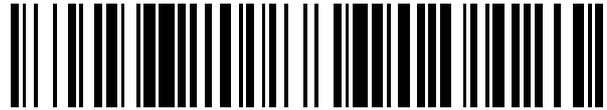


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 569 661**

51 Int. Cl.:

B23H 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2011** **E 11010307 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016** **EP 2610025**

54 Título: **Método y aparato de mecanización por descarga eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.05.2016

73 Titular/es:

AGIE CHARMILLES SA (100.0%)
Via dei Pioppi 2
6616 Losone, CH

72 Inventor/es:

MARADIA, UMANG;
KNAAK, RETO y
DAL BUSCO, WALTER

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 569 661 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

Método y aparato de mecanización por descarga eléctrica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica (electroerosión) y a un aparato de mecanización por descarga eléctrica que realiza tal método.

Antecedentes de la invención

10 En general, en la mecanización por descarga eléctrica conocida, la energía eléctrica es aplicada en forma de impulsos eléctricos discretos través de una garganta de mecanización que está lleno de un fluido de mecanización o dieléctrico líquido (por ejemplo, aceite). Los impulsos eléctricos discretos producen una sucesión de descargas eléctricas entre un electrodo herramienta y una pieza de trabajo. El estrecho espacio entre el electrodo herramienta y la pieza de trabajo define la garganta de mecanización también referida como garganta de trabajo. Las descargas eléctricas producen una eliminación de material de la pieza de trabajo y, además, el desgaste del electrodo herramienta.

15 Típicamente, a medida que procede la eliminación de material, el electrodo herramienta es avanzado con relación a la pieza de trabajo por medios de servo alimentación. La distancia de la garganta de mecanización es controlada continuamente de acuerdo con las condiciones de proceso instantáneas. Una señal que representa la distancia de trabajo de garganta para la corriente (por ejemplo, el retardo del encendido y/o tensión media) se compara con un valor que representa una distancia de la garganta de trabajo deseada (valor de referencia) y el error resultante entre estos valores es calculado para generar un nuevo valor de comando para el motor de accionamiento con el fin de
20 ajustar la distancia de garganta de trabajo correcta. De esta manera, el control de la posición relativa de la pieza de trabajo y el electrodo permite la creación de descargas consecutivas de eliminación de material.

25 La eliminación del material y las descargas conducen a una contaminación de la región de garganta de mecanización con los desechos de la erosión, los subproductos del proceso, los productos de descomposición térmica del dieléctrico y gases. Es conocido eliminar las contaminaciones de este tipo lavando la región de garganta de mecanización con nuevo líquido de mecanización y retrayendo cíclicamente el electrodo herramienta separándolo de la pieza de trabajo.

30 Por el documento US 4.288.675 A se conoce el uso de trenes de impulsos (de descarga) consistiendo cada uno de ellos en múltiples impulsos de mecanización y la variación de la duración y/o del tiempo de parada de los trenes de impulsos consecutivos para reducir el desgaste del electrodo. La duración del impulso de cada impulso único y el tiempo de parada entre cada impulso único del tren de impulsos están preestablecidas antes de la mecanización y dependen, por ejemplo, de los materiales de los electrodos. La duración o el tiempo de conexión de un tren de impulsos y/o el tiempo de parada entre trenes de impulsos consecutivos se ajusta durante la mecanización de acuerdo con una velocidad detectada del movimiento de avance relativo del electrodo herramienta con el fin de
35 mantener la densidad de corriente sustancialmente constante a lo largo de las superficies de mecanización en un valor deseado, a pesar del cambio en el área de mecanización durante el movimiento de avance relativo del electrodo herramienta.

Por el documento US 4.503.309 A se conoce el uso de de impulsos de corriente incrementados intermitentemente en un tren de impulsos con el fin de lograr la densidad de corriente deseada y aumentar la estabilidad del proceso.

40 Como se ha que se ha mencionado, típicamente el electrodo herramienta es propenso al desgaste. Ya se conoce por el documento US 3.558.842 A que una película de protección se forma en el electrodo herramienta bajo condiciones específicas en un proceso de mecanización por descarga eléctrica. La película de protección es formada, por ejemplo, por productos del líquido de trabajo y/o productos resultantes de la descarga a través de la garganta de mecanización.

45 La formación de una película de protección se puede utilizar para proteger el electrodo herramienta y reducir de esta manera el desgaste del mismo. Por ejemplo, el artículo "Desgaste cero - El "Perpetuum Mobile" de la EDM por inmersión del troquel ", que se puede descargar en http://www.gfac.com/fileadmin/user_upload/dev-agiecharmilles/News/Result_today_4/Results_today_04_E_article11.pdf, describe en la página 28 la mecanización por descarga eléctrica, en la que se utiliza un electrodo de grafito en la EDM por inmersión del troquel. El grafito no se funde, sino que se sublima. De acuerdo con este documento, tan pronto como comienza el proceso de la EDM, el
50 material eliminado se desplaza erráticamente con los productos de descomposición desde el dieléctrico que contiene carbono al electrodo de grafito. Por el control de la reducción de la temperatura durante el proceso, el carbono precipita sobre la superficie del electrodo. De esta manera se forma una capa sobre el electrodo que protege el electrodo original. El proceso de EDM es controlado de tal manera que el crecimiento de la capa sobre el electrodo y el desgaste producido por los impulsos de descarga que tienen lugar sobre la capa de protección están en equilibrio.
55 Por lo tanto, el desgaste del electrodo puede ser reducido.

5 Sin embargo, en particular en la meso y micro mecanización, es decir, por ejemplo en la meso escala (área superficial instantánea del electrodo de 10 mm^2 a 1 mm^2) y en la micro escala (área superficial instantánea del electrodo de 1 mm^2 a $0,010 \text{ mm}^2$ o menos, o la dimensión más pequeña en el electrodo por debajo de 1 mm), el desgaste del electrodo es también considerable con los procesos de mecanización que se han que se han mencionado más arriba. La superficie instantánea del electrodo se define como el área superficial de proyección de la superficie del electrodo sobre la que se está produciendo una descarga eléctrica (chispa) y la dimensión más pequeña del electrodo herramienta se puede referir a estructuras de los electrodos, por ejemplo nervios, en los que un grosor de los nervios es inferior a 1 mm (con independencia de la longitud y la anchura de los nervios).

10 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método mejorado para controlar un proceso de EDM, en particular para la meso y micro mecanización, y un aparato de mecanización por descarga eléctrica mejorado, en particular para la meso y micro mecanización.

Sumario de la invención

De acuerdo con un primer aspecto, la invención proporciona un método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1.

15 De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un aparato de mecanización por descarga eléctrica que comprende: un electrodo herramienta, una mesa de trabajo para recibir una pieza de trabajo, un generador de impulsos para generar impulsos de descarga, y un control para controlar el aparato de mecanización por descarga eléctrica, en el que el control realiza un método del primer aspecto.

20 Otros aspectos adicionales de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes y en la descripción que sigue de los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la presente invención se explican a modo de ejemplo con respecto a los dibujos que se acompañan, en los que:

25 la figura 1 muestra una realización de un aparato de mecanización por descarga de inmersión de troquel de acuerdo con la presente invención;

las figuras 2a a 2f muestran diferentes realizaciones de trenes de impulsos de acuerdo con la presente invención;

las figuras 3a y 3b ilustran una realización con un impulso de descarga largo de acuerdo con un primer grupo y un impulso de descarga corto de acuerdo con un segundo grupo, en el que los impulsos tienen una sección de pendiente creciente;

30 la figura 4 muestra otra realización de un impulso con diferente corriente inicial, corriente final y trayectoria;

la figura 5a muestra un gráfico que representa los valores de desgastes frontales con respecto a la duración del impulso de diferentes tipos de impulsos (corriente inicial, corriente final y trayectoria para la elevación de la corriente) para un área superficial dada, corriente por impulso y otros parámetros del proceso;

35 la figura 5b muestra un gráfico que representa los valores de desgastes laterales con respecto a la duración del impulso de diferentes tipos de impulsos (corriente inicial, corriente final y trayectoria para la elevación de la corriente) para un área superficial dada, corriente por impulso y otros parámetros del proceso;

las figuras 6a a 6c muestran diferentes secuencias de un impulso de descarga largo que pertenece a un primer grupo y de impulsos de descarga cortos que pertenecen a un segundo grupo para formar trenes de impulsos de acuerdo con la presente invención;

40 la figura 7 muestra una secuencia de dos trenes de impulsos sucesivos de acuerdo con la presente invención; y

las figuras 8a y 8b muestran una realización en la que la relación de los impulsos de descarga largos y los impulsos de descarga cortos se mantiene constante.

Descripción detallada de realizaciones

45 La figura 1 ilustra una realización de un aparato de mecanización por descarga eléctrica por inmersión de troquel 1 de acuerdo con la presente invención. Antes de continuar con la descripción detallada de la figura 1, sin embargo, se explicarán unos pocos temas generales.

50 Como ya se ha mencionado al principio, en la mecanización por descarga eléctrica, la energía eléctrica se aplica en forma de impulsos eléctricos discretos través de una garganta de mecanización que está llena de un fluido de mecanización o dieléctrico líquido (por ejemplo, aceite). Los impulsos eléctricos discretos producen una sucesión de descargas eléctricas entre un electrodo herramienta y una pieza de trabajo. El estrecho espacio entre el electrodo

herramienta y la pieza de trabajo define la garganta de mecanización o garganta de trabajo. Las descargas eléctricas producen una eliminación de material de la pieza de trabajo y, además, el desgaste del electrodo herramienta.

5 Típicamente, a medida que avanza la eliminación de material, el electrodo herramienta es avanzado con relación a la pieza de trabajo por medios de servo alimentación. La distancia de la garganta de mecanización se controla continuamente de acuerdo con las condiciones de proceso instantáneas. Una señal que representa la distancia de la garganta de trabajo de la corriente (por ejemplo, el retardo del encendido y/o la tensión media) se compara con un valor que representa una distancia de la garganta de trabajo deseada (valor de referencia) y el error resultante entre estos valores se calcula para generar un nuevo valor de comando para el motor de accionamiento. De esta manera, el control de la posición relativa de la pieza de trabajo y del electrodo permite la creación de las descargas consecutivas de eliminación de material.

15 La eliminación de material y las descargas conducen a una contaminación de la región de garganta de mecanización con los desechos de erosión, los subproductos del proceso, los productos de descomposición térmica del dieléctrico y los gases. Es conocida la eliminación tales contaminaciones por el lavado de la región de garganta de mecanización con líquido de mecanización nuevo y trayendo cíclicamente el electrodo herramienta fuera de la pieza de trabajo.

