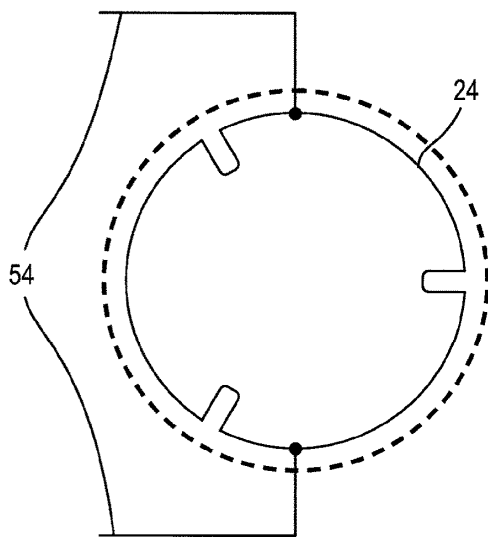


Fig. 5a

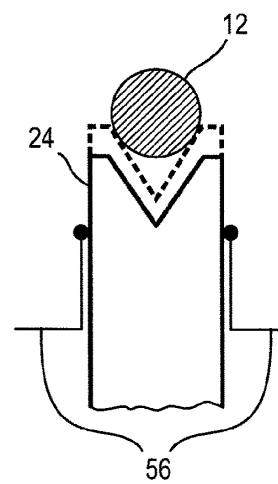


Fig. 5b