20 Por el documento US 4.288.675 que se ha mencionado en el principio, se conoce el uso de trenes de impulsos (descargas) consistiendo cada uno en múltiples impulsos de mecanización y variando la duración y/o el tiempo de parada de los trenes de impulsos consecutivos para reducir el desgaste de los electrodos. La duración de impulso de cada impulso único y el tiempo de parada entre los impulso únicos del tren de impulsos están preestablecidas antes de la mecanización y dependen, por ejemplo, de los materiales de los electrodos. La duración o el tiempo de conexión de un tren de impulsos y/o el tiempo de parada entre los trenes de impulsos consecutivos se ajusta durante la mecanización de acuerdo con una velocidad detectada del movimiento de avance relativo del electrodo herramienta con el fin de mantener la densidad de corriente a lo largo de las superficies de mecanización sustancialmente constante a pesar de los cambios en el área de mecanización durante el movimiento de avance relativo del electrodo herramienta:

También por el documento US 4.603.309 se conoce el uso de aumento de los impulsos de corriente de forma intermitente en un tren de impulsos con el fin de lograr la densidad de corriente deseada y aumentar la estabilidad del proceso.

30 Como se ha explicado, típicamente el electrodo herramienta es propenso al desgaste. Ya se conoce por medio del documento US 3.558.842 y el miembro de familia CH 466 452 que se forma una película de protección en el electrodo herramienta bajo condiciones específicas en un proceso de mecanización por descarga eléctrica. La película de protección es formada, por ejemplo, por productos del líquido de trabajo y/o productos resultantes de la descarga a través de la garganta de mecanización. El documento US 3.558.842 describe repetir periódicamente al menos tres impulsos de tensión y corriente que se caracterizan por una cierta duración, amplitud y forma de tensión incluyendo su secuencia para provocar una elevada eliminación de material en la pieza de trabajo y para formar la película de protección en la superficie del electrodo herramienta. Los tres tipos de impulsos, es decir, tipo de encendido, térmico y protector, están unidos en un único impulso, que es el principal inconveniente de este método, en particular, para la mecanización a escala meso y micro. Las razones son que la velocidad más alta de eliminación de material por pulso se logra con pulsos cortos con una duración de tiempo aproximadamente de 20 μ s a 40 μ s (dependiendo de otros parámetros de la tecnología), y también porque la técnica especificada no es compatible para las corrientes más bajas requeridas para las pequeñas dimensiones de mecanización a escala meso y micro. Otro inconveniente es el llamado presupuesto de desgaste en el que los diferentes impulsos empaquetados dentro de un único impulso son difíciles de controlar con el control de proceso para conseguir un desgaste de la herramienta bajo o nulo. Por otra parte, el desplazamiento del canal de descarga provoca la distorsión de forma.

En contraste con este documento, el inventor reconoce que se puede conseguir una precisión superior de forma por medio de la selección de una tecnología tal que los trenes de impulsos neutros de desgaste se encuentran situados en una única región, manteniendo de ese modo la forma original intacta del electrodo herramienta.

50 También se ha observado que la deposición de carbono en la física de la descarga eléctrica sobre las superficies de los electrodos, especialmente para una temperatura que supera los 1400°C cuando comienza la pirolisis de carbono. Dependiendo de la temperatura y de la presión el carbono se acumula de los productos de descomposición por medio de pirolisis.

La formación de una película de protección se puede utilizar para proteger el electrodo herramienta y para reducir de esta manera el desgaste del mismo, como se ha descrito en el artículo que se ha mencionado más arriba "Cero desgaste - El "Perpetuum Mobile" por EDM con inmersión de troquel". Como se ha explicado desde el primer momento, durante la descarga eléctrica, se forma carbono en forma de grafito sobre la o las superficies del electrodo. El tipo de grafito formado depende de las temperaturas implicadas en el proceso y el control de la corriente durante las descargas eléctricas. El carbono depositado sobre la superficie del electrodo (ánodo y/o cátodo) puede contener también productos de erosión o desechos formados durante y al final de la descarga. De

esta manera se forma una capa de productos de grafito y de erosión sobre el electrodo, incluyendo productos de descomposición dieléctrica que protegen el electrodo original. El proceso de EDM es controlado de tal manera que el crecimiento de la capa sobre el electrodo y el desgaste causado por los impulsos de descarga que tienen lugar en la capa de protección están en equilibrio. Por lo tanto, el desgaste del electrodo puede ser reducido.

- 5 En este método conocido se pueden utilizar trenes de impulsos, que consisten en, por ejemplo, tres impulsos de descarga idénticos que tienen la misma duración de impulso y el mismo tiempo de parada entre ellos. El tiempo de parada entre los trenes de impulsos de acuerdo con este método es mayor que el tiempo de parada entre los impulsos de descarga únicos de un único tren de impulsos.

- 10 Además, con este método no es posible aplicar una alta corriente de descarga, por ejemplo, por encima de 8 A, para los electrodos compuestos (electrodo que tiene múltiples estructuras diferentes, por ejemplo a escala meso y micro), sin causar un alto desgaste en el electrodo herramienta. Por lo tanto, con los métodos anteriores, la velocidad total de mecanización es pequeña.

Aquí, el proceso se puede considerar en multiescala:

- | | | |
|----|------------------------------------|---|
| | en el segundo micro nivel | - la cinética de reacción de plasma, |
| 15 | a nivel chispa única | - cambio en la temperatura y la presión a lo largo de la duración del tiempo después de la ruptura, |
| | a nivel de chispas múltiples | - densidad de corriente media (factor de trabajo) y formación de tren de impulsos, |
| | a nivel de cientos de milisegundos | - intervalo de tiempo entre dos ciclos de lavado, y |
| 20 | a nivel de tiempo mucho mayor | - profundidad de la erosión y contaminación en la región de garganta. |

- 25 En algunas realizaciones, el crecimiento de carbono sobre el electrodo herramienta se caracteriza principalmente como crecimiento lateral y crecimiento frontal en función de la dirección del movimiento del electrodo herramienta durante la erosión. Mediante el control de la corriente aplicada a la descarga eléctrica sobre la garganta de mecanización (también referida como "chispa") durante unos pocos microsegundos iniciales (1 - 30 μ s) de la chispa, se puede reducir una temperatura inicial elevada en las superficies de los electrodos mientras que el resto de la duración del impulso incrementa las temperaturas de la superficie del electrodo que conducen a la formación de carbono sobre la o las superficies del electrodo herramienta.

- 30 Como se ha mencionado más arriba, a temperaturas por encima de 1400°C comienza la pirolisis del carbono, lo cual puede ser un factor principal para la formación de la capa de protección que contiene productos de grafito y de erosión en la o las superficies de los electrodos. La capa formada puede ser porosa o puede ser incluso más dura que el material de base del electrodo herramienta, lo que le protege contra las fuerzas térmicas y/o abrasivas que provocan típicamente el desgaste del electrodo herramienta. En algunas realizaciones, la temperatura media de la superficie del electrodo herramienta y de la región de descarga es controlada mediante el control de un factor de trabajo o de una densidad de corriente media, con lo que el volumen de la acumulación de carbono en el electrodo de grafito se puede controlar.

- 40 En algunas realizaciones, el nivel de corriente por chispa puede ser regulado con tres parámetros principales: la corriente inicial (0,01-25A), la corriente final (0,1 a 120A) y la trayectoria entre ellas es decir, diferentes pendientes o gradientes en la elevación de la corriente. Por lo tanto, la velocidad a la que el carbono se acumula se basa en todos estos efectos, incluyendo las propiedades del material de ánodo/cátodo, tales como el calor específico, la conductividad térmica y la resistencia eléctrica. En algunas realizaciones, el perfil de la elevación de la corriente por chispa, las pendientes de la corriente y la corriente inicial pueden reducir el desgaste del electrodo herramienta y pueden aumentar el crecimiento radial de la capa de protección de carbono sobre la superficie del electrodo herramienta. Además, el efecto a escala geométrica de la dimensión del electrodo desempeña un papel en la velocidad de crecimiento de carbono y en las características de la acumulación de carbono.

- 45 Aunque aquí sólo se menciona el aspecto térmico, en algunas realizaciones la naturaleza del crecimiento del carbono puede ser atribuida también a otros aspectos tales como el campo electro-magnético, la deposición de vapor físico-química, la generación de puntos de cátodo/ánodo, la alta densidad de corriente (0,1-20A o superior) a lo largo del tiempo y/o del área superficial, etc.

- 50 Sin embargo, en algunas realizaciones, en particular en la meso y micro mecanización, es decir, por ejemplo en la escala meso (área superficial instantánea del electrodo de 10 mm² a 1 mm²) y en la escala micro (área superficial instantánea del electrodo de 1 mm² a 0,010 mm² o las estructuras de dimensión más pequeñas o la más pequeña en el electrodo herramienta que son inferiores a 1 mm), el desgaste de los electrodos es también considerable con los procesos de mecanización que se han mencionado más arriba.

El inventor reconoce que, en particular en la escala de mecanización meso y micro que se ha definido más arriba, el desgaste del electrodo herramienta se puede reducir considerablemente, mientras que la velocidad de eliminación de material y la estabilidad del proceso se puede aumentar, mediante la introducción de al menos dos tipos de impulsos de descarga. Un primer tipo de impulso de descarga está configurado para formar una capa de protección sobre el electrodo herramienta y un segundo tipo de impulso de descarga está configurado para causar un desgaste/erosión sobre el electrodo herramienta y la pieza de trabajo, respectivamente. Mediante la aplicación de una proporción definida de impulsos de descarga de primer y segundo tipo para la eliminación de material de la pieza de trabajo, el desgaste del electrodo herramienta puede ser controlado. Por otra parte, los impulsos de descarga de primer y segundo tipo pueden formar un tren de impulsos específico, en el que para cada tren de impulsos, el desgaste es casi cero. También el tren de impulsos comprende una relación predefinida de impulsos de descarga de primer tipo y de segundo tipo.

El impulso de descarga de primer tipo tiene una duración de impulso más larga que el impulso de descarga de segundo tipo. La secuencia y la combinación de los dos tipos diferentes de impulsos se pueden fijar o generar en cualquier orden, también dentro de un tren de impulsos. Un tren de impulsos puede ser definido como un grupo de impulsos de descarga, en el que cada grupo, es decir, cada tren de impulsos, está separado por un tiempo de pausa del grupo de impulsos de descarga (tren de impulsos) anterior y del consecutivo o un tren de impulsos también se pueden definir por un patrón específico de impulsos de descarga durante la mecanización.

El impulso de descarga de primer tipo provoca principalmente la formación de una película de protección contra el desgaste sobre el electrodo herramienta, radialmente y/o frontalmente sobre el electrodo herramienta. El impulso de descarga de segundo tipo provoca la erosión en la o las superficies de electrodo herramienta. Principalmente dependiendo de parámetros tales como la corriente, el factor de trabajo, la dimensión del electrodo, las propiedades materiales del ánodo-cátodo y el dieléctrico; una duración de pulso corta también puede resultar en una mayor velocidad de eliminación de material (MRR), mayor desgaste de los electrodos mientras se mantiene estable el proceso. En algunas realizaciones, un tren de impulsos puede estar separado de un tren de impulsos consecutivo por un duración de la pausa que es más larga que cualquiera de los valores de duración de la pausa utilizados entre los mismos o diferentes tipos de impulsos dentro del tren de impulsos.

En algunas realizaciones, los al menos dos tipos de descargas pueden pertenecer a un grupo primero y segundo, respectivamente (por ejemplo, grupo 1 y grupo 2, como se muestra en las figuras 5a y 5b).

En la figura 5a se puede ver que para un tipo particular de descarga (con la corriente inicial, la corriente final y la trayectoria de elevación de la corriente definidas) con el aumento de la duración del pulso, un crecimiento de carbono frontal sobre el electrodo herramienta se incrementa y en un cierto valor de la duración de la descarga (marcado con el signo de referencia 34 en la figura 5a) pasa de la situación de desgaste en el electrodo herramienta al desgaste cero y aún más a una acumulación frontal de carbono en el electrodo.

De esta manera, se pueden formar dos grupos de tipo de descarga:

- un primer grupo (grupo 1), que representa las descargas de primer tipo, que comprende el más bajo valor de duración de impulso que es un valor en el que el desgaste frontal del electrodo herramienta llega a cero y que comprende cualesquiera valores de duración de impulsos que sean mayores que este valor; y
- un segundo grupo (grupo 2), que representan las descargas del segundo tipo, que comprende los valores de duración de impulso que son menores que el valor de duración de impulsos en el que el desgaste frontal alcanza un valor cero.

Al mismo tiempo, es decir, el mismo valor de duración del impulso en el que el desgaste frontal alcanza un valor cero, el mismo tipo de descarga con una duración del pulso creciente alcanza un valor en el que el desgaste lateral del electrodo herramienta se hace cero (marcado con el signo de referencia 35 en la figura 5b). Un incremento adicional en la duración del pulso conduce a un crecimiento radial de carbono adicional, como se muestra en la figura 5b.

En algunas realizaciones, es posible que en el valor de duración de pulso para un impulso de corriente especificado, el desgaste frontal en el electrodo herramienta llegue a cero, pero el desgaste lateral no ha llegado a cero todavía. Por lo tanto, en algunas realizaciones, también se pueden definir dos grupos en base a los valores de desgaste laterales, en los que al aumentar la duración del pulso, se alcanza un valor de duración del pulso en el que el desgaste lateral se convierte en cero o casi cero (35):

- el valor de la duración del pulso en el que el desgaste lateral se convierte en cero o mínimo (35) y cualquier valor de duración de pulso que sea mayor que este valor pertenece a un primer grupo (grupo 1) que representa los impulsos de descarga del primer tipo; y
- cualquier valor de la duración del pulso que sea menor que el cero o valor de la duración del pulso de desgaste lateral mínimo pertenece a un segundo grupo (grupo 2) que representa los impulsos de descarga de segundo tipo.

5 En algunas realizaciones, en base a los dos grupos de duración del pulso distintos (grupo 1, 2) definidos para un tipo de impulso especificado (con la corriente inicial, la corriente final y la trayectoria de la elevación de la corriente dadas) en base al desgaste frontal y/o al desgaste lateral, se forma un tren de impulsos específico comprendiendo al menos un impulso con una duración de impulso del grupo 1 y al menos un impulso con una duración de impulso del grupo 2 y se aplica a la garganta entre dos electrodos (ánodo, cátodo), lo cual resulta en un desgaste bajo o casi cero de la herramienta, una elevada velocidad de eliminación de material y un proceso estable.

10 En algunas realizaciones, el tren de impulsos comprende al menos dos impulsos, un impulso de descarga de primer tipo perteneciente al grupo 1 y un impulso de descarga de segundo tipo perteneciente al grupo 2 separados por una duración de pausa de impulsos específica. En algunas realizaciones, los impulsos de descarga de primer tipo (grupo 1, por ejemplo, figura 3a) y los impulsos de descarga de segundo tipo (grupo 2, por ejemplo, figura 3b) se pueden aplicar en cualquier secuencia dentro de un tren de impulsos (véase ejemplos en las figuras 6a a 6c y 2a).

15 En algunas realizaciones, el tren de impulsos comprende al menos un impulso de descarga de primer tipo (de grupo 1) y al menos un impulso de descarga de segundo tipo (de grupo 2). En tales realizaciones, una duración de la pausa entre dos trenes de impulsos consecutivos es mayor que cualquier duración de la pausa utilizada entre pulsos consecutivos dentro del tren de impulsos (véase también la figura 7).

20 En algunas realizaciones, por ejemplo, en el caso de una geometría del electrodo herramienta única o simple, un método de supresión de arco, que en general es conocido por las personas expertas, es utilizado y modificado por la introducción de un nivel de tensión de supresión de arco dinámico y adaptarlo como un método de supresión de pulsos dinámicos. En tales realizaciones, la condición de pausa del tren de pulsos indicada ya no es válida. Por lo tanto, en algunas realizaciones, la cantidad de descargas del segundo tipo (descargas del grupo 2) con respecto a las descargas del primer tipo (descargas del grupo 1) es determinada y se mantiene una relación constante entre las descargas de primer y segundo tipo (dentro de una tolerancia dada). En tales realizaciones, los al menos dos tipos de impulsos de descarga con diferentes propiedades pueden ser generados en base a diversos algoritmos o al control adaptativo del proceso con las características de tensión/corriente y otras características de impulso, por ejemplo, el tiempo de retardo, la tensión abierta, el tiempo de caída desde tensión abierta a tensión de descarga, los componente de alta frecuencia de la tensión de descarga, etc. Por lo tanto, por ejemplo, en base a una regulación de un nivel de supresión de arco, dos o más tipos de impulsos de descarga (grupo 1, 2) se pueden generar durante la erosión. En tales realizaciones, la acumulación y el proceso de desgaste de la capa de protección se puede realizar en el nivel de chispa múltiple sin crear trenes de impulsos explícitos (véase también las figuras 8a, 8b y la descripción asociada más adelante). Por lo tanto, una supresión de impulso dinámico de este tipo para lograr un bajo desgaste en la mecanización a escala meso y micro se encuentra también en la amplitud de la presente invención.

35 Los parámetros específicos de los impulsos de descarga del primer tipo (grupo 1) y del segundo tipo (grupo 2), por ejemplo, del tren de impulsos, tal como la corriente inicial, la corriente final, la trayectoria de la elevación de la corriente entre la corriente inicial y la final, la o las duraciones de los pulsos, la o las duraciones de las pausas dentro del tren de impulsos y el número de impulsos de descarga del primer tipo (grupo 1) y de los impulsos de descarga de segundo tipo (grupo 2) incluyendo su secuencia dentro de un tren de impulsos depende en algunas realizaciones de los parámetros fijos, por ejemplo, la superficie de la estructura y/o las dimensiones del electrodo herramienta, el material del electrodo, el líquido de mecanización, la condición de la garganta, la profundidad de la erosión, etc.

40 En consecuencia, algunas realizaciones se refieren a un método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica (EDM), en particular un aparato de EDM por inmersión de troquel o un aparato de EDM de taladrado o un aparato de EDM de fresado. El aparato de EDM tiene al menos un electrodo herramienta y una pieza de trabajo y, por ejemplo, otras unidades o elementos, que son conocidos por los expertos, tales como un generador, un control, una mesa de trabajo, etc.

45 El electrodo herramienta está posicionado relativamente con la pieza de trabajo, de manera que se define una garganta de mecanización entre el electrodo herramienta y la pieza de trabajo.

50 El electrodo herramienta puede tener diferentes formas, tales como las que son conocidas por los expertos en la técnica. Por ejemplo, el electrodo herramienta puede ser un único electrodo, un electrodo de lotes que tiene múltiples estructuras idénticas, un electrodo compuesto que tiene múltiples estructuras diferentes o un electrodo especial que puede tener cualquier forma.

En algunas realizaciones, el electrodo herramienta tiene al menos una porción que tiene una área/dimensión de superficie instantánea en la región de escala meso o micro, como se ha definido más arriba.

55 A continuación por lo menos un impulso de descarga de primer tipo y al menos un impulso de descarga de segundo tipo son generados, por ejemplo, por el generador del aparato de EDM. El al menos un impulso de descarga de primer tipo tiene una duración de impulso más largo que la duración del impulso del al menos un impulso de descarga de segundo tipo y el impulso de descarga de primer tipo provoca la formación de una película de protección contra el desgaste en el electrodo herramienta y el impulso de descarga del segundo tipo produce erosión

al menos sobre el electrodo herramienta. Como se ha explicado más arriba, el impulso de descarga de primer tipo pertenece en algunas realizaciones al primer grupo y el impulso de descarga de segundo tipo al segundo grupo.

5 Aunque la función del impulso de descarga de primer tipo es producir una formación de una capa de protección sobre el electrodo herramienta, que puede crecer lateralmente y/o radialmente en el electrodo herramienta como también se ha explicado más arriba, el impulso de descarga de primer tipo también podría causar, además, otros efectos distintos a la formación de la capa de protección (tales como la eliminación de material de la pieza de trabajo). Lo mismo es cierto para el impulso de descarga de segundo tipo, que también puede causar otros efectos distintos a solamente el desgaste del electrodo herramienta y/o la eliminación de material en la pieza de trabajo (tales como estabilidad del proceso).

10 Los impulsos de descarga de primer y segundo tipo son aplicados al electrodo herramienta para la eliminación de material de la pieza de trabajo. La relación entre los impulsos de descarga de primer y segundo tipo aplicados al electrodo herramienta está definida de tal manera que se produce un desgaste predefinido del electrodo herramienta.

15 En algunas realizaciones, una pluralidad de impulsos de descarga de primer y segundo tipo son aplicados al electrodo herramienta. Por lo tanto, la relación entre los impulsos de descarga de primer tipo y de segundo tipo es calculada por el número de impulsos de descarga de primer tipo y de segundo tipo, respectivamente.

Mediante la definición de una relación específica de los impulsos de descarga de primer y segundo tipo se puede lograr un equilibrio predefinido entre la acumulación de la capa de protección sobre el electrodo herramienta y la cantidad de desgaste del electrodo herramienta, controlando de ese modo el desgaste del electrodo herramienta.

20 En algunas realizaciones, la secuencia de los impulsos de descarga de primer y segundo tipo puede ser en cualquier orden. En otras realizaciones, los impulsos de descarga de primer y segundo tipo están dispuestos en un orden predefinido, por ejemplo, un impulso de descarga de primer tipo es seguido por al menos un impulso de descarga de segundo tipo, en el que los impulsos de descarga de primer y segundo tipo están separados por una pausa de proceso unos de los otros.

25 En algunas realizaciones, los impulsos de descarga de tipo primero y segundo están agrupados en un patrón específico de impulsos de descarga, por ejemplo, en un tren de impulsos, como también se ha mencionado más arriba. En tales realizaciones, el generador de EDM genera al menos un tren de impulsos que incluye al menos un impulso de descarga de primer tipo y al menos un impulso de descarga de segundo tipo. El o los impulsos de descarga de segundo tipo son generados en cualquier secuencia de la primera descarga, por ejemplo, el impulso de
30 descarga único de primer tipo viene en primer lugar en el tren de impulsos y al menos uno o varios impulsos de descarga de segundo tipo (grupo 2) sigue después del impulso de descarga de primer tipo (como también se muestra en las figuras 2A a 2F). En otras realizaciones, las secuencias de impulsos dentro de un tren de impulsos comprenden un impulso de descarga único de primer tipo (grupo 1) después de al menos uno o más impulsos de
35 descarga de segundo tipo (grupo 2) (como se muestra a modo de ejemplo en la figura 6a), o un único impulso de descarga de primer tipo (grupo 1) interpuesto entre dos o más impulsos de descarga de segundo tipo (grupo 2) (como se muestra en las figuras 6b a 6c).

El al menos un tren de impulsos es aplicado al electrodo herramienta para la eliminación de material. En algunas realizaciones, se generan una pluralidad de trenes de impulsos y se aplican al electrodo herramienta para la eliminación de material.

40 Como se ha explicado, el impulso de descarga de primer tipo (que pertenece al grupo 1) provoca principalmente la generación o la formación de una película de protección o capa de protección contra el desgaste en el electrodo herramienta. La película de protección puede estar formada, como se ha explicado más arriba en relación con el documento US 3.558.842, por las partículas de reacción del líquido de mecanización y/o del electrodo herramienta y/o de la pieza de trabajo, por ejemplo, por pirolisis. En algunas realizaciones, la película de protección del electrodo
45 herramienta comprende grafito o grafito embebido con los productos de erosión. En las realizaciones de este tipo, el impulso de descarga de primer tipo (grupo 1) está adaptado para formar o generar una capa de grafito pirolítico en el electrodo herramienta que puede tener un mayor grado de dureza en comparación con el material del electrodo base. En algunas realizaciones, la capa de protección está formada, en particular en una región frontal del electrodo herramienta, por ejemplo por el crecimiento frontal, allí donde la mayor parte de las descargas tienen lugar.

50 El impulso de descarga de segundo tipo (que pertenece al grupo 2) provoca la erosión al menos sobre el electrodo herramienta y, además, sobre la pieza de trabajo. Puesto que el electrodo herramienta está protegido principalmente por la película de protección producida por el impulso de descarga único de primer tipo (grupo 1), el electrodo herramienta en sí no está gastado o marginalmente gastado, mientras que la mayor parte de la capa de protección que se ha formado está gastada.

55 Como se ha mencionado, el impulso de descarga único de primer tipo (grupo 1), por ejemplo de cada tren de impulsos, tiene una duración de impulso más larga que el impulso de descarga de segundo tipo (grupo 2). Los valores de duración de impulsos particulares en los que los impulsos de descarga de primer tipo y de segundo tipo (es decir, los impulsos de descarga del grupo 1 y del grupo 2) se pueden separar depende del tipo de

impulso/característica (la corriente inicial, la corriente final, la trayectoria para la elevación de la corriente) y los parámetros asociados del proceso (por ejemplo, el área superficial del electrodo, el aceite dieléctrico, el material de la pieza de trabajo, el material del electrodo, la duración de la pausa entre dos trenes de impulsos consecutivos, etc.). Para un tipo de impulso dado que tiene características específicas (véase también la figura 5a, línea 32; 5b, línea 37, la línea con cuadrados) y las condiciones de proceso, un ejemplo para la definición de las duraciones de impulso para el impulso de descarga de los grupos 1 y 2 se pueden encontrar en la figura 5a, en base al el desgaste frontal del electrodo herramienta, y/o en la figura 5b, en base al desgaste lateral del electrodo herramienta, como ya se ha explicado en más detalle más arriba.

En algunas realizaciones, un primer grupo (grupo 1) de duraciones de tiempo que abarca los impulsos de descarga del primer tipo y un segundo grupo (grupo 2) de duraciones de tiempo que abarca los impulsos de descarga del segundo tipo, están definidos cada uno de ellos, por ejemplo, en base a las características que se han explicado más arriba. El tiempo de duración de los impulsos de descarga de los grupo primero y/o segundo es determinado por al menos uno de los siguientes parámetros del proceso: el área superficial del electrodo, el tipo impulso (corriente inicial, corriente final, trayectoria), los materiales del electrodo-pieza de trabajo, la duración de la pausa entre los trenes de impulsos consecutivos, el aceite dieléctrico, la garganta entre el electrodo herramienta y la pieza de trabajo, el intervalo de tiempo entre dos ciclos de lavado, la profundidad de mecanización, el voltaje de descarga y/o la corriente. En algunas realizaciones, al menos algunos de estos parámetros se tienen en cuenta con el fin de especificar los impulso de descarga de primer y/o de segundo tipo.

En algunas realizaciones, la duración de tiempo del impulso de descarga de segundo tipo se selecciona de entre el segundo grupo de impulsos de descarga y la duración de tiempo del impulso de descarga de primer tipo se selecciona de entre el primer grupo de impulsos de descarga.

En algunas realizaciones, el impulso de descarga de primer y/o de segundo tipo es especificado por el menos por un valor inicial de corriente, una corriente final, y la trayectoria tomada para una elevación de la corriente, por lo tanto también se define la curva específica del impulso. En algunas realizaciones, el tipo de impulso de los impulsos dentro de un tren de impulsos puede ser diferente. Por ejemplo, los tipos de impulso para los impulsos que pertenecen al grupo 1 y al grupo 2 pueden ser diferentes en que el impulso del grupo 1 puede tener una inclinación de la pendiente creciente para un crecimiento de carbono más rápido y los impulsos del grupo 2 pueden tener una forma rectangular de corriente para un mayor eliminación de material del electrodo herramienta y/o de la pieza de trabajo.

En algunas realizaciones, dentro de un tren de impulsos, la película de protección contra el desgaste en el electrodo herramienta generada por el impulso de descarga de primer tipo está casi completamente erosionada por los impulsos de descarga de segundo tipo del tren de impulsos.

El tren de impulsos con los impulsos de descarga de primer y segundo tipo se aplica al electrodo herramienta de tal manera que una descarga correspondiente se lleva a cabo a través de la garganta de mecanización entre el electrodo herramienta y la pieza de trabajo. Por lo tanto, en realizaciones en las que la capa de protección producida en un tren de impulsos es erosionada en un tren de impulsos, el electrodo herramienta tiene (casi) la forma original después de la aplicación de cada tren de impulsos. En otras palabras, en algunas realizaciones, el tren de impulsos es desgastado neutralmente debido a la combinación de los grupos de impulsos 1 y 2, mientras en la mayor parte se consigue incluso una mayor velocidad de eliminación de material y proceso de estabilidad debido a los impulsos de grupo 2

Debido a esta característica de precisión de forma en algunas realizaciones, también las estructuras en el dominio definido de meso y micro escala se pueden mecanizar con elevada exactitud y precisión de forma incluso con menor número de electrodos requeridos para la mecanización, lo cual conduce a una mayor productividad, menores necesidades de recursos y por lo tanto ahorro de costes generales para cualquier tipo de mecanización (características complejas, electrodos combinados incluyendo elevadas relaciones de aspecto hasta 3: 1 y superiores) en la escala macro - meso - micro para numerosos materiales de ingeniería (por ejemplo, acero, acero inoxidable, aleaciones de níquel, aleaciones de titanio, aluminio, cerámica, silicio, etc.).

En algunas realizaciones, la duración de tiempo del impulso de descarga de segundo tipo es inferior a 30 microsegundos. El valor de la duración del pulso depende de varios parámetros, tales como el área superficial del electrodo, las condiciones de garganta, la corriente aplicada por chispa, la corriente media, etc. Esto permite una mecanización rápida de la región del ánodo y/o del cátodo, en particular en comparación con el método conocido de "desgaste cero" o tecnologías de procesos de descarga de tipo único que se han descrito más arriba.

En algunas realizaciones, la corriente de descarga durante la chispa está en el rango de 0,1 A a 120 A, y, en particular, por encima de 8 A, y en particular para el segundo tipo de impulsos de descarga (duraciones de pulso del grupo 2). Una corriente alta de descarga de este tipo también permite un desgaste más alto en el electrodo herramienta y también puede resultar en proceso de mecanización más rápido, en particular en comparación con el método de "desgaste cero" que se ha descrito más arriba, puesto que en este método descrito el desgaste del electrodo herramienta es muy alto, en particular en el caso de una elevada corriente de descarga y una pequeña

área superficial del electrodo de que está por debajo de 10 mm^2 o siendo la más pequeña dimensión del electrodo inferior a 1 mm (por ejemplo, los nervios).

5 En algunas realizaciones, el impulso de descarga de primer tipo y/o de segundo tipo tiene una forma cuadrada, una sección de inclinación creciente y/o una sección de inclinación decreciente con los parámetros principales: corriente inicial, corriente final y la trayectoria utilizada para la elevación/caída de corriente entre éstos dos puntos. En algunas realizaciones, una sección de inclinación creciente, en particular un borde creciente, tiene el efecto de que el impulso de descarga se inicia con una corriente más baja y se incrementa a lo largo de la duración de los impulsos. Esto permite el uso de una corriente de pico y/o densidad de corriente más altas para un impulso de descarga en algunas realizaciones para un área superficial de electrodo dada y también puede facilitar el crecimiento de carbono más rápido en el electrodo herramienta. Del mismo modo, la sección de inclinación decreciente, en particular un borde decreciente, tiene el efecto de que una corriente de pico más alta de un impulso de descarga sólo está presente durante un corto tiempo. Por lo tanto, tales formas de impulsos permiten la aplicación de una corriente de descarga de pico más alto.

15 En algunas realizaciones, el impulso de descarga de segundo tipo (figura 2b, 2e) y/o el impulso de descarga de primer tipo (figura 2f) comprende una sección de pico en la que, por ejemplo, el impulso de descarga tiene una corriente/tensión significativamente más alta que el impulso de descarga restante. En algunas realizaciones, tales secciones de pico mejoran la velocidad de mecanización y/o la eliminación de la capa de protección o del material del electrodo de base sobre el electrodo herramienta.

20 En algunas realizaciones, el o los impulsos de descarga de primer tipo y el o los impulsos de descarga de segundo tipo tienen una polaridad positiva, mientras que en otras realizaciones, el impulso de descarga de primer tipo tiene una polaridad positiva y el o los impulsos de descarga de segundo tipo tienen una polaridad negativa. La polaridad negativa puede incrementar la eliminación de la capa de protección del electrodo herramienta.

Los impulsos de descarga de segundo tipo también pueden ser generados por una descarga capacitiva (véase la figura 2d).

25 Como se ha mencionado, algunas realizaciones se refieren a la mecanización en la meso-escala y/o micro-escala o áreas superficiales aún menores (nano-escala). En tales realizaciones, el electrodo herramienta tiene al menos un área superficial o estructura de dimensión más pequeña que es menor que 10 mm^2 , respectivamente 1 mm, en algunas realizaciones incluso menores que $0,010 \text{ mm}^2$.

30 En algunas realizaciones, un tiempo de parada entre dos trenes de impulsos consecutivos es mayor que la o las duraciones de pausa utilizadas entre diferentes pulsos dentro de un mismo tren de impulsos. El inventor ha reconocido que en algunas realizaciones, la velocidad de mecanización en general se puede mejorar mediante la introducción de pausas más largas o tiempos de desconexión ($> 200 \mu\text{s}$) entre los trenes de impulsos consecutivos, ya que las pausas más largas pueden permitir una mejor recuperación de la garganta de mecanización, y depende principalmente del tipo de pulso (corriente inicial, corriente final, trayectoria para la elevación de la corriente) y los parámetros del proceso (tales como el área superficial del electrodo, el intervalo de tiempo entre dos ciclos de lavado, el aceite dieléctrico, los materiales de la pieza de trabajo y de los electrodos)

35 En algunas realizaciones tales como con electrodos únicos en escala meso-micro, los trenes de impulsos únicos pueden ser reemplazados por algoritmos que mantienen una relación específica de impulsos pertenecientes al grupo 1 (duración del pulso más larga), con impulsos perteneciente al grupo 2 (duración del pulso más corta), como se ha explicado más arriba. La generación de dos tipos de descarga distintos se puede hacer con la programación preestablecida o dinámicamente por medio de algoritmos adaptativos de control de corriente, por ejemplo usando el nivel de supresión de arco.

45 En algunas realizaciones, la relación de los impulsos de descarga de primer y segundo tipo se controla en un valor deseado, por ejemplo, se mantiene constante, con el fin de proporcionar una cantidad predefinida de desgaste del electrodo herramienta.

Algunas realizaciones se refieren a un aparato de mecanización por descarga eléctrica, en particular un aparato de EDM por inmersión de troquel o un aparato de EDM de taladrado, que está adaptado para realizar por lo menos algunos pasos del método de control como se ha descrito más arriba.

50 Un aparato de EDM de este tipo comprende partes que normalmente son conocidas por las personas expertas, tales como un electrodo herramienta, una mesa de trabajo para recibir una pieza de trabajo, un generador de impulsos para generar impulsos de descarga, y un control para controlar el aparato de EDM. El control está adaptado para realizar el método como se ha descrito más arriba.

55 Volviendo a la figura 1, se ilustra un aparato de mecanización por descarga eléctrica (EDM) por inmersión de troquel 1 de acuerdo con la presente invención. La estructura general de un aparato de EDM por inmersión de troquel también es conocida por las personas expertas.

El aparato de EDM por inmersión de troquel 1 tiene un bloque de control 2 para realizar el proceso de EDM que se ha descrito más arriba. El bloque de control 2 tiene un módulo general de control 7, un módulo de control 8 del generador para el control de un generador de impulsos 4, un módulo de control 9 de garganta de mecanización para el control de la garganta de mecanización 13 entre un electrodo herramienta 11 y una pieza de trabajo 12, y un módulo de adquisición de garganta 10 para recibir datos relacionados con la garganta de mecanización durante el proceso de mecanización.

El electrodo herramienta 11 y la pieza de trabajo 12 se encuentran en un bloque de mecanización 3. El posicionamiento del electrodo herramienta 11 con relación a la pieza de trabajo 12 se realiza sobre un módulo interpolador 6 y un módulo de accionamiento 5 que acciona los miembros de posicionamiento, tales como los servo alimentadores, en la dirección c, x, y, y z como se indica en el bloque de mecanización 3 de la figura 1. El electrodo herramienta 11 está hecho de grafito. En otras realizaciones, el electrodo herramienta puede estar hecho de cualquier otro material conocido adecuado para electrodos de herramientas, por ejemplo, de cobre y grafito, cobre, cobre-tungsteno, etc. La pieza de trabajo 12 en esta realización está hecha de metal, pero, en otras realizaciones, puede estar hecha de cualquier material eléctricamente conductor, tal como metales o cerámicas conductoras, pero también materiales de alta resistencia eléctrica.

Las figuras 2a a 2f ilustran ejemplos de diferentes trenes de impulsos que se pueden utilizar en la EDM 1 por inmersión de troquel 1 para la mecanización de la pieza de trabajo 12. Las figuras 2a a 2f visualizan la duración de los impulsos del tren de impulsos en el eje x y una corriente de descarga del tren de impulsos en el eje y.

La figura 2a ilustra un tren de impulsos 14 que tiene en la primera posición un primer tipo de impulsos de descarga 18 (grupo 1) para formar principalmente una capa de protección sobre el electrodo herramienta 11, como se ha explicado más arriba, y tres impulsos de descarga de segundo tipo consecutivos 16 (grupo 2) para erosionar la pieza de trabajo 12 y la capa de protección sobre el electrodo herramienta 11, como también se ha explicado más arriba. Los impulsos de descarga 15 y 16 aquí tienen una forma rectangular, es decir, la corriente inicial es la misma que la corriente final en un único impulso. La corriente de descarga es la misma para los impulsos de descarga 15 y 16 del tren de impulsos 14.

Además, también los tiempos de desconexión entre el impulso de descarga 15 para la formación de la capa de protección y el primer impulso de descarga de erosión 16, así como entre el único impulso de descarga de erosión 16 son idénticos en la presente realización.

Entre la aplicación de cada tren de impulsos 14 se puede utilizar un tiempo de parada. Durante el tiempo de parada, la garganta de mecanización, el electrodo herramienta y la pieza de trabajo se recuperan de manera que en algunas realizaciones, la velocidad de mecanización en general es mayor que en realizaciones en las que no hay presente un tiempo de parada, o solamente hay un tiempo de parada corto entre los trenes de impulsos únicos.

Como se ha mencionado más arriba, las duraciones de los impulsos, los tiempos de desconexión entre los impulsos, el número de los impulsos de descarga de erosión, la corriente de descarga, el tiempo de parada entre los trenes de impulsos, etc., dependen, por ejemplo, de los materiales utilizados para el electrodo herramienta y para la pieza de trabajo, las condiciones de la garganta y la forma del electrodo herramienta 11, etc. Estos parámetros pueden ser pre-almacenados y/o pre-establecidos en el aparato de EDM por inmersión de troquel 1 para los impulsos de descarga del grupo 1 y del grupo 2. En otras realizaciones, estos parámetros se pueden determinar de forma dinámica, por ejemplo, mediante el análisis de los parámetros de mecanización, tales como las variaciones en la tensión de descarga o las características de la corriente.

En algunas realizaciones, también se pueden utilizar otros trenes de impulsos: por ejemplo, en algunas realizaciones un tren de impulsos 17, como se ilustra en la figura 2b, que es similar al tren de impulsos 14 de la figura 2a, tiene una capa de protección que forma impulsos de descarga 18 (grupo 1) y tres impulsos de descarga de erosión 19 (grupo 2), teniendo cada uno una sección de pico 20. Las secciones de pico 20 comprenden un pico en la corriente de descarga, que es mayor en corriente que las secciones restantes de los impulsos de descarga de erosión 19. En algunas realizaciones, esta alta corriente de pico mejora la erosión del electrodo herramienta 11 y/o de la pieza de trabajo 12, y, por tanto, aumenta el desgaste de la herramienta en algunas realizaciones. Además, el alto gradiente di/dt promueve la expulsión del material fundido desde el cráter cuando el canal de plasma se colapsa.

Como se ilustra en la figura 2c, en algunas realizaciones un tren de impulsos 21, que es similar al tren de impulsos 14 de la figura 2a, tiene una capa de protección de descarga de impulsos 22 (grupo 1), seguido por tres impulsos de descarga de erosión 23 (grupo 2) con la polaridad negativa. El cambio en la polaridad entre el primer impulso de descarga 22 del tren de impulsos 21 y los impulsos de descarga de erosión 23 aumenta la erosión de la capa de protección sobre el electrodo herramienta 11 y/o la erosión sobre la pieza de trabajo 12.

Como se ilustra en la figura 2d, en algunas realizaciones, un tren de impulsos 24 tiene un primer impulso de descarga 25 y tres impulsos de descarga de erosión 26 que son generados por una descarga capacitiva. Los impulsos de descarga de erosión 26 tienen una polaridad negativa.

Con el fin de reducir aún más el desgaste en el electrodo herramienta o lograr un crecimiento radial más rápido de la capa de protección de grafito, en algunas realizaciones y como se ilustra en la figura 3a, un impulso de descarga

largo 27 (grupo 1), con una duración de impulso T_L para la acumulación de la capa de protección tiene una sección de borde creciente 28 y una sección constante 29. La sección de borde creciente 28 empieza con una corriente de descarga inicial más baja y la corriente de descarga final se incrementa hasta la corriente de la región de corriente constante 29 del impulso de descarga 27. La trayectoria tomada en esta realización es lineal. Sin embargo, en otras realizaciones, se pueden generar diferentes trayectorias para alcanzar la corriente final desde la corriente de descarga inicial I_{min} , por ejemplo, la elevación de la corriente se muestra en la figura 4.

Un impulso corto de descarga de erosión 30 (grupo 2), como se ilustra en la figura 3b, tiene una corriente creciente a lo largo de toda la duración del impulso T_s . La corriente aumenta a partir de una corriente mínima de descarga I_{min} hasta una corriente máxima de descarga I_s . El impulso de descarga corto 30 produce el desgaste en el electrodo herramienta 11, como se ha explicado más arriba. El impulso de descarga de duración corta (que pertenece al grupo 2) también puede resultar en una mayor velocidad de eliminación de material.

Las formas que se han explicado más arriba del impulso largo 27 (figura 3a) y del impulso corto 30 (figura 3b) se pueden aplicar a cualquier tipo de trenes de impulsos, y en particular a los trenes de impulsos 14, 17, 21, 24, 38, 42, 46, 49, 52 y 55 como se ilustra en las figuras 2a a 2f, figuras 6a a 6c y figura 7 y como se ha explicado más arriba.

Como se ilustra en la figura 4, en algunas realizaciones, un tipo de pulso de corriente se forma de tal manera que la elevación 31 desde la corriente inicial a la corriente final está optimizada para equilibrar la elevada velocidad de eliminación de material y bajo desgaste de la herramienta. Aquí, en los primeros 5-10 μs , se utiliza una corriente inicial baja para un desgaste bajo seguido por un aumento rápido de la corriente que alcanza la corriente final en unos pocos μs para tomar ventaja de la elevada eliminación de material durante los primeros 0-30 μs . Un incremento adicional en la duración de impulsos resulta en un mayor crecimiento de carbono en la superficie del electrodo y puede producir una elevada eliminación de material en la superficie de la pieza de trabajo.

En lo que sigue, la diferenciación entre los impulsos de descarga del grupo 1 y del grupo 2 es discutida a título ejemplar en relación con las figuras 5a y 5b.

Como se ilustra en la figura 5a, en algunas realizaciones, dependiendo del tipo de pulsos de corriente (en este caso, por ejemplo, tipo de pulsos 32, 33) y parámetros de proceso dados (tales como el área superficial del electrodo, la corriente por pulso, la duración de la pausa, el aceite dieléctrico, la combinación de materiales, el intervalo de tiempo entre dos ciclos de lavado, etc.) se alcanza un valor específico de duración del pulso 34, en el que el desgaste de herramientas frontal es cero o casi cero. Todos los valores de duración de pulsos mayores que 34 en estas condiciones, incluyendo el valor de la duración del pulso en 34, se clasifican como grupo 1, que produce principalmente la formación de productos de carbono sobre al menos el electrodo herramienta. Todos los valores de duración de pulsos en estas condiciones más pequeños que el valor en 34, se clasifican en el grupo 2 que produce principalmente el desgaste de la herramienta y también puede mejorar la velocidad de eliminación de material, la estabilidad del proceso. El valor del punto 34 se puede desplazar para las mismas condiciones, pero con diferentes tipos de pulsos que se muestran por líneas distintas 32, 33 y por lo tanto diferentes ventanas de valor de los grupos 1, 2. Combinando al menos un pulso del grupo 1 y otro del grupo 2 en cualquier secuencia se forma un tren de impulsos, por ejemplo 14, 17, 21, 24.

Como se ilustra en la figura 5b, en algunas realizaciones, dependiendo del tipo de pulso de corriente (en este caso, por ejemplo, tipo de pulsos 32, 33) y los parámetros del proceso dados (tales como el área superficial del electrodo, la corriente por pulso, la duración de la pausa, el aceite dieléctrico, la combinación de materiales, el intervalo de tiempo entre dos ciclos de lavado, etc.) se alcanza un valor específico de duración de pulso 35, en el que el desgaste lateral de la herramientas es cero o casi cero. Todos los valores de duración de pulso mayor que 35 en estas condiciones, incluyendo el valor de la duración de pulso en 35 se clasifican como grupo 1, que produce principalmente la formación de productos de carbono sobre al menos el electrodo herramienta. Todos los valores de duración de pulso bajo estas condiciones menores que el valor en 35, se clasifican en el grupo 2 que principalmente produce desgaste de la herramienta y también puede mejorar la velocidad de eliminación de material, la estabilidad del proceso. Para mismas condiciones de proceso, el valor de la duración de pulso 35 puede cambiar para diferentes tipos de pulsos que se muestran por líneas distintas de 37, 36 en la figura 5b y por lo tanto diferentes ventanas de valor de grupo 1, 2. Combinando al menos un pulso del grupo 1 y otro del grupo 2 en cualquier secuencia se forma un tren de impulsos por ejemplo 14, 17, 21, 24, 38, 42, 46, 49 y 52.

La siguiente explicación de las figuras 6a a 6c y 7 se refiere a realizaciones con trenes de impulsos que tienen diferentes secuencias de impulsos de descarga de tipo primero y segundo.

Como se ilustra en las figuras 6a a 6c, en algunas realizaciones la duración larga de pulso o de pulsos y la duración corta de pulso o de pulsos se puede disponer en cualquier secuencia en un tren de impulsos en combinación con características de 14, 17, 21, 24 u otras formaciones de trenes de impulsos. Dos trenes de impulsos consecutivos suelen estar separados por una duración de pausa que es mayor que cualquier duración de pausa que se utiliza entre dos impulsos consecutivos dentro de un tren de impulsos.

La figura 6a ilustra un tren de impulsos 46 que tiene en las tres primeras posiciones tres impulsos de descarga de segundo tipo 48 que producen la erosión seguida por un impulso de descarga de primer tipo 47 más largo. En este

tren de impulsos 47 el desgaste producido por los impulsos de descarga de segundo tipo 48 es equilibrado por el impulso de descarga de primer tipo 47 produciendo la formación de una capa de protección sobre el electrodo herramienta.

5 La figura 6b ilustra un tren de impulsos 49, en el que en las dos primeras posiciones dos impulsos de descarga de segundo tipo 51 están situados, seguido por un impulso de descarga de primer tipo 50, que, a su vez, es seguido por un único impulso de descarga de segundo tipo 51. En este tren de impulsos 49, el impulso de descarga de primer tipo 50 está interpuesto entre al menos dos impulsos de descarga de segundo tipo 51.

10 La figura 6c ilustra un tren de impulsos 52, en el que en una primera posición se encuentra un único impulso de descarga de segundo tipo 54, seguido por un único impulso de descarga de primer tipo . 53, el cual, a su vez, es seguido por dos impulsos de descarga de segundo tipo 54.

15 La figura 7 ilustra una realización en la que un tren de impulsos 55 tiene en la primera posición un impulso de descarga de primer tipo 56, seguido por un impulso de descarga de segundo tipo 57 y otro impulso de descarga de segundo tipo 57' que tiene una duración de pulso ligeramente más larga que el anterior impulso de descarga de segundo tipo 57. El tiempo de parada 58 entre los impulsos de descarga de primer tipo 56 y de segundo tipo 57, 57' es idéntico. El tiempo de parada 59 entre dos trenes de impulsos consecutivos 55 es mayor que el tiempo de parada 58 entre los únicos impulsos de descarga de tipo primero/segundo dentro del tren de impulsos 55.

20 Como se ilustra en las figuras 8a y 8b, en algunas realizaciones, la duración larga de pulso o pulsos, es decir, impulso de descarga de primer tipo 61 (figura 8a) y 64 (figura 8b), perteneciente al grupo 1, y el pulso o pulsos de corta duración, es decir, impulsos de descarga de segundo tipo 62 (figura 8a) y 65 (figura 8b), pertenecientes al grupo 2, se pueden aplicar a un único electrodo sin disponerlos en un tren de impulsos. En algunas realizaciones, se disponen, por ejemplo, en patrones (60, figura 8a; 63, figura 8b).

25 En tales realizaciones, también la relación entre al menos estos dos tipos de impulsos diferentes de grupos 1 y 2 se mantiene constante. La relación puede ser pre-programada o calculada dinámicamente, utilizando información de una o más condiciones del proceso, por ejemplo, el nivel de supresión de arco dinámico para lograr un bajo desgaste de la herramienta y/o elevada velocidad de eliminación de material.

Aunque la presente invención se ha descrito en relación con un número limitado de realizaciones, es evidente que se pueden permitir modificaciones y variantes que no se aparten del concepto y del alcance de la invención, que será entendida fácilmente por los expertos en la técnica. Todas estas modificaciones y variantes se consideran que no se apartan del concepto y el alcance de la invención, como se define por las reivindicaciones adjuntas.

30

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica (1) que tiene al menos un electrodo herramienta (11) y una pieza de trabajo (12), comprendiendo el método las etapas de:
- posicionar el electrodo herramienta (11) con relación a la pieza de trabajo (12);
- 5 - generar un tren de impulsos (14, 17, 21, 24, 38, 42, 46, 49, 52) en una región única, incluyendo al menos un impulso de descarga de primer tipo (15, 18, 22, 25, 27, 39, 43, 47, 50, 53) y al menos un impulso de descarga de segundo tipo (16, 19, 23, 26, 30, 40, 44, 48, 51, 54), en el que el tren de impulsos que incluye los impulsos de descarga de primer y segundo tipo es aplicado a una garganta (13) situada entre el electrodo herramienta (11) y la pieza de trabajo (12)
- 10 - en el que el al menos un impulso de descarga de primer tipo (15, 18, 22, 25, 27, 39, 43, 47, 50, 53) tiene una polaridad positiva
- generar el al menos un impulso de descarga de primer tipo (15, 18, 22, 25, 27, 39, 43, 47, 50, 53) y el al menos un impulso de descarga de segundo tipo (16, 19, 23, 26, 30, 40, 44, 48, 51, 54), en el que el al menos un impulso de descarga de primer tipo tiene una duración de impulso más larga (T_L) que la duración de impulso (T_S) del al menos un impulso de descarga de segundo tipo, y en el que el impulso de descarga de primer tipo provoca la formación de una película de protección contra el desgaste en el electrodo herramienta (11) en la región única y el impulso de descarga de segundo tipo produce la erosión en al menos el electrodo herramienta (11) en la región única
- 15 - aplicar los impulsos de descarga de primer y segundo tipo a la garganta (13) entre el electrodo herramienta (11) y la pieza de trabajo (12) para la eliminación de material de la pieza de trabajo (12), en el que una proporción entre los impulsos de descarga de primer y segundo tipo aplicados al electrodo herramienta está definida de tal manera que se produce un desgaste predefinido del electrodo herramienta (11).
- 20
2. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con la reivindicación precedente 1, que comprende, además, las etapas de:
- definir un primer grupo de impulsos de descarga (grupo 1), que comprende un valor de duración de impulso más bajo, que es un valor en el que el desgaste frontal y/o el lateral del electrodo herramienta llega a cero y que comprende cualesquiera valores de duración de impulso que sean mayores que este valor; y
 - definir un segundo grupo de impulsos de descarga (grupo 2), que comprenden valores de duración de impulso que son menores que el valor de duración de impulsos en el cual el desgaste frontal y/o el lateral alcanza un valor cero.
- 25
3. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la duración de impulso de los impulsos de descarga del primer grupo y del segundo grupo son determinados, además, por al menos uno de los siguientes parámetros del proceso: el área superficial del electrodo, el tipo de pulso, la corriente máxima por pulso, la duración de la pausa entre los trenes de impulsos consecutivos, la distancia entre el electrodo herramienta y la pieza de trabajo, el material de la pieza de trabajo, el material del electrodo, el aceite dieléctrico, el intervalo de tiempo entre dos ciclos de lavado, la profundidad de mecanización.
- 30
- 35
4. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la duración de tiempo (T_S) del impulso de descarga de segundo tipo (16, 19, 23, 26, 30, 40, 44, 48, 51, 54) se selecciona en el segundo grupo y en el que la duración de tiempo (T_L) del impulso de descarga de primer tipo (15, 18, 22, 25, 27, 39, 43, 47, 50, 53) se selecciona en el primer grupo.
- 40
5. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el impulso de descarga de primer y/o de segundo tipo está especificado al menos por un valor de la corriente inicial (I_{min}), una corriente final de ($I_{L/S}$), y una trayectoria tomada por una elevación de la corriente (31).
- 45
6. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la corriente de descarga máxima por impulso está situada en el intervalo de 0,1 A a 120 A.
- 50
7. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que impulso de descarga de primer tipo (27) y/o de segundo tipo (30) tiene una forma cuadrada y/o una sección de pendiente creciente (28) y/o una sección de pendiente decreciente con los parámetros principales: la corriente inicial, la corriente final y la trayectoria utilizada para la elevación y/o disminución de la corriente entre estos dos puntos.

8. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos uno de los impulsos de descarga de tipo primero (15, 18, 22, 25, 27, 39, 43, 47, 50, 53) y segundo (16, 19, 30, 40, 44, 48, 51, 54) comprende una sección de pico (20).
- 5 9. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el al menos un impulso de descarga de segundo tipo (16, 19, 30, 40, 44, 48, 51, 54) tiene una polaridad positiva o negativa (23, 26).
10. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el al menos un impulso de descarga de segundo tipo (26) es generado por una descarga capacitiva.
- 10 11. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el electrodo herramienta (11) tiene al menos una sección que tiene una estructura que es en meso-escala que tiene un área superficial de electrodo instantánea comprendida entre 10 mm^2 y 1 mm^2 o en micro-escala que tiene un área superficial de electrodo instantánea inferior a 1 mm^2 o tiene una estructura con una dimensión inferior a 1 mm.
- 15 12. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que dentro de un tren de impulsos (14, 17, 21, 24) la película de protección contra el desgaste en el electrodo herramienta (11) formada por el impulso de descarga de primer tipo (15, 18, 22, 25, 27, 39, 43, 47, 50, 53) está casi completamente erosionada por el al menos un impulso de descarga de segundo tipo (16, 19, 23, 26, 30, 40, 44, 48, 51, 54) de este tren de impulsos (14, 17, 21, 24, 38, 42, 46, 49, 52) de tal manera que el desgaste es cero o casi cero.
- 20 13. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que un tiempo de parada (59) entre dos trenes de impulsos consecutivos es mayor que cualquier duración de pausa (58) entre dos impulsos consecutivos dentro de un tren de impulsos.
- 25 14. El método para controlar un aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la relación de los impulsos de descarga de primer y segundo tipo se mantiene constante.
15. Un aparato de mecanización por descarga eléctrica, que comprende:
- un electrodo herramienta (11),
 - una mesa de trabajo (3) para recibir una pieza de trabajo (12),
 - 30 - un generador de impulsos (4) para generar impulsos de descarga, y
 - un control (2) para controlar el aparato de mecanización por descarga eléctrica (1),
- en el que el control (2) realiza el método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
16. El aparato de mecanización por descarga eléctrica de acuerdo con la reivindicación 15, en el que el aparato es un aparato de mecanización por descarga eléctrica por inmersión de troquel o un aparato de mecanización por descarga eléctrica de taladrado o un aparato de mecanización por descarga eléctrica de fresado.
- 35

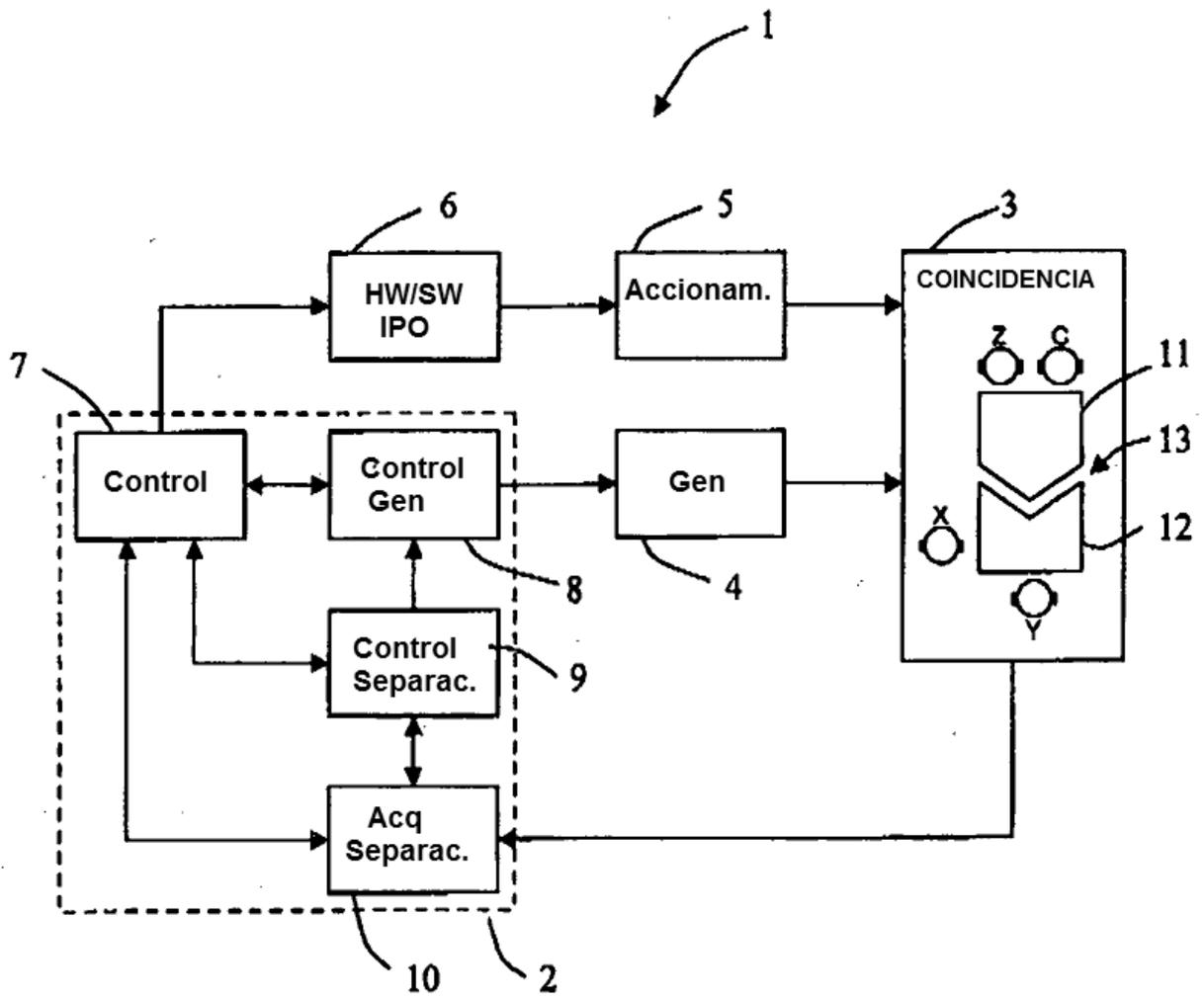


Fig. 1

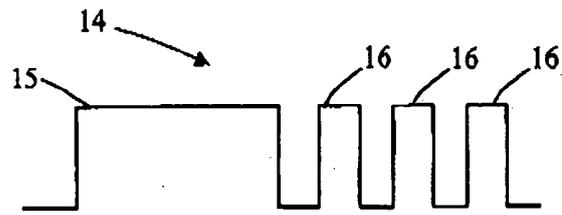


Fig. 2a

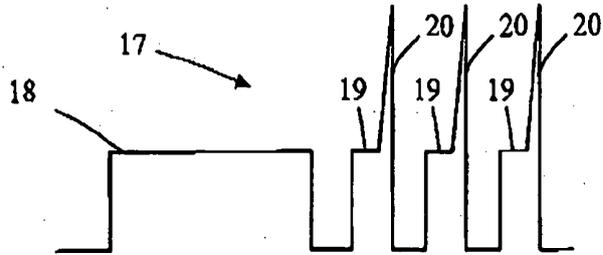


Fig. 2b

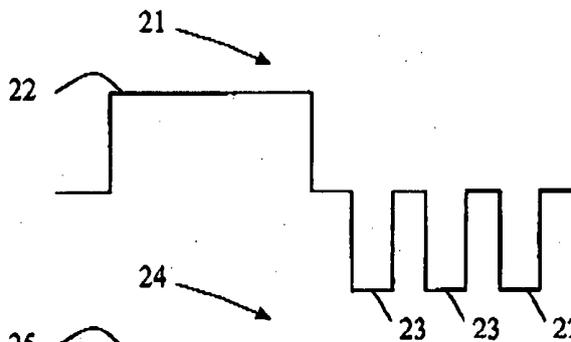


Fig. 2c

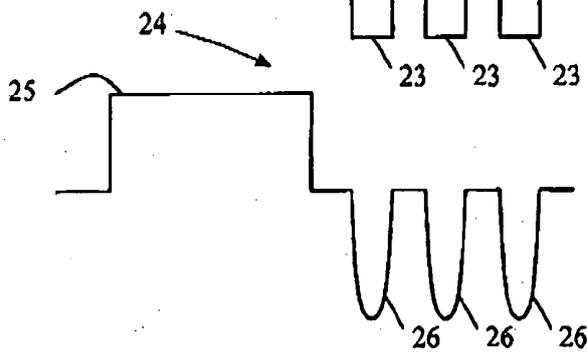


Fig. 2d

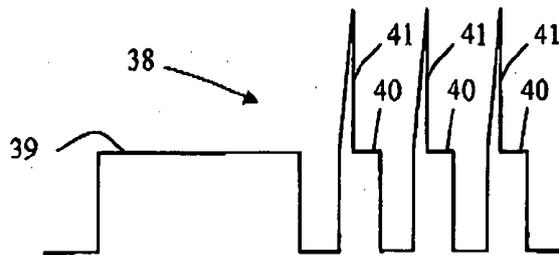


Fig. 2e

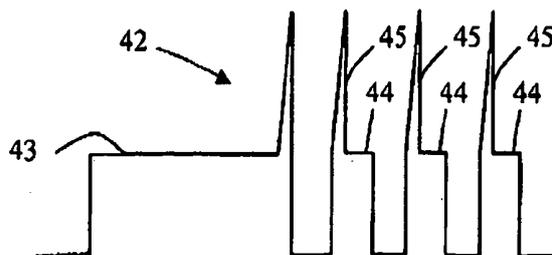


Fig. 2f

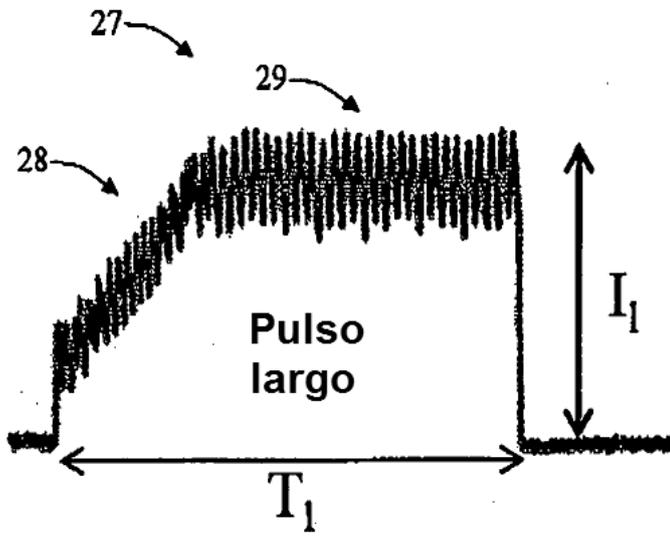


Fig. 3a

Acumulación

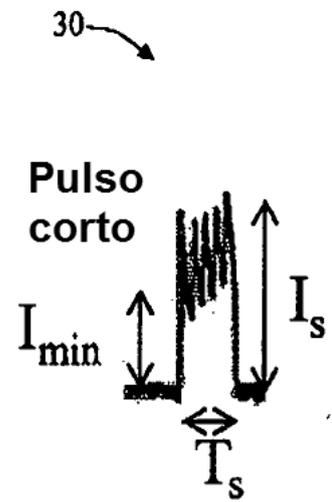


Fig. 3b

desgaste

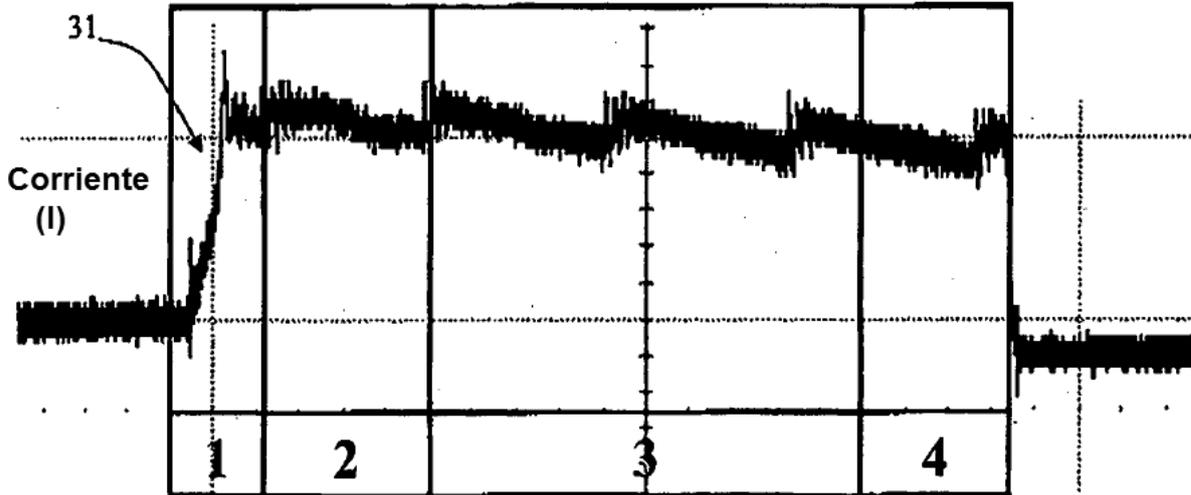


Fig. 4

Duración de pulso (μs)

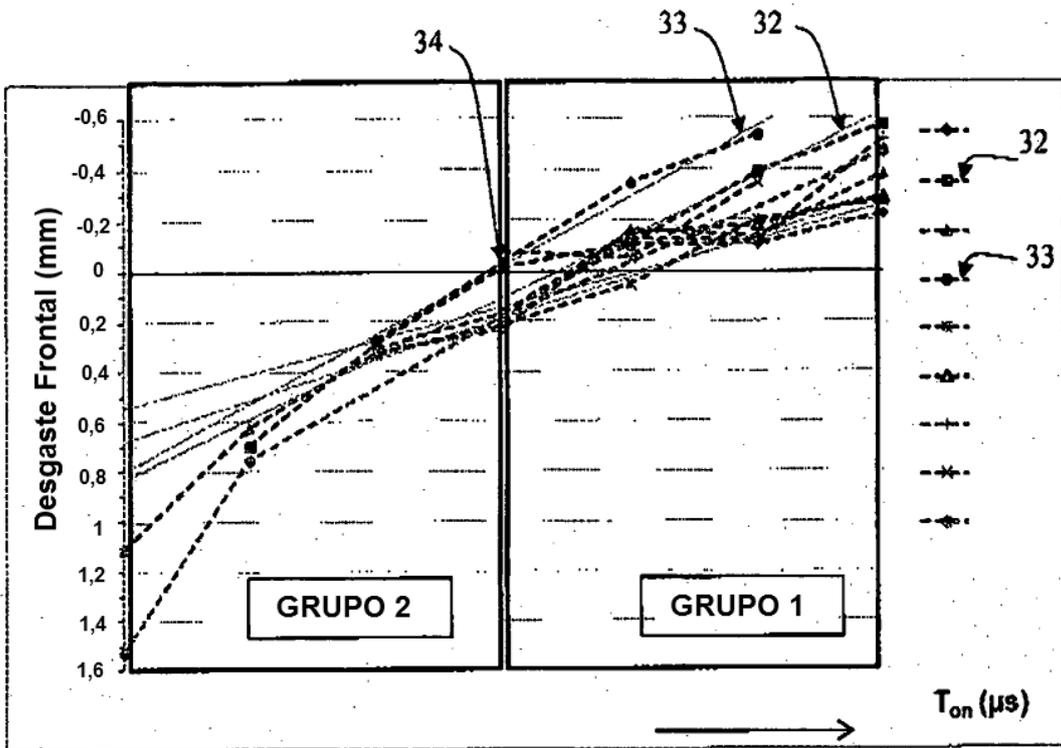


Fig. 5a

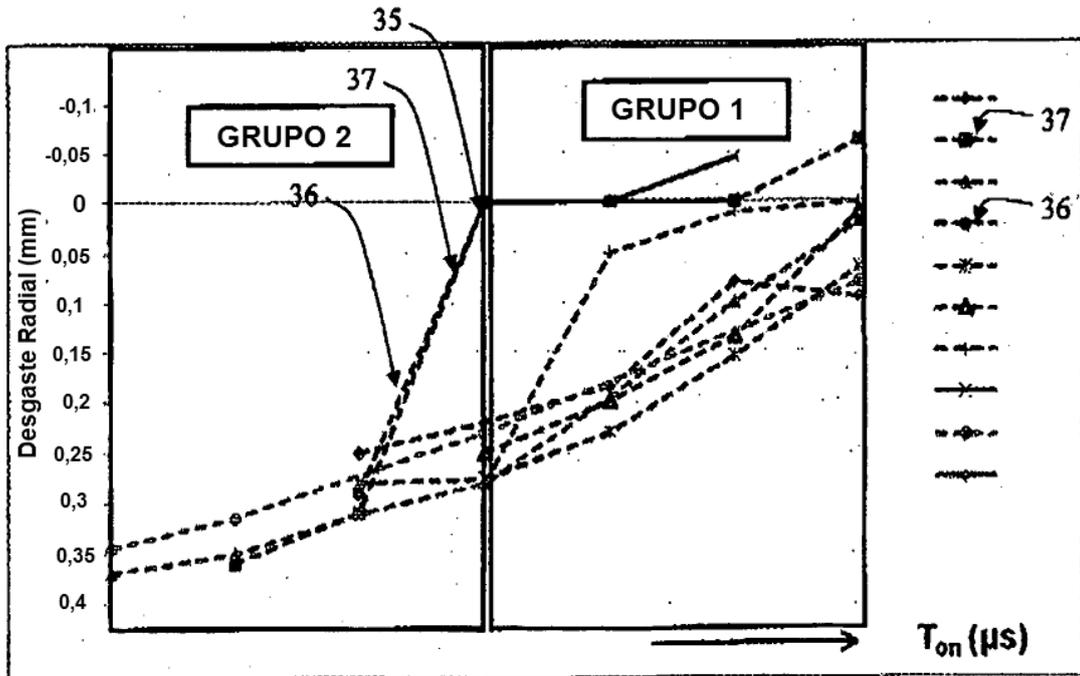


Fig. 5b

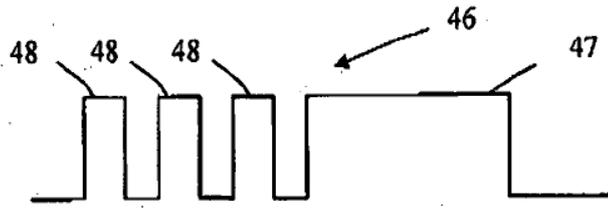


Fig. 6a

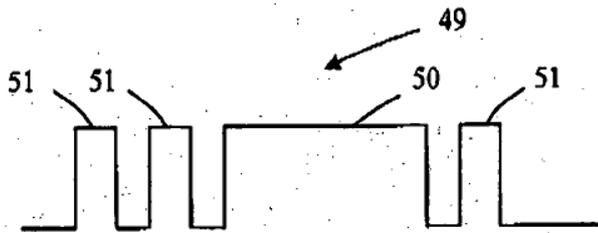


Fig. 6b

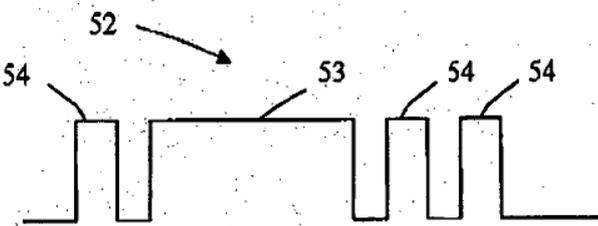


Fig. 6c

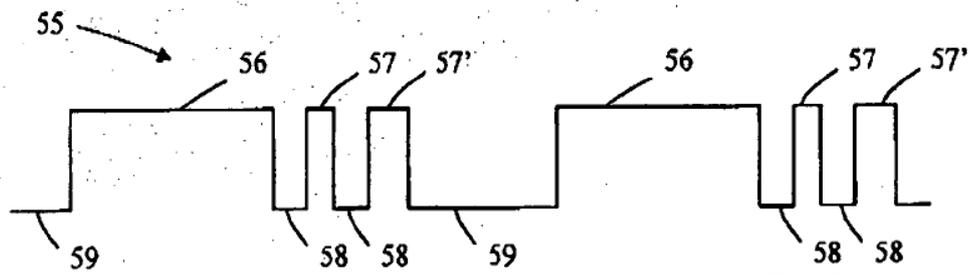


Fig. 7

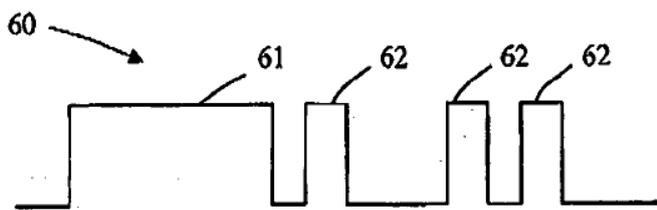


Fig. 8a

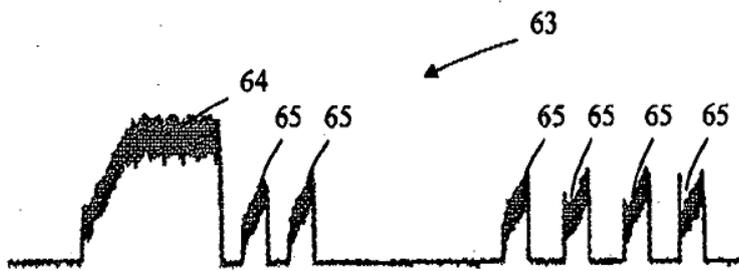


Fig. 8b

Corriente (I)